

J. ILTIS

Institut français de recherche pour le développement en coopération - ORSTOM

Cyclones tropicaux et interventions anthropiques. La question de l'érosion des décharges minières en Nouvelle-Calédonie.

RESUME

L'érosion des décharges des mines de nickel s'est accélérée depuis une vingtaine d'années en Nouvelle-Calédonie. La mécanisation de l'extraction - qui a entraîné un accroissement considérable du volume des déblais - et l'absence de mesures de protection - adoptées petit à petit néanmoins à partir des années soixante-dix - sont indirectement à l'origine du phénomène. Le climat a joué un rôle déterminant dans la mesure où, à l'agressivité habituelle des pluies de saison chaude, se sont superposés les effets de cyclones tropicaux venus frapper l'île de plein fouet (Alison en 1975, Gyan en 1981). Les conséquences géomorphologiques sont multiples : augmentation du ruissellement sur les versants, accroissement de la charge de fond des lits fluviaux, extension de la nappe sous-fluviale, modifications géométriques du lit ordinaire, envasement accéléré des fonds de baies. Parallèlement, on observe des modifications écologiques à hauteur de la forêt-galerie et de la mangrove. L'incidence économique de ces phénomènes est par contre très limitée, en raison de la faible densité de l'occupation humaine et de la pauvreté du secteur d'activité primaire, mise à part la vocation minière traditionnelle de ces secteurs.

ABSTRACT

TROPICAL CYCLONES AND HUMAN INTERFERENCES. EROSION OF MINING DUMPS IN NEW CALEDONIA.

Open-cast mining of nickel occurred on a large scale in New Caledonia, specially during the "nickel boom" years of 1968-1973. Several hundreds of millions of tons of rock and earth residue were abandoned on bare and steeply sloping terrain and provided a readily erodible source of stream load during the cyclonic rains and associated floods. The geomorphic effects are spectacular and concern

both the rivers and the coastline : overloading of river channels with coarse elements, extension of underflow, anastomosing, bank erosion and accelerated silting up of bays. The main ecological impacts consist of mechanical destruction or asphyxiation of sensitive plant species below the uncontrolled mining dumps, degradation of pastureland, growth of the outer belt of mangroves and increase of turbidity in the subtidal zone. On the other hand, the economic incidence is limited because of the rather low rural population density and weak utilization of agropastoral and forest resources, which are themselves of limited extent in these areas.

Les effets des cyclones tropicaux qui atteignent les îles de la bande intertropicale de l'Océan Pacifique sont redoutés par leurs habitants. Aux dégâts dus au vent et aux marées de tempête - qui menacent particulièrement les îles basses (coralliennes) - s'ajoute, dans les îles hautes, l'action dévastatrice des pluies diluviennes et des crues et inondations que celles-ci engendrent. Dans les secteurs à faible densité d'occupation humaine, ces phénomènes n'ont pas, en général, de répercussions économiques catastrophiques. En revanche, leur incidence sur l'environnement peut être considérable, surtout si, par ailleurs, l'équilibre du milieu est menacé par des interventions anthropiques inadéquates. Le domaine couvert par les roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie - qui recèle d'importants gisements de nickel - est l'illustration spectaculaire du danger de cette combinaison de facteurs. Celle-ci provoque l'érosion des décharges minières, qualifiée sur place - parfois abusivement - de "pollution minière", et de multiples effets secondaires, tant géomorphologiques qu'écologiques.

Une étude récente a fourni une évaluation globale de ces effets sur le réseau hydrographique et le littoral (Bird et al., 1984). Les transports solides liés à certains cyclones tropicaux ont été mesurés dans le même

contexte morphodynamique, mais la plupart en l'absence d'activité minière, ainsi que la part respective de l'altération et des phénomènes mécaniques (Baltzer et Trescases, 1971; Baltzer, 1982). Les conditions édaphiques particulièrement défavorables à la reconstitution de la végétation des terrains miniers ont également été étudiées (Jaffré et al., 1977).

I. LES ORIGINES DU PROBLEME

A. Le domaine ultrabasique et les conditions de l'intervention humaine

Sur les 16 890 km² de superficie de l'île principale de Nouvelle-Calédonie, le tiers (5500 km² environ) est couvert par des roches ultrabasiques. Cet ensemble composite (fig.1) constitue le reste d'un complexe ophiolitique charrié à l'Eocène supérieure sur un bâti autochtone individualisé dès le Paléozoïque. La nappe, qui a recouvert probablement l'ensemble de l'île, a subi une surrection à partir de l'Oligocène et a été disséquée. Il s'en est suivi l'érosion mécanique des parties hautes du relief et, celle-ci se combinant avec les effets de

l'altération géochimique des péridotites sous climat tropical humide, la formation de surfaces d'aplanissement cuirassées. Parallèlement, des amas de nickel silicaté et oxydé se sont concentrés à la base du manteau d'altération sous-jacent à ces surfaces. Du fait de la poursuite de la surrection jusqu'au Quaternaire, le relief du domaine ultrabasique présente actuellement un caractère accidenté, que seuls atténuent les plateaux et les plaines des extrémités nord-ouest et sud-est de l'île. Ce caractère est lié à la succession confuse de convexités sur les sommets et de versants abrupts et rectilignes, souvent entrecoupés par des replats, lambeaux des surfaces tertiaires. Alors que de nombreux sommets dépassent nettement 1000 m (Mt Humboldt 1618 m, Mé Maoya 1508 m, Kouakoué 1501 m, etc.), les fonds de vallées s'abaissent rapidement à des altitudes inférieures à 100 m.

Les amas de nickel les plus concentrés se situent sur des paliers étagés entre 300 et 1100 m. Avant-guerre, le minerai était extrait à la pioche, le long de tranchées qui suivaient les veines à haute teneur proches de la surface.

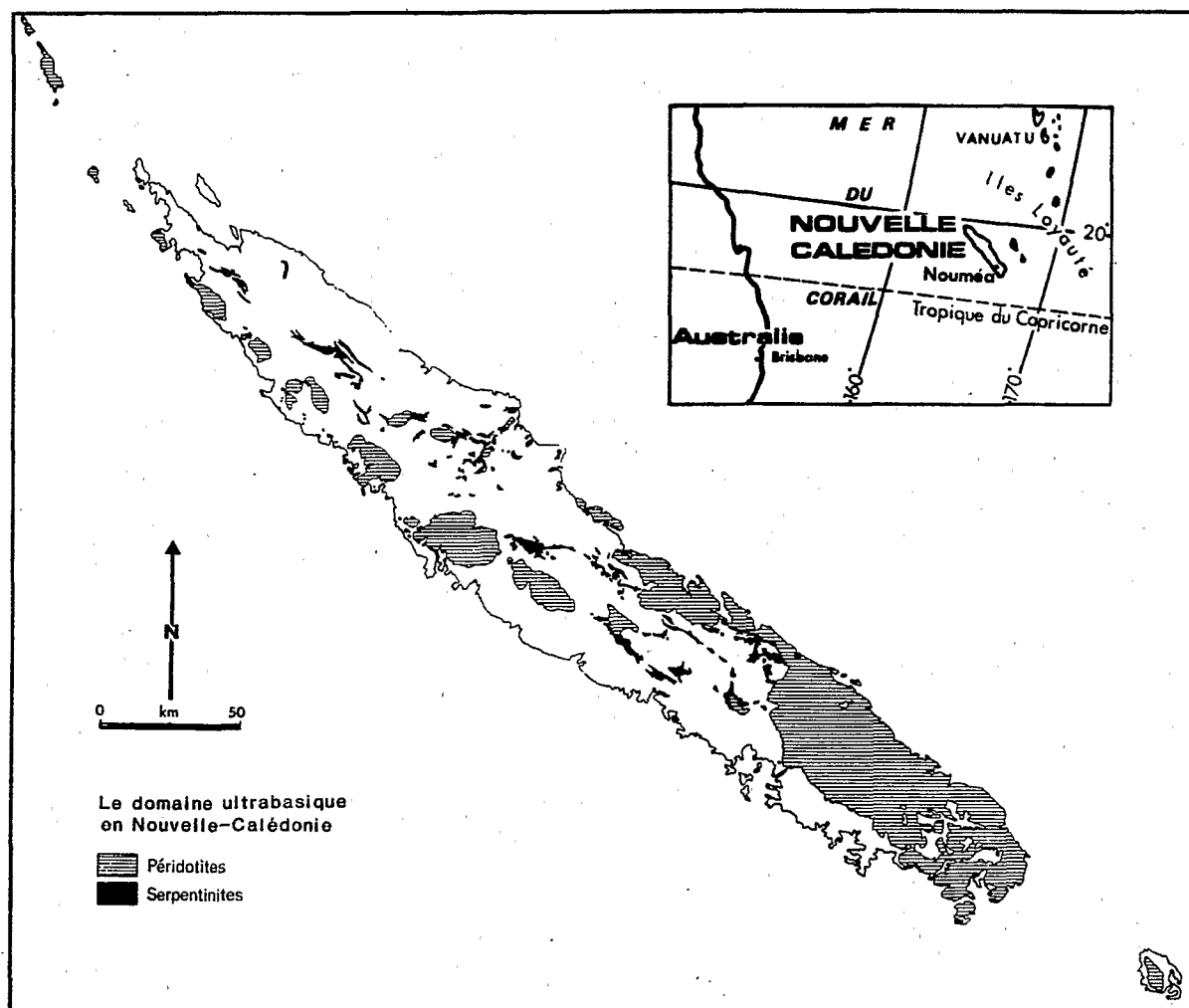


Figure 1 Cartes de situation

Les déblais, évacués à la pelle, étaient peu volumineux. Après-guerre, des moyens mécanisés de plus en plus perfectionnés ont permis d'exploiter les gisements plus profonds, impliquant le décapage d'un volume croissant de formations superficielles (blocs de cuirasse et altérites). Fin 1981, 110 millions de tonnes de minerai brut avaient été extraites. On estime au double au moins la quantité de déblais qui en sont dérivés. Lors de la phase particulièrement fiévreuse du "boom du nickel" (1968-73), rares furent les exploitants qui se préoccupèrent d'un stockage rationnel de ces résidus. La quasi-totalité fut abandonnée sur place, sinon déversée dans les ravins à la périphérie des carrières. Ainsi se sont formés d'innombrables foyers de matériaux prêts à être entraînés dans le réseau hydrographique dès les premières pluies. Dans le bassin hydrographique de la rivière Népoui (175 km²), principal centre de production au cours de la décennie écoulée, ces foyers représentent environ 24 Mt, pour une production de 13,5 Mt - dont 97,4% extraits entre 1970 et 1982 - et une surface décapée de près de 3 km².

Des activités complémentaires de l'extraction proprement dite ont créé d'autres sources de matériaux susceptibles d'être livrés aux agents de l'érosion : la prospection, l'ouverture de pistes d'accès aux gisements et d'évacuation du minerai. Dans le bassin cité plus haut, les déblais dûs à ces activités annexes ont été estimés à 4,6 Mt, soit près de 20% du total des décharges. Il s'y ajoute, sur les versants et dans les lits fluviaux -quelquefois loin en aval - les foyers de l'érosion induite par l'ensemble de ces interventions en terrain minier. Les diverses formes sous lesquelles se manifestent ces effets secondaires participent à la rupture globale de l'équilibre morphodynamique des bassins hydrographiques et de leur frange littorale; elles seront donc décrites sous cette rubrique (§ II).

Le risque érosif est encore accru par la très lente régénération de la couverture végétale des surfaces dénudées. Sur les étendues jonchées de blocs de cuirasse, il arrive même fréquemment qu'elle ne se réalise pas. Pour Jaffré, Latham et Schmid (1977), ces difficultés de reconstitution sont liées à de mauvaises conditions de nutrition minérale - des carences en N, P, K et Ca, un déséquilibre Ca/Mg souvent très marqué, la présence de métaux toxiques - et à l'aridité du terrain en saison sèche. Cet ensemble de facteurs se prête tout particulièrement au déclenchement d'une érosion accélérée; mais il resterait inopérant s'il n'interférait avec des pluies de forte intensité et notamment celles qui accompagnent les cyclones tropicaux.

B. Les pluies et les crues associées aux perturbations tropicales

Le climat de la Nouvelle-Calédonie est réglé par la variation annuelle en latitude de la ceinture anticyclonique subtropicale, au Sud, et de la zone des basses pressions intertropicales, au Nord. En saison chaude, de décembre à la mi-avril, des périodes de beau temps anticycloniques alternent avec des perturbations tropicales. Ces dernières donnent lieu à des pluies abondantes: 36% du total annuel des précipitations, dans la partie sud du versant occidental, à 51%, dans la partie nord, sont enregistrés entre janvier et mars, en moyenne. Les phénomènes dépressionnaires tropicaux prennent naissance au voisinage de la Zone Intertropicale de Convergence, entre les 5^e et 15^e parallèles sud. Après une phase stationnaire, ils tendent à prendre peu ou prou une direction nord-ouest/sud-est, en changeant d'orientation (O/E) vers 20°S (fig.2). Dans leur phase finale, ils se combinent entre 25° et 30°S; d'autres sont entraînés dans la circulation générale d'Ouest (circulation polaire australe). Sur la dizaine de perturbations observées, en année moyenne, sur le sud-ouest du Pacifique - et qui atteignent au moins le stade de dépression tropicale modérée - un peu moins de la moitié intéressent l'archipel (Atlas de la Nlle-Caléd., pl. n°10, 1981). Mais leur fréquence, leur amplitude et leur trajectoire varient d'une année à l'autre, entraînant d'importantes oscillations pluviométriques interannuelles, dans un rapport pouvant aller de 1 à 5.

Trois cyclones tropicaux (à vent moyen > 64 noeuds) semblent avoir été à l'origine des phénomènes d'érosion les plus marquants au sein du domaine minier depuis l'adoption de techniques d'exploitation intensives : Colleen (30 janvier au 7 février 1969), Alison (4 au 14 mars 1975) et Gyan (23 au 25 décembre 1981). Le premier a touché essentiellement la moitié sud de l'île, les deux autres la moitié nord. Le tableau I mentionne des précipitations enregistrées ou observées au passages des cyclones Alison et Gyan. On constate que les reliefs- et par conséquent les périmètres d'exploitation minière - ainsi que les secteurs attenants aux massifs montagneux (par exemple, Haut-Coulna) sont sensiblement plus arrosés que les zones côtières. Les intensités pluviométriques très fortes observées lors des épisodes cycloniques avoisinent les valeurs mesurées dans les archipels environnants (Fidji, Salomon, Vanuatu), voire celles des îles montagneuses du sud-ouest de l'Océan Indien (Madagascar, Maurice, Réunion). On a relevé ainsi, pour le cyclone Gyan, des intensités de 34,6 et 87,5 mm/h pendant 12 heures aux postes respectifs de Forêt-Plate et de Haut-Coulna.

CYCLONE ALISON (5-8 mars 1975)

POSTE PLUVIOMETRIQUE	ALTITUDE	HAUTEUR JOURNALIERE MAXI (mm)	TOTAL (mm)
VERSANT OCCIDENTAL			
Koumac	18 m	86	114
Ouenghi (pont R.T.1)	10 m	133	225
Ouenghi (mine S.L.N.)	800 m	373	635
Dumbea (poste P 2)	900 m	345	787
VERSANT ORIENTAL			
Yaté-barrage	190 m	183	508
Thio	6 m	214	274
Karagreu	120 m	280	480
Hienghène	13 m	274	386

CYCLONE GYAN (23-25 décembre 1981)

POSTE PLUVIOMETRIQUE	ALTITUDE	HAUTEURS MAXIMALES (mm) en:		
		12 H	24 H	48 H
VERSANT OCCIDENTAL				
Nouméa	4 m	96	127	152
Montagne des Sources	900 m	764	1043	1165
Forêt-Plate	500 m	416	690	791
VERSANT ORIENTAL				
Yaté-barrage	190 m	516	874	1035
Haut-Coulina	100 m	1050	1692	1862

TABL. I PRECIPITATIONS ENREGISTREES OU OBSERVEES AU PASSAGE
DES CYCLONES ALISON ET GYAN

Ces chiffres englobent vraisemblablement des intensités supérieures à 100 mm/h sur de plus courtes périodes.

Les effets sur l'écoulement de tels événements pluviométriques sont immédiats. On observe des crues et des inondations, d'autant plus brutales dans les bassins hydrographiques à roches ultrabasiques que les temps de concentration des eaux y sont particulièrement courts, dans la mesure où il s'agit de bassins de faible superficie (moins de 500 km²), à terrains peu perméables et souvent très pentus. Le temps de montée des eaux est de quelques heures à peine pour les cours d'eau les plus importants et les débits de crue sont très élevés. Les valeurs maximales atteintes ou susceptibles d'être atteintes sont de l'ordre de 25 m³/s/km² sur les bassins de plus de 100 km² et de 30 m³/s/km², sinon davantage, sur les bassins inférieurs à 50 km² (op. cit., planche n° 12).

Les transports solides ont été mesurés à l'occasion du passage de certains cyclones tropicaux, sur des rivières de la moitié sud du versant occidental drainant des terrains ultrabasiques.

Sur la Dumbea, les transports dûs au cyclone Brenda (janvier 1968) ont représenté entre 18 000 et 25 000 tonnes, avec une charge moyenne de 400 à 450 mg/l. Dans ce bassin, à couverture végétale dense, l'érosion mécanique a été estimée à 20 tonnes/km²/an en moyenne (Baltzer et Trescases, 1971). Sur la Ouenghi, située dans un secteur d'exploitation minière intensive, mais largement équipé en ouvrages anti-érosifs, le débit solide annuel a été évalué à 72 000 tonnes, équivalant à une érosion mécanique de 294 tonnes/km²/an. Les débits de pointe excèdent largement ceux de la Dumbea : 78 000 tonnes, par exemple, pour le cyclone Alison, et une charge de 1500 mg/l au débit de 1666 m³/s, lors du passage de Gyan (Service hydrol. de l'ORSTOM, comm. orale).

Dans le bassin de la Népoui, qui est resté dépourvu d'ouvrages de protection pendant quelques années, il est probable que des ablations supérieures à 1000 tonnes/km²/an et des transports de plusieurs centaines de milliers de tonnes se sont produits au cours de cette période.

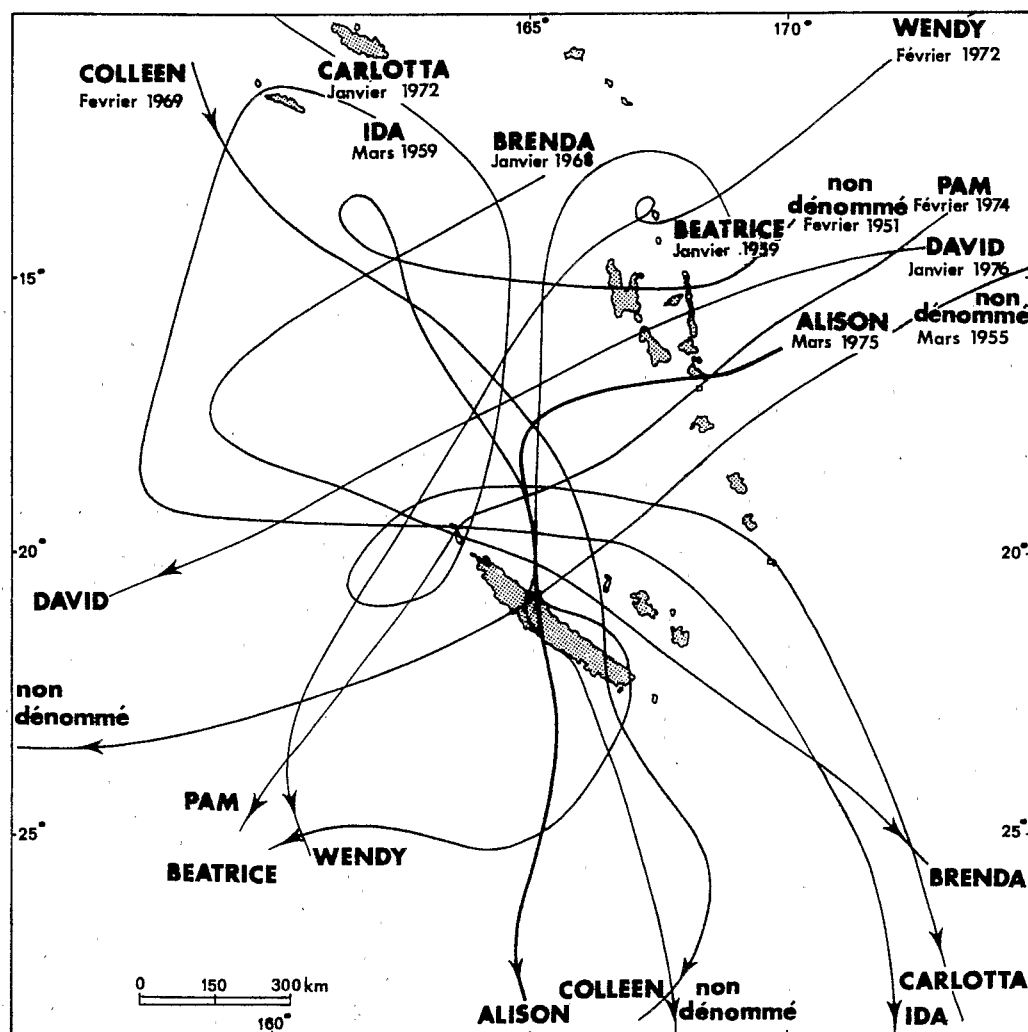


Fig. 2 Trajectoires des cyclones tropicaux ayant intéressé la Nouvelle-Calédonie entre 1951 et 1976

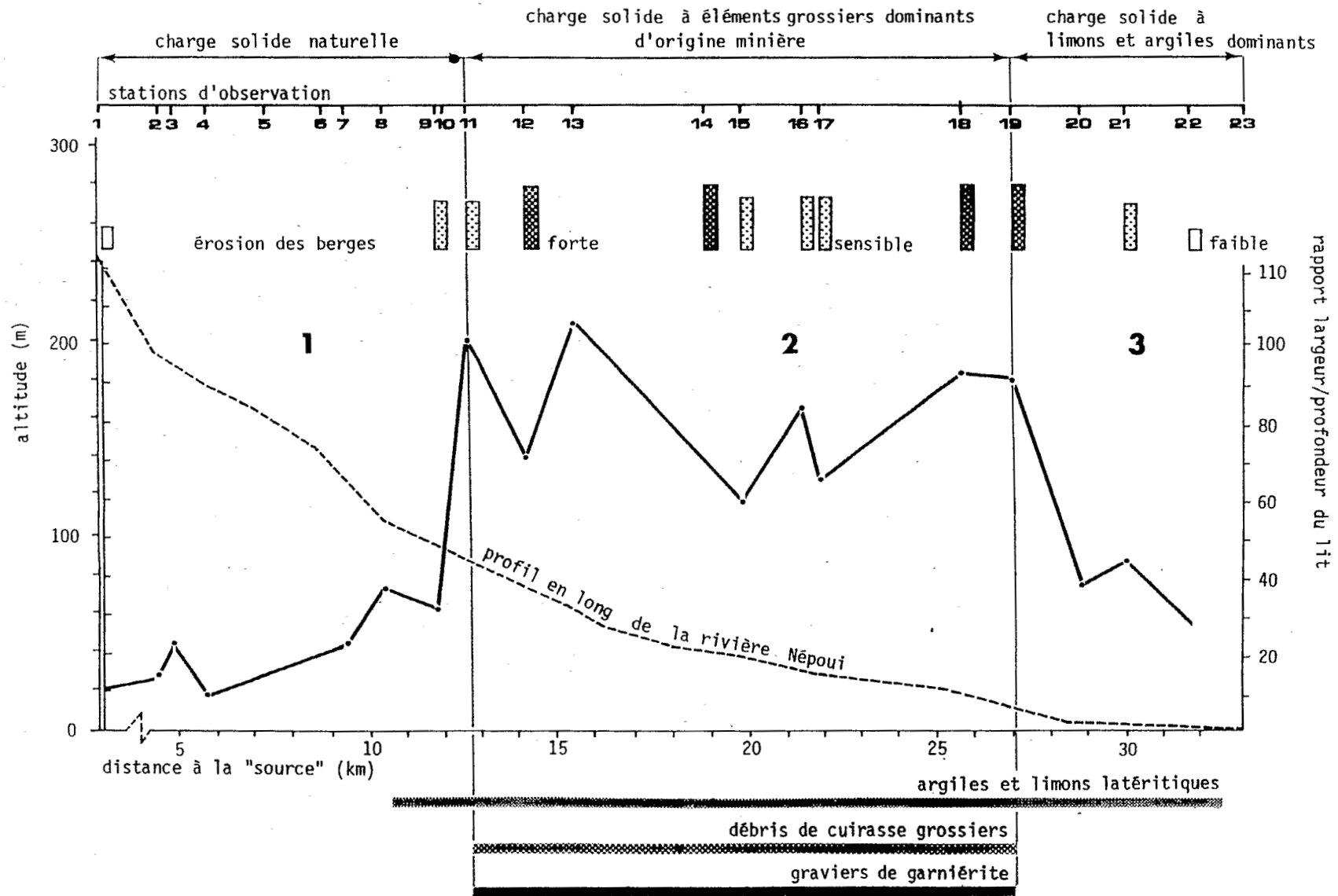


Fig.3 Variation longitudinale du rapport largeur/profondeur du lit actif de la Népoui

II. LES EFFETS SUR LE MILIEU NATUREL

Une grande partie des massifs de roches ultrabasiques et de leur couverture latéritique, les vallées et les plaines alluviales drainées par les eaux provenant de ces massifs et le littoral adjacent à ces secteurs subissent les effets secondaires de l'érosion des terrains miniers. Parmi les modifications qui affectent le milieu naturel, on peut différencier - de façon quelque peu artificielle, tant ils sont interdépendants - les phénomènes géomorphologiques des effets écologiques. Les uns et les autres se manifestent à des degrés d'intensité variables, mais sans prendre pour autant les proportions d'une catastrophe naturelle majeure ni d'une rupture irréversible de l'équilibre morpho- et écodynamique. Trois types de milieux sont concernés : les abords des périmètres miniers, les lits fluviaux et les embouchures de cours d'eau.

A. Les phénomènes géomorphologiques

a) Les pourtours de carrières

Dans le contexte morphoclimatique qui vient d'être décrit, l'érosion linéaire tend à s'emparer facilement des matériaux miniers, notamment des matériaux non stabilisés des décharges "sauvages", à hauteur des têtes de réseau hydrographique. Un appareil torrentiel entièrement anthropique se met en place. Rigoles et ravins apparaissent ou s'élargissent après chaque pluie donnant lieu à du ruissellement. Des cônes de déjection se forment aux points de rupture de pente et aux positions de confluence des axes de drainage.

L'incision et la concentration rapide du ruissellement sont favorisées par l'hétérométrie des déblais. Ces derniers se répartissent sur un large spectre granulométrique : blocs et cailloux de péridotite provenant du régolite, blocs de cuirasse massives, sables de cuirasses pisolithiques, graviers de garniérite (minerai de nickel), argiles et limons à oxy-hydroxydes de fer de la couverture latéritique, etc. Les proportions respectives des éléments fins (<2 mm) et des éléments grossiers varient suivant les conditions de gisement, sinon au sein même d'un gisement, et d'un massif de péridotites à l'autre. Il s'ensuit que le comportement des déblais vis-à-vis de l'érosion varie également d'une décharge à l'autre. Dans le bassin de la Népoui, les résidus fins (issus surtout des horizons latéritiques) représentent globalement près de 38% du poids et 53% du volume total des déblais d'extraction, contre 62% et 47% respectivement pour les résidus grossiers (essentiellement rocheux). Lorsque prédominent les éléments fins et en particulier

les produits de la couverture latéritique, des mouvements de masse (laves torrentielles, coulées boueuses) peuvent se déclencher. En présence d'eau, les oxy-hydroxydes de fer - qui se rangent pour la plupart parmi les limons fins (2-20 microns) ont, en effet, un comportement mécanique et plastique comparable aux matériaux à matrice argileuse.

De façon générale, on assiste, en contrebas des carrières, à la désorganisation du drainage interne du sol. La part de l'infiltration et de l'écoulement hypodermique diminue, ce qui, pour le régime des cours d'eau, entraîne la réduction du temps de montée et du temps de concentration des eaux et l'augmentation des débits de pointe, dans des proportions qui n'ont pas pour le moment, été estimées.

b) Les lits fluviaux

L'augmentation des transports solides est la conséquence première de l'accélération de l'érosion sur les versants. Dans le haut des cours d'eau (axes d'ordre 1 et 2 de Strahler), caractérisé par des lits étroits à berges et à fonds en grande partie rocheux, l'aspect général de la section ne diffère guère de l'état antérieur aux extractions. Par contre, les déblais grossiers, (blocs et galets) s'accumulent en grande quantité dans ces secteurs et leur impriment temporairement une dynamique de lits à fond mobile. Mais un écoulement de forte compétence - une crue cyclonique par exemple - peut inverser la tendance et provoquer l'incision du fond du lit, sinon la vidange complète de la charge déposée antérieurement. Le ruisseau de Tinip, dans le Nord, a été curé ainsi naturellement au début des années quatre-vingts (Bird et al., op. cit.). En règle générale, le régime de l'écoulement est modifié par la présence de matériaux détritiques épais ; celle-ci favorise l'infiltration dans la nappe sous-fluviale et entraîne parfois le tarissement en surface des petits drains.

Quand la pente du lit diminue et que le fond alluvial est "naturel" (axes d'ordre 3 et 4), les eaux se divisent en plusieurs chenaux, parfois anastomosés. Les changements de dimensions du lit ordinaire sont probablement l'effet le plus spectaculaire de ces transferts solides brutaux. Au court pas de temps d'observations de ces phénomènes (une à deux décennies), on constate une tendance à l'exhaussement du fond du lit. Les déblais grossiers remblaient et consolident ce dernier, à la manière d'un pavage. L'énergie du cours d'eau est alors affectée en grande partie à l'érosion latérale. Dans la vallée alluviale de la Népoui, représentative de la plupart des axes de drainage du versant occidental soumis à une augmentation artificielle des charriages de fond, on observe principalement des sapelements. Le matériel des berges s'y prêtant, la

basse terrasse recule de crue en crue et on assiste à un élargissement sensible du lit ordinaire (Iltis et Crozier, 1987). Sur le tronçon où prédominent les déblais transportés au contact du fond, le rapport largeur-profondeur de la section atteint des valeurs deux fois supérieures en moyenne à celles des autres tronçons (fig. 3). Les auteurs précités montrent, dans ce cas, que l'accroissement de la charge solide grossière est effectivement le facteur qui contrôle ces variations de dimensions. Le matériel des berges et les différences de topographie entre la vallée et la plaine ne jouent qu'un rôle secondaire. L'élargissement du lit, bien que démesuré, est conforme aux modifications géométriques que provoquent habituellement des exploitations minières à ciel ouvert, quelles qu'elles soient.

Les crues cycloniques façonnent également le lit d'inondation. Celui-ci est fréquemment recouvert par des particules limoneuses arrachées aux horizons latéritiques. Aux endroits où la couverture herbacée s'interrompt, ces dépôts évoluent en pellicules de battance et réduisent la perméabilité du sol. Par ailleurs, sous l'effet de l'exhaussement du lit mineur, il semble que les cotes d'inondation aient tendance à s'élever et que cette tendance soit d'autant plus marquée que la zone inondable est étroite (cas de certaines vallées du versant oriental, comme celle de Thio). Mais les données fiables font encore défaut dans ce domaine.

Globalement, sur le versant occidental de l'île, on dénombre une vingtaine de bassins dans lesquels la dynamique des cours d'eau a été modifiée de façon apparente par l'accumulation de déblais miniers, et une quinzaine sur le versant oriental (fig. 4). Les portions supérieure et moyenne du lit fluvial, qui subissent l'essentiel des charriages grossiers, sont le plus souvent affectées. Les matériaux transportés en suspension ont un impact restreint à ces niveaux ; par contre ils jouent un rôle primordial dans la dynamique littorale.

c) Les embouchures de rivières

Le contact direct entre des décharges minières et le rivage n'existe qu'en de rares endroits du versant oriental de l'île (région de Poro et de Monéo), où des escarpements littoraux - généralement d'origine tectonique - plongent immédiatement dans le lagon.

La quasi-totalité des déblais qui atteignent la côte transitent par des lits fluviaux, les embouchures et les marais maritimes étant les secteurs où la sédimentation est la plus importante. Sur le versant occidental, où elle s'étend largement, la mangrove joue un rôle essentiel dans la dynamique littorale. Installée en bordure des chenaux fluvio-marins (où les groupes à *Rhizoporas* sont dominants) et

légèrement en retrait (*Avicennia* dominants), elle retient une grande quantité d'éléments en suspension. En revanche, sur le versant oriental, la mangrove est peu développée et on assiste depuis une vingtaine d'années à un engraissement et à une progression nette des constructions littorales, surtout quand la distance entre l'embouchure et les lieux d'extraction est réduite. Mais la mangrove ne peut filtrer toute la charge solide des eaux de crues, même lorsqu'elle est dense. Une partie des éléments fins emprunte les chenaux et se dépose en avant de la limite externe du rideau de végétation, par un effet de floculation dans la zone infratidale. Les bancs de boues latéritiques qui se forment progressivement entraînent l'avancement des constructions deltaïques. Quand le phénomène affecte une portion de plate-forme infratidale étroite et peu profonde, l'envasement est particulièrement rapide. Il se réalise dans le fond de certaines petites baies du versant occidental, comme la baie de Népoui. Il s'accompagne, en général, d'une extension de la mangrove (§ II-B).

A l'exutoire des bassins de petite superficie, on observe d'autres phénomènes : la formation d'un micro-delta aux embouchures qui en étaient dépourvues (ruisseau de Tinip) et, latéralement, de flèches, de cheniers et de plages (ruisseau Bouameu, dans le Nord également, au pied du massif de Kaala-Gomen). A hauteur du lagon, que parcourent des paléo-vallées fluviales façonnées lors des périodes de bas niveau marin du Quaternaire, il semble que ces dernières drainent l'excédent de la charge solide jusqu'aux passes qui entrecourent le récif-barrière (Launay, 1972).

La moitié environ des bassins dont les lits fluviaux ont subi des modifications hydro-géomorphologiques montre également des signes de rupture de l'équilibre morphodynamique littoral : onze embouchures ou marais maritimes sur le versant occidental, onze sur le versant oriental (fig. 4).

B. Les effets écologiques

L'impact écologique du remaniement des déblais miniers peut être évalué dans les termes d'une pollution physique provoquée par un altéragène solide à deux composantes : des éléments grossiers et des boues latéritiques. Etroitement liée aux processus géomorphologiques déclenchés à hauteur et en aval des carrières, cette pollution touche à la fois les écosystèmes fluviaux et littoraux. Mais dans l'état actuel des connaissances, nombre des effets sur la flore et surtout la faune terrestre et marine ne peuvent être estimés.

Le déversement incontrôlé, pendant des années, de grandes quantités de déblais a eu d'abord pour conséquence la destruction sur-

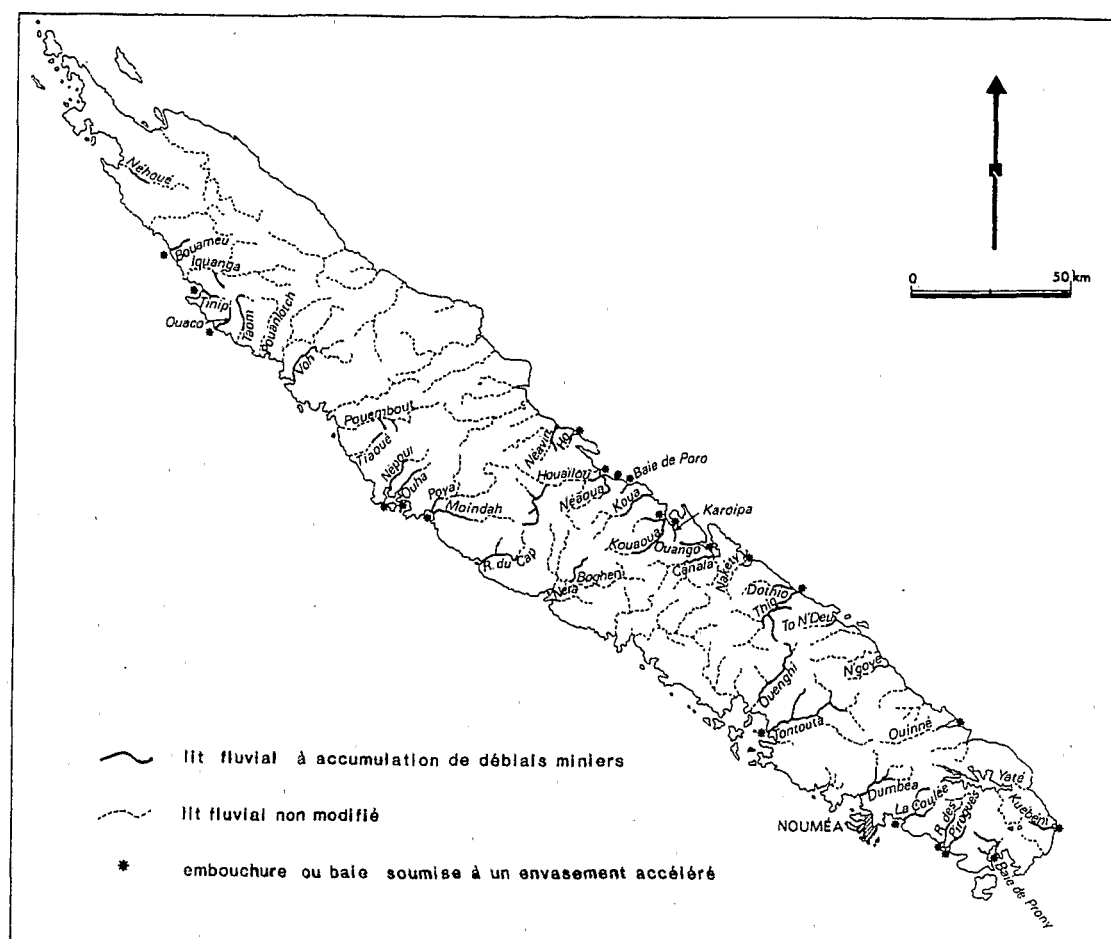


Fig. 4 L'impact des déblais miniers sur le réseau hydrographique et le littoral de la Grande Terre

le-champ de la végétation ou son ensevelissement et son asphyxie. Ce phénomène affecte les groupements ligneux et herbacés, endémiques pour la plupart, des maquis de moyenne et de basse altitude sur les versants, et des forêts humides sempervirentes dans les talwegs (Jaffré, 1980). Les difficultés de la reconstitution naturelle de la couverture végétale et leurs raisons ont été évoquées plus haut. Les mêmes faits ont été signalés dans d'autres régions minières du monde (Jaffré et al., op. cit.). Ces auteurs constatent que les modalités de la reprise, lorsqu'elle s'effectue, diffèrent suivant la composition chimique du substrat : sur une décharge riche en éléments ferro-magnésiens ou un site d'extraction décapé, le taux de recouvrement est de l'ordre de 20% plus de 20 ans après l'arrêt de l'exploitation, tandis que, sur des matériaux latéritiques, il avoisine ce chiffre au bout de 10 ans. Dans tous les cas, la régénération est trop lente pour remédier à l'érosion du sol lors des épisodes cycloniques.

L'aspect de la végétation qui borde le lit ordinaire des cours d'eau est également modifié, bien que de façon moins brutale

qu'aux abords des périmètres miniers. Dans un premier temps, on assiste à l'élimination ou à la régression des peuplements ripicoles sensibles aux crues inondantes, à l'exemple de *Pandanus oblongus*, Pandanacée arborescente des vallées alluviales du versant occidental. Par la suite, la colonisation des bourrelets de crue est relativement rapide. L'espèce ligneuse la plus dynamique semble être *Casuarina collina* ("bois de fer"), qui se développe dans les mois qui suivent l'abandon de la charge alluviale. Dans la vallée de la Népoui, on observe la réinstallation de *Pandanus oblongus* au bout de quelques années. Cette reconquête des terrains jouxtant les berges entraîne une extension longitudinale et latérale de la forêt-galerie. Dans de tels secteurs, dont les ressources agropastorales et forestières sont limitées, cette évolution pourrait être considérée comme favorable si les espèces colonisatrices avaient un intérêt économique ; mais leur productivité est faible en général et elles remplacent des végétaux plus productifs.

Dans le lit majeur, la destruction de jardins vivriers et de cultures commerciales, quoique toujours d'extension assez modeste,

est fréquente, car il recèle des terrains à la fertilité naturelle élevée (sols de basse ou de moyenne terrasse). Cependant, ce secteur étant plus souvent destiné à l'élevage, on observe surtout des signes de dégradation progressive du pâturage. Le processus se manifeste par des troubles de croissance et de nutrition dans la strate herbacée, notamment de *Stenotaphrum secundatum* (Buffalo grass). A terme, cette espèce est remplacée par une espèce de moindre intérêt, *Imperata cylindrica*. D'une façon générale, le point de départ de cette dégradation réside dans la réduction de l'assimilation chlorophyllienne et de l'activité respiratoire des végétaux que provoque le dépôt d'une pellicule de boue latéritique (Jaffré et al., op. cit.).

Le même altérage modifie l'écosystème des embouchures de rivières et des marais maritimes, sinon celui des secteurs adjacents du lagon. La dynamique spatiale de la mangrove, selon les cas récessive, mais surtout progressive, est accélérée. Les cas d'avancement se situent dans la zone deltaïque des bassins hydrographiques du versant occidental possédant une plaine d'inondation suffisamment étendue pour permettre un étalement des crues et une diminution de leur vitesse. A l'embouchure de la Népoui, peu après le démarrage de l'extraction intensive du nickel, la frange externe de la mangrove a conquis un espace intertidal de 3,8 hectares en six ans environ, progressant de 320 mètres dans l'axe du bras principal, et la tendance se poursuit. Cette croissance est liée probablement à l'activité des bactéries sulfato-réductrices de la zone intertidale et à la formation accélérées de minéraux sulfurés, à la suite de la mixtion des sulfates dissous fournis par la mer et de grandes quantités de boues à oxy-hydroxydes de fer. Le phénomène a été signalé ailleurs dans le monde dans différents marais maritimes tropicaux (Marius, 1985). La progression de l'arrière-mangrove d'embouchure est un phénomène plus rare, les palétuviers étant, en règle générale, moins vigoureux à l'arrière des chenaux deltaïques et sur les bancs médians. En revanche, plusieurs cas de destruction mécanique, partielle et sporadique, de l'arrière-mangrove ont été observés à l'exutoire de petits bassins-versants à régime torrentiel (moins de 10 km²) dont la plaine littorale est trop étroite pour écrêter la crue ou stopper l'entraînement des déblais miniers grossiers : dans la baie de Poum, au pied du massif du même nom, et à l'embouchure de l'Oué Bouameu, citée plus haut, situées dans le Nord toutes les deux (Bird et al., op. cit.).

Dans la zone infratidale, il se pose la double question de l'influence sur la faune et la flore de la turbidité, parfois rémanente, des

eaux littorales et de la sédimentation des matériaux terrigènes. L'ambiguïté du problème de la coloration des eaux issues des massifs de roches ultrabasiques et chargées en particules ferrugineuses en suspension, a été soulignée en son temps (Trescases, 1975). Ceci étant, il ressort des témoignages, quelquefois contradictoires, des riverains et des plongeurs - et qui n'ont pu être encore exactement recoupés par les biologistes -, diverses appréciations sur la diminution des stocks de poissons, de mollusques et de crustacés et, en ce qui concerne les biotopes coralliens, des considérations sur des réactions variables suivant les espèces.

Dans l'immédiat, les répercussions sur l'environnement du remaniement des déblais miniers excèdent largement l'incidence économique du problème. L'ampleur des processus d'érosion et des perturbations écologiques en témoigne. Mais ces phénomènes ne constituent pas réellement, à l'heure actuelle, un obstacle à la mise en valeur des ressources agropastorales, forestières et halieutiques dans la mesure où celles-ci ne sont pas exploitées de manière intensive. La perspective d'une crise est écartée pour l'instant en raison de la faiblesse de la demande locale en produits de cette nature - faiblesse liée à la fois aux particularités de la structure socio-économique et au sous-peuplement de l'archipel (8 habitants au km², moins de 4 en zone rurale), ainsi qu'à des pratiques d'importation quasi-systématiques. Par delà ces facteurs, se pose la question de la réversibilité des phénomènes de rupture d'équilibre de l'environnement. Dans les secteurs encore dépourvus d'ouvrages de protection contre l'érosion, la réponse est probablement négative à notre échelle de temps. Le processus est d'ailleurs susceptible de s'aggraver localement en raison de l'endémisme du risque cyclonique. Faute de moyens, la plupart des exploitations abandonnées après le "boom du nickel" ne font l'objet d'aucune mesure de défense. De même, il sera bientôt nécessaire d'entretenir les ouvrages de protection dans les bassins-versants aménagés, et notamment les barrages de décantation en fond de vallée, dont la durée de fonctionnement est limitée.

Plus généralement, dans toute perspective d'exploitation des ressources naturelles du domaine montagneux des îles et péninsules de la zone indo-pacifique, il convient de percevoir l'extrême vulnérabilité de l'environnement terrestre et de ses marges. L'aggravation des risques que provoque la conjonction des contraintes naturelles - dont la plus apparente est le passage relativement fréquent de cyclones tropicaux - et d'interventions humaines inopportunes est responsable de cette fragilité. Divers secteurs

de cette zone sont confrontés à des déséquilibres géodynamiques créés par des extractions minières à ciel ouvert. En revanche, les lieux qui, à l'exemple de la Nouvelle-Calédonie, sont soumis à un double impact, terrestre et marin, sont peu nombreux. En Papouasie-Nouvelle Guinée, une partie de l'île de Bougainville et la baie de l'Impératrice Augusta sont ravagées par les déblais des mines de cuivre (Brown, 1974). Dans la partie

péninsulaire de la Malaisie (provinces de Kelantan et Trengganu), l'exploitation du minerai d'étain influence la morphogénèse fluviale et littorale et entraîne des perturbations écologiques, accompagnées de préjudices économiques (Douglas, 1967). Enfin aux Philippines, l'île de Luçon et la baie de Larap subissent l'impact des résidus d'exploitation du fer (Rabanal et Datingling, 1973).

	EFFETS GEOMORPHOLOGIQUES	EFFETS ECOLOGIQUES
VERSANT A DECHARGES MINIERES NON CONTROLEES	- Désorganisation du drainage interne du sol - Formation d'un appareil torrentiel : rigoles, ravins, cônes de déjection - Mouvements de masse : coulées boueuses, laves torrentielles	- Destruction ou asphyxie de la végétation : forêt humide sempervirente, maquis de basse et moyenne altitude - Reconstitution très lente, variant suivant le substrat
LIT FLUVIAL	LIT ORDINAIRE : - Encombrement par des éléments grossiers (blocs, galets) - Petits drains : extension de la nappe sous-fluviale, tarissement - Drains d'ordre supérieur : sapements de berges, recul de la basse terrasse, élargissement du lit LIT D'INONDATION : - Dépôt de fines - Diminution de la perméabilité du sol	- Destruction ou régression des peuplements ripicoles sensibles. Ex : Pandanus oblongus - Colonisation rapide des levées alluviales par Casuarina collina ("Bois de fer") - Réapparition de Pandanus oblongus, plusieurs années après Casuarina - Extension de la forêt-galerie - Dégradation du pâturage: remplacement de Stenotaphrum secundatum (Buffalo grass) par Imperata cylindrica
EMBOUCHURE	- Filtrage par la mangrove d'une partie de la charge solide - Dans l'axe des chenaux fluvio-marins, formation de bancs de boues sur les vasières - Envasement des fonds de baies - Turbidité, quelquefois rémanente, dans la zone infratidale	- Progression de la couronne externe de la mangrove (Rhizophoras dominants) - Quelques cas de progression de l'arrière-mangrove (Avicennias) - Incidences faunistique et floristique mal connues, notamment sur les biocénoses et biotopes coralliens

TABL. 2 PRINCIPAUX EFFETS DU REMANIEREMENT DES DEBLAIS MINIERES

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Atlas de la Nouvelle-Calédonie - 1981. Types de temps et cyclones - planche n° 10. Eléments généraux du climat - planche n° 11. Hydrologie planche n° 12. Géomorphologie - planche n° 13. ORSTOM, Paris, 53 planches et notices explic.
- Baltzer (F.) - 1982. "Géodynamique de la sédimentation et diagénèse précoce en domaine ultrabasique (Nouvelle-Calédonie)". *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, n° 152, 283 p.
- Baltzer (F.) et Trescases (J.J.) - 1971. "Erosion, transport et sédimentation liés aux cyclones tropicaux dans les massifs d'ultrabasites de Nouvelle-Calédonie." *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. III, n° 2, pp. 221-244.
- Bird (E.C.F.), Dubois (J.P.) et Ittis (J.) - 1984. "The impacts of opencast mining on the rivers and coasts of New Caledonia." *United Nations University Publications*, NRTS-25/UNUP-505, 53p., Tokyo.
- Brown (M.J.F.) - 1974. "A development consequence. Disposal of mining waste on Bougainville, Papua New Guinea." *Geoforum*, 18, pp. 19-27.
- Douglas (I.) - 1967. "Natural and man-made erosion in the humid tropics of Australia, Malaysia and Singapore." *Public. Int. Assoc. Sci. Hydrol.*, Berne, n° 75, pp. 17-30.
- Ittis (J.) et Crozier (M.J.) - 1987. "Conséquences géomorphologiques des crues cycloniques en Nouvelle-Calédonie. Le cas de la rivière Népoui." Actes du Colloque de Strasbourg (16-18 oct. 1986), Crues et Inondations, pp. 261-278, Univ. Louis Pasteur, C.E.R.E.G., Strasbourg.
- Jaffre (T.) - 1980. "Etude écologique du peuplement végétal des sols dérivés de roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie." *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, n° 124, 273 p.
- Jaffre (T.), Latham (M.) et Schmid (M.) - 1977. "Aspects de l'influence de l'extraction du minerai de nickel sur la végétation et les sols en Nouvelle-Calédonie." *Cah. ORSTOM, sér. Biol.*, vol. XII, n° 4, pp. 307-321.
- Launay (J.) - 1972. "La sédimentation en baie de Dumbea (côte ouest de la Nouvelle-Calédonie)." *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. IV, n° 1, pp. 25-51.
- Marius (C.) - 1985. "Mangroves du Sénégal et de la Gambie. Ecologie, pédologie, géochimie, mise en valeur et aménagement." *Travaux et documents de l'ORSTOM*, n° 193, 357 p.
- Rabanal (H.R.) et Datingaling (B.Y.) - 1973. "Problems of pollution and siltation from mines in some Philippine waters." In : Costin (A.B.) and Groves (R.H.), Eds, *Nature conservation in the Pacific*, pp. 263-270, Australian National University Press, Canberra.
- Trescases (J.J.) - 1975. "L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale." *Mémoires ORSTOM*, n° 78, 259 p.

F14

IVe Colloque de l'ASSOCIATION FRANCAISE DE
GEOGRAPHIE PHYSIQUE

Paris 5 et 6 juin 1986

CLIMAT
ET
RISQUES NATURELS

AFGP, 191 rue Saint-Jacques, 75005, Paris

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 40452 ex 1

Cote : B

27.9.94

M P49