

Classification et quantification des phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation sur les bassins touchés par l'exploitation minière en Nouvelle-Calédonie

Joël DANLOUX (1) et Richard LAGANIER (1)

RÉSUMÉ

Après une présentation de la situation et de la géologie des massifs de péridotite et des conditions de gisement et d'exploitation ancienne ou récente des garniérites, un premier essai de classification des différentes morphologies est tenté à partir de l'imagerie Spot.

Les grandes perturbations tropicales (cyclones et sécheresses pluriannuelles), qui conditionnent le régime hydrologique des rivières de Nouvelle-Calédonie, et les différentes phases d'activité minière sont mises en correspondance avec les variations des exportations de matières, mesurées sur les bassins de la Pouembout et de la Ouenghi. L'analyse des imageries satellitaires et aériennes permet par ailleurs de montrer l'évolution des morphologies fluviales et littorales (méandres de la Thio, évolution des deltas de la Thio et de la Ouenghi).

De ces bilans et analyses et de l'examen de quelques situations, il ressort que les engravements de certaines rivières ne peuvent que se poursuivre même si les conditions d'exploitation ont profondément changé et ne sont pas à l'origine de toutes les pollutions.

MOTS CLÉS: Hydrologie — Crue — Turbidité — Télédétection — Sédimentation fluviale — Environnement — Mine — Erosion — Nouvelle-Calédonie.

ABSTRACT

EROSION AND SEDIMENTATION IN BASINS AFFECTED BY MINING IN NEW CALEDONIA

The opencast nickel mining of ultrabasic mountains in New Caledonia provoked geomorphological and ecological consequences, especially during cyclonic rains. After a discussion of the geology of the mountains, of the seam conditions and past and recent "garnierite" ore exploitation, a classification of the different surface states is being tested from Spot imagery.

The tropical perturbations (cyclone and multiannual drought) which condition the hydrological regime of New Caledonia rivers and the different phases of opencast mining are compared with the suspended load variations, measured in the Pouembout and Ouenghi catchments.

In addition, the analysis of air photography and satellite imagery demonstrates fluvial and coastal geomorphological changes (creation of the Thio meanders, evolution of the Thio and Ouenghi deltas). This study shows that evolution of the exploitation conditions leads to a decreasing number of pollution causes, while alluviation continues.

KEY-WORDS: Hydrology — Flood — Turbidity — Remote sensing — Fluvial sedimentation — Environment, — Mining — Erosion — New Caledonia.

INTRODUCTION

Dans une approche globale et intégrée de la gestion du milieu physique, un des objectifs consiste à identifier les formes de dégradation des terres, leur évolution et à quantifier les phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation.

(1) Orstom, centre de Nouméa, 101, Promenade Roger-Laroque, Anse Vata, BP A5, Nouméa Cedex.

La télédétection spatiale et aérienne peut s'avérer un outil apte à caractériser spatialement l'environnement en terme de déséquilibre du milieu, en permettant d'obtenir à la fois une vision synoptique des manifestations morphodynamiques et une vision diachronique adaptée à leur caractère évolutif.

Par l'étude des transports solides en suspension des cours d'eau, il est possible de dégager un ordre de grandeur des érosions spécifiques et de juger des effets de l'activité minière ancienne ou récente.

Ces travaux ont été menés sur plusieurs bassins-versants de Nouvelle-Calédonie (Ouenghi, Pouembout et Thio), plus ou moins affectés par l'exploitation minière.

LA CONJUGAISON DES FACTEURS DE DÉSÉQUILIBRE

Les déséquilibres du milieu relèvent de causes complexes fondées sur la convergence de deux séries de paramètres, les uns propres au milieu naturel (dynamique climatique et évolution géomorphologique), les autres induits par l'anthropisation du milieu.

LES CONTRAINTES CLIMATIQUES

Le régime pluvial de la Nouvelle-Calédonie, caractérisé par une saison chaude et pluvieuse de novembre à avril, dépend essentiellement de variations en latitude de la zone de convergence intertropicale et des cellules anticycloniques subtropicales qui l'encadrent. Ce régime, de caractère tropical océanique sur sa façade est (alizés de secteurs est à sud-est), peut être sérieusement perturbé:

- par des effets orographiques, les hauteurs de pluie annuelles, de l'ordre de 2 à 3 m sur la côte est et de 1 m sur la côte ouest, atteignant 5 à 10 m sur certains sommets de la chaîne centrale;
- par le passage des dépressions et cyclones tropicaux qui peuvent intéresser toute l'île;
- par les grandes variations hydroclimatiques qui affectent le Sud-Ouest Pacifique (sécheresses pluri-annuelles).

Les précipitations cycloniques

Dans le Sud-Ouest Pacifique — l'une des régions les plus touchées par les cyclones — on compte en moyenne et par an 8 à 9 dépressions tropicales, dont près de 16% affectent les secteurs nord et est de Nouvelle-Calédonie et dans une moindre mesure le secteur ouest.

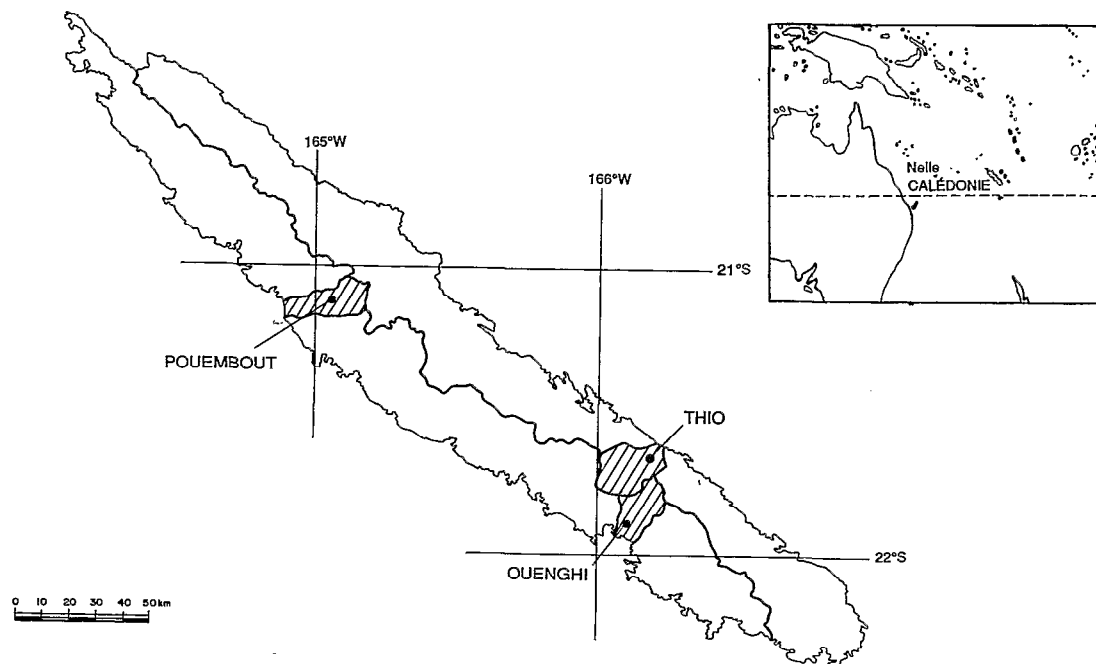


FIG. 1. — Nouvelle-Calédonie: carte de situation.

Si les intensités horaires n'atteignent pas des valeurs très exceptionnelles (maximum relevé 123 mm/h), les pluviométries journalières les plus fortes voisinent les records mondiaux (1 690 mm à Haut-Coulna le 24/12/1981 pour le cyclone Gyan).

L'importance de ces pluies explique les phénomènes de déstabilisations (loupes de glissement), que l'on observe sur certains versants lors d'un épisode cyclonique particulièrement violent (bassin de la Tontouta - cyclone Anne).

Les crues cycloniques

Suivant la trajectoire des dépressions ainsi que la répartition (anneau tourbillonnaire et bandes extérieures) des masses nuageuses et leur stationnement, les rivières peuvent rouler des volumes énormes de crue.

La Pouembout, rivière du versant ouest, contrôlée à l'issue d'un bassin de 176 km² a ainsi, pour le cyclone Gyan, évacué en moins de 48 h plus de 60 millions de m³, plus que l'écoulement de deux années sèches successives.

Sur cette même Pouembout, les 19 plus forts débits journaliers relevés pour la période 1975-1984 représentent à eux seuls 32% de l'écoulement.

Si les maximums de crue atteignent sur certains bassins des valeurs fantastiques (plus de 30 m³/s/km²), les volumes ruisselés et les débits spécifiques de crue des bassins plus perméables sur péridotite sont heureusement plus faibles.

TABLEAU I
Caractéristiques des crises cycloniques

	Volume ruisselé (Vr) - 10 ⁶ m ³	Hauteur ruisselée (Hr) - mm	Débit maximal spécifique - l/s/km ²	Q MAXr/Vr 10 ⁴	Événement
La Thio à St Michel 350 km ²	119	341	7 140	19	Cyclone Gyan
	89	253	9 090	30	Cyclone Anne
La Ouenghi à la RT1 245 km ²	105	429	8 450	18	Cyclone Alison
	59	240	6 780	23	Cyclone Gyan
	55	224	6 860	28	Cyclone Anne
La Dumbea est au barrage 56 km ²	18	329	21 430	65	Cyclone Colleen

L'ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE

La nappe des péridotites qui recouvre un tiers du bâti calédonien est constituée de roches ultrabasiques (harzburgites principalement) très fortement tectonisées (écaillages et accidents cassants).

Leur position souvent haute (le massif du sud culmine à 1 618 m, et le plus élevé des massifs isolés à 1 508 m), une fracturation intense et de nombreux accidents, marqués par des hourrages de serpentines mylonitiques, ont favorisé sous climat tropical le lessivage et une profonde altération de ces roches.

Bien que des phases de soulèvements et de basculements aient été mises en évidence, une série de mouvements tardi-tectoniques sur un ensemble aplané ne suffit pas à expliquer les très nombreux étagements (plateaux, terrasses, gradins et replats de versants) observés dans ces massifs.

Si les grandes lignes du relief actuel semblent liées essentiellement aux mouvements tectoniques postérieurs à la mise en place de la nappe des péridotites, le modelé de surface, si caractéristique de ces formations, paraît se développer, même sous le climat actuel, à tous les niveaux d'altitude dans la mesure où les conditions de drainage vertical prédominent.

L'altération des roches ultrabasiques

Les conditions de gisement des minerais de nickel (garniérites) dépendant des conditions d'altération des péridotites, de très nombreux travaux ont décrit ces altérites dont on retrouve les différents horizons plus ou moins développés à 150 comme à 1 500 m (Kouakoué) d'altitude.

Sur une roche saine de densité 2,7 à 2,8 toujours très fracturée (diaclasses, fissures plus ou moins largement ouvertes) le profil type comporte :

- une péridotite décomposée à structure conservée et avec blocs non altérés;
- une altération terreuse silicatée (sapolites) de densité 1,4 à 1,7;
- des «latérites» jaunes parfois très épaisses (plusieurs dizaines de mètres), constituées essentiellement d'hydroxydes de fer et de densité 0,8 à 1,1.

Le soutirage étant essentiellement vertical, l'hydrolyse des principaux minéraux (péridots et orthopyroxènes) aboutit :

- à des dépôts massifs de magnésium et de silice dans les eaux qui ne sourdent normalement qu'au contact de roches moins fracturées (filons de gabbros) et moins perméables (serpentes de la semelle des massifs);
- à des réductions locales de volume et à la formation de zones plus déprimées, avec une nappe phréatique perchée temporaire parfois subaffleurante, où se concrétionnent les hydroxydes de fer («latérites» rouges plus ou moins gravillonnaires, grenailles) et où vont se développer les premières cuirasses.

Le modelé des roches ultrabasiqes

Avec le temps, et bien qu'en aucun cas on aboutisse à des dissolutions et à des circulations souterraines aussi importantes qu'en massif calcaire, le modelé de surface va rappeler certains reliefs karstiques :

- «lapiez» des sommets (Humboldt, Kouakoué);
- replats et «dolines» en terrasses emboîtées des versants et des plateaux, où un concrétionnement important et parfois ancien peut conduire à des inversions de reliefs (croupes à grenaille et vestiges de cuirasse, plateaux cuirassés avec pointements de roches dures);
- grandes dépressions fermées et reliefs résiduels des zones basses du sud (plaine des Lacs).

L'érosion mécanique naturelle

Contrairement aux zones karstiques, l'érosion mécanique s'exerce dans ces massifs aux pentes escarpées, là où les eaux peuvent se reconcentrer à la faveur d'épisodes pluvieux intenses :

- à la périphérie des cuirasses de plateaux, quand les cloisons rocheuses (filons, etc.) qui isolent ces unités ont disparu (démantèlement des cuirasses, colluvionnement des latérites);
- sur les péridotites décomposées des versants souvent très raides (pentes dépassant fréquemment 40 %), ainsi que dans certaines zones très tectonisées (arrachements);
- au niveau des chenaux d'écoulement (sapement des berges).

L'érosion mécanique y demeurerait toutefois beaucoup plus faible que sur d'autres formations (formation à charbons du Crétacé supérieur notamment), si certaines actions anthropiques (destructions de la forêt par le feu, ouvertures des pistes et exploitations minières) n'avaient amené un profond bouleversement de ce milieu.

L'ANTHROPISATION DU MILIEU

Les feux et l'agriculture

L'action répétée des feux détruit la végétation protectrice du sol. Les raisons actuelles de ces incendies multiples relèvent à la fois de pratiques agricoles (nettoyage du terrain pour une culture ou un pâturage) et de la chasse (préparation des pâturages pour les cerfs). Dans les deux cas, aucun contrôle n'est effectué et il en résulte une modification des formations végétales, un maquis secondaire se développant au détriment du maquis climacique préexistant ou de la forêt.

La valorisation agricole des terres peut être également un facteur aggravant d'érosion avec :

- l'usage de gros engins (bulldozer) gommant les fossés collecteurs des eaux de pluies;
- les labours suivant la ligne de plus grande pente;
- des irrigations mal contrôlées.

Les conditions d'exploitation anciennes et récentes des garniértes

Les gisements de nickel ont fait l'objet d'une exploitation dès la fin du XIX^e siècle par le creusement de galeries souterraines (1875-76), très vite relayées par des carrières (1888). L'extraction et le triage s'effectuaient alors manuellement, les «veines» à haute teneur en nickel (10 à 15%) et proches de la surface étant les seules exploitées.

Avec la mécanisation des moyens de production après la seconde guerre mondiale (premier trommel en 1948, camions de 20 t en 1949, première pelle diesel en 1950) et la possibilité d'exploiter des gisements plus profonds mais moins riches (2 à 5%) dans les saprolites, le matériel résiduel (cuirasses, latérites et blocs rocheux non minéralisés) s'est considérablement accru.

En 1979, on comptait pour 1 tonne de minerai marchand 2,1 tonnes de produits stériles à mettre en décharge (dont 0,8 de latérites), et pour une production de 1 million de tonnes, un décapage de 22 ha.

Jusqu'en 1972, à l'exception de quelques sites de plateau (Thio, Do Thio) et afin d'éviter des travaux importants de découverte, de nombreux petits gisements ont été exploités sur les versants, dans des conditions qui se sont révélées

par la suite extrêmement néfastes, tant par les moyens employés (ouvertures et décapages au bulldozer) que par les méthodes d'exploitation (décharges incontrôlées, flancs et niveaux d'extraction non protégés).

L'apparente consistance des latérites a permis notamment l'édification avec les déblais de talus à très fortes pentes (jusqu'à 70%), qui peuvent tenir des années durant, jusqu'à ce que des pluies particulièrement intenses et longues et un ruissellement plus concentré aboutissent au ravinement (érosion linéaire) ou à la remobilisation (glissement) de ces décharges avec parfois de véritables coulées de laves torrentielles.

Depuis, et avec l'ouverture de grands gisements à fort recouvrement latéritique, des exploitants comme la SLN (société métallurgique Le Nickel) ont conçu de nouvelles méthodes, beaucoup plus coûteuses mais efficaces :

- routes ouvertes à la pelle avec conservation d'un merlon de terrain naturel et mise en décharge des produits extraits. Décanteurs en amont de barrages filtrants (blocs rocheux);
- niveaux d'exploitation ouverts avec conservation d'un merlon de terrain naturel. Bassins évacuateurs et barrages filtrants de blocs rocheux (stériles primaires);
- produits latéritiques compactés et stockés en décharge sur des anciens niveaux d'exploitation, protégés de tout ruissellement amont et avec un talus aval constitué de stériles rocheux.

Conclusion

La conjonction de ces différents facteurs (précipitations et crues importantes, fortes pentes et niveaux épais d'altération, fragilisation du milieu par anthropisation) engendre une instabilité du milieu. Ces déséquilibres s'expriment dans le paysage par des cicatrices qui sont autant de discontinuités; pour comprendre leur organisation spatiale et leur dynamique, il est nécessaire de les identifier, de les localiser (cartographie des états de surface) et de les quantifier (mesure des transports solides et évolution des morphologies fluviales).

LES MODALITÉS DE L'ÉROSION ACTUELLE

ESSAI DE CARTOGRAPHIE DES ÉTATS DE SURFACE PAR TÉLÉDÉTECTION SPATIALE ET RECONNAISSANCE DES SOURCES MAJEURES D'ÉROSION

Les méthodes d'exploitation et d'analyse

Les données numériques, acquises par le satellite d'observation de la Terre Spot, ont été traitées avec le progiciel Carto-PC (Guide d'utilisation du progiciel Carto-PC, 1989) pour les travaux de correction et d'analyse.

Pour le rétablissement des données numériques dans un format et une géométrie conformes à une projection cartographique ou à une autre image, la méthode classique des points d'appui ou amers est ici employée.

L'établissement d'une classification non supervisée (classification ascendante hiérarchique) utilise l'algorithme décrit par JAMBU, et procède pour cela en 2 étapes (RICHARDS, 1986). Dans un premier temps, les distances mutuelles des N points du nuage sont calculées dans un espace à deux dimensions (les deux premiers facteurs de l'analyse en composantes principales), la distance choisie étant la distance euclidienne. A chaque itération, le couple de points donnant la plus petite distance est recherché. Les deux points, dont la distance est minimale, sont agrégés puis remplacés par leur barycentre. Le nombre de points du nuage est donc réduit de un à chaque itération, et le programme continue jusqu'à n'avoir plus qu'un point dans le nuage. L'analyse de l'arbre d'agrégation qui représente l'ensemble des itérations permettra de choisir le nombre de classes et d'effectuer les regroupements que l'on souhaite, en affectant une couleur à chacune des classes ainsi formées. L'identification des classes se fait donc *a posteriori*.

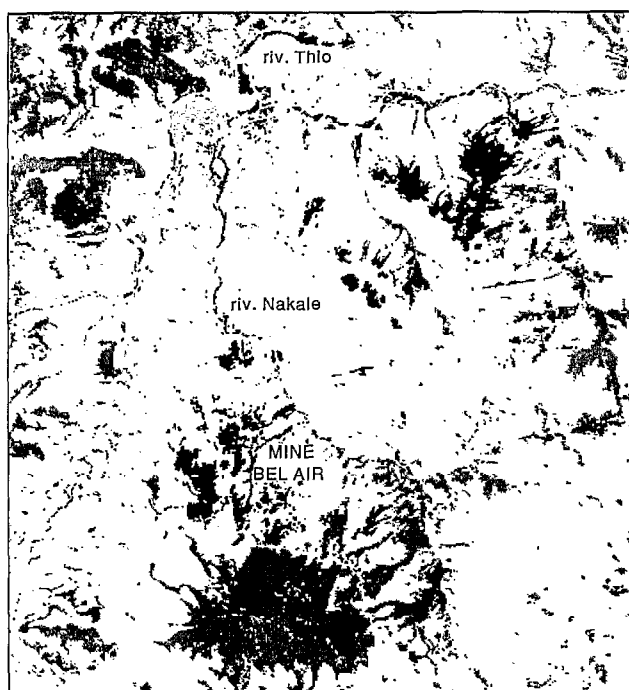
Les exemples de classification

Différents états de surface se dégagent ainsi de ces premiers traitements de l'image Spot du 9 octobre 1986 (bassin-versant de la Thio, secteur des mines Bel Air et Bornet): mines et alluvions, prairies et champs cultivés, savanes et maquis minier, forêts.





La recherche d'une distinction entre alluvions et zones d'extractions minières a conduit ensuite à l'analyse de leurs signatures spectrales, à partir de parcelles représentatives des différents états de surface définis, et à un classement supervisé des données numériques utilisant l'algorithme des probabilités conditionnelles (méthode de Bayes).

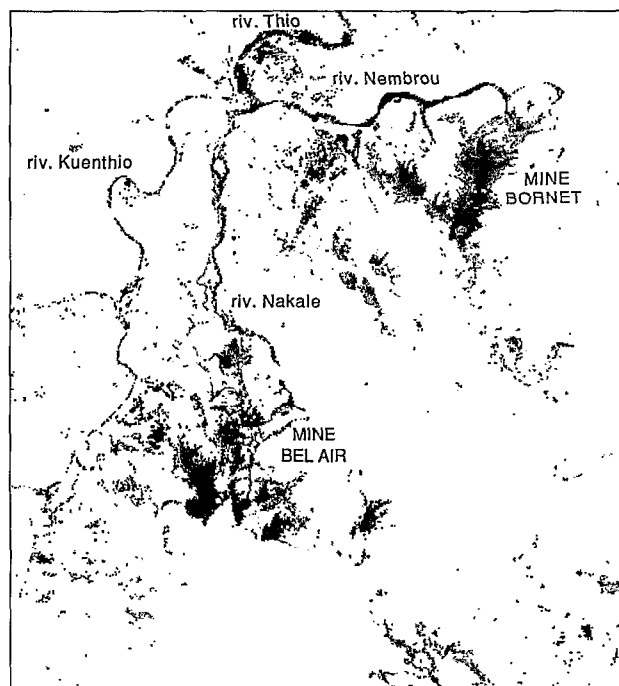
Si les espaces miniers sont relativement bien individualisés, la classe «alluvions» présente quelques erreurs, d'autres types de milieux (champs, zones dégradées par les feux) pouvant lui être rattachée.

Les figures 2 et 3 illustrent bien ce qu'il est possible, après quelques contrôles de terrain, de cartographier automatiquement et de comparer à des situations plus anciennes (données topographiques de 1955) ou plus récentes (images postérieures au cyclone Anne - janvier 1988).



CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE : MINE BEL AIR

-  prairies et champs cultivés
-  savanes et maquis minier
-  forêts
-  mines et alluvions



CLASSIFICATION SUPERVISEE : MINE BEL AIR



-  alluvions
-  zones d'extractions minières

FIG. 2 et FIG. 3. — Classification non supervisée et supervisée des secteurs des mines Bel Air et Bornet (9 octobre 1986).

Dans ce secteur fragilisé par l'ouverture des mines, les surfaces dégradées ou remaniées apparaissent assez nettement, qu'il s'agisse des plates-formes et des pistes d'accès ou des déblais, ou encore des zones d'érosion ou d'alluvions.

Si mines et alluvions récentes présentent parfois les mêmes signatures spectrales, leurs localisations et leurs formes permettent de différencier :

- les plates-formes minières, grands replats en altitude;
- les décharges encore peu actives, étroites en pied et à la périphérie des plates-formes;
- les ravines actives au tracé linéaire entre plate-forme et vallée alluviale;
- les glissements, comparables aux cônes torrentiels de déjection;
- les zones de redépôt dans les principales rivières (Nakalé et Nembrou).

LES FLUX DE MATIÈRES

La quantification de l'érosion implique l'évaluation correcte sur une assez longue période des exportations, qu'il s'agisse des transports en suspension ou par charriage ou des flux des matières dissoutes.

Les méthodes et les objectifs

Le programme de mesures s'est déroulé dans deux secteurs distincts, mais complémentaires :

- l'un à la sortie du bassin de la Ouenghi, en majeure partie sur roches ultrabasiques et ce, durant toute la période (1974-1982) de reprise de l'activité minière (exploitation modèle au Kongouhaou);
- l'autre sur la vallée de la Poumbout à vocation agricole affirmée, mais dont certains affluents drainent des horizons très vulnérables à l'érosion (formations terrigènes à charbons du sous-bassin de la Poualoo), comme d'anciens

secteurs miniers (massif du Paéoua - ruisseau de la Mine) ou des massifs peu touchés (prospection du Kopéto ouest - rivière Kopéto) ou encore épargnés par l'exploitation (Kopéto est - rivière Papainda).

Les très gros matériaux ne se déplaçant qu'avec retard, seules les exportations de matières en suspension ont été réellement suivies durant plusieurs années et au cours des événements cycloniques les plus importants :

- prélèvements réguliers en un point donné en vue de la détermination des variations de concentration dans le temps;
- mesures des débits solides, associant mesures des concentrations et des vitesses sur une section et pour des hauteurs données;
- établissement des étalonnages débits liquides - débits solides (cf. fig. 4).

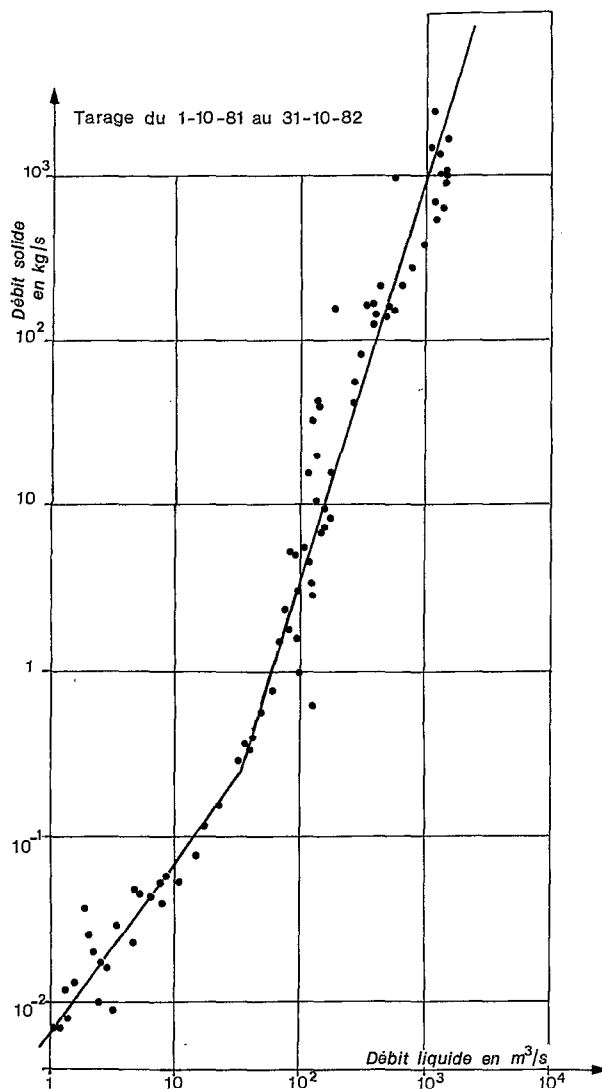


FIG. 4. — La Ouenghi au pont de la RT1. Relation entre débit liquide et débit solide.

La répartition des flux particuliers dans le temps

Liés aux fortes irrégularités pluviométriques, les débits solides peuvent être quasiment inexistants pendant plusieurs années déficitaires et présenter de très fortes valeurs au cours de quelques crues, qui vont permettre une remobilisation plus ou moins complète des dépôts (déblaiement des accumulations sur glacis et piedmonts, sapement des berges).

Ainsi pour la Ouenghi, plus de 94% des suspensions transportées en 9 ans l'ont été à la faveur des 6 crues les plus importantes de cette période (tabl. II et IV).

TABLEAU II
Bilan annuel des transports solides en suspension

	Année	Module Qm ³ /s	Débit maximal journalier DC1 Qm ³ /s	Débit solide moyen Kg/s
<i>Pouembout</i> Radier route Forêt-plate	1975-76	6,9	349	>3,88
	1976-77	0,47	8	0,01
	1977-78	1,41	71	0,17
	1978-79	1,03	35	0,07
	1979-80	1,12	30	0,10
	1980-81	2,3	147	1,06
<i>Poualoa</i> Cote 117	1981-82	6,69	730	10,8
	1978-79	0,36	11	0,01
	1979-80	0,39	11	0,01
	1980-81	0,66	49	0,15
<i>Ouenghi</i> RT1	1981-82	2,13	233	4,04
	1973-74	12,1	1 250	>8,23
	1974-75	14,8	925	6,33
	1975-76	14,5	934	3,27
	1976-77	2,76	21	0,03
	1977-78	7,58	401	1,44
	1978-79	3,7	85	0,07
	1979-80	4,22	52	0,12
	1980-81	7,23	718	1,72
1981-82	11,3	821	1,92	

Les débits solides d'une année n'étant le plus souvent dus qu'à une forte crue, des relations assez nettes se dégagent par bassin et par période entre suspensions annuelles exportées et débits liquides maximums journaliers (fig. 5).

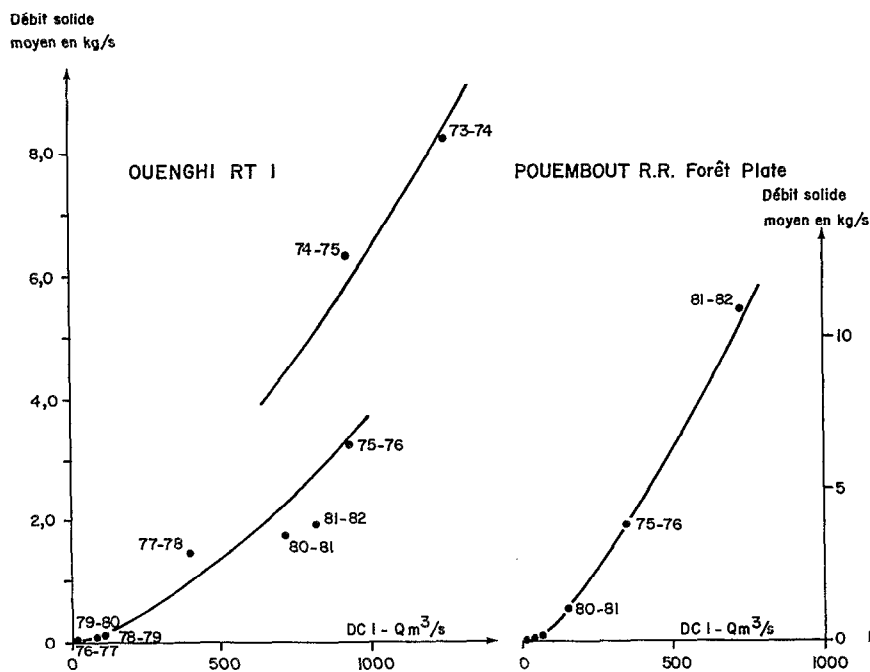


FIG. 5. — Relations entre débit solide moyen annuel et débit journalier maximal.

Ce type de régime, comparable à celui des régions semi-arides de la bande intertropicale, est d'autant plus accentué que la faible couverture végétale (savane arbustive, maquis minier) ne se modifie guère au cours de l'année et que les terrains sont plus érodables (cf. sous-bassin Poualooa).

Les transports particuliers et les érosions spécifiques

Le bilan des exportations (tabl. III) des trois sous-bassins de Pouembout, observés durant deux années, montre bien la faiblesse des transports en suspension sur les bassins en partie sur péridotite, mais épargnés par l'activité minière (Kopéto, Papainda) et l'importance des dégradations sur un bassin comme celui de la Poualooa, où les bad-lands de la formation à charbons sont assez largement représentés.

TABLEAU III
Bassin Pouembout. Dégradations spécifiques (en t/ha).

Année	Poualooa Cote 117 A = 42,1 km ²	Kopéto Cote 55 A = 13,1 km ²	Papainda Cote 50 A = 9,16 km ²
1980-81	1,2	0,5	0,2
1981-82	30,2	3,5	2,4

Les effets de l'activité minière sur le régime des transports en suspension

Une augmentation des transports solides apparaît dès les premiers travaux de prospection (ouvertures de piste, premiers décapages), comme l'indiquent les dégradations relevées sur le bassin Kopéto (tabl. III).

Le suivi de la Ouenghi dès l'ouverture de la mine du Kongouhaou montre (tabl. IV, fig. 6) par ailleurs que les apports solides, très importants les premières années (plus de 200 000 t/an), diminuent largement par la suite (60 000 t/an).

TABLEAU IV
Bassin Ouenghi (245 km²). Caractéristiques de crues.

Date	Débit maximum Q. Max m ³ /s	Volume ruisselé 10 ⁶ m ³	Hmm ruisselé	Temps de base mn	Débit moyen ruisselé m ³ /s	Tonnage transporté Qs en t
03-05/02/74	1 590	119	486	3 090	642	215 000
12-12/02/74	377	9	38	1 200	129	5 600
07-08/03/75	2 070	105	429	2 190	799	182 000
17-18/04/75	420	12	48	1 260	155	4 170
14-19/01/76	1 260	117	478	6 300	310	83 100
27-27/16/77	64	1	4	630	27	56
06-08/01/78	608	38	156	3 435	185	40 300
12-14/03/80	282	7	29	2 640	44	19 200
12-13/02/81	1 280	53	218	1 380	644	40 700
06-07/03/81	436	13	52	2 020	106	4 420
24-25/12/81	1 660	59	240	1 710	572	40 300

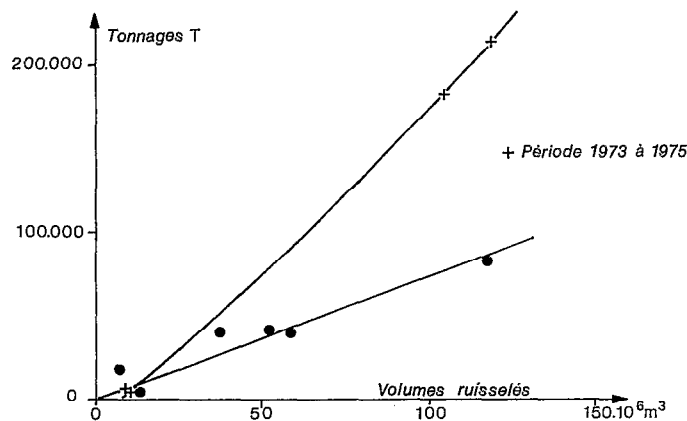


FIG. 6. — Ouenghi RTI. Variations des flux particuliers en fonction du volume ruisselé.

Ces différences sont d'autant plus nettes que le bassin, au cours de la période d'ouverture du gisement, a été touché par le passage de deux perturbations tropicales fortes (cyclones Pam et Alison).

Ces apports supplémentaires sont apparemment dus à la traversée lors des travaux routiers d'une zone d'arrachement dont les matériaux, en l'absence d'endiguement, ont progressé jusqu'à la Ouenghi.

Les méthodes d'exploitation mises en œuvre visant à limiter au maximum toute pollution en aval du gisement, les suspensions sont retombées dès 1976 à un niveau relativement bas et s'y sont maintenues, malgré un glissement accidentel survenu en juin 1977.

Seules traces de la zone d'arrachement actuellement purgée:

- la reprise des transports pour des volumes ruisselés plus faibles (fig. 7), en raison d'une plus grande disponibilité de matériaux dans la Ouenghi;
- les blocs et galets qui constituent une importante plage de dépôts au débouché de la ravine.

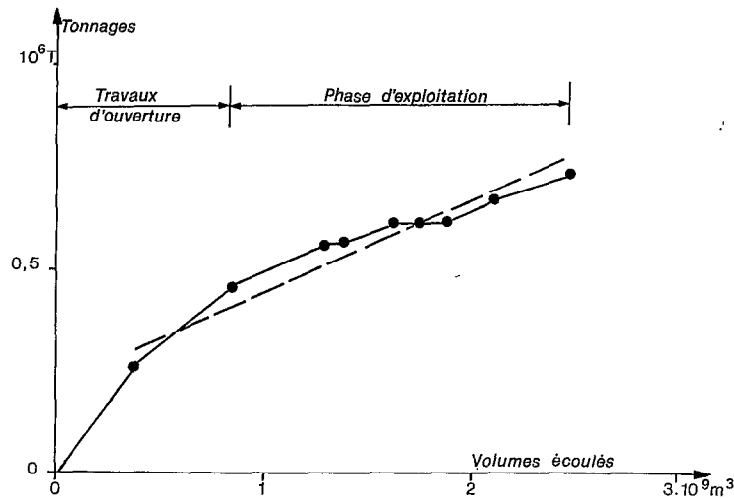


FIG. 7. — Ouenghi RT1. Evolution des transports solides et des volumes écoulés au cours de la période 1973-1982.

Les flux de matières dissoutes

Si l'érosion météorique ne s'exerce véritablement qu'à la faveur de quelques épisodes pluvieux, les dissolutions et les exportations correspondantes (magnésium et silice essentiellement) se maintiennent tout au long des années, avec des teneurs pour la Ouenghi de l'ordre de 45 mg/l en basses et moyennes eaux (débits de 1 à 25 m³/s), soit au maximum un départ de 50 t/an/km².

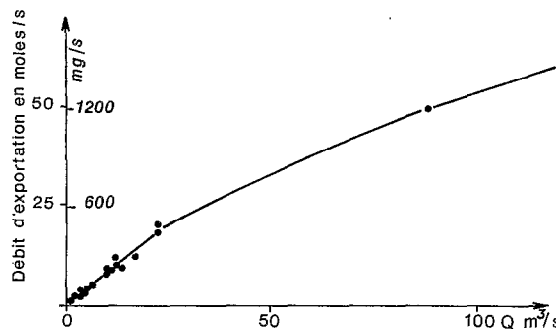


FIG. 8. — Ouenghi RT1. Débits d'exportation du magnésium.

Le bilan des flux de matières

Faute d'un échantillonnage et de mesures de débits suffisants, on a longtemps considéré que le rapport des suspensions sur la charge totale dans les bassins sur roches ultrabasiques n'excédait pas 20%.

Même si l'on ignore les valeurs des réaccumulations de silice à la semelle des massifs et celles des produits de désagrégation dans les zones de piedmont, ainsi que les quantités de matériaux charriés, les mesures réalisées (bassin Ouenghi) permettent de corriger les premières estimations et de retrouver des chiffres proches de ceux que l'on connaît pour d'autres bassins dégradés et sous savane de la bande intertropicale.

Avec 470 000 t du 1^{er} novembre 1974 (exclue l'année 1973-74 correspondant aux travaux d'ouverture) au 31 octobre 1982 pour un volume écoulé de $2\,084.10^6\text{m}^3$ et un volume annuel moyen de 251.10^6m^3 , les exportations de matières en suspension sur la Ouenghi devraient être de l'ordre de 230 t/an/km², soit:

- une dégradation spécifique de 0,13 mm/an (densité moyenne du matériau de départ admise $d = 1,8$);
- et des apports annuels moyens au delta de l'ordre de 30 000 m³ (densité moyenne des vases admise $d = 2$).

L'ÉVOLUTION DES MORPHOLOGIES FLUVIALES ET LITTORALES

Des signes de rupture de l'équilibre morphodynamique fluvial et littoral, liés à l'importance des apports en sédiments, sont enregistrés. La scannerisation et la rectification des différentes imageries satellitaire et aérienne permettent ainsi, après superposition des fonds hydro de 1955 (cartes au 1/50 000^e de l'IGN), de saisir l'évolution des lits fluviaux, comme ceux des rivières Thio et Ouenghi à proximité de leur embouchure.

Delta et méandres de la Thio

Ouvertes depuis 1875-76, les exploitations du plateau de Thio ont été à l'origine du développement incontestable des engravements de la basse-vallée (transport autrefois possible du minerai par chaland sur la Thio), même si le comblement du lit mineur ne semble pas encore à l'heure actuelle être la cause d'une aggravation notable des inondations dans la zone basse (très large réoccupation de la plaine alluviale lors des crues, relation «stable» pour différents maximums de crue entre niveaux relevés sur la basse-Thio et plus en amont).

L'évolution morphodynamique du lit mineur entre 1955 et 1989 n'en demeure pas moins très importante (fig. 9):

- ensablement rive droite du delta jusqu'au pointement du Bota Méré, le dégagement de l'embouchure n'étant que temporaire (crue récente);

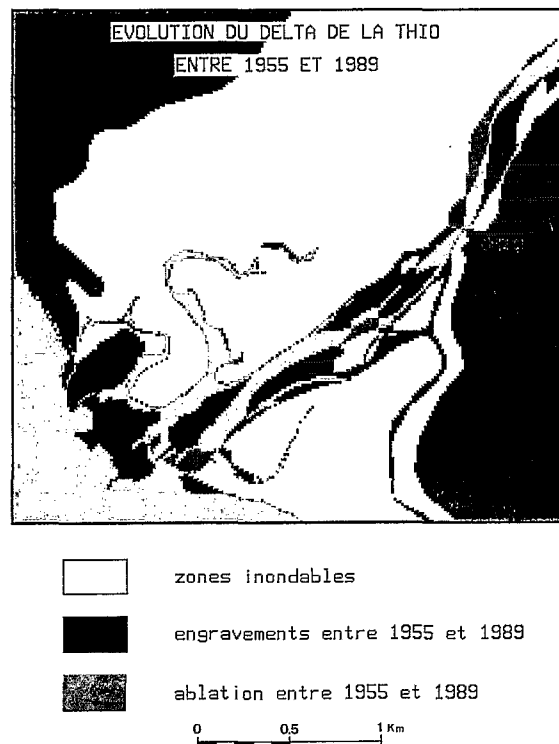


FIG. 9. — Évolution du delta et des méandres de la basse vallée de la Thio.

— développement de méandres, tant en amont qu'en aval du pont, à partir d'un lit quasi rectiligne. L'évolution du méandre situé en amont du pont de Thio se caractérise ainsi par d'importants apports latéraux en rive gauche et l'attaque de la berge concave en rive droite, évolution en partie stoppée depuis 1982 par la mise en place d'enrochements.

Delta de la Ouenghi

L'évolution de ce delta se traduit par d'importants dépôts de barre, dont les contours peuvent être précisés (fig. 10) à partir des photos aériennes de 1954 (carte topographique IGN) et de 1982.

Sur la base des mesures précédentes, un accroissement moyen annuel de 30 000 m³, résultant de l'érosion « naturelle » du bassin de la Ouenghi et les 130 000 m³ supplémentaires, liés aux travaux d'ouverture du Kongouhaou représenteraient en 28 ans près de 1 000 000 m³ d'apports, à rapprocher des observations indirectes de la barre (front de 3 km avec avancée de 300 m en moyenne sur 1 m).

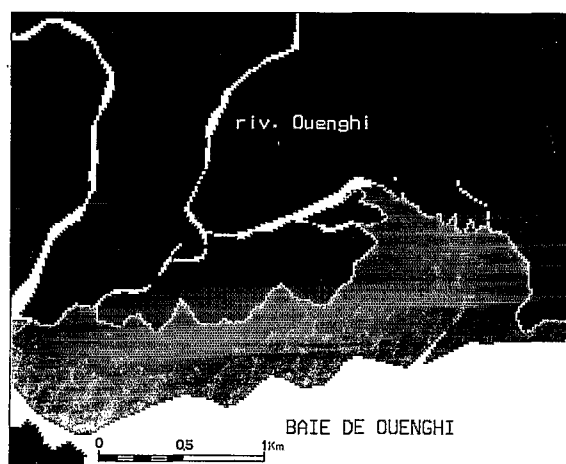


FIG. 10. — Progression du delta de la Ouenghi entre 1954 et 1982.

LES ÉVOLUTIONS A MOYEN TERME - LE DEVENIR DES GALETS

Les quelques exemples présentés montrent qu'il est possible à partir des moyens techniques mis en œuvre :

— de déceler les principales sources de transports solides en Nouvelle-Calédonie (formation à charbons, milieux anthropisés);

— de tester globalement l'efficacité des nouvelles méthodes d'exploitation des garniérites (mine du Kongouhaou);

— de mettre en évidence, après seuillage des différentes imageries puis superposition, l'extension des terrains décapés et érodés, ainsi que les évolutions torrentielles, fluviales et littorales dans les secteurs les plus touchés par l'activité minière.

Ces moyens, complétés par quelques mesures de terrain (profils et granulométries des lits fluviaux, relevé des arrachements, évolution des remplissages en amont des ouvrages de stockage) devraient permettre de mieux appréhender les phénomènes d'érosion, ainsi que de mieux évaluer les risques que peuvent constituer à moyen terme :

— l'érosion des surfaces dégradées ou remaniées (anciennes décharges en particulier);

— les déjections torrentielles dans les principaux cours d'eau.

L'érosion multiforme (ravine, glissements de masse, laves torrentielles, érosions au pied des décharges et sapelements des berges) qui peut affecter les surfaces dégradées ou remaniées, lors d'épisodes pluvieux particulièrement importants, engendre parfois des situations quasi irréversibles.

C'est ainsi qu'à la suite du cyclone Anne (janvier 1988), qui a touché sévèrement les bassins de la Thio (maximum de crue le plus important de la période 1948-1991) et de la Tontouta, une ravine en contrebas des plates-formes d'exploitation de l'ancienne mine Bel Air s'est réactivée, fournissant en une seule coulée, au creek Jeanne et Marie plus aval (bassin de 2,60 km²) 40 à 50 000 m³ de matériaux (MEUNIER, 1990).

L'affaissement des décharges non contrôlées et les transports torrentiels ont provoqué dans certaines vallées, condamnées jusque dans les années soixante-dix par l'exploitation minière, des surélévations locales des lits par les stériles rocheux qui atteignent parfois plusieurs mètres :

- bassin de la Tontouta (secteur minier de Tontouta);
- basse-vallée de la Thio, Do Thio (Thio plateau et Do Thio) et Nembrou (Thio Ningua);
- rivière Ouango (secteur minier de Boakaine);
- rivière Kouaoua (secteur minier de Kouaoua);
- rivières Ouha et Ouaté (secteurs miniers de Népoui et du Boulinda);
- rivières Tinip, Ouâ Bouameu et Oué Tenguea (secteurs miniers de Ouaco et du Kaala).

Si ces comblements affectent quelques biefs en en modifiant les régimes (accroissement des débits d'inféro-flux et diminution des débits superficiels de basses-eaux) et les conditions hydrauliques (augmentation des risques d'inondation), bien des rivières dont les estuaires ou les plaines alluviales ont déjà été touchées par les boues d'origine latéritique ne sont pas encore envahies par les galets.

Sur la Ouenghi, le rehaussement du lit mineur, constitué essentiellement de sables et de graviers, au niveau de la RTI est progressif et faible, mais permet toutefois de dégager un lien avec la mise en exploitation des mines (notamment les travaux d'ouvertures).

La capacité de charriage étant souvent insuffisante, les galets et les blocs encombrant ainsi le bas de la ravine située en amont du Kongouhaou, dont les déjections sont recoupées par la rivière Tontou, ou se répandent (lit en treses) dans la zone de confluence Tontou-Ouenghi.

Il en est de même pour la Thio, où l'on connaît des sections entre St-Michel et St-Paul encore peu touchées par les engravements, alors que les blocs encombrant la Nembrou, la Nakalé, les creeks Vincent et Jeanne et Marie.

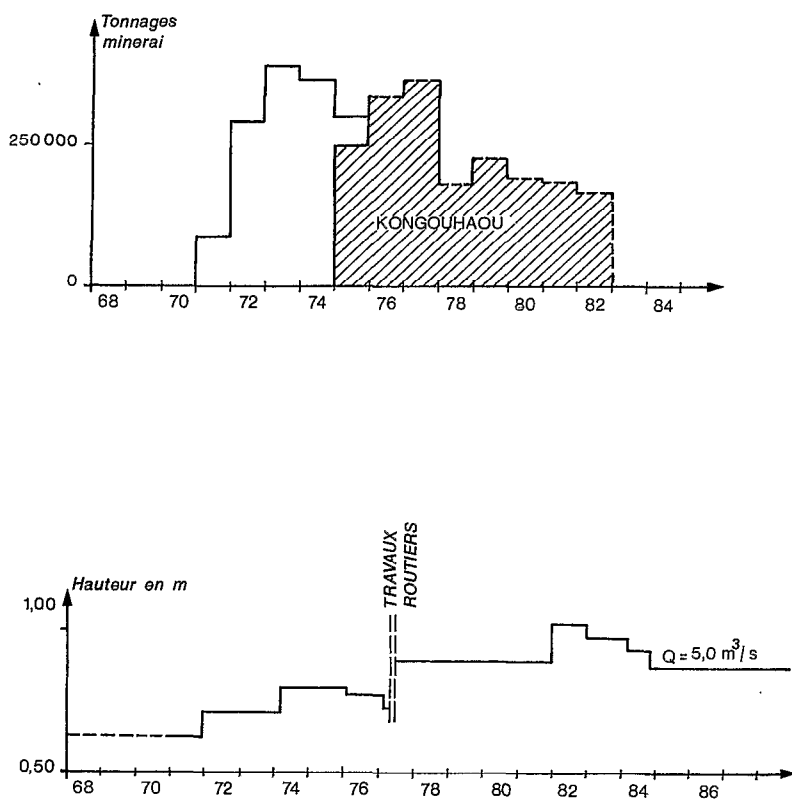


FIG. 11. — Extractions minières et rehaussements du lit mineur de la Ouenghi.

BIBLIOGRAPHIE

- BALTZER (F.), TRESCASES (J.J.), 1971. — Érosion, transport et sédimentation liés aux cyclones tropicaux dans les massifs d'ultrabasi-
tes de Nouvelle-Calédonie. *Cah. Orstom, sér. Géologie*, vol. III, n° 2: 221-244.
- COURAULT (D.), 1989. — Étude de la dégradation des états de surface par télédétection: analyses spectrales, spatiales et diachroni-
ques. *Rev. Sols*, n° 17, Inra, 239 p.
- DANLOUX (J.), 1987. — Contribution à l'étude des transports solides en Nouvelle-Calédonie: les transports solides en suspension
sur les bassins de la Ouenghi et de la Pouembout. Orstom, *multigr.*, 121 p.
- DUBUCQ (M.), 1986. — Télédétection spatiale et érosion des sols. Étude bibliographique. *Cah. Orstom, sér. Pédologie*, vol. XXII,
n° 2: 247-258.
- GERY (P.M.), 1972. — Note sur les décharges minières en Nouvelle-Calédonie. Conserv. nat. Arts et Métiers, *multigr.*, 22 p. dont
3 ann.
- Guide d'utilisation du progiciel Carto-PC, 1989. — Version 1.0. École Mines Paris - CTAMN, Rap. 89/R/02, vol. 1, 107 p. + 2 ann.
Lateritic nickeliferous. Ores and orebodies in New Caledonia, 1976. — SLN Geol. Dept. 25th Intern. Geol. Congr. Sydney, 4 fasc.
+ 3 pl. h.t.
- Le nickel en Nouvelle-Calédonie: De la prospection à la mine, 1990. — SLN, 46 p.
- MEUNIER (M.), 1990. — Commission de réhabilitation de la région de Thio. Étude des transports solides. Cemagref, 121 p.
- PARIS (J.P.), 1981. — Géologie de la Nouvelle-Calédonie: un essai de synthèse. Mém. BRGM, n° 113, 278 p. + 2 c.h.t.
- Rapport sur la pollution minière en Nouvelle-Calédonie, 1979. — Rap. Mines n° 26 SES 693/MI, *multigr.*, 29 p.
- RICHARDS (J.A.), 1986. — Remote sensing Digital Image Analysis. Ed. Springer Verlag, 281 p.
- Thio Kongouhaou. 8 ans d'effort, 1985. — SLN, 14 p.
- TRESCASES (J.J.), 1975. — L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiqes en zone tropicale: la formation des gise-
ments nickélicifères de Nouvelle-Calédonie. *Mém. Orstom*, n° 78, 260 p.