

ÉROSION, TRANSPORT ET SÉDIMENTATION LIÉS AUX CYCLONES TROPICAUX DANS LES MASSIFS D'ULTRABASITES DE NOUVELLE-CALÉDONIE

Première approche du bilan général de l'altération,
de l'érosion et de la sédimentation sur péridotite en zone tropicale

F. BALTZER et J.J. TRESCASES

Section Géologie de l'ORSTOM

RÉSUMÉ

Les phénomènes mécaniques (érosion, transport, sédimentation) du bilan géochimique du couple altération-sédimentation en zone ultrabasique sont examinés. L'étude a été centrée sur un bassin versant situé presque intégralement dans le grand massif péridotitique du Sud de la Nouvelle Calédonie. Le paysage et le climat de cette région sont sommairement rappelés.

Les processus mécaniques n'entrent en jeu que sous l'action des cyclones tropicaux. Deux d'entre eux ont plus particulièrement été étudiés, en 1967 et 1968.

Des hauts sommets à la plaine alluviale, on constate, en ce qui concerne l'érosion et le transport que :

— La mise en suspension est très rapide, la charge solide atteignant un maximum de l'ordre de 0,5 g/l à l'exutoire du bassin versant quelques heures après le début des précipitations.

— Les exportations cessent dès que la décrue s'annonce, la suspension subsistant plus longtemps en amont : la sédimentation n'intéresse plus alors le delta mais les zones de piedmont et d'alluvions.

— Sur les plateaux sommitaux, la charge solide a une composition très proche de celle des horizons d'altération in situ des péridotites, l'eau entraînant cette suspension étant de l'eau de pluie directement ruisselée.

En aval, au contraire, l'eau contient une charge soluble appréciable ; la moitié des précipitations s'infiltrant au préalable dans le karst péridotitique. La composition de la suspension l'apparente aux dépôts colluviaux de piedmont. L'érosion mécanique moyenne, sur le bassin versant de la Dumbéa, peut être estimée à 11 millimètres par 1 000 ans. L'érosion chimique moyenne sur ce même bassin est de 27 millimètres par 1 000 ans. Par conséquent, malgré la violence des phénomènes météorologiques, malgré le rajeunissement du relief dû à la tectonique et malgré la déforestation, *la tendance générale est à l'altération chimique*. Mais le bilan par élément précise le sens de l'évolution géochimique du paysage : les niveaux d'hydroxydes des zones hautes sont irrémédiablement décapés, et peu à peu remplacés à la base par les altérations silicatées.

Sur la plaine côtière et sur le delta, le fait le plus remarquable est la reprise incessante des dépôts par l'érosion. La fraction argileuse des sédiments nouvellement apportés se compose de goëthite et d'antigorite, accompagnées par un peu de talc et une smectite. Les produits grossiers comprennent de l'antigorite, du quartz, du pyroxène et, accessoirement, du talc, de l'olivine, de la goëthite et de la maghémite.

Les mécanismes de transport ont pu être déduits des courbes granulométriques des sédiments apportés sur la plaine alluviale par le cyclone « Brenda ». Si les galets et les sables, transportés par roulement

sur le fond et à l'état de suspension de concentration progressive, parcourt de faibles distances, en revanche le dépôt est beaucoup plus lent à se produire pour la fraction fine transportée à l'état de suspension homogène : le transport, même pour cette fraction fine se fait par reprises et dépôts successifs, malgré la brièveté du cours total du fleuve.

L'analyse de la répartition des dépôts du delta montre que :

— Dans les zones resserrées, où le chenal occupe la quasi totalité de la plaine alluviale, des rides de sable, épaisses, se déposent, parallèles au courant, sur la rive même du lit mineur.

— Les zones plus élargies présentent un passage progressif à une sédimentation moins grossière près du chenal et très fine près des collines anciennes.

— Tout à fait en aval, où le delta se resserre à nouveau et où la mer commence à avoir une influence (marée, houle, clapot) les sédiments sableux prédominent.

L'évaluation de la part des sédiments qui est piégée au niveau du delta peut être faite en mesurant, juste après une crue, les épaisseurs déposées sur les diverses zones. On évalue ainsi que le cyclone « Brenda » a provoqué sur le delta la sédimentation de 15 000 tonnes de matériaux fins, soit, très approximativement les trois quarts de la quantité transportée sous forme de suspension homogène, évaluée juste en amont, le reste étant parvenu jusqu'au lagon.

ABSTRACT

Mechanical processes (erosion, transportation, sedimentation) at work in the geochemical balance of alteration and sedimentation in an ultramafic area are examined. The study deals with a drainage basin almost entirely situated on the great peridotitic Massif of Southern New Caledonia.

The Landscape and the climate of this area are briefly stated.

The mechanical processes are efficient only during the tropical cyclones. Two of these were especially studied in 1967 and 1968.

From the highest summits down to the alluvial plain, in terms of erosion and transportation, one can observe :

— the setting into suspension of mineral particles occurs very early, the solid load of water reaching a maximum of 0,5 g/l at the outlet of the drainage basin only a few hours after the beginning of the rainfall.

— The transportation stops as soon as the water lowering begins, but upstream the load remains in suspension a longer time. At that time, the sedimentation no more affects the delta, but only the piedmont and the alluvial plain.

— On the high plateaux, the suspension is very similar in composition to the soils resulting from the *in situ* weathering of ultramafic rocks. The water is only streaming down rain water.

— Downstream, on the opposite, the water contains a significant solute load because half the rainwater percolates through the peridotitic karst. The solid water load, there, is similar in composition to the piedmont creeping soils.

The average mechanical erosion, on the Dumbéa river basin is about 11 mm per 1 000 Years.

The average chemical erosion on the same basin is 27 mm per 1 000 years. Therefore, in spite of the strength of the meteorological events, in spite of the mountains rejuvenation due to tectonics, and in spite of forests destruction, *the general trendis favours chemical erosion by weathering* but a silicate forming weathering replaces the lateritic one.

On the coastal plain and on the delta, the most noticeable fact is a permanent reworking of the deposits by erosion. The clay size fraction of the sediments recently laid is composed of antigorite, quartz, pyroxene and, to a lesser extent, talc, olivine, geothite and maghemite.

The transportation mechanisms were deduced from the cumulative grain size curves of the sediments laid on the alluvial plain by the Brenda cyclone. Cobbles and sands, rolling on the bottom or transported in graded suspension travel on short distances. The finer fraction of the river load, in suspension settles much more slowly. In spite of the short length of the river, transportation, even for that finer fraction, processes through a succession of erosive and depositional phases.

A survey of the distribution of the particle median size of the deposits over the deltaic area shows that :

In the narrow areas, where the channel leaves a very narrow place for the alluvial plain, thick ridges of coarse sand are deposited along the channel banks, parallel to the flow direction.

In the wider areas, finer sands are deposited along the banks of the channel, silts and clays are deposited further from the channel, near the hills of ancient rocks.

Completely downstream, where the delta is narrow again, and where sea dynamics are efficient (tides, waves), sandy sediments predominate.

An estimation of the part of sediments which are trapped on the delta may be performed by measuring, just after a flood stage, the thickness of the deposits laid on the various areas. It is so estimated that the Brenda cyclone has induced on the delta, the deposition of 15 000 tons of fine sediments, which are roughly the 3/4 of the whole river load, as measured just upstream the delta. The other part has reached the coral lagoon.

ZUSAMMENFASSUNG

Die mechanischen Phänomene (Verwitterung, Beförderung, Ablagerung) geochemischer Bilanz des Umsetzungs-Ablagerungspaares in ultrabasischer Zone wurden geprüft. Die Untersuchung hatte sich auf ein Sammelgebiet zentriert, das sich fast ausschliesslich in dem grossen peridotitischen Massiv im Süden Neu-Kaledoniens befindet. Die Landschaft und das Klima dieses Gebietes sind kurz noch einmal ins Gedächtnis zurückgerufen.

Mechanische Prozesse finden nur bei Tätigkeit von tropischen Wirbelstürmen statt. Zwei unter ihnen wurden in den Jahren 1967 und 1968 besonders untersucht.

Von den hohen Gipfeln bis zur Flussablagerungsebene stellt man, was die Verwitterung und Beförderung betrifft, folgendes fest :

Die Versetzung in den Schwebzustand geht sehr schnell vonstatten, da die feste Fracht ein Maximum von etwa 0,5 g/l am Wasseraustritt des Sammelgebietes einige Stunden nach Beginn der Niederschläge erreicht.

Die Ausfuhren hören auf sobald sich ein Sinken des Wassers anzeigt, da der Schwebzustand stromaufwärts weiter bestehen bleibt ; es finden also keine Ablagerungen mehr im Delta statt, sondern in den Piedmont- und Alluviumzonen.

Auf den Hochplateaus hat die feste Fracht eine sehr ähnliche Zusammensetzung wie die Zerfallshorizonte in situ des Peridotiten, denn das Wasser nimmt diese Schwebstoffe mit sich fort, da es direkt gerieseltes Regenwasser ist.

Stromabwärts hingegen enthält das Wasser eine beachtliche aufgelöste Fracht, da die Hälfte der Niederschläge vorher in den peridotitischen Karst eingesickert ist. Die Zusammensetzung der Schwebstoffe ist verwandt mit der Kolluviumablagerungen des Piedmont. Die mittlere mechanische Verwitterung des Sammelgebietes von Dumbéa kann auf II Millimeter in 1 000 Jahren geschätzt werden. Die mittlere chemische Verwitterung in dem gleichen Gebiet beträgt 27 Millimeter in 1 000 Jahren. Folglich, trotz der Heftigkeit der meteorologischen Erscheinungen, trotz der Reliefsverjüngung aus tektonischen Gründen und trotz der Abholzung geht die Haupttendenz auf die chemische Umsetzung hin. Aber die Bilanz jedes Elementes bestimmt den Lauf der geochemischen Entwicklung der Landschaft : die Hydroxydniveaus

der hohen Zonen sind unwiederbringlich erniedrigt und langsam an der Basis durch Silikatverwitterung ersetzt.

Die bemerkenswerte Tatsache in der Küstenebene und am Delta ist, dass die Ablagerungen unaufhörlich wieder durch die Erosion bearbeitet werden. Der Lehmenteil, der neu herangetragenens Bodensätze, setzt sich aus Goethit und Antigorit zusammen, begleitet von etwas Talk und Smedit. Die groben Produkte enthalten Antigorit, Quarz, Pyroxen und nebenbei Talk, Olivin, Goethit und Maghemit.

Aus den Kurven der Korngrößen der Sedimente, die durch den Wirbelsturm « Brenda » in die Flussebene gebracht wurden, kann man die Beförderungsmechanismen folgern. Das Geröll und der Sand, die durch Rollen auf dem Grund und im Schwebezustand von zunehmender Konzentration befördert werden, durchlaufen kurze Abstände, dagegen findet die Ablagerung des feinen Anteils, der im homogenen Zustand befördert wird, viel langsamer statt. Die Beförderung, selbst bei diesem feinen Anteil, geht durch Wiederaufnahme und aufeinander folgende Ablagerungen vonstatten, trotz des kurzen Gesamtflusslaufs.

РЕЗЮМЕ

Эрозия, транспорт и осаждение связанные с тропическими циклонами в ультра-основных массивах Новой Каледонии.

Рассматриваются механические явления (эрозия, транспорт, осаждение) геохимического баланса двойного процесса — выветривание-осаждение в ультра-основной зоне. Исследование было сосредоточено в пределах водосбора находящегося почти полностью в крупном перидотитовом массиве на юге Новой Каледонии. Кратко упоминаются ландшафт и климат этой области.

Механические процессы приходят в действие лишь под влиянием тропических циклонов. Двое из них, в частности, были изучены в 1967 и 1968 г.

Касательно эрозии и транспорта отмечаются, от вершин и до аллювиальной равнины, следующие пункты:

— *Образование взвесей происходит очень быстро, — твердые наносы достигают максимума порядка 0,5 г/л в замыкающем створе водосбора несколько часов после начала выпадения осадков;*

— *Вынос прекращается как только начинается спад воды, причем взесь дольше сохраняется вверх по течению: осаждение тогда больше не распространяется на дельту, но лишь на предгорные и аллювиальные зоны;*

— *На вершинных плато, состав твердых наносов весьма близок к таковому в горизонтах выветривания перидотитов в том же месте, влекущая эту взесь вода будучи при этом дождевой, непосредственно стекающей водой.*

Вниз по течению, напротив, вода содержит заметное количество растворимых наносов, так как половина осадков предварительно просачивается в перидотитовый карст. Состав взеси роднит её с предгорными коллювиальными отложениями. Среднюю механическую эрозию, на водосборе реки Думбеи можно оценить в 11 мм за 1000 лет. Средняя химическая эрозия, на том же бассейне, равняется 27 мм за 1000 лет. Следовательно, несмотря на сильное воздействие метеорологических явлений, на омоложение рельефа обусловленное тектоникой и на убывание лесистости, общая тенденция направлена в сторону химического выветривания. Но баланс, установленный для каждого элемента, позволяет уточнить направление геохимической эволюции ландшафта: уровни гидроокисей приподнятых зон окончательно обнажаются и мало по малу заменяются у основы, путем преобразования, силикатным материалом.

На прибрежной равнине и на дельте, самым примечательным фактом является непрерывно возобновляемое действие эрозии на отложения. Глинистая фракция свежо принесенных отложений состоит из гётита и антигорита, с малым количеством талька и одним смектитом. Продукты грубого состава содержат антигорит, кварц, пироксен и, побочно, тальк, оливин, гётит и маггемит.

Механизмы транспорта можно было вывести исходя из гранулометрических кривых отложений принесенных на аллювиальную равнину циклоном « Brenda ». Если галечник и пески, катящиеся по дну в виде взесей прогрессивной концентрации, покрывают небольшие расстояния, зато тонкая фракция переносимая в состоянии однородной взеси осаждается гораздо медленнее; даже для этой фракции, транспорт происходит путем последовательных осадений и новых сносов, несмотря на небольшую длину реки.

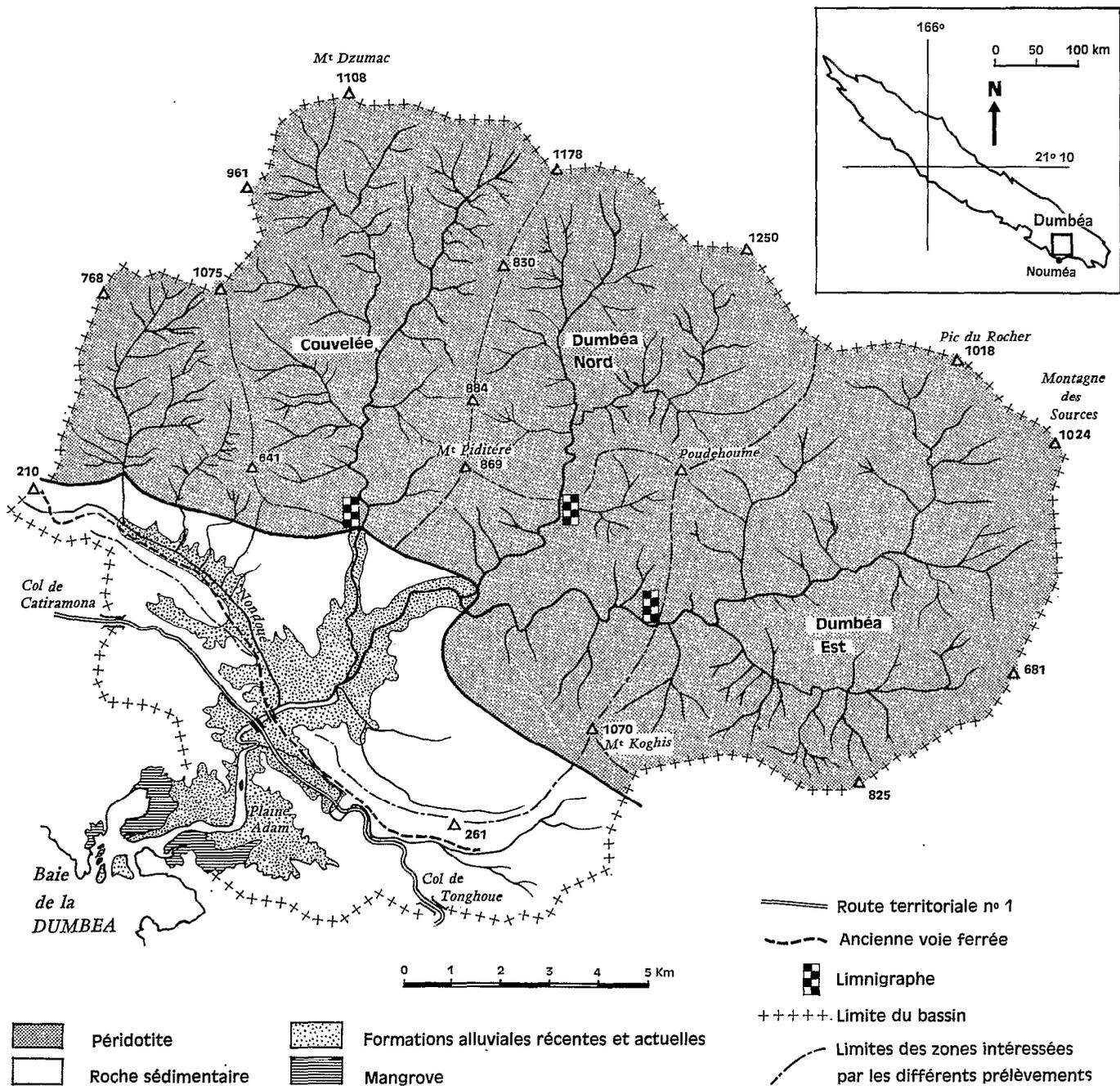


FIG. 1. — Bassin versant de la Dumbéa : Situation, Hydrologie, Géologie.

INTRODUCTION

La Section de Géologie du Centre ORSTOM de Nouméa a entrepris l'étude du bilan géochimique du couple altération-sédimentation sur les roches ultrabasiques de Nouvelle Calédonie.

Ce bilan fait intervenir deux types de phénomènes :

— *chimiques*, pour les éléments dissous par l'altération (érosion chimique), transportés sous forme d'ions par les nappes et les rivières, et fixés par précipitation (sulfates, carbonates) ou néoformation (silicates).

— *mécaniques*, pour les éléments résiduels dans l'altération, arrachés par l'érosion (érosion s.s. ou érosion mécanique) transportés par charriage sur le fond ou en suspension dans les rivières, et déposés en aval, lorsque la vitesse du courant diminue. C'est ce deuxième aspect qui fait l'objet de cette note, mais les charriages sur le fond n'ont pas été abordés directement.

La dynamique *actuelle* de l'altération est évaluée par l'observation du vecteur essentiel, c'est-à-dire l'eau. Les mécanismes de dépôt sont en général déduits des caractéristiques sédimentologiques de ces formations. On peut toutefois, dans certains cas, visualiser le processus de sédimentation lorsque la vitesse est considérablement accrue : c'est ce qui se produit sous l'action d'un cyclone tropical.

LE MILIEU NATUREL

Cette étude a été centrée sur le bassin versant de la rivière Dumbéa, située sur le versant ouest de la Nouvelle Calédonie, à une vingtaine de kilomètres au nord de Nouméa par 166° 30' E et 22° 5' S (fig. 1), dont la superficie est de 210 km² environ.

Le paysage :

Le relief de la Nouvelle Calédonie en général, celui du bassin de la Dumbéa en particulier, est très montagneux. Le point culminant, à 1 250 m émerge à peine de la crête principale, ligne de séparation des eaux entre les côtes est et ouest, dont l'altitude moyenne est de 1 100 m, pour une distance à la mer souvent inférieure à 15 km.

Les trois branches de la Dumbéa, aux cours torrentiels, sont profondément encaissées ; les pentes très fortes encadrant leurs cours sont toutefois tronquées vers le haut par de petits plateaux. La Dumbéa Est, en outre, coule d'abord dans une vallée large, où les formations de piedmonts sont particulièrement bien représentées, avant de retrouver une vallée étroite et encaissée, analogue à celle des deux autres branches. En aval du confluent des trois rivières, la Dumbéa déroule ses méandres sur une petite plaine alluviale (TRESCASES 1969 a).

Enfin l'extrême aval, où se développent les mangroves, est caractérisé par une large ria ennoyée et comblée, évoluant maintenant en delta. La Dumbéa est alors bordée de levées sédimentaires, résultant de la coalescence des dépôts de crues, et qui la séparent de dépressions marginales marécageuses. Les rides des levées se subdivisent vers l'aval, ces digitations se prolongeant elles-mêmes par des chapelets d'îlots allongés (BALTZER 1969).

A l'exception de cette plaine alluviale, et des crêtes basses de pélites, de grès, et de tuf rhyolitique créacés qui la dominent, tout le reste du bassin est constitué de roches cristallines, appartenant en quasi-totalité à la famille des roches ultrabasiques (harzburgite dominante).

Les plateaux et croupes sommitales sont couverts de sols ferrallitiques avec une altération in-situ extrêmement profonde (20 à 30 m), en saprolite (Squelette ferrugineux, où la texture de la roche est encore reconnaissable), tandis que les bas de pentes s'ennoient sous des dépôts de piedmonts, alimentés par la destruction des surfaces ferrallitiques perchées, mais enrichis en silice et en argile (antigorite et nontronite). Les versants en pentes fortes évoluent en sols bruns eutrophes, à talc et antigorite, alors que les pentes

moyennes où la saprolitisation reste discrète, sont le siège d'un colluvionnement intense, remaniant les niveaux d'hydroxydes de fer des sols ferrallitiques (TRESCASES 1969 *a*).

La Dumbéa a un cours torrentiel. Son débit moyen est de 7 m³/s environ (dont près de la moitié pour la branche Est), mais peut atteindre 1 000 m³/s, et descendre en dessous de 1 m³/s (Cf. MONIOD *et al.*, 1964) et MONIOD et MLATAC, 1968).

Le climat :

Comprise entre les 20° et 23° parallèles sud, la Nouvelle Calédonie est située dans la zone inter-tropicale. Son climat subtropical insulaire est sous l'influence de deux champs de pression barométrique (GIOVANNELLI, 1953) : la ceinture anti-cyclonique subtropicale au sud, et la zone des basses pressions intertropicales au nord.

La migration de ces champs provoque des variations saisonnières sensibles ; on distingue classiquement quatre saisons : chaude et humide de décembre à mars ; sèche et plus fraîche, d'avril à mai ; fraîche et atteinte par les perturbations tempérées liées aux fronts froids, de juin à août ; sèche avec températures modérées, de septembre à novembre. La température moyenne au niveau de la mer varie de 26 °C en février à 20 °C en août, mais décroît rapidement avec l'altitude (environ 7 °C de moins pour 1 000 m). L'humidité moyenne mensuelle de l'air à Nouméa reste comprise entre 70 et 80 %. La pluviométrie passe de moins de 1 000 mm au bord de la mer à plus de 3 m en montagne.

La Nouvelle Calédonie se trouve, pendant la plus grande partie de l'année, exposée aux vents alizés, d'est à sud-est, dont la force atteint assez régulièrement 15 à 20 nœuds.

C'est pendant la saison chaude que se forment les dépressions tropicales et les cyclones (vitesse des vents supérieure à 63 nœuds). Les dépressions apparaissent vers 10° de latitude sud, et entre la côte Est de l'Australie et le 170° E, se creusent très profondément sur place, et se déplacent en gros vers le Sud-Est, la trajectoire restant cependant toujours complexe dans le détail, et imprévisible (GIOVANNELLI, 1952, 1953, GIOVANNELLI et ROBERT, 1964). Sur une période de 100 ans, 1952-1951, il y a eu 29 cyclones affectant la Nouvelle Calédonie, dont 9 en février et 12 en mars. Pendant la période correspondant à nos prélèvements (1965, 1970), nous avons retenu essentiellement les cyclones GLENDA, en mars 1967, BRENDA, en janvier 1968, et COLLEEN, en février 1969, qui ont affecté sérieusement le sud de la Nouvelle Calédonie. Les cyclones s'accompagnent d'énormes chutes de pluies (plus de 500 mm en 24 heures dans certains cas) et leur action érosive est intense.

La mer :

L'amplitude maxima des marées est de 1,70 m environ. En période de cyclone, le niveau de la mer peut monter exceptionnellement. La rivière étant alors elle-même en forte crue déborde et inonde de vastes surfaces, non seulement du delta, mais aussi de la plaine alluviale.

Le récif barrière protège le lagon de Nouvelle Calédonie de la houle océanique, et la baie de la Dumbéa, ouverte vers le sud et l'ouest, n'est affectée, en général, que par un simple clapot. Les vents d'Ouest cependant, et, en particulier, ceux qui sont liés aux cyclones, peuvent grossir la mer (LAUNAY, 1971).

DES SOMMETS A LA PLAINE ALLUVIALE. ÉROSION ET TRANSPORT

En dehors des périodes de cyclones, et en l'absence d'exploitation minière sur leur bassin, les eaux des rivières drainant les péridotites de Nouvelle-Calédonie sont remarquablement limpides. Elles exportent, à l'état dissous des quantités importantes de silice et de magnésium (TRESCASES, 1969 *b*). Leur charge solide est, par contre indécéclable par nos méthodes.

Méthodes :

Des échantillons d'eau ont été prélevés en des points précis tous les mois ou toutes les semaines, selon les cas, en bouteilles polyéthylène de 2 litres, et ramenés immédiatement à Nouméa pour analyse. Lorsque l'eau paraissait trouble, le prélèvement était de 20 litres, et l'eau passée sur filtre calibré à 1,2 µ.

Le filtrat était clair ou très légèrement opalescent. Le rythme de l'échantillonnage était augmenté, jusqu'à devenir pluri-quotidien, chaque fois que la turbidité de l'eau donnait à penser que la charge solide était devenue appréciable. En réalité, à l'exception des cyclones cités plus haut, les pluies, mêmes abondantes, n'ont pas provoqué de mise en suspension notables de matériaux. Ainsi en janvier 1967, alors que le débit instantané de la Dumbéa Est était passé de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ à $20 \text{ m}^3/\text{s}$, et que l'eau paraissait rouge, la charge solide est restée indosable.

La suspension, lorsqu'elle a pu être séparée, a été pesée et analysée chimiquement, comme le filtrat. Les observations principales ont porté sur les cyclones GLENDA et BRENDA :

Cyclone tropical GLENDA (fig. 2 a)

Le minimum barométrique à l'origine du phénomène s'est creusé le 28 mars 1967 au sud des îles Salomon, et a évolué le 30 en cyclone tropical. Ce cyclone, relayant une dépression tropicale, DANY, qui avait frôlé la pointe nord de la Nouvelle Calédonie, l'après-midi du 29, s'est éloigné vers l'ouest, restant ensuite stationnaire à 500 km de la côte Ouest.

Les chutes de pluies, dans la région de la Dumbéa, ont commencé dans la soirée du 29 et ont été particulièrement abondantes le 30 et le 31 mars. Les heures et emplacements des prélèvements sont donnés dans la figure 2 b.

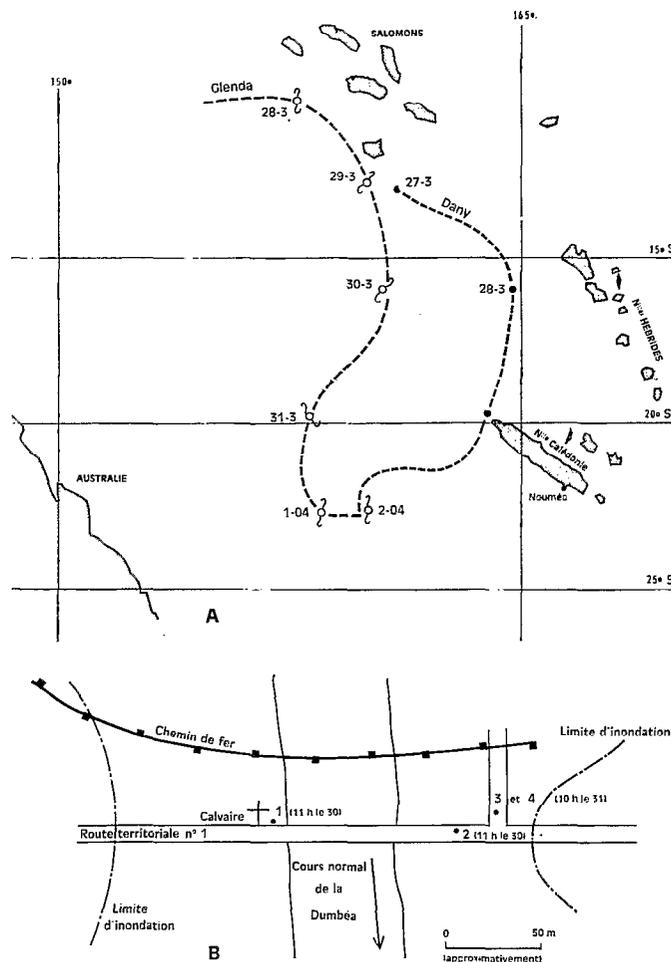


FIG. 2. — Cyclone Glenda (mars 1967).

A — Trajectoire, B — Position et heures des prélèvements (heure de Nouméa).

Cyclone tropical Brenda (fig. 3a)

La dépression tropicale Brenda s'est creusée le 14 janvier 1968 au sud-est des îles Salomon, et s'est dirigée initialement vers l'ouest-sud-ouest. Elle a évolué le 18 en cyclone tropical, et infléchi sa trajectoire vers l'est-sud-est, se déplaçant rapidement le long de la côte est, de la Nouvelle Calédonie le 19 janvier.

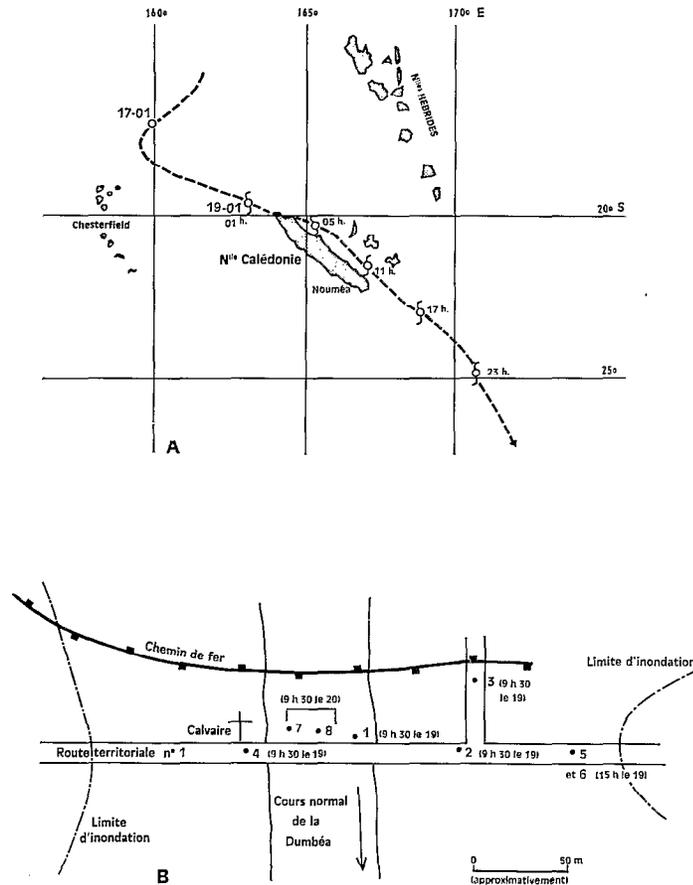


FIG. 3. — Cyclone Brenda (janvier 1968).

A — Trajectoire, B — Position et heures de prélèvements (heure de Nouméa).

Les chutes de pluie dans la région de la Dumbéa, ont commencé dans la nuit du 18 au 19 et ont atteint un maximum très élevé le 19 janvier (130 mm pour la journée du 19, dans la plaine côtière). Les heures et les emplacements des prélèvements sont donnés dans la figure 3b.

Bilan des transports en suspension

Les possibilités d'observation, nous venons de le voir, sont rares. Les mesures, sont en outre, rendues très difficiles par les conditions météorologiques (pluies très violentes, inondations) : les routes sont coupées, les débits liquides instantanés des rivières ne peuvent qu'être extrapolés, les prélèvements ponctuels ne reflètent qu'imparfaitement les débits solides. Pour toutes ces raisons, le bilan de l'érosion à l'échelle d'un grand bassin comme celui de la Dumbéa, évalué par des moyens rudimentaires, n'est

qu'approximatif. Les chiffres que nous allons donner comportent donc une marge d'incertitude assez grande. Ils situent cependant l'ordre de grandeur des phénomènes, et permettent en particulier la comparaison des érosions chimiques et mécaniques.

L'évolution de la charge en suspension, prélevée à faible profondeur (0,5 m environ, suspension supérieure à $1,2 \mu$, séchée à 105°C) lors des cyclones Glenda et Brenda est donnée dans les tableaux I et II.

TABLEAU I

Evolution de la charge en suspension de la Dumbéa, lors du cyclone Glenda (mars 1967)

	Nuit du 29 au 30/03/67	30/03/67 11 h locales	31/03/67 10 h locales
Charge solide (mg/l)	0 ↗	GLE 1 = 150 mg/l GLE 2 = 60 mg/l (bord de la rivière)	GLE 3 = 116 mg/l GLE 4 = 118 mg/l
Débit liquide (m ³ /s)	≈ 8 ↗	500 m ³ /s (?)	800 m ³ /s (?)

TABLEAU II

Evolution de la charge en suspension de la Dumbéa lors du cyclone Brenda (Janvier 1968)

	Nuit du 18 au 19/01/68	19/01/68 9 h 30 mn	19/01/68 15 h	20/01/68 9 h
Charge solide (mg/l)	0 ↗	BRE 1 = 380 mg/l BRE 2 = 450 mg/l BRE 3 = 695 mg/l BRE 4 = 520 mg/l	BRE 5 (surface) 160 mg/l BRE 6 (1,50 m de profondeur) 200 mg/l	BRE 7 à 10 = 1 mg/l
Débit liquide (m ³ /s)	≈ 8 ↗	800 m ³ /s (?)	> 1 000 m ³ /s	120 à 150 m ³ /s

On peut essayer d'en déduire le bilan érosif suivant :

— Pour le cyclone Glenda, le débit moyen, avec charge solide appréciable, peut être évalué à $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (± 50) pendant 48 h. La charge solide, pendant ces mêmes 48 h, peut être estimée à 150 mg/l (± 30). La masse de matériaux exportés sous cette forme du bassin de la Dumbéa serait alors estimée à $7\,800 \text{ t}$ (comprise entre $5\,500 \text{ t}$ et $10\,000 \text{ t}$).

— Pour le cyclone Brenda, l'action érosive, plus limitée dans le temps, a été plus violente encore. Avec les mêmes approximations, le débit moyen est estimé entre 600 et $800 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant 20 h, et la charge solide de 400 à 450 mg/l . La masse exportée serait alors de $18\,000 \text{ t}$ à $25\,000 \text{ t}$.

Les produits transportés

La charge solide séparée par filtration a été analysée (ainsi d'ailleurs que l'eau qui la transportait). Ces produits sont à granulométrie fine (35 % sont inférieurs à 2μ et le reste est inférieur à 40μ), les produits plus grossiers (sables, graviers et galets) étant charriés sur le fond.

ÉROSION, TRANSPORT ET SÉDIMENTATION LIÉS AUX CYCLONES TROPICAUX

TABLEAU III

Nature des produits transportés par les cyclones en Nouvelle-Calédonie

Cyclone Olga (25 février 1965). Micro-bassin de Ouenarou. Rivière Yaté												
Eau (mg/l)	pH	$\rho\Omega$ cm			HCO_3^-	Cl^-	Mg^{++}	Ca^{++}	SiO_2	Suspension		
	5,8	40 000			3,0	2,40	0,60	0	tr.	220		
Suspension (%)	H_2O^+	Fe_2O_3	Al_2O_3	Cr_2O_3	TiO_2	MnO_2	MgO	CaO	NiO	CoO	SiO_2	Insol. HClO_4
	15,3	57,3	8,7	3,60	—	0,68	2,70	< 0,1	1,16	—	4,73	5,93
Cyclone Glenda (30-31 mars 1967). Rivière Dumbéa												
Eau (mg/l)	pH	$\rho\Omega$ cm			HCO_3^-	Cl^-	Mg^{++}	Ca^{++}	SiO_2	Suspension		
	1	7,0	—			42,7	12,1	7,6	2,4	11,3	150	
3	7,1	—			40,3	5,0	9,1	1,0	13,4	116		
Suspension (%)	H_2O^+	Fe_2O_3	Al_2O_3	Cr_2O_3	TiO_2	MnO_2	MgO	CaO	NiO	CoO	SiO_2	Insol. HClO_4
	1	15,6	18,5	14,1	0,25	0,70	0,08	0,14	< 0,1	0,12	0,03	46,7
3	13,7	39,2	5,4	1,18	—	0,30	5,31	< 0,1	1,01	0,00	33,7	0,40
Cyclone Brenda (19 janvier 1968). Rivière Dumbéa												
Eau (mg/l)	pH	$\rho\Omega$ cm			HCO_3^-	Cl^-	Mg^{++}	Ca^{++}	SiO_2	Suspension		
	1	7,0	11 400			29,3	4,3	6,5	1,2	11,0	380	
5	7,3	12 700			34,2	5,7	6,2	0,4	12,0	160		
7	7,2	8 300			70,8	7,1	11,5	0,4	20,0	1		
Suspension (%)		H_2O^+	Fe_2O_3	Al_2O_3	Cr_2O_3	NiO	SiO_2	Insol. HClO_4				
	1	(2-40 μ)	9,3	41,2	3,0	0,6	2,1	15,7	23,8			
1	(0- 2 μ)	14,1	52,4	12,6	0,5	1,3	17,1	3,2				
5	(2-40 μ)	10,7	41,2	4,2	0,4	2,0	20,1	15,4				
5	(0- 2 μ)	13,3	49,9	12,6	0,2	1,9	19,3	5,8				
Comparaison avec les eaux habituellement rencontrées aux mêmes points, en saison chaude												
	pH	$\rho\Omega$ cm			HCO_3^-	Cl^-	Mg^{++}	Ca^{++}	SiO_2	Suspension		
Pluie	5,8	57 500			0	2,0	0,80	0	0	0		
Dumbéa	8,0	7 800			90	9,8	14,1	0,5	18,5	0		

Les analyses chimiques, effectuées au laboratoire de géologie du Centre ORSTOM de Nouméa (TRESCASES, 1965 et LAUNAY, TRESCASES, MAREUIL, 1969) sont rassemblées dans le tableau III. Aux observations effectuées en 1967 et 1968, ont été jointes les analyses d'un échantillon recueilli en février 1965, dans le sud du territoire, sur le micro-bassin de Ouenarou (Bassin de la Yaté, rivière Blanche).

Les tableaux I, II et III permettent les remarques suivantes :

— La mise en suspension est très rapide. Quelques heures (dix au plus) après le début des précipitations, la charge solide a atteint son maximum à l'exutoire du bassin versant.

— Dès que la décrue s'amorce, la vitesse du courant diminue et les exportations cassent. Par contre, en amont, où la vallée est plus resserrée et les vitesses plus grandes, les suspensions subsistent plus longtemps : ainsi le 20 janvier 1968, au matin, alors qu'à l'exutoire (fig. 1) la charge solide était voisine de 1 mg/l (tableau II), en amont de la plaine alluviale on dosait encore 25 mg/l en suspension. Ce qui signifie que la sédimentation n'intéresse plus alors le delta, mais plutôt la plaine alluviale et surtout les zones de piedmont.

— Si l'on s'intéresse à l'extrême amont (le micro-bassin de Ouenarou peut être ainsi assimilé) on constate que la composition de la suspension est très proche de celle des horizons d'altération in situ des péridotites (« terres-rouges » ou « latérites », « saprolites ») (TRESCASES, 1969a), constitués essentiellement d'hydroxydes de fer (goéthite et produits amorphes), de chromite, d'alumine, d'un peu de nickel (oxydé) et pauvres en silice. L'eau qui entraîne ces produits est pratiquement l'eau de pluie directement ruisselée.

— En aval, au contraire, l'eau contient une charge soluble appréciable et n'est que diluée : par rapport aux teneurs habituellement observées en cette saison et en ces points (TRESCASES, 1969b) la teneur en silice est divisée par 1,5, celle en magnésium étant divisée par un peu plus de 2, ceci, alors que les débits sont, en quelques heures, plus que centuplés. Ceci suggère que la moitié environ de l'eau de pluie ne ruisselle pas directement sur les pentes, mais s'infiltre dans le réseau karstique que constituent les croupes et plateaux sommitaux, parsemés de dolines (WIRTHMANN, 1965 - TRESCASES, 1969a), pour recharger les nappes. Cette eau reparaît en haut des piedmonts, sous forme de résurgences.

La suspension, d'autre part, est différente en aval de ce qu'elle était sur les hauts de pente : sa composition chimique l'apparente aux dépôts colluviaux de piedmonts. Elle est encore riche en hydroxydes de fer, contient toujours du nickel, mais beaucoup moins de chromite qu'en amont. La proportion de minéraux argileux est plus importante (antigorite, talc, nontronite essentiellement). La fraction la plus grossière renferme en outre du quartz, qui pourrait provenir des formations sédimentaires de la plaine côtière.

Nous reprendrons ces observations en conclusion, pour montrer le mécanisme de l'érosion, du transport et de la sédimentation.

LE BILAN DES DÉPARTS

Comparaison de l'érosion chimique et de l'érosion mécanique

Erosion chimique

L'analyse chimique systématique des eaux de la Dumbéa (TRESCASES, 1969b) permet une évaluation de l'érosion chimique des péridotites sur ce bassin : en se limitant à la silice et à la magnésie, constituants essentiels des roches (en moyenne SiO₂ 40 % et MgO 44,2 % dans les harzburgites), et des eaux, on note les teneurs moyennes suivantes :

Dumbéa branche est	: SiO ₂ 12,8 mg/l	MgO 19,2 mg/l
Dumbéa branche nord	: SiO ₂ 13,1 mg/l	MgO 21,0 mg/l
Couvelée	: SiO ₂ 16,7 mg/l	MgO 30,0 mg/l

Les modules de ces trois affluents étant respectivement de 3,6 m³/s pour la Dumbéa Est, 1,8 m³/s pour la Dumbéa Nord et approximativement 1,5 m³/s pour la Couvelée.

L'érosion chimique provoque alors l'exportation :

Dumbéa est : 1 453 t de silice et 2 180 t de magnésie

Dumbéa nord : 744 t de silice et 1 192 t de magnésie

Couvelée : 790 t de silice et 1 420 t de magnésie

On constate que le rapport moléculaire SiO₂/MgO des produits exportés est inférieur à ce rapport (R) dans la roche : l'élimination du magnésium est prédominante, la silice résiduelle précipitant sous forme de gel et contribuant à la synthèse d'argiles magnésiennes (antigorite et talc) et ferrifères (TRES-CASES, 1969 b). Si toute cette silice est fixée dans les nontronites ou les gels siliciques, le nombre de molécules de magnésium exporté est aussi le nombre de « moles » de péridots altérés. Par contre, si des argiles magnésiennes sont néoformées, une partie du magnésium libéré est consommé pour ces synthèses, et le tonnage de péridotite attaquée est plus important que ne le suggèrent les chiffres de silice et magnésie exportées en solution : il est d'autant plus important que l'argile de néoformation est moins siliceuse.

Admettons, en toute première approximation, que le produit d'altération, outre la goethite et le gel ferrique, est constitué à parts égales de nontronite, de gels siliciques, de talc et d'antigorite :

soit x le nombre de molécules de silice dissoute

y , le nombre de molécules de silice résiduelle disponible dont :

$\frac{y}{4}$ se recombinaient avec les gels ferriques (nontronite)

$\frac{y}{4}$ précipitent en gel de silice

$\frac{y}{4}$ se recombinaient à $\frac{3}{8} y$ molécules de magnésie dissoute (antigorite)

$\frac{y}{4}$ se recombinaient à $\frac{3}{16} y$ molécules de magnésie dissoute (talc)

Ce qui laisse en solution :

$$\left[\frac{1}{R} (x+y) - \frac{3}{8} y - \frac{3}{16} y \right] \text{ molécules de magnésie}$$

On en déduit que :

$$\frac{60,02 (x+y) \times 100}{40} \text{ est la masse de péridotite effectivement altérée}$$

(60,02 : masse moléculaire de la silice). En appliquant ce calcul aux chiffres exportés des trois bassins versants de la Dumbéa on obtient le tableau IV.

Ce tableau IV amène les remarques suivantes :

— le bilan est équilibré, mais un certain nombre d'hypothèses ou d'approximations ont été nécessaires :

— Dans la phase migratrice, seuls MgO et SiO₂ sont mesurés. Na₂O et CaO sont déduits de la quantité de péridotite. En effet, l'essentiel du sodium trouvé dans l'eau est d'origine atmosphérique, quant au calcium il est surtout fourni par les zones gabbroïques.

TABLEAU IV

Bilan annuel de l'altération des péridotites

	Dumbéa Est 56 km ² (t)	Dumbéa Nord 32 km ² (t)	Couveléc 41,5 km ² (t)	Total Dumbéa 130 km ² (t)	
Péridotite saine (d = 3,3)	5 123	2 861	3 523	11 500	
+ H ₂ O	171	104	136	411	
Phase migratrice	↓ SiO ₂	1 453	744	790	3 000
	MgO	2 180	1 192	1 420	4 800
	CaO	6,5	3,7	4,5	14,7
	Na ₂ O	5,5	3	3,8	12,3
Néofonnations	+ SiO ₂ amorphe	186	121	180	487
	Si ₄ O ₁₀ Fe ₂ (OH) ₂ nontronite	324	210	313	847
	Si ₄ O ₁₀ Mg ₃ (OH) ₂ talc	294	191	284	769
	Si ₂ O ₅ Mg ₃ (OH) ₄ antigorite	429	279	415	1 123
Résiduels vrais	+ FeO(OH) goethite	354	186	206	746
	Al ₂ O ₃	21	12	14	47
	Cr ₂ O ₃	17,5	10	12	39,5
	MnO ₂	6,5	3,7	4,5	14,7
	NiO	11	6	7,5	24,5
	TiO ₂	6,5	3,7	4,5	14,7

— La phase résiduelle est déduite de la quantité de péridotite hydrolysée ; la goethite est obtenue par différence entre la quantité de fer libérée et celle réutilisée pour synthétiser la nontronite.

— Les proportions réelles entre les différents minéraux néoformés sont inconnues.

— Le bilan ne tient pas compte d'une dégradation possible des minéraux secondaires, qui libèrent de la silice et du magnésium.

— Il ne tient pas compte non plus d'un certain héritage d'antigorite, les péridotites étant toujours partiellement serpentinisées en Nouvelle Calédonie.

— Les minéraux secondaires peuvent renfermer une partie de l'aluminium, du calcium et du nickel, au détriment du magnésium et du fer.

Erosion mécanique

Le bilan des transports en suspension consécutifs aux cyclones Glenda et Brenda a été tenté dans le paragraphe II. On peut tenter de généraliser ces chiffres de façon à estimer l'érosion mécanique spécifique.

Notons toutefois que les observations incluent la plaine alluviale, zone de sédimentation et d'érosion, alors que les chiffres relatifs à l'érosion chimique ne se rapportaient qu'à la zone péridotitique.

Entre 1852 et 1952, 29 cyclones ont sévi sur la Nouvelle Calédonie (GIOVANNELLI, 1952), dont 13 sur la moitié sud et 6 sur la totalité du territoire. En se référant aux chiffres de Glenda et Brenda on peut estimer que, en un siècle, la charge solide évacuée est certainement inférieure à 400 000 tonnes.

On peut considérer pour cette masse la composition chimique suivante :

SiO ₂ 35 % (dont 15 % de quartz)	NiO 1,7 %
Fe ₂ O ₃ 40 %	Cr ₂ O ₃ 0,5 %
Al ₂ O ₃ 9 %	MnO ₂ 0,2 %
MgO 2 %	

D'où l'on tire le tableau récapitulatif V.

TABLEAU V

Bilan comparé de l'érosion chimique et de l'érosion mécanique

	Lixivié	Accumulé	Erodé
SiO ₂ totale t/km ² /an	23,0	15,0	7
MgO totale t/km ² /an	36,9	5,7	0,4
Fe ₂ O ₃ total t/km ² /an	ε	7,7	8
Al ₂ O ₃ t/km ² /an	ε	0,36	1,8
Cr ₂ O ₃ t/km ² /an	—	0,30	0,1
NiO t/km ² /an	—	0,19	0,34
MnO ₂ t/km ² /an	—	0,11	0,04
Erosion chimique spécifique t/km ² /an		89 t/km ² /an	
(d = 3,3) Erosion chimique mm/1 000 ans		27 mm/millénaire	
Erosion mécanique spécifique t/km ² /an		20 t/km ² /an	
(d = 1,8) Erosion mécanique mm/1 000 ans		11 mm/millénaire	

Le chiffre global de l'érosion mécanique spécifique, soit 20 t/km²/an, peut se comparer aux chiffres donnés pour d'autres régions intertropicales :

- 26 t/km²/an sur le bassin versant du Grand Lac du Cambodge (CARBONNEL et GUISEAFRE, 1965).
- 69 t/km²/an pour le Mangoky à Madagascar (HERVIEU, 1968).
- 9,3 t/km²/an pour le Chari (RCA) (GAC et *al.*, 1970).
- 10 t/km²/an pour le Bandama (Côte d'Ivoire). sous forêt (MATHIEU, 1971).
- 100 à 180 t/km²/an pour le même Bandama, mais sous savane (LENOIR, rapport ORSTOM).
- 30 t/km²/an pour le Sanaga (Cameroun) (NOUVELOT, 1969).

Il est nettement inférieur à la valeur de l'érosion chimique spécifique (89 t/km²/an). Il faut cependant considérer :

— d'une part que l'érosion chimique a été évaluée, non seulement en fonction des tonnages lixiviés, mais encore en tenant compte des tonnages accumulés (ce qui accroît le chiffre).

— d'autre part que l'érosion chimique affecte des formations de densité 3,3, et l'érosion mécanique des horizons de densité 1,8.

Le rapport des valeurs exprimées en mm/millénaire évoque mieux la relation entre ces deux phénomènes : 11 mm pour l'érosion mécanique, contre 27 mm pour l'érosion chimique.

La tendance globale est donc favorable à l'altération, et ceci malgré la violence des phénomènes météorologiques, malgré l'activité tectonique récente qui a rajeuni, le relief (TRESCASES, 1969a), malgré la déforestation, importante sur ce bassin versant (mais en l'absence d'exploitation minière de taille, il est vrai.) Ces chiffres globaux doivent cependant être manipulés avec prudence : ils intègrent sur tout un bassin versant un très grand nombre de variables. Ainsi l'érosion est elle évaluée au niveau de la plaine alluviale, alors que, depuis les hauts sommets, plusieurs phases d'érosion et de sédimentation sont déjà intervenues (cf. le paragraphe II et la conclusion). L'homogénéité géologique du bassin, sa petite taille, et l'étalement des prélèvements sur un profil en long de la rivière, améliorent toutefois la signification des chiffres donnés.

Le bilan par élément apporte par exemple quelques précisions sur le sens de l'évolution géochimique du paysage (tableau V) :

A l'échelle de tout le bassin versant on peut ainsi conclure que la *silice* et la *magnésie*, quoique, lixiviées en énormes quantités, *s'accumulent*. L'altération actuelle est, au moins une partie de l'année, une simatisation, les pentes et les zones de départ des profils de plateaux sont riches en argiles magnésiennes (talc, antigorite). Le bilan du *fer* est juste équilibré : les zones hautes, très enrichies en fer, s'érodent, mais suspensions et colluvions font une étape dans les zones de piedmont, où les hydroxydes de fer se recombinaient en partie à la silice des nappes, pour former de nontronites. Ce piégeage freine donc l'exportation du fer.

Les autres éléments résiduels se classent en deux groupes :

— Chrome et manganèse, exportés des zones hautes, où ils s'érodent plus vite qu'ils ne s'accumulent, figurent surtout dans les fractions les plus grossières des niveaux d'altération. Leur migration, mécanique s'arrête dès lors aux zones de piedmont, sinon dans la masse charriée sur le fond, qui ne progresse que très lentement. L'ensemble du bassin versant ne livre donc que de petites quantités de ces deux éléments à la sédimentation deltaïque ou marine.

— Aluminium et nickel, par contre, qui entrent dans les combinaisons silicatées supergènes, font également l'étape obligatoire des zones de piedmont. Mais associés à la fraction argileuse, ils sont exportés du bassin versant lors des crues.

Au total on peut conclure que :

- l'altération va plus vite que l'érosion,
- mais que les niveaux d'hydroxydes des zones hautes sont irrémédiablement décapés, et peu à peu remplacés par les altérations silicatées.

LA PLAINE ALLUVIALE ET LE DELTA : ÉROSION ET SÉDIMENTATION

Sur la plaine côtière et sur le delta, le fait le plus remarquable est la reprise incessante des dépôts par l'érosion. Il apparaît dès l'abord que les sédiments en mouvement lors d'une crue ont une origine qui est relativement lointaine : l'essentiel provient de l'altération des massifs ultrabasiques qui constituent les régions hautes du bassin versant, ce qui se traduit par la couleur rouge très accusée des eaux en crue comme de tous les dépôts fins. Mais on se rend vite compte qu'en chaque point où le courant est vif, dans le lit mineur mais aussi sur la plaine d'inondation, l'érosion remet en mouvement des sédiments laissés par des crues antérieures : les berges du lit mineur sont soumises à une érosion intense le long de toutes les rives concaves des biefs curvilignes. Si l'angle entre la direction du courant et celle de la berge est prononcé, le sol peut être arraché par lanières, ouvrant de petits chenaux qui s'érodent très rapidement, se confondent entre eux, et favorisent le départ de tonnages très importants (BALTZER, *sous presse a*).

Nature des sédiments

L'analyse minéralogique des dépôts consécutifs au cyclone Brenda montre que l'origine principale des sédiments nouvellement apportés est à rechercher sur les hauteurs du bassin versant : la fraction de diamètre supérieur à 40μ se compose surtout d'antigorite, de quartz, de pyroxène, avec secondairement du talc, de l'olivine, de la goéthite et de la maghémite. La fraction argileuse se compose de goéthite, d'antigorite, accompagnées d'une smectite peu abondante, de talc, et d'hydroxydes de fer amorphes. Les produits grossiers, en majorité, sont typiquement des minéraux issus des massifs ultrabasiques. Le quartz lui-même en provient pour une large part, car il résulte d'une première phase de recristallisation de la silice libérée par l'altération des roches ultrabasiques. Il provient d'autre part de l'érosion des formations gréseuses du crétacé de la zone côtière du bassin versant.

La fraction fine des sédiments, qui contient la smectite et l'antigorite, a une composition plus proche de celle des formations de piedmont que de celle des couches d'altération sur massif ultrabasique. En particulier, sa richesse en silice est trop grande pour que les sédiments qui la contiennent puissent provenir directement et en totalité des zones d'altération. La part prise dans la composition globale par des sédiments provenant d'une zone située peu en amont est ainsi démontrée indirectement.

Mécanismes du transport

Il faut donc admettre que les sédiments voyagent par étapes successives. Ceci est particulièrement net pour les fines ; or ce sont les sédiments dont le transport est le plus rapide et qui ont les chances de se faire par les étapes les plus longues. En effet, les mécanismes de transport ont pu être déduits des courbes granulométriques grâce à l'analyse des structures sédimentaires déposées sur la plaine alluviale au cours de la crue provoquée par le cyclone Brenda (BALTZER, *sous presse b*). On montre que dans un échantillon de sédiment donné une fraction a été transportée par roulement sur le fond, une seconde fraction a été transportée à l'état de suspension de concentration progressive (sable) et la dernière fraction, les limons et argiles, en suspension homogène.

Il est bien évident que le dépôt a lieu lorsque le courant ne permet plus le déplacement, avec un temps variable suivant le mécanisme du transport. Il intervient immédiatement pour les paquets de sédiments arrachés en vrac tels que les mottes de gazon arrachées par lanières. Les galets roulant sur le fond

du lit mineur parcourent un chemin très faible, au cours d'une crue donnée, même si le tonnage traversant une section donnée du fleuve est considérable (TRICART, et VOGT, 1967, introduisent à ce sujet la notion de t/km). Le transport des galets est relativement faible et au total très lent, par étapes très courtes. La fraction grossière des sables roulant sur le fond, ainsi que les plus petits des galets, se déplace plus facilement et est très disséminée. Les sables ne se déposent qu'en des points précis de la plaine alluviale, juste en aval de zones d'érosion intense, qui renforcent localement la charge du courant transporteur. Là encore, la distance parcourue pendant les crues n'est pas très importante. Le dépôt est beaucoup plus lent à se produire pour la fraction fine, transportée en suspension homogène. Cette phase granulométrique voyage à une vitesse voisine de celle du courant transporteur, et ne peut se déposer que dans les zones calmes en bordure de la plaine alluviale et du delta. Les conditions favorables sont réalisées dans les zones d'herbage dense et les roselières où le courant est modéré (plaine alluviale) et dans les zones de marais maritime (herbacées ou arborescentes : mangrove).

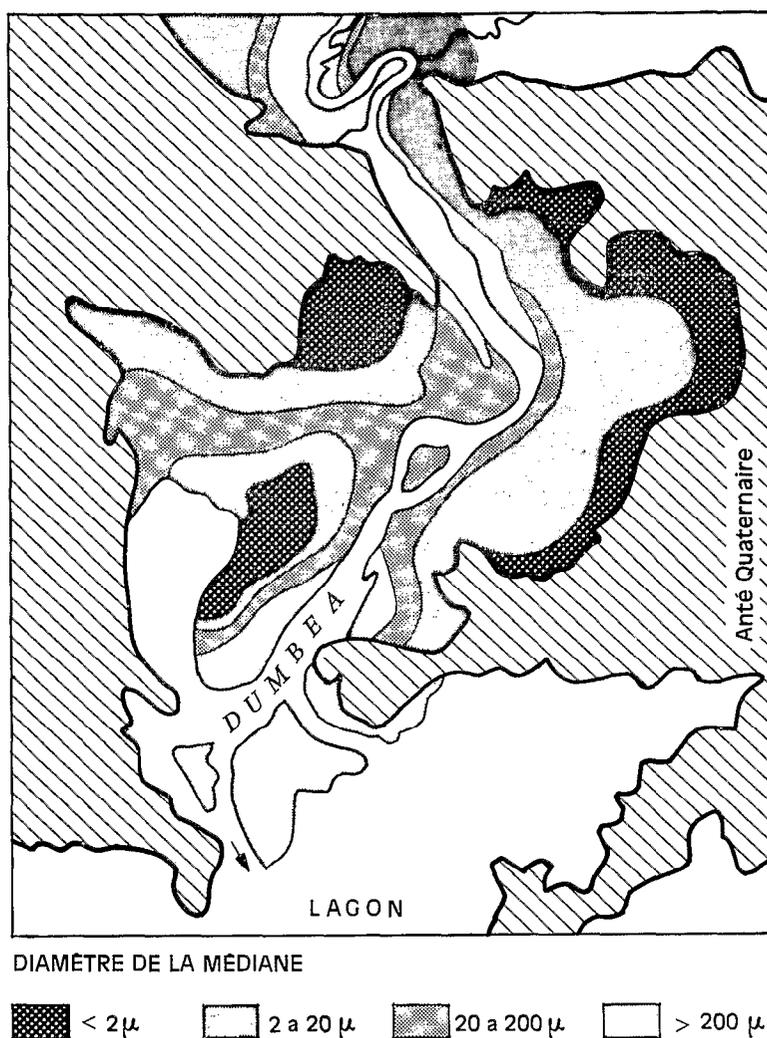


FIG. 4. — Carte de répartition des médianes granulométriques sur le delta de la Dumbéa.

Les conditions de transport et de sédimentation ont pour conséquence un triage des particules à l'échelle de l'échantillon. Elles en produisent également un à l'échelle de la plaine alluviale et du delta. Du fait que la nature minéralogique varie avec la dimension des particules, ce triage granulométrique produit un triage géochimique à l'échelle du petit bassin sédimentaire étudié.

Répartition des dépôts

La répartition de l'énergie mécanique dépensée par un cours d'eau en érosion transport et frottement est matérialisée par la pente de la surface de l'eau. Au cours d'un cyclone comme Brenda, celle-ci est maximum dans la zone rétrécie du nord du delta actuel et diminue, d'abord très vite, puis de moins en moins vite vers l'aval. Un gradient transversal existe aussi (BALTZER, *sous presse a*). L'énergie est concentrée dans la région du lit mineur et décroît rapidement vers la pente de l'interfluve.

La répartition des dépôts (fig. 4) rend compte, en gros, de ces particularités pour le delta.

— Les zones resserrées, où le chenal occupe la quasi totalité de la plaine alluviale étranglée par les collines anciennes voient se déposer des rides de sable parallèles au courant, sur la rive même du lit mineur. Ces rides de sable sont des dépôts épais, mais de surface très peu étendue au total. Les remaniements d'influence locale y sont la règle.

— Les zones plus élargies montrent un passage progressif à une sédimentation modérément grossière, sablo-silteuse, près du chenal, et très fine, argileuse au pied des collines anciennes. Une zone déprimée, sorte de chenal secondaire, part vers l'ouest à partir de la rive droite et est occupée par des sédiments un peu plus grossiers (silt, ou limon) compliquant localement le schéma. Il s'agit des restes d'un chenal en cours de comblement, dont la trace est laissée par la granulométrie des sédiments et par de petits étangs résiduels allongés.

— Tout à fait en aval, un nouvel étranglement des collines anciennes resserre le delta et les sédiments sableux dominant de nouveau. L'accélération du courant de crue et des courants de marée sont une première explication de cette réapparition des sables vers l'aval. L'effet de la houle et du clapot parfois assez forts en sont une seconde.

Essai de quantification

Principes de l'évaluation des quantités déposées et exportées lors des crues

La répartition des sédiments sur les levées naturelles et sur les dépressions latérales du delta obéit à certaines lois simples. On peut dire que les zones de sédimentation relativement grossière (sable) sont limitées aux bordures immédiates du chenal, soit dans le chenal lui-même, soit sur la levée naturelle. Ces dépôts lorsqu'ils se produisent, apportent une épaisseur assez importante de sédiments (de l'ordre de 1 à plusieurs centimètres ou plus à chaque fois). Mais ils ne couvrent qu'une faible surface.

L'eau de crue se répartit de part et d'autre du chenal deltaïque et répartit une partie de sa charge solide. Ce processus est favorisé par la présence de végétation. Dans les dépressions latérales du delta, la mangrove réduit et fait cesser l'agitation due au clapot et favorise le dépôt d'une grande partie des fines. De même, les marais d'eau saumâtre ou douce occupés par *Melaleuca leucacendron* forment un milieu calme où l'eau tend à s'écouler de façon non turbulente et à déposer sa charge solide. Ce processus, constant sur le delta, existe également le long de la plaine alluviale ; si bien que les sédiments arrachés sur les berges du chenal ou du lit mineur peuvent être redéposés tout près, dans une zone abritée du delta ou de la plaine alluviale. C'est pour cela que les fines n'échappent pas à la règle du transport par étapes successives nombreuses. Ces dépôts sont peu épais, mais s'étendent sur des surfaces importantes.

L'épaisseur, grande ou faible, des apports nouveaux de chaque crue contribue à maintenir la différence morphologique entre les levées et les dépressions latérales.

Cependant, une part des sédiments peut échapper à ce piégeage et atteindre le lagon et la mer. Il s'agit de particules ultrafines, dont le diamètre médian est de l'ordre de 0,1 micron. Cette phase granulo-

métrique présente le plus souvent un faciès de lévigation prononcé dans les sédiments de ce milieu deltaïque. La finesse et la couleur rouge de cette fraction lui permettent de produire une différence de coloration très apparente des eaux du lagon à l'embouchure des fleuves en crue, sans que la charge des eaux soit importante, ni même mesurable. Le dépôt de ces particules a lieu dans le lagon ou, plus facilement, dans les marais maritimes indépendants des embouchures, où la mangrove donne le calme quasi total nécessaire. Seule, une mesure directe des dépôts peut permettre d'évaluer la part des sédiments atteignant le lagon. Encore cette mesure est-elle rendue très difficile sinon impossible par l'énorme prédominance des sédiments thalassogènes (carbonatés) sur les apports terrigènes (LAUNAY, 1971, à paraître).

L'évaluation de la part des sédiments qui est piégée au niveau du delta peut-être faite en mesurant, juste après une crue, lorsque les nouvelles structures sédimentaires sont encore faciles à distinguer des anciennes, les épaisseurs déposées sur les diverses zones du delta. Cette mesure permet par différence de se faire une idée de la part des sédiments qui rejoint finalement le lagon au cours d'une crue.

Evaluation du tonnage déposé par BRENDA sur le delta de la DUMBEA

La mesure a été faite pour la fraction transportée en suspension homogène parce que c'est de beaucoup la plus abondante et parce que les comparaisons avec les mesures de turbidités sont faciles.

Le principe de la constance de la granulométrie d'une crue à la suivante (BALTZER, *sous presse* b), permet d'utiliser la répartition des médianes des sédiments superficiels du delta comme schéma de la répartition des apports sédimentaires nouveaux par une crue individuelle. Les zones où les sédiments ont une médiane de diamètre inférieur à 20 microns ont été considérées comme ayant reçu seulement des particules fines transportées en suspension homogène. Cela a été vérifié pour tous les endroits où les dépôts ont été effectivement analysés. La plupart des mesures d'épaisseur de couches de sédiments fins apportés par cette crue font ressortir une épaisseur voisine de 2 mm. Cette épaisseur constitue l'ordre de grandeur retenu. La surface concernée est de 3,05 km².

Dans les régions où les sédiments ont une médiane comprise entre 20 et 200 microns, on a considéré, au vu des courbes granulométrique typiques, que ces sédiments comportaient un tiers de leurs particules susceptibles d'appartenir à la suspension homogène. L'épaisseur observée est en moyenne de 3 mm répartis sur une surface de 0,98 km².

Les régions où se sont déposés des sables de plus de 200 μ de médiane couvrent 0,62 km². Il s'y est déposé en moyenne 10 mm de sable au sein desquels la fraction fine, susceptible de provenir du piégeage de la suspension homogène ne représente que 10 % du poids.

En un point du delta, il a été possible de recueillir des plaquettes de sédiment encore humide, dont il était certain quelles avaient été déposées au cours de la seule crue cyclonique étudiée (cette couche reposait sur de fins débris de coquilles abandonnées par nous quelques jours auparavant). La granulométrie (médiane 6 μ) est parfaitement représentative du domaine étudié. La mesure de densité du sédiment intact séché à l'étuve à 105° a été faite à la balance hydrostatique, après paraffinage (CAQUOT et KERISEL, 1956). La contraction des plaquettes en cours de dessiccation a été très faible en épaisseur et aucun facteur de correction n'a pu être appliqué, car il aurait été bien inférieur aux autres causes d'erreurs. Les mesures de densité s'échelonnent entre 1,95 et 2,01, avec une médiane de 1,99. Par commodité nous avons adopté la densité 2,00.

Les éléments de cubage donnés plus haut et la densité nous permettent d'évaluer le tonnage des sédiments fins déposés à partir d'une suspension homogène :

- 12 200 t inclus dans les sédiments de médianes inférieure à 20 μ
- 2 000 t inclus dans les sédiments de médianes entre 20 et 200 μ
- 1 200 t inclus dans les sédiments de médianes supérieure à 200 μ

Au total, les suspensions homogènes ont laissé approximativement 15 000 t de dépôts sur le delta.

Ce chiffre de 15 000 t concerne les particules fines en suspension homogène déposées sur le delta. On voit qu'il représente les trois quarts des 20 000 t qui sont passées sous le pont de la Dumbéa, juste en amont, au cours de la même période.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Le bassin versant de la Dumbéa, situé presque intégralement dans le grand massif péridotitique du sud de la Nouvelle Calédonie, a permis l'approche du bilan de l'altération, de l'érosion, du transport et de la sédimentation à propos des roches ultrabasiques.

— Les processus mécaniques d'érosion et de transport n'entrent en jeu que sous l'action des cyclones tropicaux.

— Les plateaux et croupes sommitaux, ferrallitiques, souvent cuirassés, parsemés de dolines, reçoivent les plus fortes précipitations. La moitié environ de cette quantité d'eau disparaît dans les dolines du karst latéritique, qui se remplissent de colluvions ferrugineux, arrachés aux horizons supérieurs des profils d'altération. Le reste des précipitations ruisselle sur les versants, en creusant de profondes ravines, ou lavakas, sur les bordures des plateaux.

— Le bilan comparé de l'altération et de l'érosion montre que si, au total, l'érosion chimique moyenne estimée en millimètres par millénaire est supérieure à l'érosion mécanique (27 contre 11 mm/1 000 ans), le détail par éléments fait apparaître que l'on tend vers une modification des paysages, la latérite érodée ne se reconstituant pas assez rapidement : l'altération actuelle est en effet caractérisée par l'alternance des phases de ferrallitisation et de simatisation. En saison sèche on observe la néogenèse d'argile magnésienne (antigorite, talc), alors qu'en saison chaude et humide la lixiviation de la silice est prédominante, le résidu d'altération ne comprenant que des hydroxydes de fer (nickel, manganèse...). La mesure des vitesses d'altération et donc d'accumulation (TRESCASES, 1969b) et d'érosion révèle que les éléments résiduels (fer, chrome, aluminium...) sont, à l'heure actuelle, plus rapidement érodés qu'accumulés. La silice et le magnésium, en revanche, quoique lixiviés en quantités très importantes, s'accumulent dans les niveaux d'altération silicatées. Le cas du nickel est un peu plus complexe, puisque, destabilisé des horizons latéritiques, il est piégé dans le niveau de silicates secondaire. Le schéma actuel est donc le suivant :

Les niveaux d'hydroxydes de ces zones hautes sont irrémédiablement décapés, et peu à peu remplacés par les altérations silicatées.

— Sur les pentes l'érosion est également très active. Le colluvionnement en masse sur les versants, et, dans une moindre mesure les transports en suspension dans les torrents temporaires, alimentent les dépôts de piedmont. L'eau infiltrée dans le réseau karstique souterrain ressort à ce niveau, après avoir réalimenté les nappes phréatiques, et provoque à son tour l'érosion de ces zones de piedmonts. Les matériaux constitutifs des piedmonts sont dérivés des produits d'altération des régions hautes, mais en différent par une plus forte teneur en silice (apportée en solution par les eaux drainant le paysage en amont), en aluminium et en argile minéralogique (ferrifère pour l'essentiel). C'est ce type de produit qui constitue la charge solide en suspension de l'eau qui parvient à la plaine alluviale et au delta. Le matériel le plus grossier (blocs, galets), qui ne peut être entraîné que très lentement, s'accumule dans le lit des torrents.

— Dès que l'on atteint la plaine alluviale, les dépôts de sédiments (galets, sables et limons plus ou moins argileux) s'accroissent, alors que l'érosion des berges du lit mineur ne cesse de se produire jusqu'en aval et affecte même les berges du chenal dans le delta. (Il est possible que dans le delta, l'érosion résulte en partie du soulèvement récent qui a affecté la Nouvelle Calédonie, soulèvement que la transgression holocène n'a que partiellement résorbé, (BALTZER, 1970).

— Les produits de la base des berges sont entraînés par le courant de débordement et se redéposent sur la plaine alluviale avec un granoclassement de plus en plus fin en s'écartant du lit mineur. Les rives concaves s'érodent à la base alors qu'elles sont engraisées par le haut. Les rives convexes se reconstruisent sur les accumulations des galets du lit mineur, par dépôt de sables et limons de plus en plus fins. Ceci explique la présence d'une nappe de galets en continuité avec ceux du fond du lit mineur au fond de la majeure partie de la plaine alluviale. Dans le delta, le même mécanisme a réparti une nappe de sables sous les limons et argiles (cette nappe est agrandie considérablement par les effets du soulèvement récent).

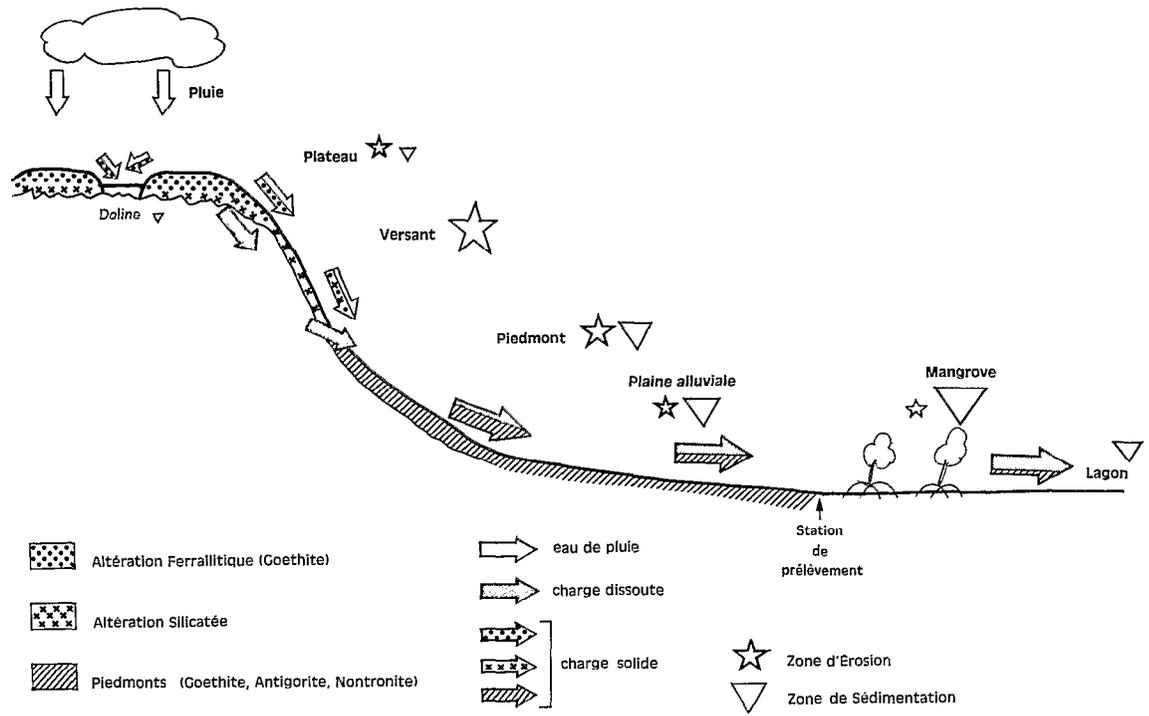


FIG. 5. — Schéma simplifié du couple Erosion-Sédimentation.

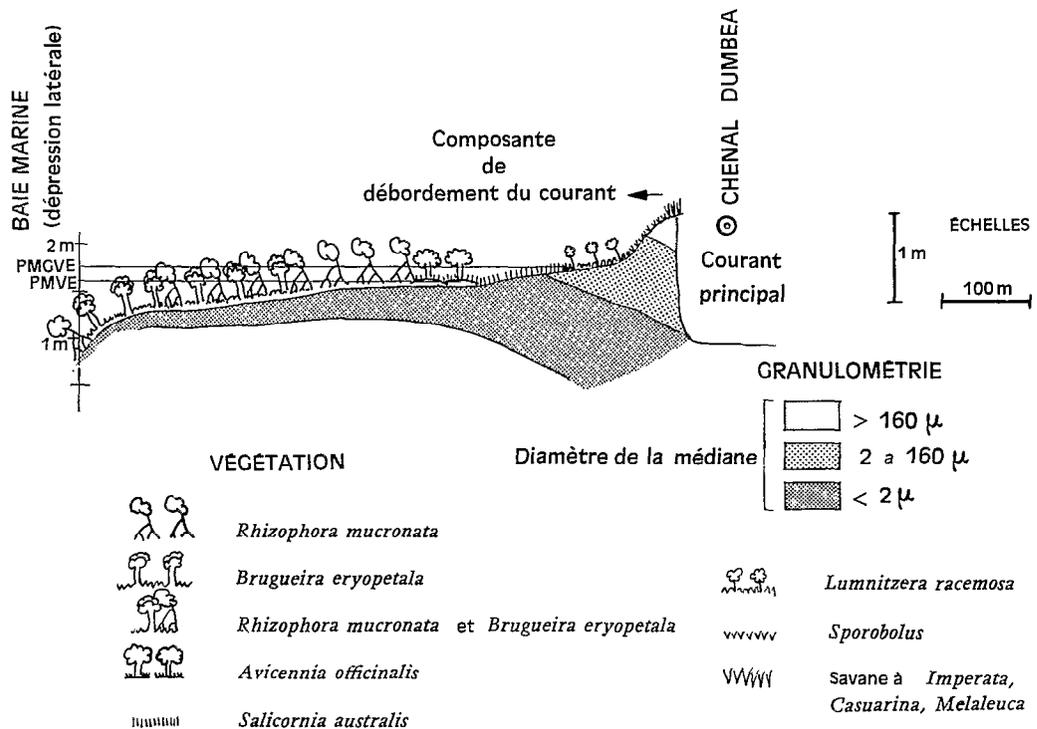


FIG. 6. — Exemple de profil coté entre le chenal deltaïque et la dépression latérale. Composition et répartition de la flore piégeant les sédiments dans les marais de la dépression latérale et sur la levée naturelle.

— Pour une vitesse donnée du courant, le transport se fait à une vitesse qui varie beaucoup avec la dimension des particules car le mécanisme du déplacement est très différent. Les galets ont des déplacements très faibles et sont liés au fond du lit mineur. Les sables ont des déplacements sous forme de suspension de concentration progressive et se déposent immédiatement si la vitesse diminue. Il en résulte que les étapes parcourues au cours d'une crue donnée sont au total très courtes. Les limons et argiles se déposent également, bien que la vitesse de déplacement puisse avoisiner celle du courant transporteur. Les fines sont retenues par la fraction grossière ou encore se déposent seules dans les zones suffisamment calmes, sur les bords de la plaine alluviale et dans les dépressions latérales du delta. Entre les périodes de déplacement rapide, de durée très courtes, s'intercalent des périodes d'arrêt infiniment plus longues : non seulement les crues importantes sont assez rares, mais encore il faut que leur action puisse s'exercer. Or, sur la plaine alluviale, elle est limitée pratiquement aux berges du lit mineur et à quelques zones, assez limitées, de concentration du courant.

— La quantité de sédiments déposés à partir de suspensions homogènes sur le delta représente environ les trois quarts de la charge solide apportée : les dépressions latérales du delta, avec leur riche végétation de marais maritimes et de mangrove, constituent un dernier relais, auquel peu de particules échappent. Ce qui arrive au lagon, outre le peu de particules échappant au piégeage du delta, ce sont surtout des sédiments arrachés par l'érosion aux berges du chenal deltaïque, en cours de divagation, donc des sédiments qui ont séjourné longtemps dans les conditions géochimiques propres aux bancs sédimentaires du delta.

— L'évolution du delta de la Dumbéa est particulière, du fait qu'il donne sur un lagon, donc sur une nappe d'eau très peu profonde, qui, dans ce cas particulier, a une haute productivité en CaCO_3 bioclastique, ce qui contribue à diminuer encore la profondeur. Les marais du delta, avec leur végétation dense, occupent une part importante de la tranche d'eau disponible. Le piégeage de sédiments par cette zone est donc quantitativement important par rapport au piégeage par décantation en eau profonde, si largement dominant dans les deltas classiques. Ce mécanisme permet de comprendre l'existence de delta dans une région où l'érosion mécanique est, somme toute, modérée.

— Le matériel prélevé sur les hauteurs parvient donc finalement à proximité du lagon, mais *ce parcours s'effectue par étapes successives*, dans le temps et dans l'espace (cf. fig. 5 et 6). C'est ainsi que, tout le long de la topo-séquence, chaque crue remanie les dépôts de la crue précédente, et leur fait franchir une nouvelle étape, et ceci pour chaque classe granulométrique. Le phénomène, évident pour les matériaux grossiers dont la vitesse de progression reste faible, est tout aussi observable pour les matériaux fins : ainsi les produits arrachés aux plateaux s'arrêtent sur les piedmonts, qui s'érodent à leur tour pour alimenter la plaine alluviale, cette dernière livrant ses matériaux au bénéfice du delta dont le chenal divague en abandonnant des sédiments au lagon. De telle sorte que l'ordre de grandeur de la quantité de sédiments remis en mouvement par une crue donnée dépasse plusieurs fois la quantité de sédiments qui arrivent effectivement au lagon ou sur les marais deltaïques pendant la même période.

BIBLIOGRAPHIE

- BALTZER (F.), 1969. — Les formations végétales associées au delta de la Dumbéa, (Nouvelle Calédonie). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. 1, n° 1, pp. 59-84.
- BALTZER (F.), 1970. — Datation absolue de la transgression holocène sur la côte ouest de la Nouvelle Calédonie, sur des échantillons de tourbes à palétuviers. *C.R. Acad., Sci., Paris*, t. 271, pp. 2251-2254, série D.
- BALTZER (F.), *sous presse* (a). Quelques effets sédimentologiques du cyclone Brenda sur la plaine alluviale de la Dumbéa, revue de Géomorphologie dynamique.
- BALTZER (F.), *sous presse* (b). Signification des indices d'évolution et des fractiles granulométriques dans l'étude des sédiments fluviaux et fluvio-marins (Sedimentology).

- BARRET (F.), — Résumés mensuels du temps (mars 1967, janvier 1968), et résumés climatologiques des années 1967 et 1968. Service de la Météorologie. Nouvelle Calédonie et Dépendances.
- CAQUOT (A.), KERISEL (J.), 1956. — Traité de mécanique des sols. Gauthier Villars, Paris. 558 p.
- CARBONNEL (J.J.), GUISEFARE (J.), 1965. — Le Grand Lac du Cambodge. Sédimentologie et hydrologie, rapport de mission. 401 p., Ministère des Affaires Etrangères-ORSTOM.
- GAC (J.Y.), CALLEDE (J.), ROUQUEROL (Y.), 1970. — Les transports solides de l'Ouham à Batangafo, rapp. ORSTOM, centre de Bangui, 18 p. *multigr.*
- GIOVANNELLI (J.), 1952. — Les cyclones tropicaux en Nouvelle Calédonie au cours d'un siècle (1852-1951). Service de la Météorologie. Nouvelle Calédonie et Dépendances.
- GIOVANNELLI (J.), 1953. — Le climat de la Nouvelle Calédonie. Service de la Météorologie. Nouvelle Calédonie et Dépendances.
- GIOVANNELLI (J.), ROBERT (J.), 1964. — Quelques aspects des dépressions et cyclones tropicaux dans le Pacifique sud-ouest. Monographies de la Météorologie Nationale, n° 33, Paris.
- HERVIEU (J.), 1968. — Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical. *Mém. ORSTOM*, n° 24, 465 p., Paris.
- LAUNAY (J.), 1971. — La sédimentation en baie de Dumbéa (côte ouest de la Nouvelle Calédonie). Rapp. ORSTOM, centre de Nouméa, 48 p. *multigr.*
- LAUNAY (J.), TRESCASES (J.J.), MAREUIL (Mme A.), 1969. — Analyse chimique des roches altérées, des sols ferrallitiques et des sédiments marins de Nouvelle Calédonie. Rapp. ORSTOM, centre de Nouméa, 23 p. *multigr.*
- MATHIEU (P.), 1971. — Erosion et transport solide sur un bassin versant forestier tropical (bassin de l'Amitioro, Côte d'Ivoire). *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. III, n° 2, pp. 115-144.
- MONIOD (F.), MLATAC (N.), CRUETTE (J.), 1964. — Alimentation en eau de la ville de Nouméa. Etude hydrologique des branches de la Dumbéa. Rapp. ORSTOM, centre de Nouméa, *multigr.*
- MONIOD (F.), MLATAC (N.), 1968. — Régimes hydrologiques de la Nouvelle Calédonie. Rapport ORSTOM, centre de Nouméa, 295 p. *multigr.*
- NOUVELOT (J.J.), 1969. — Mesure et étude des transports solides en suspension au Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, VI, n° 4, pp. 43-85.
- TRESCASES (J.J.), 1965. — Méthodes d'analyses d'eau drainant les massifs de péridotites de Nouvelle Calédonie. Rapp. ORSTOM, Centre de Nouméa. 50 p. *multigr.*
- TRESCASES (J.J.), 1969 a. — Premières observations sur l'altération des péridotites de Nouvelle Calédonie. Pédologie, Géochimie, Géomorphologie. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.*, vol. I, pp. 27-57.
- TRESCASES (J.J.), 1969 b. — Géochimie des altérations et des eaux de surface dans le massif ultrabasique du sud de la Nouvelle Calédonie. *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 22. 4, pp. 329-354.
- TRICART (J.), VOGT (H.), 1967. — Quelques aspects du transport des alluvions grossières et du façonnement des lits fluviaux. *Geografiska Annaler*. vol. 49, sér. A, n° 2-4, pp. 351-366.
- WIRTHMANN (A.), 1965. — Die Reliefentwicklung von Neukaledonien. « Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen ». *Deutscher Geographentag Bochum*. Juin 1965, pp. 323-335.