

50376
1977
187

MEMOIRE

50376
1977
187

présenté à.

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour obtenir le

DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES

Mention : GEOLOGIE APPLIQUEE

par

Bruno DELPORTE

ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DES LACS DE
GIPPSLAND, VICTORIA, AUSTRALIE.



Soutenu le 7 juin 1977 devant la Commission d'examen :

Membres du jury: MM. les Professeurs

C. DELATTRE
M. WATERLOT
J. ROBERTS
B. RUNNEGAR

*"l'étude approfondie de la nature est
une source inépuisable de découvertes
mathématiques."*

Joseph Fourier

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	I
RESUME et SUMMARY.....	III
REMERCIEMENTS.....	IV
1. Introduction	1
1.1 Cadre géographique	1
1.2 Caractéristiques et objectifs de l'étude	1
2. Morphologie et Géologie	5
2.1 Géologie	5
2.1.1 Stratigraphie	5
2.1.2 Structure	6
2.2 Morphologie	9
2.2.1 Différentes unités morphologiques	9
2.2.2 Evolution	21
3. Méthodes	25
3.1 Méthodes de terrain	25
3.2 Analyses de laboratoire	26
3.2.1 Analyses texturales	26
3.2.2 Analyses minéralogiques	29
3.3 Traitement des données	29
4. Programmes ordinateur de traitement des données	31
4.1 Introduction	31
4.2 Porgramme SEDIMT : analyse des données brutes	33
4.2.1 But du programme	33
4.2.2 Données mathématiques	33
4.2.3 Description du programme - Organigramme schématique .	48
4.2.4 Introduction des données	58
4.2.5 Sortie des résultats	61
4.2.6 Critiques du programme	64

5. Distribution des sédiments	77
5.1 Introduction	77
5.2 Distribution superficielle de la matière organique	77
5.2.1 Lac Wellington	78
5.2.2 Lac Victoria	80
5.2.3 Lac King	81
5.2.4 Zone comprise entre Metung et Lakes Entrance	85
5.2.5 Lac Tyers	86
5.3 Distribution verticale de la matière organique	87
5.4 Distribution superficielle de la moyenne granulométrique .	89
5.4.1 Lac Wellington	89
5.4.2 Lac Victoria	91
5.4.3 Lac King	94
5.4.4 Zone comprise entre Metung et Lakes Entrance	96
5.4.5 Lac Tyers	98
5.4.6 Lac Reeve	98
6. Caractéristiques texturales des sédiments	103
6.1 Distributions fréquentielles des paramètres	103
6.2 Relations entre les paramètres	107
6.2.1 Relations binaires	107
6.2.2 Relations ternaires	127
6.2.3 Analyse de l'ensemble des relations - corrélation multiple	134
6.3 Courbes granulométriques cumulatives des différents envi- ronnements	138
7. Minéralogie	143
7.1 Travaux antérieurs	143
7.2 Constituants minéralogiques	144
7.2.1 Fraction argileuse	144
7.2.2 Fraction sableuse	151
7.3 Evaluation quantitative	151
7.4 Cristallinité	153
7.5 Distribution superficielle	156
7.6 Origine	157
8. Conclusion	159
Bibliographie	161
Annexes	169

RESUME

Le nombre important d'échantillons prélevés dans les lacs de Gippsland nous a conduit à établir des programmes ordinateur en vue du traitement des données provenant des analyses de laboratoire.

Dans un premier temps, les cartes des distributions superficielles de la matière organique ainsi que de la granulométrie ont été tracées pour les sédiments des lacs. Les caractéristiques texturales ont ensuite été recherchées par l'étude de certains paramètres des échantillons récoltés.

Enfin, une approche de la minéralogie des sédiments a été effectuée en mettant l'accent sur les minéraux en présence, leurs proportions et leur origine.

SUMMARY

The great amount of samples which have been collected in the Gippsland Lakes, has led to the establishment of computer programs in order to treat the laboratory data.

At first, superficial distribution maps of organic matter content and of the mean grain size of the lake bottom sediments have been drawn. Then the study of the sediments parameters was carried out to provide an understanding of the textural characteristics.

Finally, the mineralogy of the sediments was examined to precise the relative proportions and origin of the different minerals.

- R E M E R C I E M E N T S -

Avant d'entreprendre l'étude des lacs de Gippsland, c'est pour moi un agréable devoir de remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur Michel WATERLOT, Professeur à l'Université de Lille I, à qui je dois d'avoir pu réaliser ce mémoire. Je l'en remercie ainsi que les Ambassades de France à Canberra et d'Australie à Paris, pour l'année merveilleuse que j'ai pu passer à Melbourne grâce à l'obtention d'une bourse d'étude allouée par le Gouvernement Australien.

Je tiens également à remercier Monsieur le Professeur C. Delattre qui me fait l'honneur de présider ce jury. Son expérience dans le domaine de la sédimentologie m'a permis d'avoir l'avis d'un spécialiste.

Messieurs Roberts et Runnegar, des Universités de New-South Wales (Sydney) et de New England (Armidale) ont bien voulu examiner ce mémoire, je les en remercie.

Ma gratitude va aussi à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail en Australie :

- Monsieur le Professeur M.A.H. Marsden qui a dirigé mes travaux au Laboratoire de Géologie Marine à Melbourne ;

- Monsieur R.A. Davis, Professeur à l'Université de Tampa (Floride) avec qui j'ai eu la chance d'effectuer une partie de mon terrain ;

- L'Education Department, qui, par l'intermédiaire de Monsieur F. Madden, m'a réservé un accueil chaleureux et a grandement facilité mon intégration à Melbourne ;

- Monsieur le Professeur J.F. Lovering, Messieurs R. Krummel et B. Carr qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre au Geology Department de l'Université de Melbourne.

Je remercie enfin le personnel technique de l'U.E.R. des Sciences de la Terre de l'Université de Lille : Madame Brebion, Messieurs Pluquin et Carpentier pour leur aide dans la réalisation de cet ouvrage.

En tout dernier lieu, j'exprime ma profonde gratitude à ma femme qui m'a soutenu moralement et qui a bien voulu dactylographier ces pages.

Introduction

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Cadre Géographique

Situés le long de la côte Sud-Est de l'état de Victoria (Australie), les lacs de Gippsland s'étendent sur près de 105 kms en longueur et 25 kms en largeur. Ils sont séparés de la Mer de Tasman et du détroit de Bass par un long cordon de dunes leur conférant les propriétés d'un système lagunaire avancé.

Au Nord et à l'Ouest, les Eastern Highlands et les South Gippsland Highlands délimitent nettement la plaine qu'occupe le complexe de lacs.

Les villes de Sale (Nord-Est), Seaspray (extrême Ouest), Bairnsdale (Nord) et Lakes Entrance (approximativement Est) bordent cet ensemble. Les lacs Wellington (139 km²), Victoria (111 km²), King (93 km²) et Reeve font partie du complexe proprement dit. Le lac Tyers situé à environ 10 kms à l'Est de la ville de Lakes Entrance a été inclus dans l'étude en raison de sa proximité, bien que son origine soit totalement différente de celle des autres lacs. La figure 1.1 donne la localisation du secteur étudié.

Lorsque les premiers pionniers vinrent s'installer dans la région, le complexe de lacs était entièrement séparé de la mer par une barrière extérieure (*outer barrier*). Il n'y fut pas relié avant 1889 lorsqu'un canal fut creusé près de la ville de Lakes Entrance.

1.2 Caractéristiques et objectifs de l'étude

Jusqu'à présent, très peu d'études ont été entreprises sur les lacs eux-mêmes. Les travaux ou publications antérieures ont principalement décrit la géologie du bassin d'alimentation : T.S. Hall (1914), F. Chapman (1918) et T.S. Hart (1921). Ce ne fut pas avant le début des années 1960 que E.F.C. Bird (1959, 1961, 1962, 1963 et 1965) donna de plus amples renseignements sur les modèles et processus géomorphologiques des lacs et de leur environnement. J.J. Jenkin (1968) apporta par la suite une meilleure connaissance de la chronologie de la fin du Tertiaire et du Quaternaire.

L'objectif de cette étude est de fournir une connaissance détaillée de la distribution, de la composition et des caractéristiques des sédiments modernes des lacs de Gippsland. Il tente également de les expliquer à la lumière des processus impliqués dans les environnements lacustres et lagunaires actuels.

Le second but de l'étude est de fournir une base de départ pour des études sédimentologiques et géochimiques plus détaillées et plus localisées dans ce secteur.

Enfin, le troisième objectif est de permettre l'entreprise d'études biologiques ou écologiques se basant éventuellement sur la connaissance des critères sédimentologiques.

Cette étude, faisant partie d'une étude générale sur l'environnement des lacs, a été possible grâce à l'aide du Ministère pour la Conservation de Victoria (Australie) et fut menée à bien grâce à l'obtention d'une bourse Australo-Européenne allouée par le Gouvernement Australien.

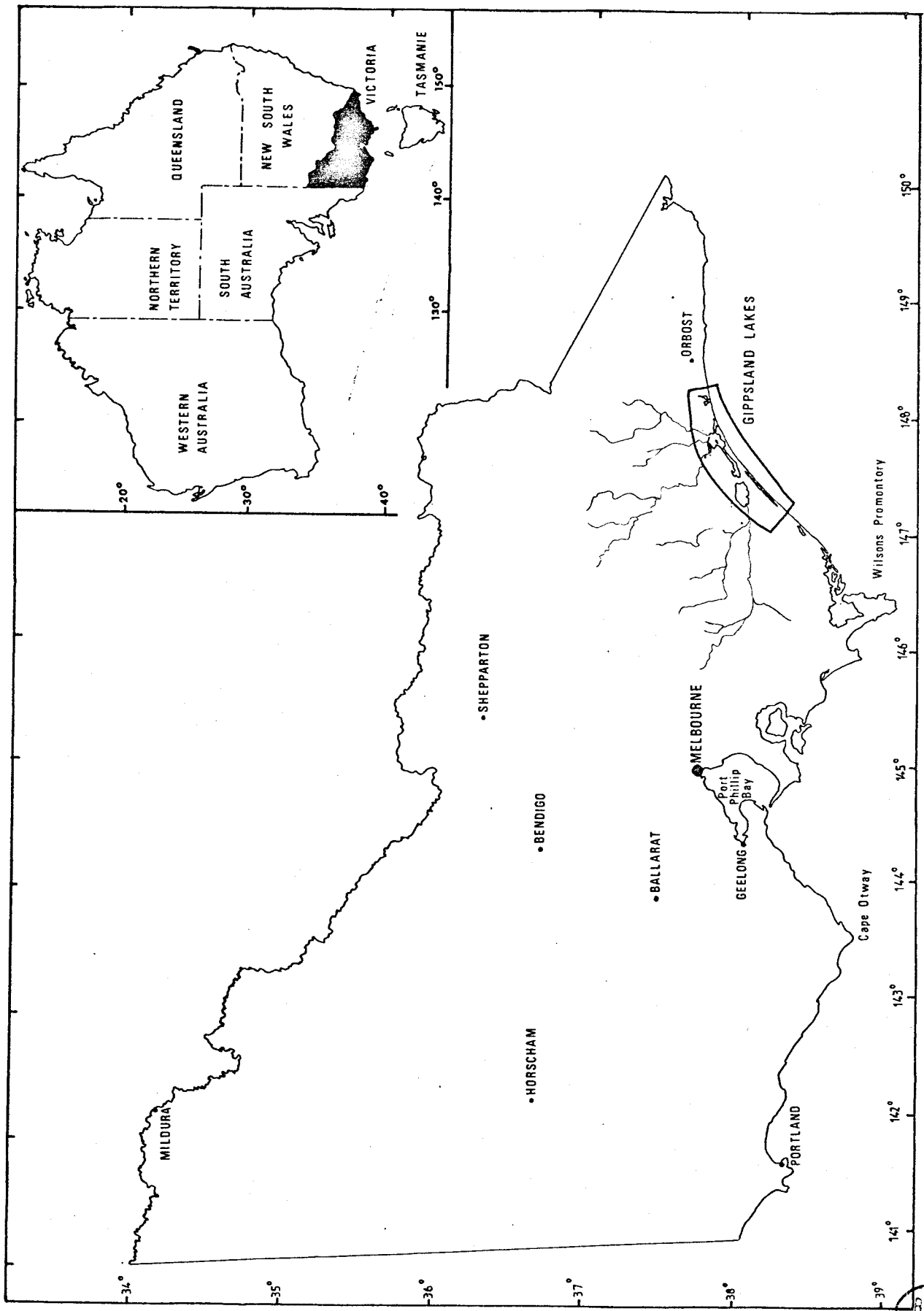


Fig. 1.1. Situation géographique du secteur étudié

BUS LILLE

Morphologie

et

Géologie

CHAPITRE 2 MORPHOLOGIE ET GEOLOGIE

2.1 Géologie

2.1.1 Stratigraphie

Un bref aperçu de la géologie de la région des lacs de Gippsland sera ici entrevu à la lumière des travaux antérieurs.

Les faciès quaternaires guidant les grands traits morphologiques de la région seront toutefois exclus pour être expliqués au paragraphe 2.2. Au Nord des lacs, les Eastern Highlands constituent une puissante masse de terrains paléozoïques soulevés où se rencontrent un nombre important d'intrusions ignées. En bordure Sud de ces formations, en discordance, se rencontrent les assises du Tertiaire et du Quaternaire (fig. 2.1). Jurassique et Crétacé Inférieur ne se rencontrent en surface qu'au Sud Ouest de la zone étudiée, à la faveur de soulèvements survenus à la fin du Tertiaire (Hills, 1940). En fait, ces terrains ont été reconnus en sondages sous les assises tertiaires, reposant en discordance sur les schistes, grès et grauwackes de l'Ordovicien (Crépin, 1943).

Les caractères des différents étages sont les suivants :

L'Ordovicien, le plus étendu des terrains affleurant, est composé de séries épaisses (environ 3000 m) de grès quartzeux et grauwackes, de pélites sableuses et argileuses ainsi que d'argilites silteuses en proportions variables. Cet Ordovicien s'est déposé dans le géosynclinal de Lachlan, partie du géosynclinal Tasman. Les grauwackes, montrant des graded beddings, ont été interprétés par Hills et Thomas (1954) comme dus à des courants de turbidité. A la fin de l'Ordovicien, l'orogène Benanbran (correspondant à la phase Taconique) est venu plisser et métamorphiser (schistes, gneiss et granulites) une partie de ces sédiments. En même temps, des intrusions de granites et de granodiorites ont eu lieu.

Silurien et Dévonien Inférieur et Moyen n'affleurent qu'à la faveur de petits grabens où ils n'ont pas été érodés. La base du Silurien, discordant sur l'Ordovicien, est constituée par une épaisse série de roches volcaniques acides surmontée par des conglomérats, grès et pélites.

Le plissement Bowring (correspondant à la phase ardennaise) est ensuite venu déformer ces couches ; il a été suivi par d'importantes montées granitiques qui se sont mises en place. En discordance, le Dévonien Moyen est composé d'un faciès continental surmonté de roches volcaniques. La fin de cette période voit l'établissement d'une sédimentation de calcaires et calcaires dolomitiques.

La phase tectonique importante qui suivit (Orogenèse Tabberabbaran) donna place à des sédiments continentaux, à des roches volcaniques acides (rhyolites) ainsi qu'à des intrusions granitiques. Cette période fut caractérisée par une intense activité tectonique : quatre phases orogéniques ont ainsi été décelées.

Une longue phase de dénudation eu alors lieu jusqu'au Jurassique puis à partir de cette période et jusqu'au Crétacé Inférieur se déposèrent des grès feldspathiques (arkoses) avec des séquences répétées de pélites et de grauwackes, conglomérats, de couches calcaires et quelques passées de charbon (Douglas, 1976). Toutes ces assises se sédimentèrent dans le bassin de Gippland de direction Est-Ouest, c'est à dire perpendiculairement à l'ancien géosynclinal Tasman. Une autre discordance sépare ces sédiments des sédiments Tertiaires.

Ceux-ci, à leur base, sont constitués principalement de sédiments clastiques (des argiles aux conglomérats) associés à des charbons bruns *brown coals*. A l'Eocène et l'Oligocène, une sédimentation pélagique (calcaires, marnes, pélites ou grès). Le *Seaspray Group* constitué entre l'Oligocène et l'Holocène présente un faciès régressif : calcaire pélagique, marnes glauconitiques et calcaires marneux et enfin, passant à la période actuelle, de formations de sables coquilliers.

2.1.2 Structure

La région des lacs de Gippsland consiste essentiellement en une mosaïque de blocs séparés les uns des autres par des failles normales (Hills, 1962) ; les lacs de Gippsland sont compris dans le *Latrobe depression block* qui subit encore une subsidence de nos jours.

Les failles parcourant le secteur sont situées principalement au Sud Ouest des lacs et sont principalement normales avec une direction de N 35°.

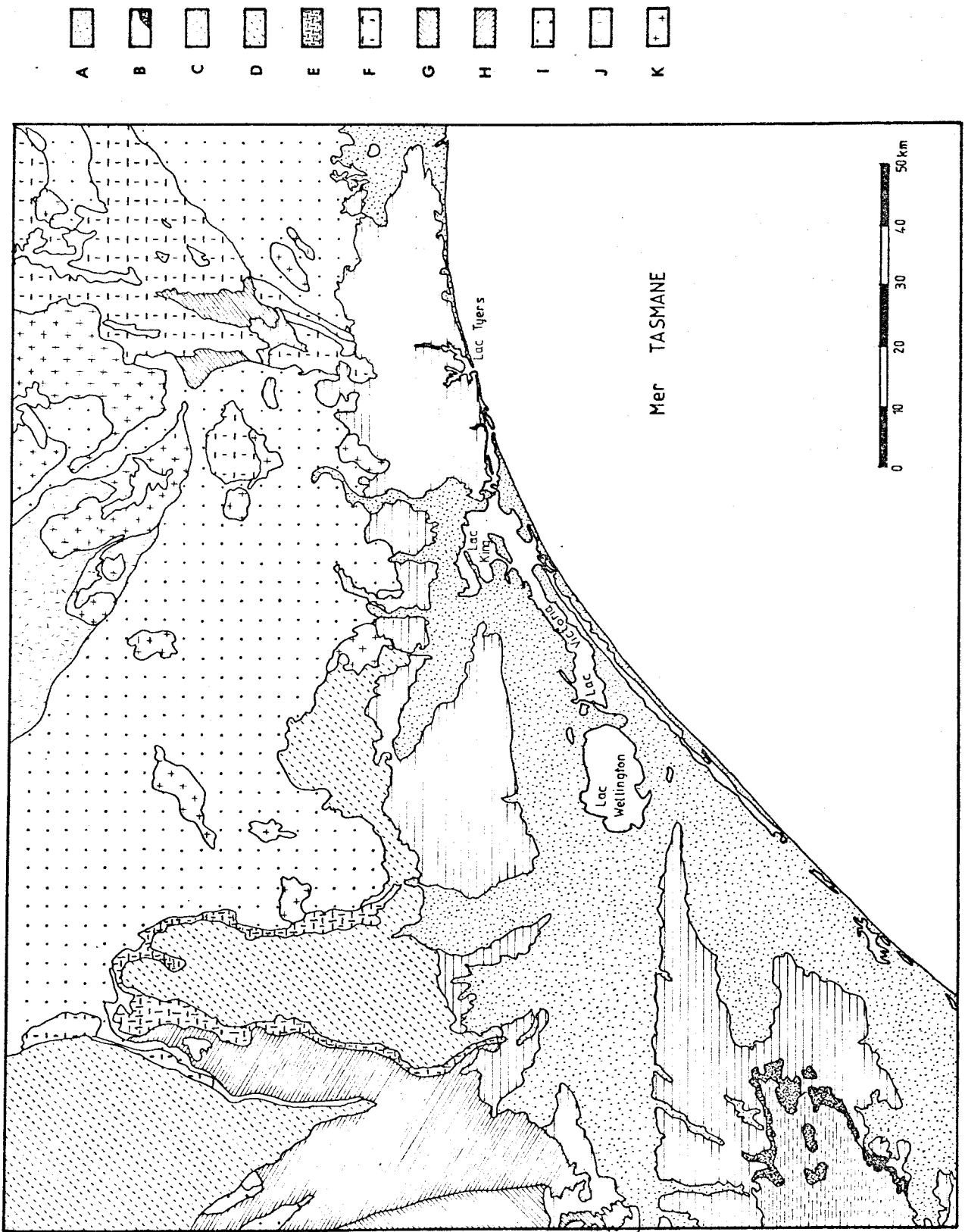


Fig. 2.1 Carte géologique de la région des lacs de GIPPSLAND d'après J.J.Jenkin (1968). Se reporter à la page suivante pour la légende

LEGENDE DE LA CARTE GEOLOGIQUE (Fig. 2.1)

- A- QUATERNAIRE.....Sables, silts et argiles
- B- TERTIAIRE.....Graviers, sables et argiles, passées de laves
- C- CRETACE INF.-JURASSIQUE.Arkoses, argilites et conglomérats, charbon
- D- CARBONIFERE.....Grés, ardoises et conglomérats
- E- DEVONIEN.....Rhyolites, rhyodacites et trachytes
- F- DEVONIEN.....Rhyolites et tuffs
- G- DEVONIEN.....Calcaires, grés et argilites
- H- SILURIEN.....Grés, argilites et schistes avec conglomérats
et lentilles de calcaire
- I- ORDOVICIEN.....Grauwackes, grés, schistes argileux, argilites
- J-.....Roches métamorphiques
- K-.....Roches granitiques

Les South Gippsland Highland au Sud Ouest forment un anticlinorium où les couches du Jurassique-Crétacé Inférieur affleurent à la faveur d'un décoiffement de l'ensemble.

Au Nord-Ouest du lac Wellington se trouve le *Latrobe valley synclinal* dont la formation est étroitement liée à une tectonique de faille.

2.2 Morphologie

2.2.1 Différentes unités morphologiques

2.2.1.1 Plages

2.2.1.1.1 *Ninety Mile Beach* (plage océanique)

Comme son nom l'indique, la plage océanique est longue de 90 miles soit environ 145 kms. Elle s'étend de *Corner Inlet* au Sud Ouest jusqu'au lac Tyers à l'extrême Est, parcourant ainsi entièrement le secteur étudié. La largeur moyenne est très faible et n'est que de l'ordre de 6 à 7 mètres, ce qui met presque en contact le système dunaire avec la mer. Le profil de la plage est très variable d'un endroit à l'autre : en règle générale, la pente est importante et est de l'ordre d'une vingtaine de degrés pour une granulométrie moyenne (sable moyen). Cette pente est parfois cassée en deux, formant ainsi un échelon (fig. 2.2). Celui-ci est mis en place lors d'accidents orageux puis, très rapidement, par temps calme, la plage regagne son profil usuel.

2.2.1.1.2 Plages des lacs

Ces plages, images d'un milieu moins dynamique que l'océan, seront définies par des caractéristiques différentes. Ainsi les plages sont courtes et discontinues, séparées les unes des autres par des zones d'érosion (où la zone à *Banksia* et *Eucalyptus* est atteinte) ou zones d'accrétion, où les argiles et silts sont piégés dans les *Phragmites* formant la rive. Généralement, la pente de ces plages est très douce, de l'ordre de quelques degrés, permettant dans certains cas l'existence d'une large plage (exemple à l'Est du lac Wellington). Il est à noter

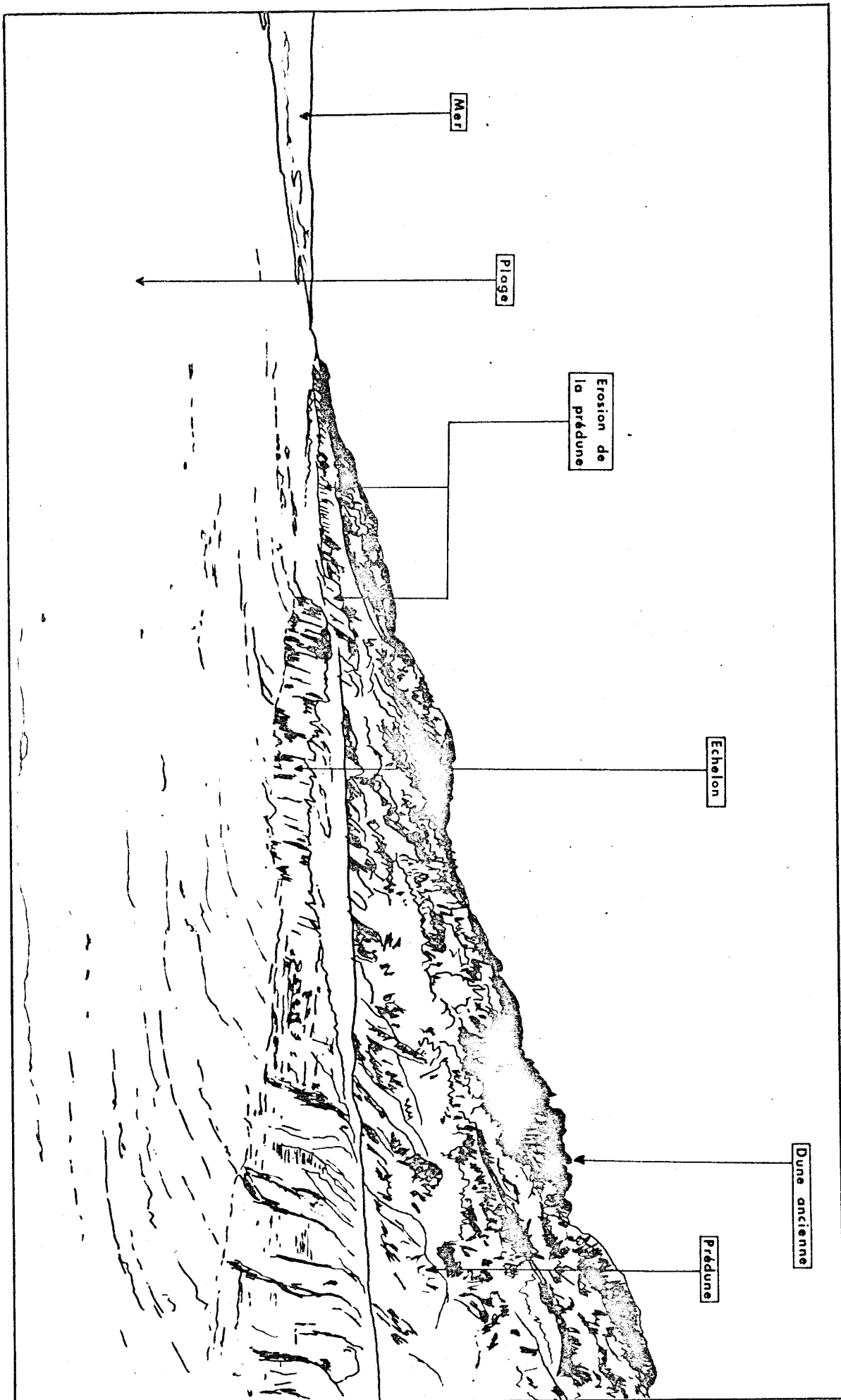


Fig. 2.2 Erosion de la plage océanique

que ces plages étendues sont fréquemment liées au régime éolien dominant : les vagues formées atteignent leur énergie maximum sur la plage, déposant ainsi les sables nécessaires à sa formation. Les boues qui les accompagnent sont ensuite lessivées et ne laissent que la fraction sableuse. De telles plages se trouvent à l'Est des lacs (côté opposé aux vents dominants) à l'Est du lac Wellington d'une part, et au fond des deux baies bordant le delta de la rivière Tambo (lac King).

Les plages situées au Nord de *Sperm Whale Head* (lac Victoria) possèdent un matériel plus grossier (sables grossiers et graviers) que les autres plages du complexe lacustre. Ceci est dû au remaniement du matériel situé sur la rive même. En effet, d'anciennes formations dunaires composant la barrière primaire, affleurent en faveur de l'érosion.

2.2.1.2 Barrières Costales

Par ce terme nous considérerons les barrières ou masses sédimentaires ayant ou ayant eu un rapport avec la côte actuelle ou ancienne. Elles consistent en de larges masses de sables consolidés ou parfois viennent s'ajouter silts et argiles, spécialement dans les barrières costales anciennes. Leur succession délimite des lagons parallèles ou subparallèles à la côte actuelle ou ancienne. Bird (1965) distingue essentiellement trois barrières : primaire (*prior*), intérieure (*inner*) et extérieure (*outer*).

La première, sur la rive Nord des lacs Wellington et Victoria, est ainsi appelée car son développement s'est effectué en tête de la baie avec fermeture des lacs actuels. La seconde, ou barrière intérieure, doit son nom au fait qu'elle se trouve à l'intérieur des terres, séparée de la côte par le cordon dunaire actuel. Elle clot les principaux lacs, Wellington, Victoria et King, mais est interrompue au Sud de *Raymond Island* (lac King) et au niveau de l'entrée artificielle. La barrière extérieure est la plus récente de ce groupe. Elle est formée de dunes et de la plage océanique actuelles. Elle est séparée de la barrière intérieure par le lac Reeve composé d'étendues d'eau de faible profondeur, temporairement asséché ainsi que de *sandflats* et de *salt marches* (Bird,

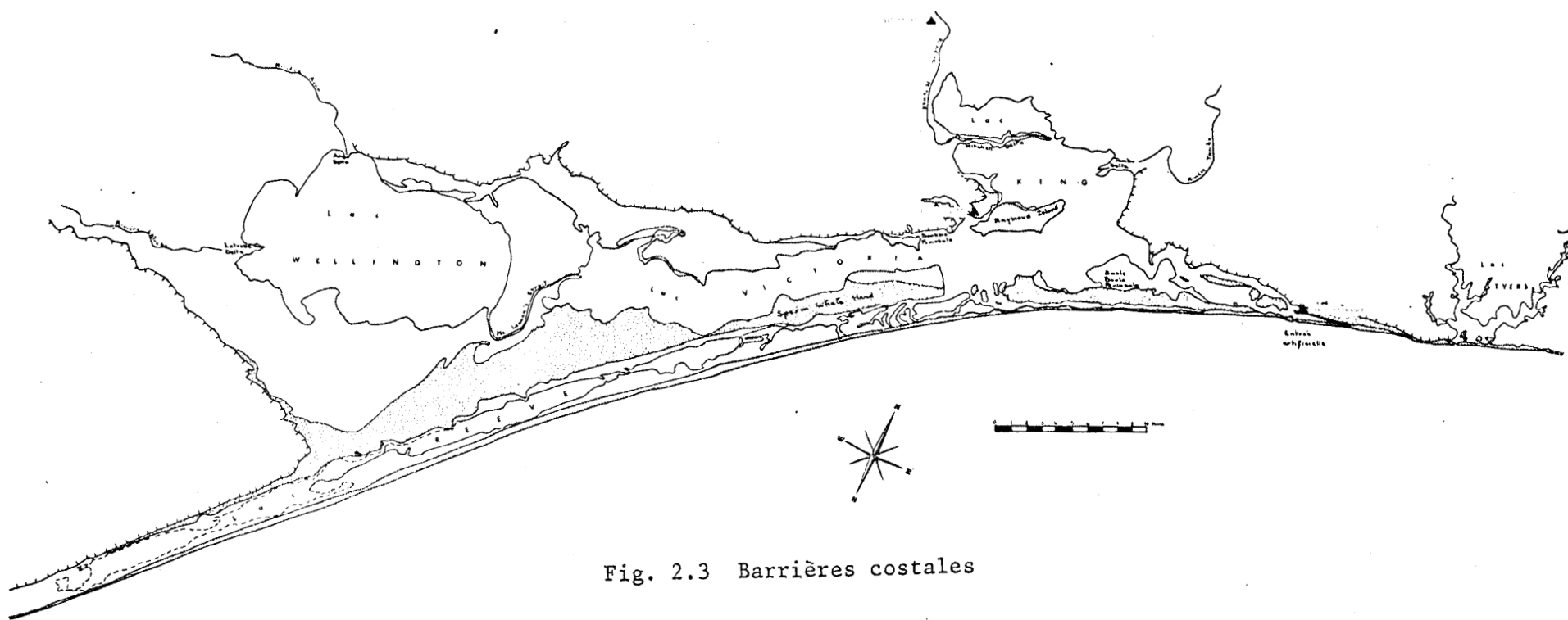


Fig. 2.3 Barrières costales

en hachuré: barrière primaire (la plus interne)
en pointillés: barrière intérieure (centrale)
en hachurés inverses: barrière extérieure ou actuelle.

1965). La configuration actuelle de ces 3 barrières costales est représentée en figure 2.3.

2.2.1.2.1 Barrière Primaire

Les travaux de Bird (1965) et de Jenkin (1968) ont fortement favorisé la connaissance de cette barrière. L'observation des photos aériennes permet de reconnaître son extension au Nord des lacs Wellington et Victoria. Les plus belles structures sont conservées dans *Banksia Peninsula*, au Nord-Est du lac Victoria et dans *Sperm Whale Head*, au Sud-Est de ce lac et dans *Raymond Island*.

Elles sont constituées de crêtes ou squelettes dunaires faiblement surélevés (jusqu'à 6 mètres) et assez espacés les uns des autres (30 à 50 mètres). Le phénomène est parfois complexe tel qu'à *Banksia Peninsula* où deux directions de crêtes perpendiculaires sont observables : l'une étant sensiblement parallèle à la falaise pléistocène et l'autre perpendiculaire à cette falaise. Une extension possible de cette barrière a été supposée par Bird (1965) à l'Est de *Raymond Island* mais si jamais il en a été ainsi, il est très difficile de démontrer ce fait compte tenu de l'absence totale de restes de cette barrière.

2.2.1.2.2 Barrière Intérieure

La barrière intérieure est une barrière intermédiaire entre les barrières primaire et extérieure (ou acutelle). Elle est venue s'installer après la barrière primaire entre l'extrémité Ouest de la baie existant alors et l'extrémité Est, cloturant ainsi les lagons enfermés derrière elle. Sa configuration et sa forme, identiques à la barrière extérieure, nous permettent de penser que les conditions météorologiques et marines devaient être similaires à celles existant maintenant.

Il est possible de reconnaître deux unités différentes très distinctes morphologiquement. La première, située à l'intérieur et bordant les lacs Wellington et Victoria au Sud, est constituée par une plaine sableuse surmontée uniquement par de faibles rides (inférieures à 1 mètre).

Il y a eu beaucoup de modifications de cette partie depuis son dépôt durant la première période de l'Holocène : des marécages et des "flats" sont venus s'y installer recouvrant ainsi toute structure pouvant être visible. Des érosions se sont également produites par le vent d'une part, par les anciennes rivières d'autre part. Ce point sera vu plus en détail dans le paragraphe 2.2.2.

La seconde n'est composée que d'une étroite bande parcourue en son long par une ou plusieurs crêtes dunaires. Ces crêtes sont fréquemment interrompues là où des déflations éoliennes se sont produites. Les structures les mieux conservées se localisent dans la presqu'île de *Sperm Whale Head* où les rides dunaires sont encore très bien observables. Celles situées au Nord-Est de la péninsule ont des dimensions, espacements et directions similaires à ceux rencontrés à *Banksia Peninsula* (barrière primaire). Par contre, les directions ainsi que les espacements changent lorsque l'on se situe au Sud : les rides dunaires sont ainsi plus rapprochées, longues et rectilignes, parallèles à la plage actuelle.

A l'Est de *Sperm Whale Head*, entre cette péninsule et *Boole Boole Peninsula*, la barrière est interrompue ; des bancs de sable recouverts par une très faible hauteur d'eau occupent cette partie. Bird (1965) a émis une hypothèse sur l'origine de cette érosion, l'expliquant comme érosion fluviale lors d'une période d'émergence des terres. Nous verrons également ce détail au paragraphe 2.2.2. Notons toutefois que l'étude sédimentologique entreprise vient étayer cette théorie en apportant des preuves sur la similitude des morphologies et des faciès de la zone dénudée et de la barrière intérieure (chapitre V).

2.2.1.2.3 Barrière extérieure

Elle est composée d'une série de dunes comportant une ou deux prédu-nes et des chaînes de dunes parallèles entre elles et à la plage actuelle (Fig. 2.2) Cette barrière est donc récente, résultant de la dernière période du Quaternaire. Bien qu'entité à part entière de cette barrière, la plage océanique décrite précédemment au paragraphe 2.2.1.1.1 sera ici passée sous silence.

La coupe usuelle de la plage aux platiers située en arrière des dunes, est la suivante : bordant la plage, et fréquemment érodée à sa base, se trouve une première prédune dont le sommet n'est que partiellement colonisé par *Festuca littoralis* (environ 10 à 20 % de couverture). Cette première prédune, parfois absente, est sujette à des modifications de formes, à des déplacements et à des érosions locales (*blowouts*). Ces phénomènes, créés par action éolienne, contribuent à la mobilité de la partie frontale du complexe dunier. La déflation semble ainsi être le critère le plus important quant à la formation, la mobilité et la destruction de ces prédunes ; la couverture végétale jouant l'effet inverse de stabilisant et d'accroissement.

Derrière cette prédune, peuvent se situer d'autres prédunes, d'âge plus ancien, et caractérisées par une évolution et une couverture floristiques plus importantes.

Un début de podzolisation prend place sur cet ensemble mais est contré par le renouvellement fréquent du matériel.

Les particules de matière organique non liées au sable à cause des conditions sèches, sont ainsi emportées au loin et peuvent se déposer dans les lacs ou sur la plaine, derrière le complexe dunaire.

Situé derrière cette ou ces prédunes, un complexe dunaire, plus important et plus ancien, vient s'apposer ; la végétation s'y développant a atteint un climax plus évolué : acacias, *tee trees*. Les sols podzoliques y sont également plus évolués : à la surface se trouve un sable composé d'un faible pourcentage de matière organique incomplètement décomposée, principalement débris végétaux non encore attaqués chimiquement ou biochimiquement. C'est l'horizon A₀.

Au dessous, un horizon A₁, très mince, est surtout composé d'humus qui lui confère sa couleur noire. A quelques 25 à 30 cms de la surface se trouve un horizon cendreau, parfois blanchâtre, correspondant à l'horizon A₂. Celui-ci est en relation avec le lessivage de toute ou partie de la matière organique qui vient s'accumuler dans un niveau inférieur ou horizon B. La distinction d'âge du complexe dunier en général peut donc se faire par la reconnaissance systématique de l'évolution pédogénétique (Duchaufour, 1970). Ce critère est toutefois à prendre sous certaines réserves car en

certains endroits, une dune ancienne peut être dénudée de son sol ou bien celui-ci peut être postérieurement recouvert par apport de sable éolien. Dans ce dernier cas, malheureusement moins fréquent, il est encore possible de déterminer l'âge relatif de ce sol alors fossile.

En plus de l'érosion de base de la première prédune, un phénomène de troncation de l'ensemble dunaire est également observable. En effet, si l'on regarde le profil type de cet ensemble, on s'aperçoit que la crête se situe fréquemment très près des prédunes, excentrée par rapport aux dunes (figure 2.4).

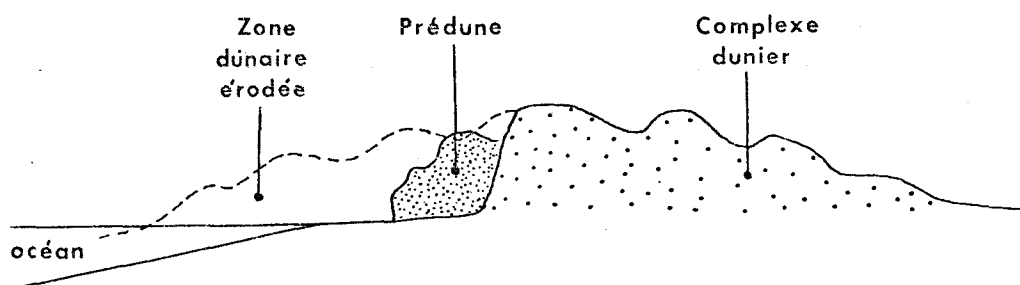


Figure 2.4 Erosion du complexe dunaire

La partie frontale du complexe dunaire ayant été érodée, une ou plusieurs prédunes se sont ensuite installées au pied par temps calme. Ce phénomène d'érosion peut donc s'expliquer de trois façons ; la première serait la multiplication des tempêtes mais, la faible largeur de la plage, ne semble pas corroborer cette hypothèse. Les deuxième et troisième raisons plus plausibles, ont des effets identiques : ce sont, soit une faible montée du niveau marin, soit une descente du substratum par rapport à ce niveau. Ceci expliquerait plus probablement cette forme dissymétrique.

2.2.1.3 Les Deltas

Le terme de delta fut ici employé pour la première fois par Bird (1962a) mais ne convient pas exactement aux structures rencontrées dans les lacs de Gippsland à la sortie des rivières Avon et Latrobe (lac Wellington), Mitchell et Tambo (lac King). En fait, ces deltas ne possèdent pas la structure usuelle étalée telle qu'on la trouve par exemple dans les deltas du Niger, du Mississippi ou du Gange (Sheppard, 1960). Il semble que cela ne soit simplement qu'une progradation des berges silteuses de la rivière dans le lac considéré. Cette seconde hypothèse proposée par nombre de géologues, entre autres Jenkin (1968), a apporté une controverse sur la définition de ces structures. Dans la présente étude, la distinction adéquate n'étant pas nécessaire, nous utiliserons le terme de delta pour plus de facilité de compréhension.

Morphologiquement ces deltas constituent l'un des caractères les plus particuliers des lacs de Gippsland. Seule la rivière Nicholson (lac King) n'en est pas pourvue, les autres rivières offrent différents types et stades. La forme usuelle est la forme triangulaire telle que les deltas des rivières Latrobe, Tambo et Avon l'indiquent.

Le delta de la rivière Mitchell adopte pour sa part une forme très allongée. Son extrémité ainsi que ses rives sont actuellement soumises à l'érosion due à l'action des vagues et à l'arrêt d'apports nouveaux par la rivière. En effet, en 1919, une nouvelle ouverture s'est développée à la faveur d'une crue importante à la base du delta, déviant une grande partie des eaux fluviales vers le Nord (*Jones Bay*). Un nouveau delta s'est alors formé, prenant appui sur les sables et troncs d'arbres qui s'y sont déposés. Ces derniers permettent aux nouveaux sédiments transportés par la rivière d'être piégés et de former ainsi l'esquisse d'un nouveau delta.

Le delta de la rivière Tambo présente la même morphologie que les deltas des rivières Latrobe et Avon ; c'est un delta triangulaire qui a progradé dans le lac King en ayant formé de chaque côté de ses flancs des rides sableuses correspondant aux diverses lignes de rivage. Ce delta est maintenant partiellement érodé : c'est ainsi qu'il est possible

de constater qu'après la troncature de ses flancs, une mince couche de sable (échantillon 7670/28) vient se déposer par temps calme.

2.2.1.4 Marais, platiers et *salt marches*

Les marais sont particulièrement localisés dans les vallées alluviales, là où le profil des rivières atteint pratiquement l'horizontalité. Ils se mettent en place de deux manières différentes : par accretion et empiètement sur le milieu lacustre ou marin (pour les anciens) avec leur formation en arrière du rivage, ou par érosion de la roche existante et accumulation de sédiments fins dans la vallée fluviale lors des crues importantes. La végétation qui s'y développe est alors fonction de la fréquence des crues débordantes. Ces marais se localisent autour de toutes les rivières principales se déversant dans les lacs de Gippsland.

Un deuxième type de marais est formé par dépôt de matériaux silteux et argileux piégés d'abord autour des herbes lacustres, ensuite autour des phragmites colonisant les baies peu profondes ou les berges abritées. C'est le cas des marais au Sud et à l'Est du lac Wellington. La végétation poussant sur ces marais est constituée en majeure partie de *Mala-leuca ericifolia*.

La partie située entre la barrière extérieure et la barrière intérieure (lac Reeve) a très rapidement vu ses apports diminuer de telle sorte que, maintenant, la seule source détritique est située à l'Est. Lors de grandes crues, le niveau des lacs s'élève et ceux-ci déversent une partie de leurs eaux dans le lac Reeve. Mais ces apports sont très insignifiants car l'on constate que les sédiments situés au centre et à l'Ouest du lac Reeve ne possèdent pratiquement pas d'argiles minéralogiques. Ce point sera vu plus en détail dans le chapitre VII.

La plupart du lac Reeve est temporairement ou constamment asséché offrant ainsi plusieurs zones :

- Zone constamment immergée (A)
- Zone intertidale (B) + immergée fréquemment (Ba)
+ immergée temporairement (Bb)

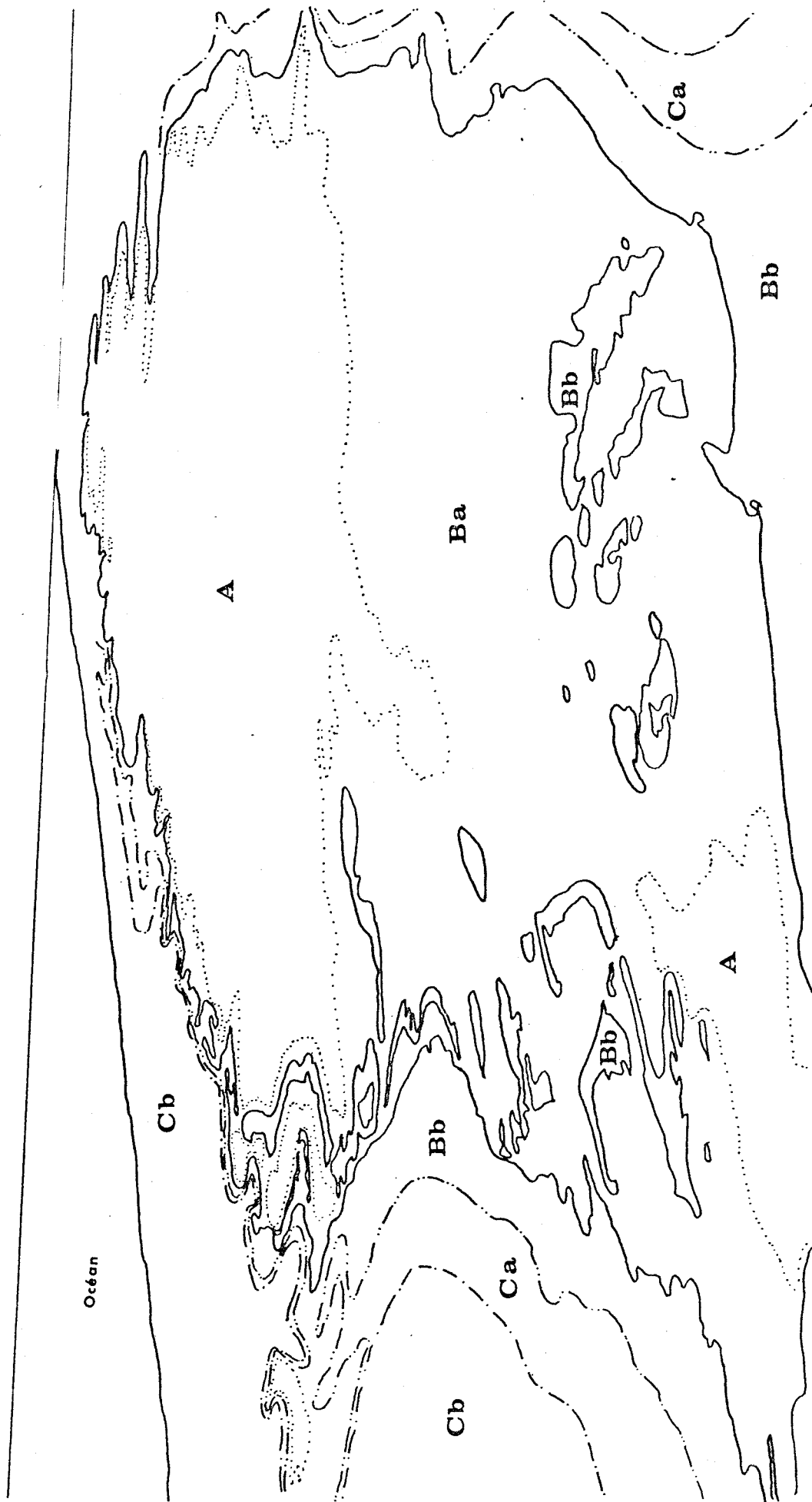


Fig. 2.5 Vue aérienne du lac Reeve ainsi que ses différentes zones morphologiques.



- Zône supratidale (C) + influencée par montée et descente du niveau piézométrique et par des crues occasionnelles (Ca)
- + zône toujours immergée (Cb)

Ces différentes zônes (fig. 2.5) sont bien entendu placées plus ou moins haut topographiquement, ce qui leur confère ces différents caractères. Chaque zône ou sous-zône sera également caractérisée par l'absence ou par un certain type de végétation.

Les zônes A et sous-zônes Ba ont une absence totale de végétation. Dans la sous-zône Ba par exemple, les touffes de hautes herbes sont noyées lors des crues puis balayées par le vent lors du retrait des eaux. Il est ainsi fréquent de constater que la surface couverte par les trous correspond au diamètre d'enracinement de ces touffes (0.5 à 0.8 m de diamètre).

La sous-zône Bb, immergée sporadiquement, est colonisée par *Salicornia australis*. Ces plantes très hydrophiles subsistent dans un milieu fréquemment saturé en eau (zône de saturation). Si l'on se déplace vers l'extérieur du lac, on rencontre à un niveau un peu plus élevé la sous-zône Ca, colonisée par des joncs (*Juncus maritimus*). Cette sous-zône n'est que très rarement immergée ; sous-zône de transition morphologique, elle l'est également au point de vue climax car elle se situe entre la sous-zône à *salicornia* (Bb) et la sous-zône à végétation arbustive (*Malalencia ericifolia* et *Eucalyptus terreticornis*). Montée et descente des eaux édifient des rides concentriques autour du lac. Ces rides sont principalement sableuses et, suivant leur degré d'évolution, peuvent être importantes (1 à 2 m de hauteur) ou très basses (quelques centimètres). Ces caractères peuvent se distinguer sur la figure 2.5.

2.2.1.5 Falaises

Les falaises concernées sont de deux âges différents. La première est la falaise tertiaire, délimitant d'un côté les sables et graviers du tertiaire, et de l'autre la plaine des lacs de Gippsland. Elle rejoint la côte au niveau de lac Tyers, à l'Est du bassin. La seconde

falaise, formée à la fin du Pléistocène, suit sensiblement le contour des lacs. La plupart de la barrière primaire y est accolée entre Raymond Island et le lac Wellington.

2.2.2 Evolution

Les énormes énergies mises en place sur le bassin des lacs de Gippsland permettent et ont permis une évolution constante des structures. Il est certain que le complexe n'a pas existé en tant que tel depuis longtemps : la falaise tertiaire nous indique, par exemple, une ligne de rivage à la fin de cette période, beaucoup plus à l'intérieur des terres, laissant ainsi à la place des lacs actuels une immense baie régie par des phénomènes océaniques. Classant les différentes unités suivant leur ordre d'apparition, Bird (1965) a retracé la paléogéographie holocène de cette ancienne baie. Cette évolution est représentée sur la fig. 2.6.

A la fin du Pléistocène, la barrière primaire s'est constituée au devant de la falaise pléistocène, en fond de baie. Une première différenciation apparaissait donc avec la formation d'une lagune en arrière de cette barrière. Cette configuration se retrouve dans les lagunes créées sur la côte texane aux Etats Unis, et a été décrite par Le Blanc et Hodgson (1959). Elle correspond à une grande mobilité du sable le long de la côte puis à un piégeage de celui-ci lors d'accidents négatifs de la côte. Ce phénomène semble par ailleurs avoir géré, et gère encore partiellement, l'évolution morphologique des unités structurales des lacs de Gippsland.

La barrière dite intérieure est ensuite venue clore complètement la baie, laissant derrière elle une énorme lagune correspondant aux actuels lacs Wellington, Victoria et King assemblés. Durant la dernière période glaciaire, un abaissement du niveau marin a permis l'émergence de tout ce complexe lagunaire ; l'érosion fluviale a alors disséqué barrières primaires et intérieures laissant ainsi une énorme ouverture correspondant aujourd'hui aux *Castairs Bank* (lac King).

La période postglaciaire qui suivit contribua d'une part, à mettre

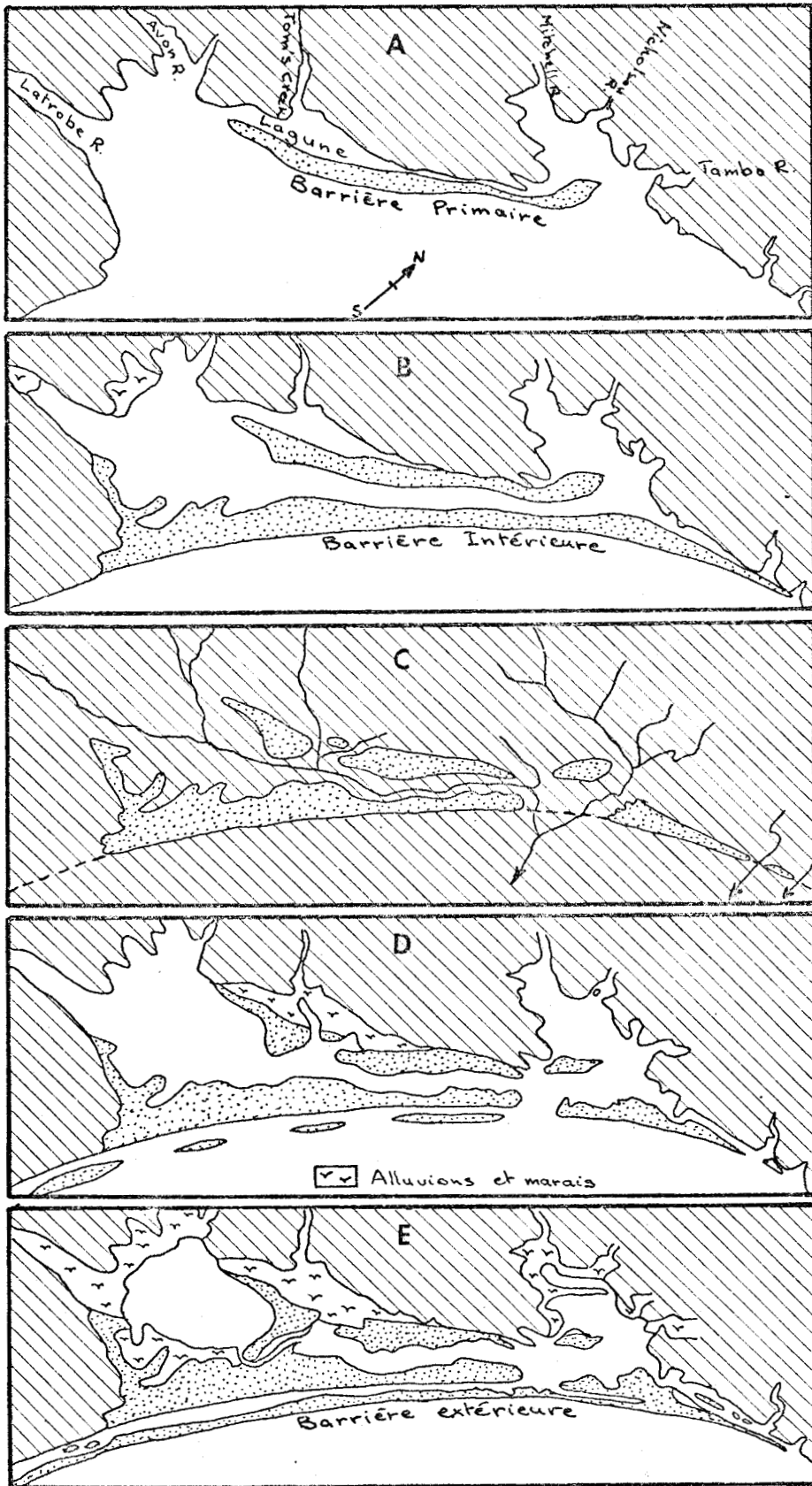


Fig. 2.6. Evolution des barrières costales (d'après E.F.C. BIRD, 1965)

BHS
LILLE

- A, B, Formation des barrières primaire et intérieure à la fin du Pléistocène,
- C, Dissection durant la regression marine de la dernière glaciation,
- D, Submergence durant la transgression postglaciale,
- E, Configuration actuelle.

en place la barrière extérieure par le même procédé que les précédentes barrières. Il y a également eu évolution des vallées alluviales par dépôts d'alluvions silteuses et argileuses ainsi que formation de marais au pied de ces rivières. La dernière phase, qui en fait n'est encore que la continuation de la phase post-glaciaire, a vu se terminer la barrière extérieure. Les principaux deltas se sont également formés en parallèle avec les marais progradant le long des rives des lacs.

Il semble qu'actuellement l'évolution soit quelque peu régressive, en effet, au paragraphe 2.2.1.2.3 il a été fait mention d'une érosion du complexe dunier actuel avec l'hypothèse d'une faible remontée du niveau marin. A l'intérieur du complexe lacustre, les facteurs opérationnels sont plus nombreux et sans doute moins actifs. L'érosion est perceptible sur bon nombre de plages du lac Wellington par exemple, mais il existe aussi des plages s'établissant encore.

Cependant, le phénomène le plus important est encore le comblement des différents lacs par les apports des rivières. La sédimentation et le comblement du lac Wellington semblent être plus rapides mais ceci pourrait être dû au fait que cette partie ne s'enfoncé pas avec le même gradient que les autres lacs. Cela serait également dû au fait que le lac Wellington forme un milieu relativement bien fermé, n'étant relié aux autres lacs, que par un détroit limitant considérablement les échanges et les pertes.

Méthodes

CHAPITRE III METHODES

3.1. Méthodes de terrain

Les échantillons et les carottes, au nombre de 281, furent collectés entre Juin 1976 et Février 1977. Ils représentent les principaux sédiments du fond des lacs Wellington, Victoria, King, Tyers et Reeve, ainsi que les unités annexes de ces lacs.

Dans la mesure du possible, les localisations des échantillons furent déterminées aux intersections de la grille australienne, de maille de 2 km de côté. Des prélèvements supplémentaires furent collectés lorsqu'un trait particulier était marqué par la profondeur, la géographie ou la géomorphologie. Contrairement aux autres lacs constamment recouverts d'eau, le lac Reeve fut échantillonné selon les unités morphologiques repérées sur les photos aériennes de la région. Les mêmes procédures furent également utilisées dans la zone comprise entre Metung et Lakes Entrance où le mélange des eaux salées provenant de la mer et des eaux fraîches des lacs a lieu.

Le prélèvement des échantillons fut effectué au moyen de deux bateaux de moyen gabarit appartenant aux *National Park Service et Latrobe Valley Water and Sewage board*. Dans le cas de zones de faible profondeur, une simple barque fut utilisée. La localisation des échantillons dans ce cas, fut déterminée au sextant lors de la prise de l'échantillon. L'erreur sur la position est estimée à ± 100 mètres. Une drague à machoires de type Van Veen fut utilisée pour collecter les 3 à 5 centimètres superficiels des sédiments lacustres. Chaque échantillon fut ensuite placé dans un sachet en plastique pour sa conservation jusqu'à son analyse en laboratoire. Dans chacun des lacs principaux, on échantillonna également trois carottes au moyen d'un carottier à main. Après scellement, ceux-ci furent entreposés dans une chambre froide à $- 10^{\circ}\text{C}$ pour leur conservation.

Le lac Reeve, partiellement ou totalement asséché durant cette année, fut échantillonné normalement. Cinq carottes furent prélevées

à l'aide de tubes plastic appropriés, en vue de l'examination des structures sédimentaires. En Janvier 1977, une étude de la bathymétrie par sonar (en continu) fut entreprise dans l'intention d'examiner la distribution des différentes unités morphologiques des lacs. Une attention particulière fut portée aux traits morphologiques tels que bancs sableux, barres, chenaux, talus, etc ... afin d'analyser les éventuelles liaisons de ces unités avec le type de sédiment s'y rapportant.

3.2. Analyses de laboratoire

3.2.1. Analyses texturales

L'analyse de la quantité de matière organique contenue dans les sédiments sera incluse dans ce paragraphe compte tenu de la technique d'étude complémentaire à celle de l'analyse granulométrique. L'organigramme général comprenant les opérations d'analyse granulométrique des échantillons est représenté en figure 3.1 ; les différentes étapes sont entourées d'un rectangle tandis que les résultats le sont par un trapèze.

Avant d'analyser la texture du sédiment, la matière organique est oxydée par de l'eau oxygénée (H_2O_2) additionnée à l'échantillon brut. Pour accélérer une réaction très lente (2 à 3 jours pour certains échantillons), de l'eau oxygénée pure est versée sur l'échantillon puis, après un certain temps, de l'eau est ajoutée et la solution mise à chauffer. L'addition répétée d'eau oxygénée à 30 % est ensuite opérée jusqu'à destruction totale de la matière organique.

L'échantillon est alors séché au four puis pesé (valeur SE10 pour le programme SEDIMT). Du calgon (Hexamétaphosphate de sodium) permettant de défloculer les argiles est ensuite ajouté ; la solution peut alors être passée au tamis de 4 ϕ (0,625 mm) pour séparer fractions silteuse et argileuse d'autre part. La fraction supérieure à 4 ϕ est séchée puis pesée (valeur SE20 pour programme SEDIMT).

L'adjonction d'acide chlorydrique dilué permet de détruire les carbonates (coquilles) ; le $CaCl_2$ restant est ensuite éliminé par 5 à 6

ringages de la fraction sableuse et graveleuse. A nouveau, le bécher et son contenu sont séchés puis pesés. (valeur SE40 du programme SEDIMT). Le bécher vide est alors pesé (valeur SE05 du programme SEDIMT).

Si les fractions sableuse et graveleuse ont un poids supérieur à 10 grammes, on procède à leur tamisage avec des tamis ayant 0,25 ϕ d'intervalle entre eux. Chaque fraction retenue est pesée après l'avoir ajoutée à la précédente pour obtenir une courbe granulométrique cumulative. Ce procédé a un double avantage. Il permet :

- d'une part, de minimiser les erreurs de lecture et de la balance
- d'autre part, de vérifier les données en sachant qu'une valeur est toujours plus faible que sa suivante.

La fraction boueuse a été analysée avec un hydrophotomètre suivant la méthode donnée par Jourdan, Fryer et Hemmen (1971) ; les proportions d'argile et de silt ainsi que les valeurs intermédiaires de la fraction silteuse ont ainsi été obtenues.

Le pourcentage de matière organique a été obtenu par la méthode de perte au feu (*ignition loss method*) à 550°C pendant 4 heures. Cette méthode a été décrite et comparée à d'autres méthodes par Dean (1974). La perte au feu due au chauffage est assimilée au contenu de matière organique dans l'échantillon. Un test a été conduit afin de trouver le poids optimum de sédiment convenant à la méthode. Il s'est avéré que 5 grammes était le poids donnant la plus petite erreur sur la mesure. Cette valeur a donc été utilisée constamment pour l'analyse.

Les carottes prélevées dans le lac Reeve ont été décrites puis divisées en échantillons suivant leurs différentes unités sédimentaires. Ces prélèvements furent traités de la même manière que les autres échantillons. Par contre, la procédure fut différente pour les carottes provenant des lacs King, Victoria et Wellington. Compte tenu de leur uniformité structurale, ils ne furent analysés que pour leur contenu en eau et en matière organique. Pour cela, ils furent prélevés à nouveau à différentes hauteurs du sommet, les fractions pesées ont été portées à 125°C pour éliminer l'eau, repesées, puis mises au four à 550°C pour le contenu de

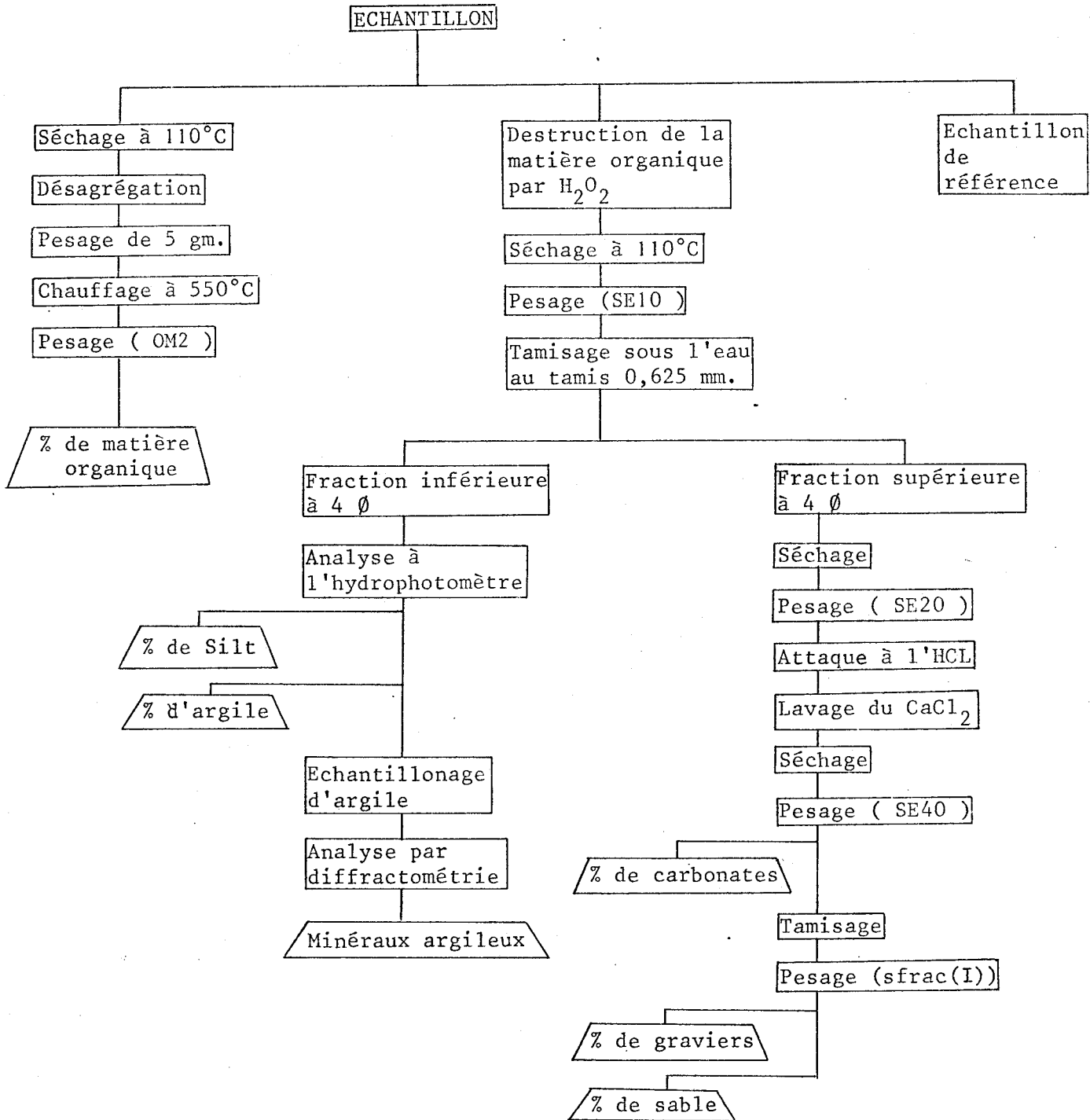


Fig. 3.1 Organigramme des opérations: analyse granulométrique



la matière organique.

3.2.2. Analyses minéralogiques

Pour l'analyse des minéraux de la fraction argileuse, un prélèvement d'environ 10 ml fut effectué après plus de deux heures de décantation à partir de la fraction boueuse dispersée. On a donc travaillé sur un matériel inférieur à 8ϕ (4 microns) (Carroll, 1970), à la place de 9ϕ (2 microns) préconisé par Court et Goldman (1972). Cette valeur de 8ϕ s'est avérée adéquate pour les sédiments des lacs de Gippsland.

Trente huit échantillons provenant de différentes unités morphologiques des lacs furent ainsi analysés par diffraction des rayons X utilisant un générateur de rayons X Siemens (20 KV, 16 MA) et un goniomètre de même marque, muni d'une anticathode au cuivre et d'un filtre nickel. Dans un premier temps, tous les échantillons furent analysés et, après dépouillement des diffractogrammes, un certain nombre d'entre eux furent à nouveau analysés après traitement au glycol puis chauffage à 500°C pendant 1 heure (Whitting, 1965). Pour chaque étude le diffractogramme fut inspecté entre $3^{\circ}2\theta$ et $46^{\circ}2\theta$ et plus pour les échantillons non traités.

Quatorze fractions sableuses correspondant à des échantillons dont la fraction argileuse fut analysée par diffraction des rayons X, ont été broyées pendant 45 minutes dans un mortier en calcédoine puis montées sur lames minces pour examination par diffraction des rayons X. Les mêmes fractions non broyées furent incluses dans une résine polyester. Des lames minces coupées dans ces blocs ont permis l'observation au microscope pétrographique. Les pourcentages de chaque minéral furent ensuite calculés puis comparés aux déterminations semi-quantitatives par diffraction des rayons X.

3.3 Traitement des données

La masse importante de données et les longs calculs qui en dérivent nous ont obligés à traiter les données de laboratoire (en ce qui concerne l'analyse texturale) par ordinateur. Quelques programmes répondant aux problèmes posés sont commentés dans le chapitre suivant.

Programmes
Ordinateur
de
Traitement
des
Données

CHAPITRE IV PROGRAMMES ORDINATEUR DE TRAITEMENT DES DONNEES

4.1 Introduction

Les programmes ou sousroutines présentés ici, écrits en langage FORTRAN IV, permettent l'étude des données texturales des sédiments meubles à partir des données brutes de laboratoire. Une relation très étroite existe entre ces programmes: c'est ainsi que les sousroutines DIST, CORR, XMAP et TRI peuvent être directement appelées par le programme SEDIMT; en effet, ces sousroutines se servent d'une partie des résultats fournis par ce programme.

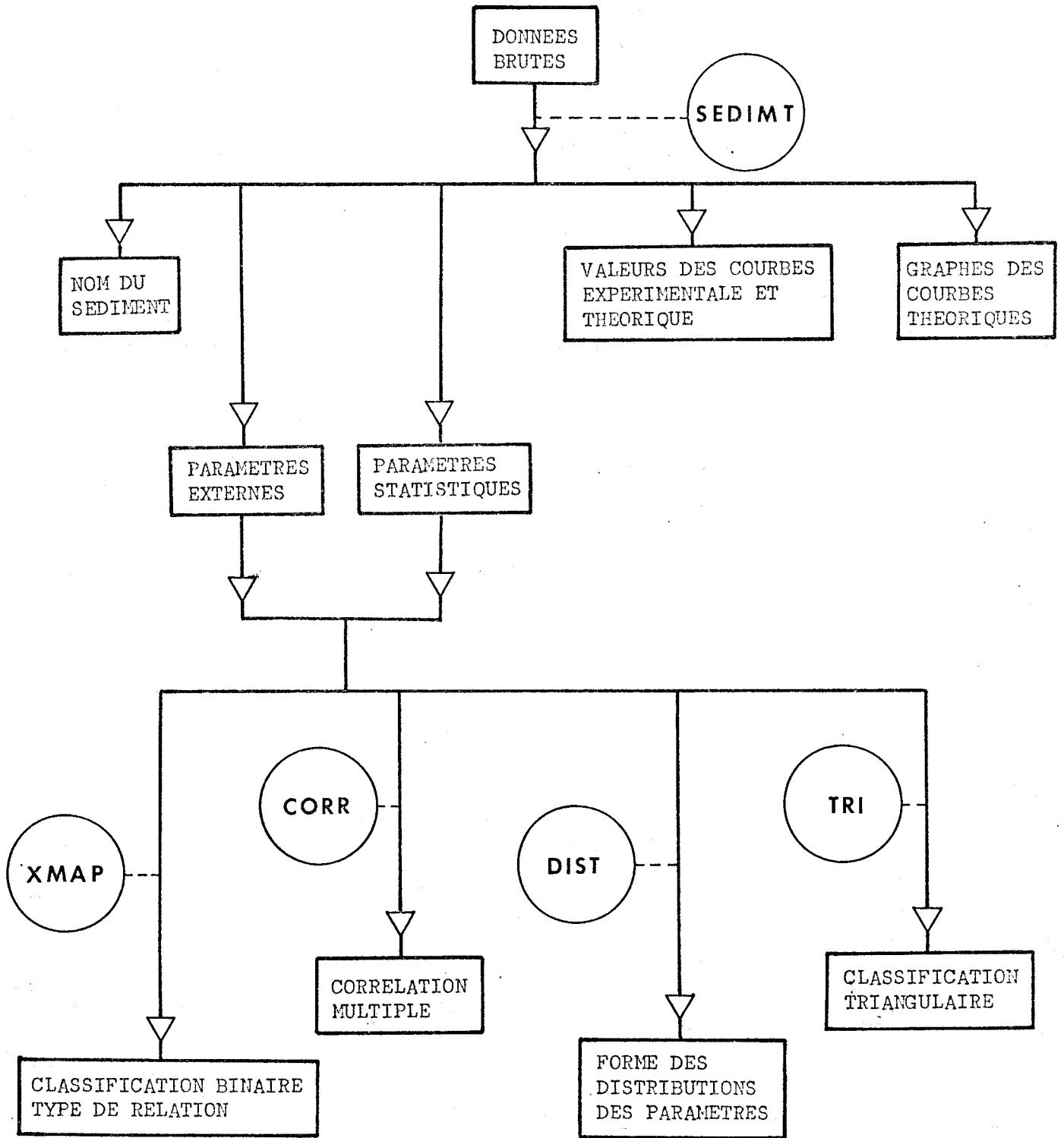
Les différentes relations entre données brutes (ou initiales), les résultats et sousroutines sont présentés en figure 4.1. La majeure partie des programmes a été écrite entièrement pour la présente étude: seules les sousroutines PLOTTER (comprise dans le programme SEDIMT) et TRI ont été conçues par d'autres auteurs (Davis, 1973; Lumsden, 1973) et modifiées légèrement. Elles ne seront donc pas décrites à nouveau. Il en sera de même pour les sousroutines DIST et XMAP qui n'ont pas été optimisées.

Dans ce chapitre, les différents programmes seront traités séparément, en commençant par le programme SEDIMT qui, seul, est autonome. Les autres, lui étant tributaires (fig. 4.1), seront vus ultérieurement.

Dans chaque programme ou sousroutine, la procédure sera la suivante :

- + explication des expressions mathématiques utilisées
- + description du programme
- + utilisation du programme.

Tous ces programmes travaillent en ϕ (phi) et non pas en millimètres. Ceci permet un maniement aisé, évitant à chaque fois de passer par les logarithmes. Pour rappel, les relations entre les deux unités de mesure sont les suivantes :



BUS
LILLE

Fig. 4.1 Relations données-résultats et programmes et sous-routines employées.

$d = 2^{-\phi}$ où d est le diamètre des particules du sédiment en mm.

Inversement :

$$\phi = -\log_2 d$$

4.2. Programme SEDIMT : analyse des données brutes

4.2.1 But du programme

Le programme SEDIMT a été créé pour traiter les différentes données provenant des analyses granulométriques de laboratoire (poids des bêtchers vides, remplis, pourcentages de transmission, etc ...) ainsi que les valeurs brutes concernant la matière organique contenue dans le sédiment. En quelque sorte le programme SEDIMT se sert des données telles qu'elles apparaissent en figure 3.1. Le programme effectue alors les opérations suivantes :

- + Pourcentages des constituants majeurs : pourcentages de matière organique, de carbonates (fraction supérieure à 4ϕ), de terrigènes, de graviers, de sable, de silt et d'argile.
- + Paramètres statistiques : moyenne arithmétique, médiane, écart type, coefficient d'asymétrie (*Skewness*) et coefficient d'aplatissement (*Kurtosis*).
- + Nom du sédiment suivant la classification de Sheppard (1954)
- + Valeurs des courbes granulométriques fréquentielles et cumulées.
- + Graphe de ces deux dernières courbes.

4.2.2. Données mathématiques

4.2.2.1 Problèmes rencontrés

Avant d'énumérer ici les différents problèmes rencontrés, il serait bon de noter la remarque suivante ; sa bonne compréhension permettra de lire ce paragraphe plus aisément. La distinction doit être faite entre les courbes granulométriques (cumulative ou fréquentielle) réelles, théoriques et expérimentales.

- + La courbe réelle, ou courbe granulométrique que possède réellement le sédiment considéré, n'est pas connue.
- + La courbe expérimentale est la courbe granulométrique obtenue avec les résultats de laboratoire. Cette courbe expérimentale est entachée des erreurs commises et peut parfois s'éloigner très fort de la courbe réelle.
- + La courbe théorique ou calculée est une courbe expérimentale où ont été appliquées des interpolations reposant sur l'hypothèse d'une courbe réelle connue. Suivant cette hypothèse la courbe théorique sera donc un "compromis" entre courbes expérimentale et réelle, meilleure et plus complète que la courbe expérimentale.

Deux problèmes mathématiques majeurs ont été rencontrés durant la programmation : ces problèmes concernaient le passage de la courbe expérimentale à la courbe théorique.

Le premier d'entre eux était relatif aux début et fin de courbes expérimentales : ceux -ci étaient absents dans certains cas, notamment dans le cas de fractions sableuses très étalées (ou non tamisables), ou de présence d'une fraction inférieure à 4 ϕ (62 microns). La figure 4.2. donne les différentes possibilités rencontrées à cet effet. Dans le cas où le sédiment possède une courbe expérimentale de type A, les interpolations en début ou fin de courbe ne sont pas nécessaires. Dans le cas d'une courbe B, c'est à dire lorsque la fraction silteuse et argileuse n'est pas assez importante pour être analysée, une extrapolation de la partie droite de la courbe est nécessaire. Il en est de même chaque fois qu'une analyse de la fraction boueuse est effectuée (cas des courbes C, D, E) : l'hydrophotomètre ne donnant pas de mesure au delà de 8 ϕ . Lorsque la fraction sableuse est inférieure à 10 grammes, l'erreur sur les mesures du tamisage est trop importante, la fraction sableuse n'est alors pas tamisée. Il y a donc absence de la partie gauche de la courbe (Fig. 4.2.C) qui est ainsi extrapolée.

Le second problème concernait l'état de la courbe ; pour rappel, celle-ci est composée de trois éléments principaux :

- + Une direction principale (*trend*) ;

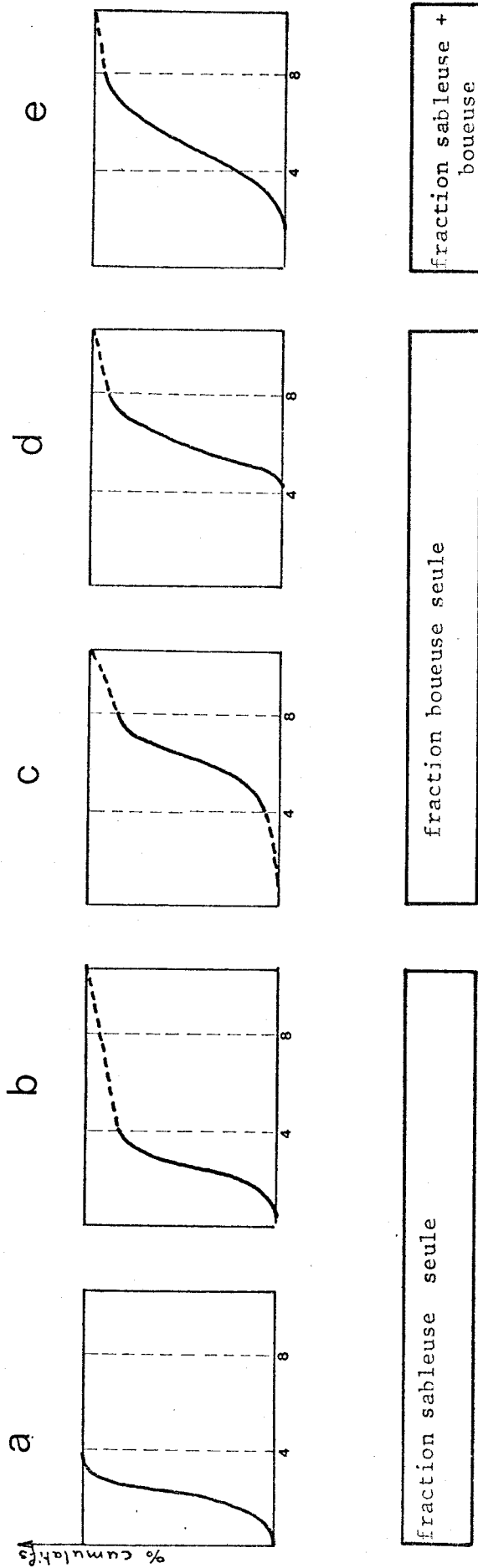


Fig. 4.2 Différents types de courbes cumulatives granulométriques expérimentales.

En abscisses: taille des grains en ϕ

Voir légende dans le texte.



- + Une variation cyclique absente dans le cas où la fonction n'est pas sujette à des fluctuations périodiques ;
- + Un bruit (*noise*).

Pour éliminer ce bruit, il est d'usage de lisser la courbe ce qui permet de supprimer tout point aberrant.

4.2.2.2 Fonctions mathématiques utilisées

Les fonctions mathématiques choisies concerneront les deux problèmes envisagés au paragraphe 4.2.2.1, c'est à dire d'une part, les segments droit et gauche manquant aux courbes granulométriques, et d'autre part, le lissage de ces courbes.

Il est à noter que les fonctions mathématiques seront adaptées à la courbe cumulative expérimentale et non pas à la courbe fréquentielle. Ceci est dû au fait que les erreurs sont toujours additionnées dans le même sens pour la courbe cumulative, et que le lissage sur la courbe cumulative n'affecte pas les valeurs modales comme cela peut en être le cas pour la courbe fréquentielle.

4.2.2.2.1 Interpolations aux limites des courbes

Différents modes d'approche permettent de passer de la courbe expérimentale incomplète, à la courbe théorique. Le premier est d'ajuster à la courbe une fonction de nature connue et d'extrapoler cette courbe dans le (ou les) domaines extérieurs. Le second est de supposer ou de tester l'allure des début et fin de courbes seulement et d'appliquer une certaine fonction permettant le calcul dans ces domaines. Les deux procédés ont été analysés concurremment afin de connaître la meilleure solution.

En premier lieu, si l'on cherche à ajuster la courbe à une fonction mathématique connue, il faut que cette fonction puisse représenter la courbe avec le plus de fidélité possible, c'est à dire que cette fonction d'ajustement ne doit pas additionner un nouveau bruit ou une nouvelle erreur.

Ceci dit, les fonctions seront de deux sortes:

- + fonctions simples (équations polynomiales de type 1 ou 2, courbes de Pearson, courbe logistique, etc...)
- + fonctions composées (additions de fonctions simples, équations polynomiales d'ordre supérieur à 2, séries de Fourier, ou séries au sens général).

Il est très facile de s'apercevoir qu'une fonction simple ne peut être ajustée d'une manière adéquate aux courbes granulométriques des sédiments. En effet, ceux-ci présentent fréquemment des distributions bi ou trimodales résultant de l'addition de plusieurs populations.

L'ajustement de fonctions composées fut testé par l'intermédiaire des équations polynomiales pour les degrés 3, 4, 5 et 6. Lorsque le degré du polynôme augmente, les écarts entre la courbe expérimentale et la fonction polynomienne diminuent; il faut pourtant arriver à un degré très élevé, demandant des calculs très importants, pour aboutir à une approximation raisonnable. Le polynôme de degré 6 offre, par exemple, des valeurs très rapprochées de celles de la courbe expérimentale pour les valeurs limites, mais les différences peuvent être de l'ordre de 10 pour cent en milieu de courbe. Etant donné l'insuccès de la technique d'ajustement de la courbe entière, l'autre méthode, ne s'intéressant qu'aux début et fin de courbe, a été essayée.

En ce qui concerne la partie gauche de la courbe, l'extrapolation a été effectuée par l'intermédiaire d'une courbe Gompertz (Briant, 1960) d'équation

$$y = A \times B^{C^x}$$

où A, B, C sont des constantes (Fig. 4.3a), les x_i représentant les diamètres des particules et les y_i leur pourcentage cumulé. La constante A est la valeur vers laquelle y tend lorsque x tend vers $-\infty$. A est, en réalité, égal à zéro mais, pour les besoins du calcul, on l'établit égal à 0,0001. En fait, l'erreur commise sur l' asymptote

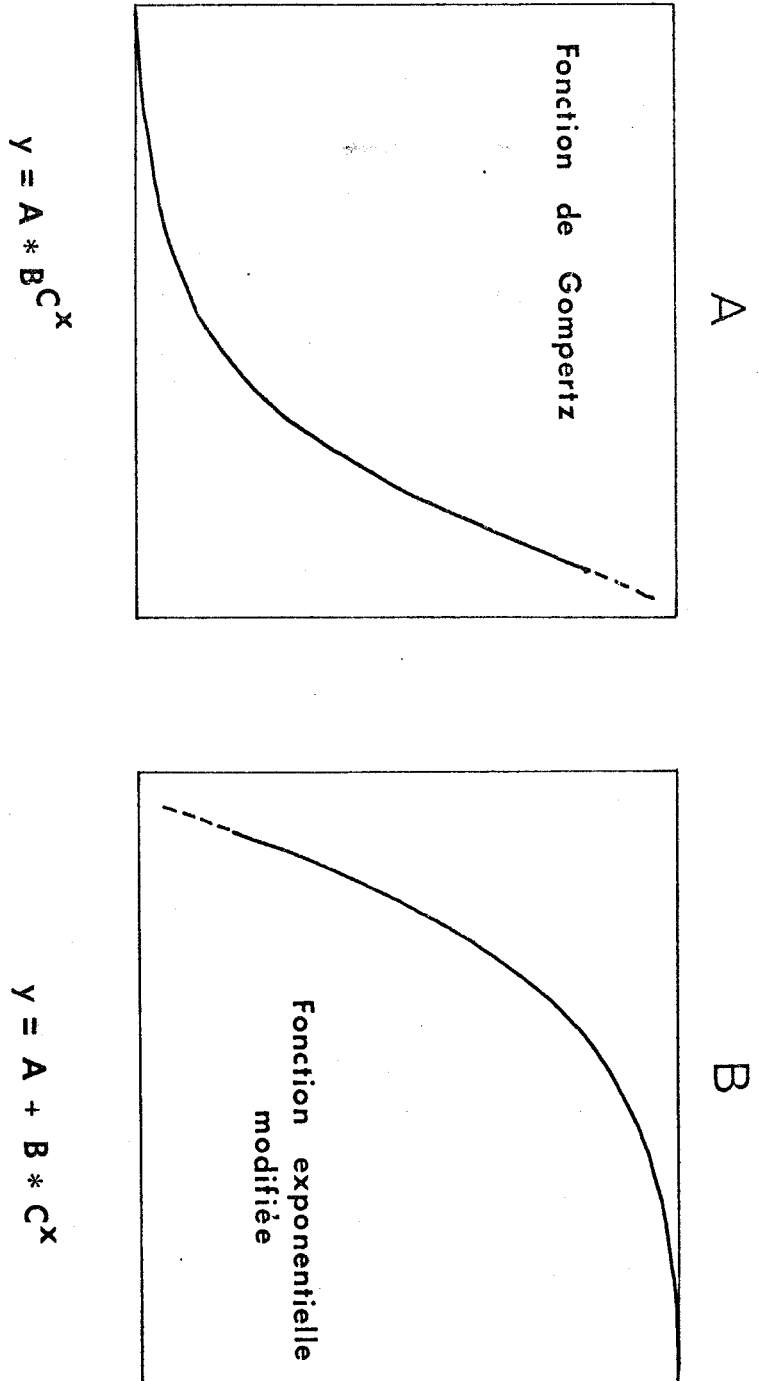


Figure 4.3 Fonctions exponentielle modifiée et de Gompertz.

horizontale (0,0001 à la place de 0,0000) est beaucoup plus faible que l'erreur sur la mesure et peut ainsi être négligée.

Il existe deux façons d'extrapoler les points inconnus à partir de points connus en connaissant la fonction à appliquer. La première est de calculer la dérivée au premier point connu (point M de la figure 4.4) et, connaissant le point I ($0, -\infty$), définir les points manquants. La seconde consiste à n'envisager que les deux premiers points (M et N), ainsi que le point I. Ces trois points permettent de tracer une courbe Gompertz qui définira les points inconnus.

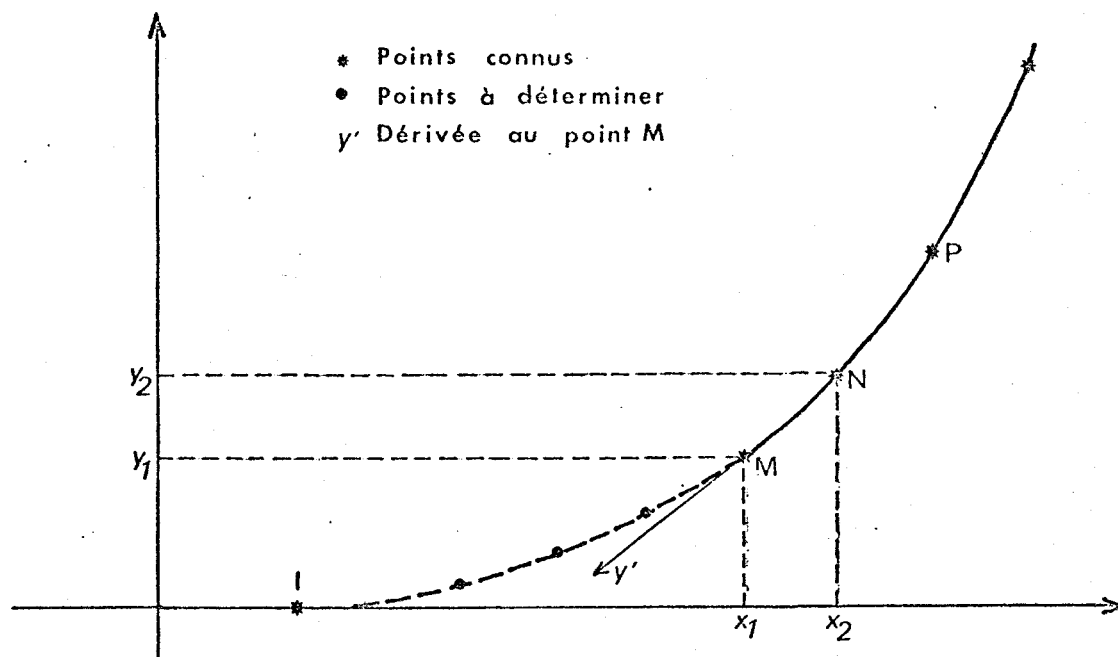


Fig. 4.4 Extrapolation de la partie gauche de la courbe granulométrique cumulative.

Cette solution a été adoptée dans le programme SEDIMT. Connaissant les ordonnées x_1 , x_2 , y_1 , y_2 des deux points M et N, le calcul des constantes sera le suivant:

$$\begin{cases} y_1 = 0,0001 \times B^{C^{x_1}} \\ y_2 = 0,0001 \times B^{C^{x_2}} \end{cases}$$

posons $Y_1 = y_1 / 0,0001$ et $Y_2 = y_2 / 0,0001$

nous avons donc:

$$\begin{cases} \text{Log } Y_1 = C^{x_1} \times \text{Log } B \\ \text{Log } Y_2 = C^{x_2} \times \text{Log } B \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{Log } B = \text{Log } Y_1 / C^{x_1} \\ \text{Log } B = \text{Log } Y_2 / C^{x_2} \end{cases}$$

Les membres des 2 équations étant égaux, nous pouvons écrire:

$$\text{Log } Y_1 / C^{x_1} = \text{Log } Y_2 / C^{x_2}$$

$$\frac{\text{Log } Y_1}{\text{Log } Y_2} = \frac{C^{x_1}}{C^{x_2}}$$

$$\frac{\text{Log } Y_1}{\text{Log } Y_2} = C^{x_1 - x_2}$$

$$\text{Log} \left(\frac{\text{Log } Y_1}{\text{Log } Y_2} \right) = (x_1 - x_2) \times \text{Log } C$$

$$\text{Log } C = \text{Log} \left(\frac{\text{Log } Y_1}{\text{Log } Y_2} \right)^{\frac{1}{x_1 - x_2}}$$

Ceci conduit à la valeur de la constante C:

$$C = e^{\left(\frac{\text{Log} \left(\frac{\text{Log } Y_1}{\text{Log } Y_2} \right)}{x_1 - x_2} \right)}$$

Connaissant la valeur de la constante C, il est possible de déterminer la valeur de la constante B:

$$\frac{\text{Log } Y_1}{C^{x_1}} = \text{Log } B$$

$$B = e^{\left(\frac{\text{Log } Y_1}{C^{x_1}} \right)}$$

où $Y_1 = y_1 / 0,0001$ et $Y_2 = y_2 / 0,0001$

Les constantes B et C sont ensuite remplacées par leurs valeurs respectives dans l'expression $y = A \times B^{C^x}$ et, pour chaque x_i , y_i correspondant est calculé. Ces opérations sont effectuées par la subroutine TAIL contenue dans le programme SEDIMT.

En cas d'absence, la partie terminale de la courbe cumulative (Fig. 4.2 b,c,d,e) est calculée par une fonction exponentielle modifiée (Bryant, 1960). L'expression de cette fonction est la suivante:

$$y = A + B \times C^x$$

où A, B, C sont des constantes. Comme pour la fonction Gompertz, la constante A de la fonction exponentielle modifiée (Fig. 4.3 b) est la valeur atteinte asymptotiquement par y lorsque x tend vers l'infini positif. Dans le cas présent, la valeur de A est de 100,0, c'est à dire égale au pourcentage cumulatif maximum. En pratique, on considère la limite entre colloïdes et argiles à 14 \emptyset ; on admettra donc que cette asymptote horizontale (100,0) est atteinte non pas lorsque x tend vers l'infini positif mais seulement lorsque x est égal à 14 \emptyset . En programmation, on résoudra ce problème en effectuant une boucle d'incréméntation où A augmentera progressivement sa valeur jusqu'au moment où l'ordonnée pour x = 14 \emptyset est égale à 100,0. Ce procédé a comme désavantage de déformer quelque peu la courbe théorique mais permet d'éviter des valeurs absurdes au delà de 14 \emptyset .

Comme pour l'extrapolation effectuée sur la partie gauche de la courbe cumulative, la fonction exponentielle modifiée sera calculée grâce aux deux derniers points de la courbe cumulative expérimentale et la valeur asymptotique A. Pour connaître les constantes B et C, nous aurons également deux systèmes d'équations à deux inconnues:

$$\begin{cases} y_0 = 100 + B \times C^{x_0} \\ y_1 = 100 + B \times C^{x_1} \end{cases}$$

En dégagant la valeur de B dans chaque équation, cela nous donne:

$$\begin{cases} B = \frac{y_0 - 100}{C^{x_0}} \\ B = \frac{y_1 - 100}{C^{x_1}} \end{cases}$$

Si l'on fait disparaître la constante B, nous avons:

$$\frac{y_0 - 100}{C^{x_0}} = \frac{y_1 - 100}{C^{x_1}}$$

En développant et supprimant les fractions:

$$\text{Log}(y_0 - 100) - \text{Log}(y_1 - 100) = \text{Log} C^{x_0} - \text{Log} C^{x_1}$$

d'où:

$$\text{Log} C = \frac{\text{Log} \left(\frac{y_0 - 100}{y_1 - 100} \right)}{x_0 - x_1}$$

La valeur de la constante C est donc:

$$C = 10^{\left(\frac{\text{Log} \left(\frac{y_0 - 100}{y_1 - 100} \right)}{x_0 - x_1} \right)}$$

Connaissant la valeur de la constante C, nous pouvons la remplacer par sa valeur dans la première équation afin de connaître la seconde constante:

$$y_0 = 100 + B \times C^{x_0}$$

$$B = \frac{y_0 - 100}{C^{x_0}}$$

Suivant la même technique, les constantes B et C seront alors remplacées par leurs valeurs respectives dans l'équation: $y = A + B \times C^x$. Pour chaque x_i désiré, la valeur y_i correspondante est alors calculée. Cette série d'opérations est effectuée par la subroutine RTAIL contenue dans le programme SEDIMT.

4.2.2.2.2 Lissage

Le lissage (également appelé filtrage) d'une courbe consiste à éliminer les fluctuations accidentelles dues aux erreurs engendrées lors des mesures. Ces fluctuations, couramment appelées bruit, peuvent être atténuées ou éliminées de différentes façons. La technique la plus courante est la technique des *moving averages* (Whittaker et Robinson, 1929) ou technique des moyennes simultanées. Chaque point est calculé en fonction des "poids" du ou des points suivants, de son propre poids, et des poids du ou des points précédents. Le nombre de points considéré pour en calculer un nouveau est défini par l'ordre.

Ainsi, les moyennes simultanées d'ordre 7 considéreront 7 termes: trois avant: (x_{i-3}) , (x_{i-2}) , (x_{i-1}) , le point x_i , et les trois points suivants: (x_{i+1}) , (x_{i+2}) , (x_{i+3}) , pour calculer le nouveau point X_i suivant la relation (appelée filtre):

$$X_i = \frac{1}{21} (7x_i + 6(x_{i+1} + x_{i-1}) + 3(x_{i+2} + x_{i-2}) - 2(x_{i+3} + x_{i-3}))$$

Il existe bien entendu un nombre important de filtres ayant des ordres différents dont les plus utilisés sont les filtres d'ordre 3, 5, 7 ou 21. N'ayant aucune idée de leur effet sur les courbes granulométriques cumulatives, nous avons testé ces filtres comparativement sur deux sortes de courbes cumulatives pouvant être rencontrées:

- + courbes dépourvues de bruit
- + courbes comportant des points aberrants.

C'est dans ce second cas que le lissage sera nécessaire. Malheureusement, l'ordinateur n'est pas en mesure de discerner s'il faut ou non procéder à un filtrage de la courbe.

On cherchera donc à déterminer:

- a) l'effet d'un lissage sur une courbe "lisse"
- b) le filtre adéquat pour l'ensemble des courbes cumulatives.

Les différences et distorsions par rapport à une courbe originelle lisse sont très faibles: les différents tests d'accord global (χ^2) sont pratiquement insignifiants. Ainsi, quelque soit le filtre adopté, celui-ci ne détériore pas une courbe cumulative dépourvue de bruit.

Il reste donc à déterminer le meilleur filtre ayant les propriétés de lisser les zones aberrantes de la courbe, tout en conservant les caractéristiques de celle-ci. Un exemple a été utilisé afin de se rendre compte des effets d'amortissement d'une pulsion accidentelle sur la courbe. Comme précédemment, les différents filtrages n'affectent pas sérieusement les parties normales de la courbe mais réagissent différemment au point aberrant. Le filtre à sept termes s'avère le plus efficace car il se rapproche le plus de la courbe théorique (Fig. 4.5). Ce filtre, dont l'équation a été donnée ci-dessus, est employé dans la subroutine SMOOTH du programme général SEDIMT. Il est mis en parallèle avec un filtre de type 3 pour les sédiments sableux n'exigeant pas un filtrage important.

4.2.2.3 Fonctions de mesures

Certaines parties du programme, ainsi que les subroutines PARAM, SASICL et HYDROP se servent de formules établies par d'autres auteurs. Quelques unes d'entre elles sont spécifiques, mais la majeure partie est maintenant utilisée par nombre de géologues pour des études sédimentologiques. Ces formules concernent les points suivants:

- + limites des fractions clastiques
- + nom du sédiment
- + formules hydrophotométriques
- + paramètres statistiques

Dans le programme principal, les limites graviers - sables - silts - argiles ont été déterminées suivant la classification utilisée par le *National Research Council* (Lane, 1957).

Les limites sont les suivantes:

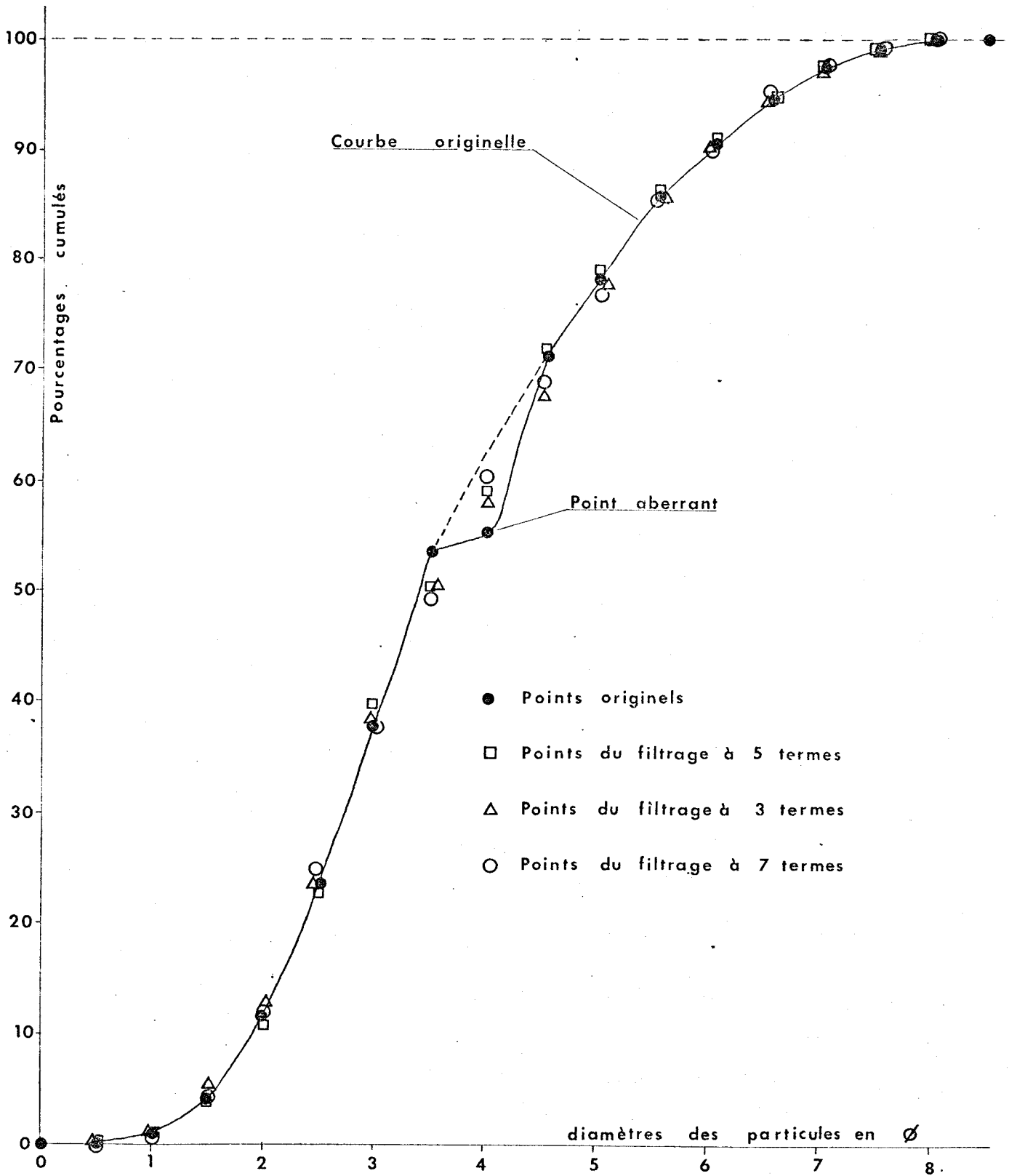


Fig. 4.5 Action de filtrages de différents ordres sur une anomalie d'une courbe cumulative.



Graviers - sables : $-1 \varnothing$ (2mm)
sables - silts : $4 \varnothing$ (0,062 mm)
silts - argiles : $8 \varnothing$ (0,004 mm)

Le nom du sédiment est déterminé par sa composition en éléments terrigènes. Cette classification, développée par Sheppard (1954), est représentée en figure 4.6. La subroutine SASICL permet de déterminer le nom du sédiment connaissant les pourcentages respectifs de sables, silts et argiles.

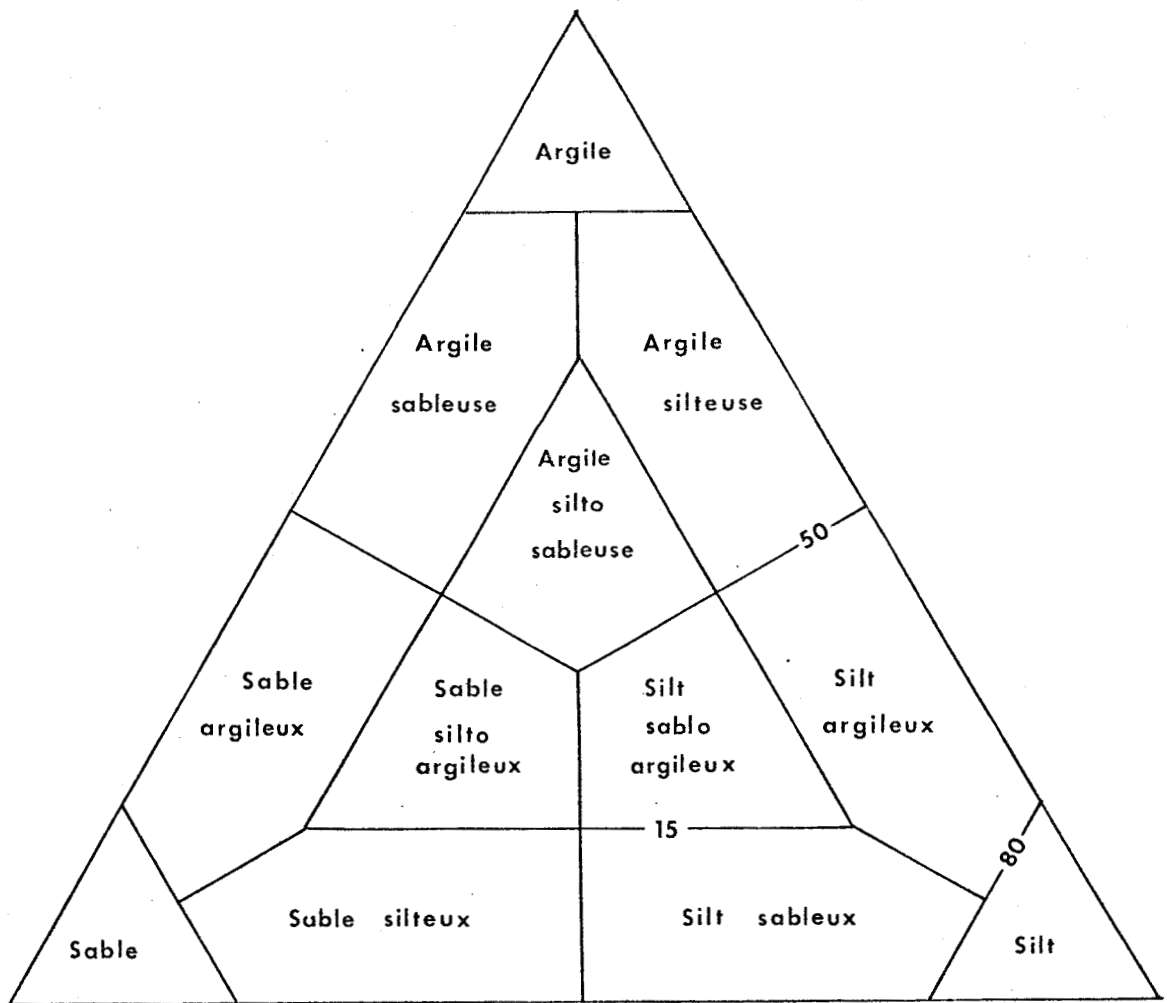


Fig. 4.6 Classification triangulaire de Sheppard

Les équations et constantes utilisées dans la subroutine HYDROP concernent les calculs des pourcentages de silt et d'argile avec les données fournies par l'hydrophotomètre. Ces formules peuvent être consultées dans l'article de Jourdan, Fryer et Hemmen (1971). Elles ne seront pas développées dans cet exposé.

En ce qui concerne les paramètres statistiques, deux possibilités s'offraient dans notre choix: d'une part, leur résolution par la méthode des moments; dans ce cas, tous les points de la courbe sont utilisés. Cette méthode n'offre aucun inconvénient lorsqu'elle est accomplie par ordinateur; elle ne demande qu'un temps de calcul assez long. Elle est malheureusement peu répandue, et les comparaisons des paramètres sont alors difficiles à établir entre différents travaux ou études sédimentologiques. Pour cette raison, la méthode dite graphique a été utilisée avec les paramètres de Folk et Ward (1957). Il est à noter que les travaux de Jaquet et Vernet (1976) ont montré la similitude des résultats des deux méthodes, en particulier en ce qui concerne moyenne et écart-type.

Les paramètres sont les suivants:

$$\text{moyenne arithmétique: } M_z = \frac{\emptyset 16 + \emptyset 50 + \emptyset 84}{3}$$

$$\text{médiane} \quad : \quad Md = \emptyset 50$$

$$\text{écart-type} \quad : \quad \sigma_I = \frac{\emptyset 84 - \emptyset 16}{4} + \frac{\emptyset 95 - \emptyset 05}{6,6}$$

coefficient d'asymétrie :

$$SK_I = \frac{\emptyset 16 + \emptyset 84 - 2(\emptyset 50)}{2 (\emptyset 84 - \emptyset 16)} + \frac{\emptyset 5 + \emptyset 95 - 2\emptyset 50}{2 (\emptyset 95 - \emptyset 5)}$$

coefficient d'aplatissement:

$$K_G = \frac{\emptyset 95 - \emptyset 5}{2,44 (\emptyset 75 - \emptyset 25)}$$

Sont également utilisés:

$$\text{coefficient de variation } CV = \frac{\sigma_I}{M_z}$$

ainsi que les quartiles (Q_1, Q_2, Q_3) et percentiles ($P_{05}, P_{16}, P_{84}, P_{95}$)

4.2.3. Description du programme - Organigramme schématique

Pour la compréhension du programme, le lecteur se reportera à la fig. 3.1 ainsi qu'au paragraphe 4.2.1. Ceci lui permettra de bien comprendre d'une part, le problème initial et d'autre part, les résultats finaux. Le programme étant le lien entre ces deux entités, il est bon de toujours avoir en mémoire le départ ainsi que le but. Le listing du programme SEDIMT est représenté en annexe I.

La figure 4.7 représente l'organigramme simplifié des différentes opérations effectuées concernant le programme principal.

Dans un premier stade, la lecture des données est réalisée avec test concernant les valeurs pouvant être vérifiées. Lorsqu'une erreur discernable est repérée, la valeur d'une constante, fixée à zéro, change pour devenir égale à 1. Si cette erreur est bénigne, les fonctions de calcul ainsi que les WRITE statements sont sautés et seule l'erreur est inscrite. Le programme passe ensuite à l'échantillon suivant. Si, au contraire, une carte manque dans les données, le programme stoppe tout calcul après avoir inscrit l'erreur.

Après avoir lu les différentes données, le programme calcule le pourcentage de matière organique dans l'échantillon : au préalable, il fait un test sur la valeur du poids du bécher vide ayant servi à l'analyse. Si celui-ci est égal à 0.0 le pourcentage n'est pas calculé ; dans le cas contraire, la procédure normale est suivie.

Connaissant la valeur quantitative de la matière organique, le programme calcule les pourcentages de la fraction supérieure à $4 \text{ } \emptyset$ (62 microns), de la fraction inférieure à $4 \text{ } \emptyset$ (silt et argiles) et des carbonates (fraction supérieure à $4 \text{ } \emptyset$). A ce stade, nous avons alors les pourcentages définitifs de matière organique, de carbonates et de terrigènes. Ceux-ci sont stockés en mémoire jusqu'en fin de programme où les résultats sont imprimés.

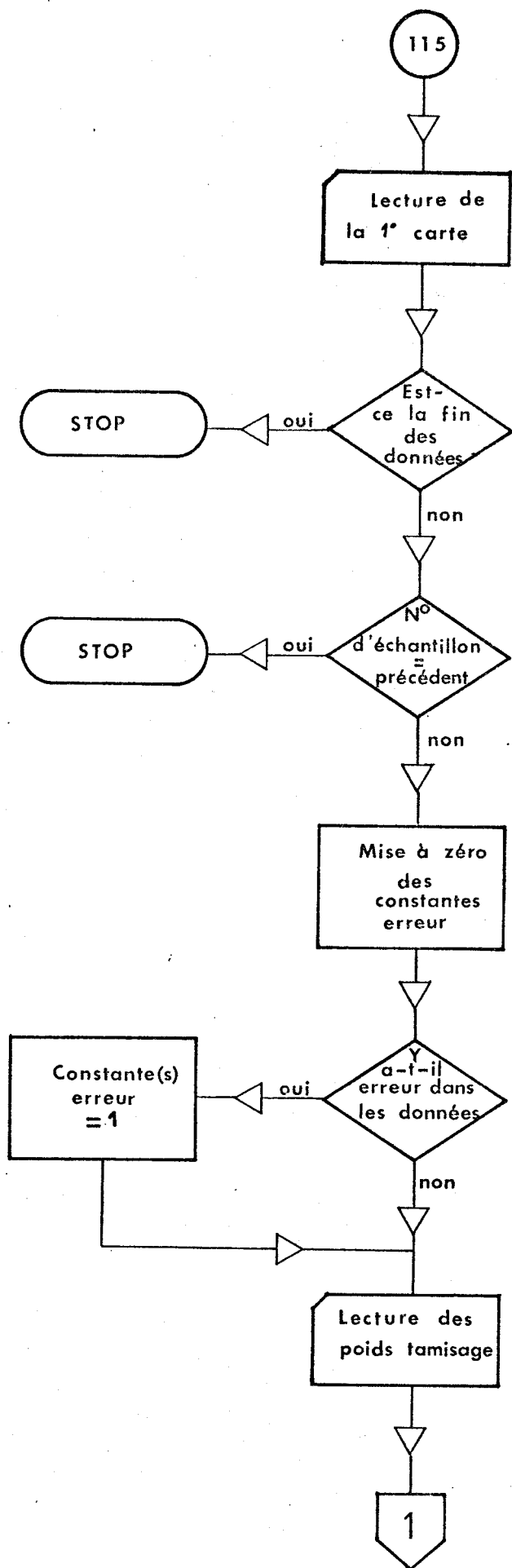


Fig. 4.7 Organigramme schématique du programme principal SEDIMT

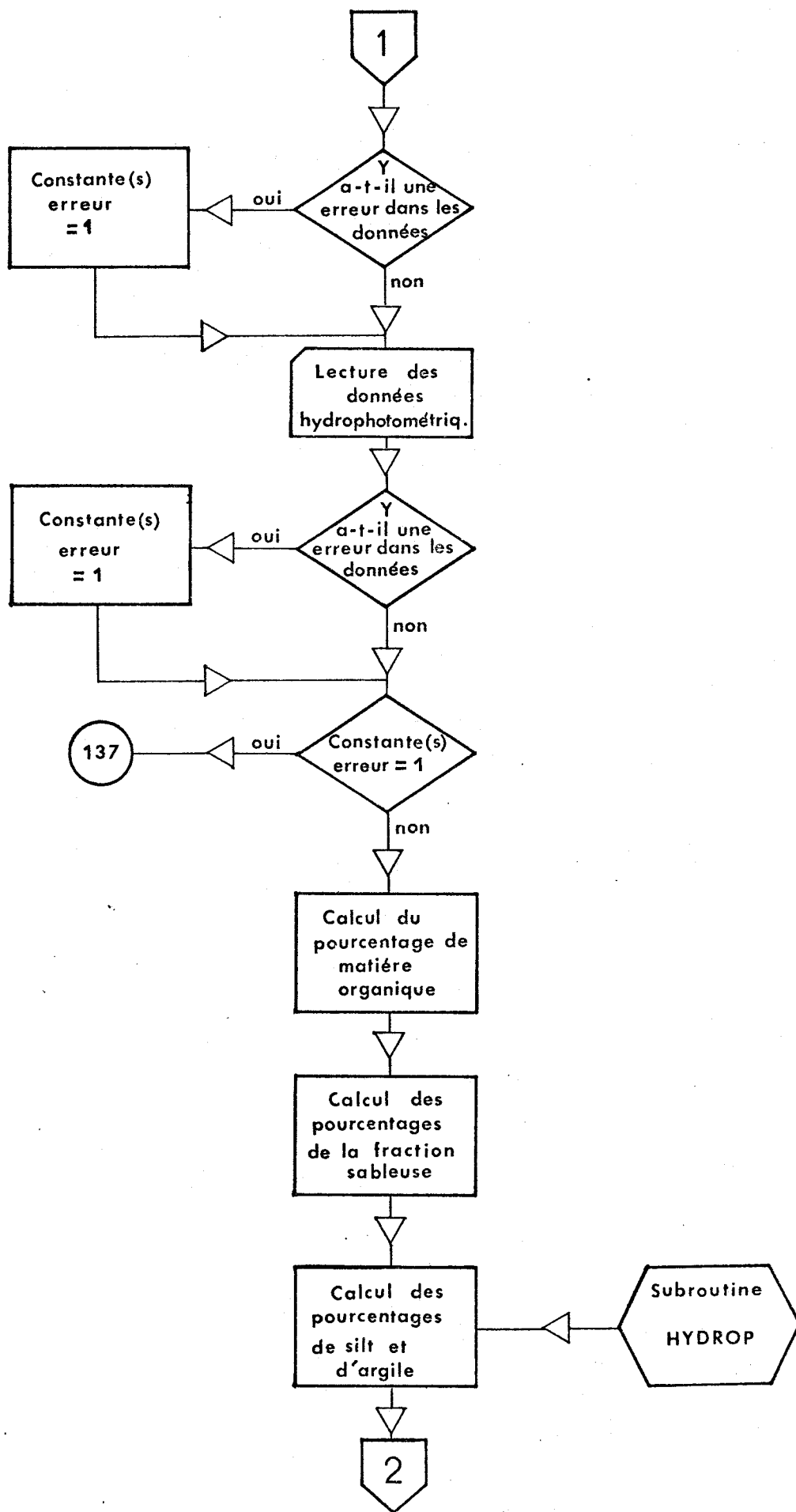


Fig. 4.7bis Organigramme schématique du programme principal SEDIMT

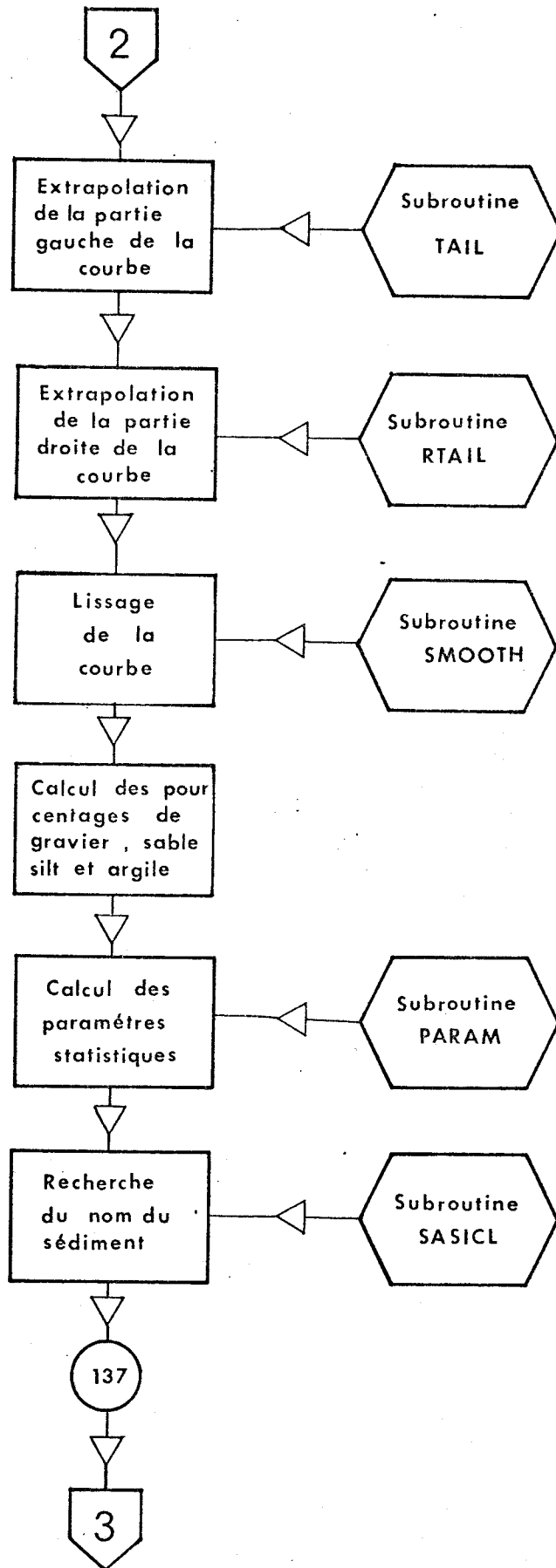


Fig. 4.7ter Organigramme schématique du programme principal SEDIMT



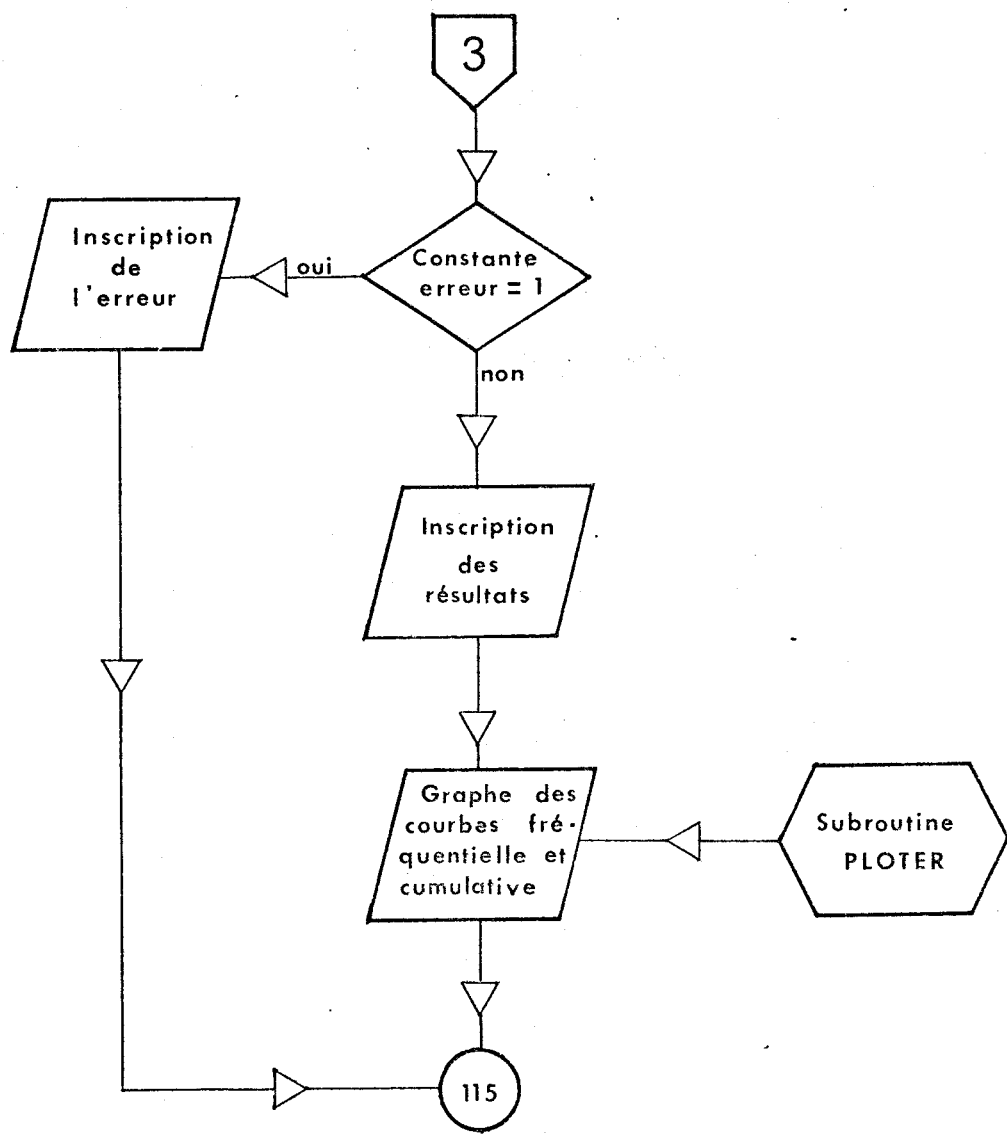


Fig. 4.7quarto Organigramme schématique du programme principal SEDIMT



Après initialisation à 0.0 des vecteurs, le programme effectue les calculs des pourcentages des fractions sableuses dans le cas où NSAMPL est égal à 0, c'est à dire dans le cas où le tamisage a été effectué. Les poids bruts provenant du vecteur SFRAC sont transférés dans le vecteur CUM qui contiendra plus tard les pourcentages cumulatifs expérimentaux. Par soustraction, les pourcentages fréquentiels sont déduits et stockés dans le vecteur PCT.

L'étape suivante est effectuée par la subroutine HYDROP (fig. 4.8) qui calcule dans le cas où IHYDRO est égal à zéro (cas où les mesures à l'hydrophotomètre ont été réalisées) les pourcentages respectifs de silt et d'argile ainsi que les pourcentages des différentes fractions silteuses. Quelle que soit la valeur de IHYDRO, la subroutine transmet ensuite les valeurs du vecteur CUM dans le vecteur AA. Celui-ci servira au stockage des pourcentages cumulatifs jusqu'à l'appel de la subroutine SMOOTH (lissage de la courbe). La déclaration RETURN permet le retour au programme principal (voir fig. 4.7). A ce stade, courbes cumulatives et fréquentielles expérimentales sont donc connues ; les opérations suivantes concernent donc le calcul des courbes théoriques, la détermination du nom du sédiment, le calcul des paramètres ainsi que l'impression des résultats.

Dans le cas où la première valeur connue de la courbe cumulative est supérieure à 2 pour cent, la partie gauche de la courbe est extrapolée. Le programme détermine alors les ordonnées des deux points qui serviront à l'établissement des constantes de la courbe Gompertz. Ces constantes sont calculées par la subroutine TAIL (fig. 4.9) qui détermine puis stocke dans le vecteur AA les valeurs manquantes de cette partie de courbe.

Après le retour au programme principal (fig. 4.7), le programme effectue une opération similaire sur l'autre côté de la courbe : il détermine les coordonnées des deux points qui serviront à l'ajustement d'une exponentielle modifiée et envoie ces données à la subroutine RTAIL (fig. 4.10). La subroutine teste au préalable les ordonnées des deux points (Y0 et Y1) ; s'ils sont égaux, Y1 est alors incrémenté par rapport à Y0 ;

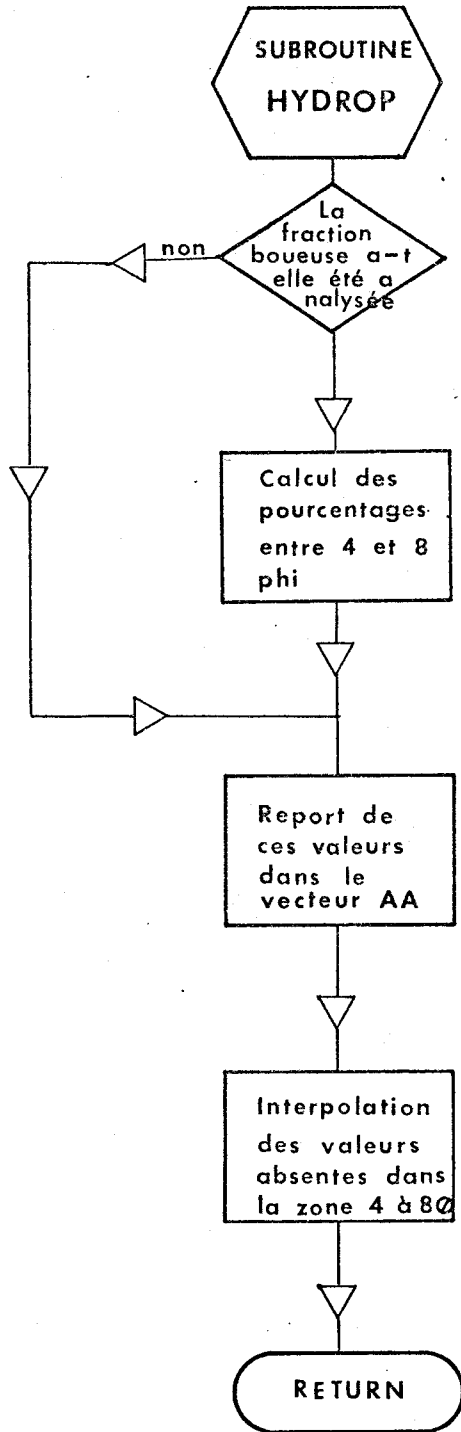


Fig. 4.8 Organigramme schématique de la subroutine HYDROP

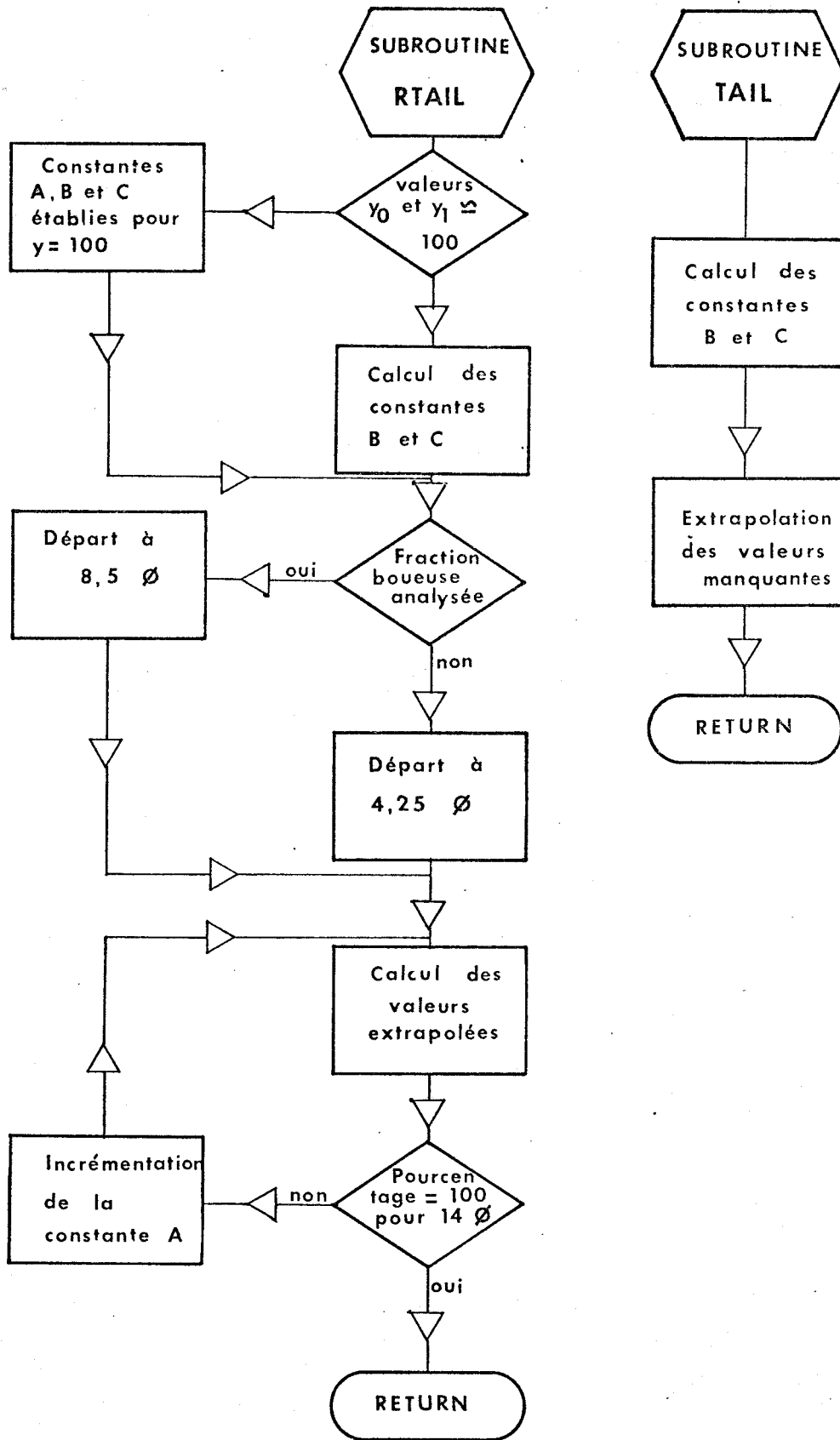


Fig. 4.9 Organigramme schématique de la subroutine TAIL

Fig. 4.10 Organigramme schématique de la subroutine RTAIL



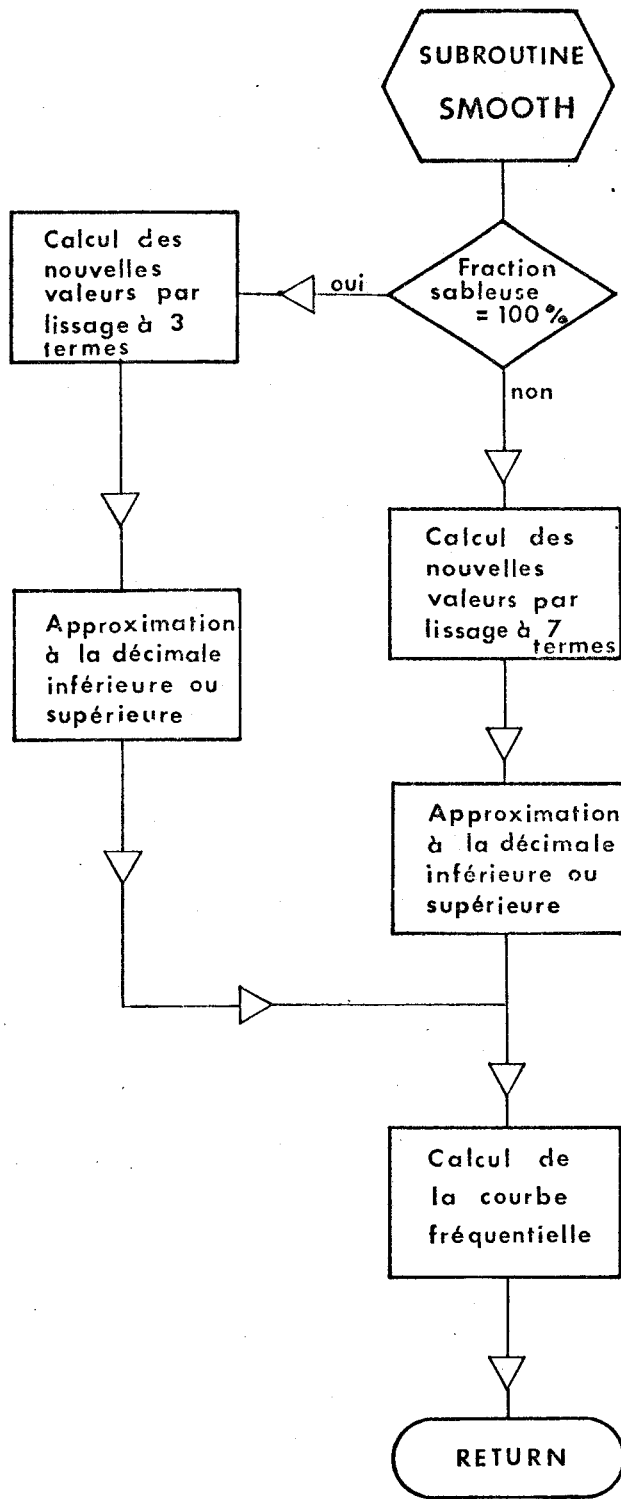


Fig. 4.11 Organigramme schématique de la subroutine SMOOTH



si l'un des deux ou les deux sont égaux à 100,0, les constantes sont initialisées de telle façon que le résultat donne constamment 100,0 %. Dans les autres cas, les constantes B et C sont calculées suivant les équations déterminées au paragraphe 4.2.2.2.1.

Un test est effectué pour savoir si la fraction boueuse (inférieure à 4 ϕ) a été analysée (ou s'il existe une fraction boueuse). Dans le cas où celle-ci est absente, l'extrapolation de la courbe débute à 4,25 ϕ ; dans le cas contraire, elle débute à 8,25 ϕ . Un dernier test analyse la valeur du vecteur AA (pourcentage cumulatif) à 14 ϕ . Si celle-ci est inférieure à 100,0 %, la constante A est incrémentée de 0,1 et les valeurs du vecteur AA sont alors recalculées. Lorsque la valeur est atteinte, la boucle est alors shuntée et l'appel de la subroutine est retourné au programme principal.

L'appel de la subroutine SMOOTH (fig. 4.11) est ensuite immédiatement effectué. Cette subroutine examine en premier lieu la valeur de la fraction sableuse et graveleuse ; si celle-ci est égale à 100 % le lissage s'opère avec un filtre à 3 termes. Dans le cas contraire, le filtre utilisé comporte 7 termes. Dans l'un et l'autre cas, chaque nouvelle valeur est arrondie à la décimale inférieure si le pourcentage est inférieur à 50 %, ou supérieure, si le pourcentage est supérieur à 50 %. Cette opération permet d'éviter un nombre important de valeurs tendant vers 0 % ou 100 % par + ou - l'infini. En fin de subroutine, les fréquences relatives (vecteur FEXP) sont déduites des fréquences cumulatives théoriques (vecteur EXP).

Après le retour au programme principal, l'ordinateur détermine les pourcentages de différentes fractions terrigènes : graviers, sables, silts et argiles. Le programme appelle ensuite la subroutine PARAM chargée de calculer les paramètres statistiques. Dans un premier temps, les valeurs des quartiles et percentiles à 5 %, 16 %, 84 % et 95 % sont calculées dans une boucle qui parcourt le vecteur des fréquences cumulées. Les valeurs des paramètres statistiques (moyenne arithmétique, médiane, écart-type, coefficient de variation, asymétrie de la courbe et aplatissement de la courbe) sont alors calculées à partir des valeurs des

percentiles et suivant les formules décrites au paragraphe 4.2.2.3 (fonctions de mesures).

La subroutine SASICL est ensuite appelée par le programme principal : cette subroutine détermine le nom du sédiment suivant la classification de Sheppard (Sheppard, 1954) représentée en figure 4.6. Son algorithme est sensiblement similaire à la procédure que l'on emploie manuellement : une série de tests permet de connaître dans quel compartiment se situe le sédiment suivant ses composantes en sable + gravier, silt et argile. Le nom est stocké dans le vecteur XSAMPL puis renvoyé au programme principal.

L'opération suivante est l'impression des résultats. Ceci sera vu en détail dans le paragraphe 4.2.5 (sortie des résultats) et en conséquence ne sera pas décrit ici.

En dernier lieu, le programme appelle la subroutine PLOTER qui effectue les graphes des courbes cumulatives et fréquentielles théoriques (c'est à dire celles qui ont été calculées). Cette subroutine empruntée à Davis (1973) est expliquée dans son ouvrage aux pages 210, 211 et 212. Elle est similaire à nombre de subroutines permettant le graphe de fonctions et que l'on peut trouver dans les bibliothèques de centres informatiques.

4.2.4 Introduction des données

Les données entrées peuvent ne pas comporter de point décimal (correspondant à notre virgule). Ceci permet à l'utilisateur de gagner du temps lors de la perforation des cartes ; ainsi, en format F 5.2, le nombre 99,5 pourra indifféremment être porté sous la forme 00995 ou sous la forme 099.5.

Les données doivent être portées sur les cartes de la façon suivante :

Carte 1 :

Colonnes 1 à 5 : SAMPLE représentant le numéro de l'échantillon, en format I5,

- Colonnes 6 à 10 : BEAKER, poids du bêcheur vide correspondant à l'analyse de la matière organique par perte au feu, format F5.2,
- 11 à 15 : OM2, poids du bêcheur et de l'échantillon après perte au feu, format F5.2,
- 16 à 20 : SE05, poids du bêcheur vide de l'analyse granulométrique, en format F5.1,
- 21 à 25 : SE10, poids du bêcheur et de l'échantillon de l'analyse granulométrique, en format F5.1,
- 26 à 30 : SE20, poids du bêcheur, de la fraction sableuse et graveleuse et de la fraction carbonatée (coquillages) en format F5.1,
- 31 à 35 : SE40, poids du bêcheur et des fractions sableuse et graveleuse, en format F5.1,
- 36 à 40 : NSAMPL, est égal à 0 si la fraction sableuse a été analysée, et différent de 0 dans le cas contraire, en format I5,
- 41 à 45 : IHYDRO, est égal à 0 si la fraction boueuse a été analysée, et différent de 0 dans le cas contraire, en format I5.

Carte 2

- Colonnes 1 à 5 : SAMPLE, numéro de l'échantillon, en format I5,
- 6 à 10 : PHI1, valeur de départ, en phi, du diamètre des grains correspondant au plus gros tamis utilisé, en format F5.2,
- 11 à 80 : SFRAC, différents poids, en format F5.1, des fractions sableuses et graveleuses provenant du tamisage.

Carte 3

si SFRAC (I) est supérieur à 14 valeurs :

- Colonnes 1 à 5 : SAMPLE, numéro de l'échantillon, en format I5,
- 6 à 80 : SFRAC, différents poids, en format F5.1, des fractions sableuse et graveleuse provenant du tamisage.

Carte 4

si SFRAC (I) est supérieur à 29 valeurs :

Colonnes 1 à 5 : SAMPLE, numéro de l'échantillon, en format I5,
6 à 80 : SFRAC, différents poids, en format F5.1, des frac-
tions sableuses et graveleuses provenant du tami-
sage.

Carte suivante : (peut être deuxième ou troisième carte seulement) :

Colonnes 1 à 5 : SAMPLE, numéro de l'échantillon, en format I5,
6 à 50: RI, transmissions, de la plus petite à la plus
grande, provenant de l'hydrophotomètre, en for-
mat F5.1.

Trois exemples sont donnés dans le tableau 4.1,

1	2820	3232	2501	3107	2506	2505	1		
1	184	185	187	188	189	191	197	217	263

Echantillon 7670/1 : Fractions sableuse et graveleuse absentes

7	2650	3122	2635	3167	2845	2845							
7	125	0	1	1	2	3	5	7	14	24	66	149	173
7	248	250	252	255	260	261	297	301	339				

Echantillon 7670/7 : Fractions supérieures et inférieures à 4 Ø
analysées

14		1610	2523	2522	2522	1									
14	-100	142	143	144	145	146	149	152	156	163	174	184	190	204	225
14	253	294	336	360	368	369	370								

Echantillon 7670/14 : Fraction boueuse absente

Tableau 4.1 Trois exemples d'entrées de données

Le premier correspond à un échantillon où le tamisage n'a pas été effectué (NSAMPL = 1); le second, à un échantillon où tamisage et mesures à l'hydropho-
tomètre ont été accomplis (IHYDRO = 0 et NSAMPL = 0); enfin, le troisième, à
un échantillon où la fraction boueuse était absente (IHYDRO = 1).

4.2.5 Sortie des résultats

En décrivant les buts du programme (paragraphe 4.2.1), nous avons par là-même envisagé la sortie des résultats. La figure 4.12 donne un exemple de sortie des résultats. Il est à noter que tous les termes employés sont anglais ; ceci est dû au fait que le programme a été mis au point à l'Université de Melbourne, Australie. Une traduction des quelques termes anglais apparaissant en sortie des résultats est donnée ci-dessous :

sample number	=	numéro d'échantillon
org. matter	=	matière organique (en %)
terrigenous	=	terrigènes (en %)
gravel	=	graviers (en %)
sand	=	sable (en %)
silt	=	silt (en %)
clay	=	argile (en %)
mean	=	moyenne arithmétique (en phi)
median	=	médiane (en phi)
st. deviation	=	écart-type (en phi)
co. variation	=	coefficient de variation
skewness	=	asymétrie de la courbe
kurtosis	=	aplatissement de la courbe
sand weight retained	=	poids du sable retenu (dans chaque tamis)
mud % transmission	=	valeur de transmissivité
observed frequency curve	=	fréquence relative expérimentale
observed cumulative curve	=	fréquence cumulée expérimentale
calculated frequency curve	=	fréquence relative théorique (calculée)
calculated cumulative curve	=	fréquence cumulée théorique (calculée)

SAMPLE NUMBER 7670 6

```

.....
* BRG. MATTER= 1.2 * GRAVEL= .0 * MEAN= 2.3 * ST.DEVIATION= .5 * SKEWNESS= .07 * P05= 1.3 *
* CARBONATE= 3.1 * SAND= 97.5 * MEDIAN= 2.4 * CO-VARIATION= 22.9 * KURTOSIS= 1.11 * P16= 1.8 *
* TERRIGENOUS= 95.7 * SILT= 1.7 * * * * * P25= 2.0 *
* * * * * * * * * * * (FOLK AND WARD * P50= 2.4 *
* * * * * * * * * * * PARAMETERS,1957) * P75= 2.7 *
* * * * * * * * * * * * * * * * * P84= 2.8 *
* * * * * * * * * * * * * * * * * P95= 3.2 *
.....
    
```

PHI	SAND WEIGHT RETAINED	MUD TRANSMISSION	OBSERVED FREQUENCY CURVE	OBSERVED CUMULATIVE CURVE	CALCULATED FREQUENCY CURVE	CALCULATED CUMULATIVE CURVE
.00	.00		.00	.00	.00	.00
.25	.00		.00	.00	.00	.00
.50	.10		.20	.20	.10	.10
.75	.50		.78	.98	.80	.90
1.00	1.10		1.17	2.15	1.60	2.50
1.25	2.50		2.73	4.88	1.40	3.90
1.50	4.10		3.12	8.01	2.90	6.80
1.75	5.60		2.93	10.94	6.10	12.90
2.00	11.90		12.30	23.24	11.20	24.10
2.25	20.70		17.19	40.43	17.20	41.30
2.50	31.60		21.29	61.72	20.50	61.80
2.75	41.70		19.73	81.44	17.50	79.30
3.00	47.60		11.52	92.97	11.80	91.10
3.25	49.00		2.73	95.70	5.40	96.50
3.50	49.60		1.17	96.87	1.00	97.50
3.75	49.70		.20	97.07	.00	97.50
4.00	49.80		.20	97.27	.00	97.50
4.25		30.80	.03	97.30	.00	97.50
4.50					.00	97.50
4.75		31.20	.05	97.35	.00	97.50
5.00					.00	97.50
5.25		31.60	.08	97.44	.00	97.50
5.50					.00	97.50
5.75		32.00	.13	97.57	.00	97.50
6.00					.10	97.60
6.25		34.00	.20	97.76	.10	97.70
6.50					.10	97.80
6.75		36.80	.28	98.04	.20	98.00
7.00					.20	98.20
7.25		41.30	.38	98.42	.20	98.40
7.50					.20	98.60
7.75		44.60	.52	98.95	.30	98.90
8.00					.30	99.20
8.25					.10	99.30
8.50					.20	99.50
8.75					.10	99.60
9.00					.10	99.70
9.25					.00	99.70
14.00		51.00	.68	100.00	.00	100.00

Fig. 4.12 : Exemple de sortie des résultats (programme SEDIMT)



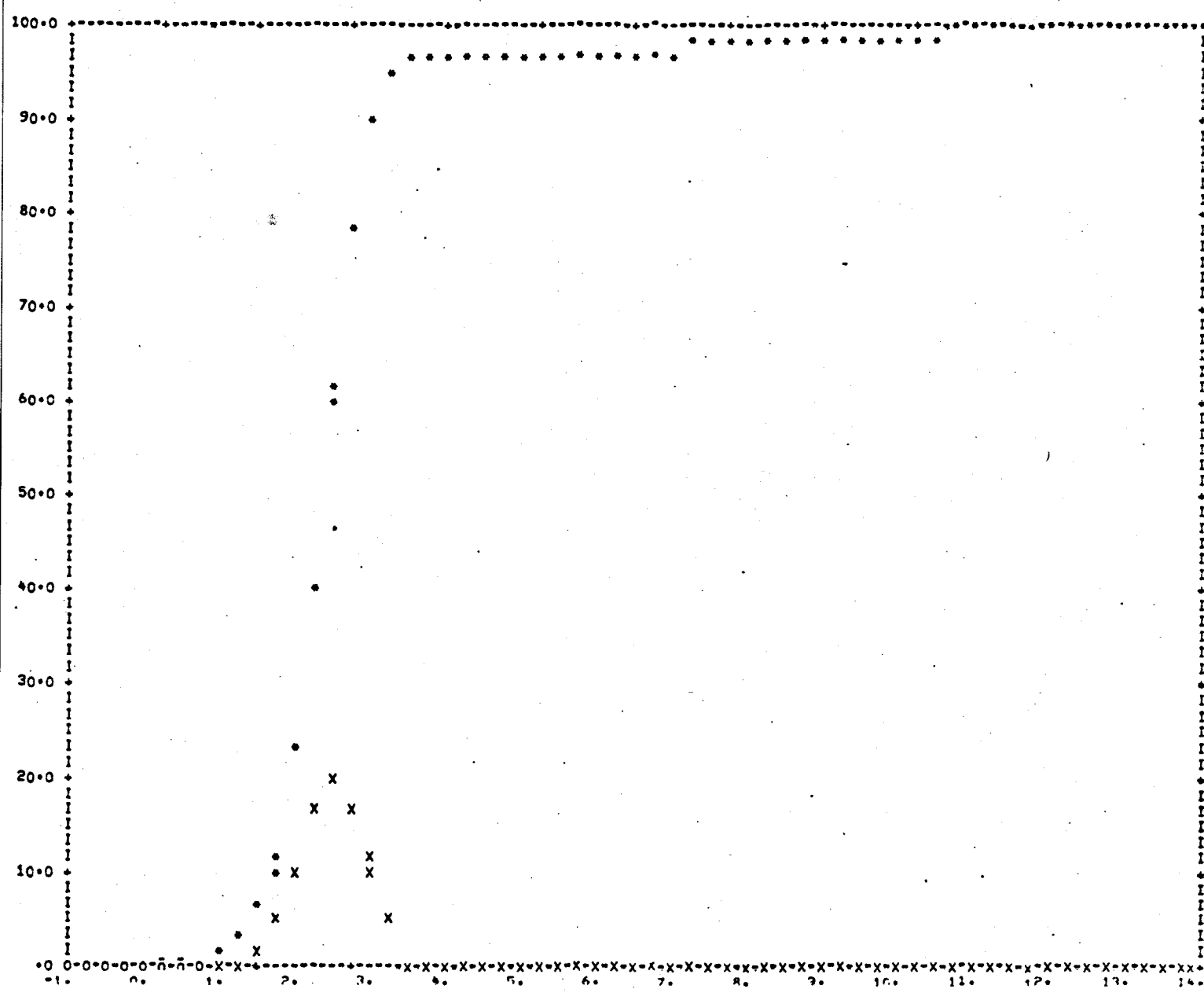


Fig. 4.12 (suite) : Exemple de sortie des résultats (programme SEDIMT)



4.2.6 Critiques du programme

De nombreuses critiques sont à émettre vis-à-vis du programme SEDIMT, certainement incomplet ou inefficace pour certains problèmes. Ci-dessous sont énumérées par ordre d'importance les lacunes ou critiques concernant le programme :

- a) le programme ne traite que de données provenant de l'hydrophotomètre sans pouvoir accepter des données de la fraction boueuse obtenues par la méthode de la pipette ;
- b) l'espacement entre les différentes fractions sableuse (0,25 ϕ) et boueuse (0,25 ou 0,50 ϕ) est constant et exige par exemple des tamis de normes américaines ;
- c) limitation des données à - 6 ϕ (64 mm) ;
- d) deux points seulement sont utilisés dans la méthode d'extrapolation des parties manquantes des courbes cumulatives. La tangente au premier point ou au dernier point serait plus adéquate ;
- e) lissage linéaire et non pas curviforme ;
- f) paramètres statistiques uniquement calculés par la méthode graphique ; la méthode des moments pourrait être optionnelle ;
- g) graphe de la courbe fréquentielle à la place d'un histogramme.

4.3 Programme CORR. Traitement des liaisons linéaires et de groupe des paramètres statistiques et externes.

4.3.1 But du programme

Les paramètres statistiques et externes, manquants pour un certain nombre d'échantillons, empêchent l'utilisation d'un programme *package* que l'on peut trouver dans nombre de bibliothèques informatiques. Ces programmes, résolvant les systèmes d'équations par la méthode des matrices, exigent une matrice complète de données.

Le premier but du programme CORR est de remédier à ce problème. Ainsi, un échantillon n'est pas systématiquement éliminé si seulement l'un de ses paramètres est absent. Seules les relations entre ce paramètre et les autres seront éliminées. Cet avantage permettra donc de travailler avec un nombre d'observations plus important et d'obtenir des résultats plus fiables statistiquement. Le programme déterminera ainsi la relation linéaire entre chacun des paramètres.

Le second but du programme CORR sera de déterminer la relation de distribution des points de deux vecteurs de paramètres lorsqu'ils sont portés sur graphe bidimensionnel. Cette relation est représentée par le coefficient du plus proche voisin (*nearest neighbour statistic*).

Mises à part de petites alternatives suivant le type de sortie désiré, le programme calcule les valeurs suivantes :

- moyennes arithmétiques
- écarts-types
- coefficients de corrélation linéaire
- constantes des droites de régression
- coefficient du plus proche voisin.

4.3.2. Théorie et données mathématiques

Nous n'insisterons pas sur le calcul des moyennes arithmétiques, des écarts-types, des coefficients de corrélation linéaire et des cons-

tantes des droites de régression linéaire : seules leurs équations seront rappelées. Pour plus de renseignements, le lecteur peut consulter nombre d'ouvrages de mathématiques et de statistiques

$$\text{Moyenne arithmétique : } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\text{Ecart-type : } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$$\text{Coefficient de corrélation : } r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{n \times \sigma_x \times \sigma_y}$$

Constantes de la droite de regression $y = ax + b$

$$a = \frac{(x_i \times y_i) - \frac{\sum x_i \cdot \sum y_i}{n}}{\frac{\sum (x_i)^2}{n} - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}$$

$$b = \bar{y} - a \times \bar{x}$$

où x_i est le i ème élément du vecteur X

y_i est le i ème élément du vecteur Y

\bar{x} est la moyenne arithmétique du vecteur X

\bar{y} est la moyenne arithmétique du vecteur Y

σ_x est l'écart-type du vecteur X

σ_y est l'écart-type du vecteur Y

n le nombre d'observations.

Le coefficient du plus proche voisin permet d'avoir une idée sur les distributions de points de deux paramètres lorsqu'ils sont portés sur un graphe bidimensionnel. Son calcul, long et fastidieux, est le suivant (Davis, 1973) : dans un premier temps, on calcule la distance moyenne espérée ($\bar{\Delta}$)

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{2 p}$$

où p est la densité de points dans l'aire considérée. Dans notre cas, cette aire est déterminée par les valeurs maximales et minimales des abscisses et ordonnées. Si n est le nombre d'observations (ou d'échantillons) :

$$p = n (x_{\max} - x_{\min}) (y_{\max} - y_{\min})$$

La moyenne des distances entre chaque point et son plus proche voisin (\bar{D}) est ensuite calculée. Connaissant abscisse et ordonnée de chaque point, chaque distance D_i est calculée suivant le théorème de Pythagore. Le coefficient du plus proche voisin est calculé par l'expression :

$$RS = \frac{\bar{D}}{\bar{\Delta}}$$

4.3.3 Description du programme - Organigramme schématique

Le programme CORR est composé de 3 sous-routines STAT1, STAT2 et REPLIC et d'un programme principal faisant fonction de lecteur de données.

Il est possible d'appeler directement le programme CORR par le programme SEDIMT pour le traitement des divers paramètres. Cet appel, remplaçant alors le programme principal, se fait de la façon suivante :

```
CALL STAT1 (A, NROWS, NCOLUM, IE)
```

A est la matrice, comportant NROWS rangées et NCOLUM colonnes, où sont stockées les informations.

IE est un paramètre permettant le contrôle du type de sortie des résultats.

Les organigrammes schématiques des différentes parties du programme CORR sont reportés dans les figures 4.13 pour le programme principal, 4.14 pour les sous-routines STAT1 et REPLIC, et 4.15 pour la sous-routine STAT2. Le listing du programme général se trouve en annexe II.

Le programme principal (Fig. 4.13) possède trois fonctions :

- a) lecture des données
- b) comptage du nombre d'échantillons
- c) appel de la subroutine STAT1.

Cette subroutine reçoit les données, c'est à dire la matrice des données, ses dimensions : nombre de paramètres et nombre d'échantillons, ainsi que la constante IE définissant le type de sortie.

Dans un premier temps, la subroutine STAT1 sélectionne deux paramètres. Cette sélection s'effectue suivant le tableau 4.2. Seuls les éléments de la matrice d'un côté de sa diagonale sont utilisés. Au commencement, les deux premiers paramètres a et b sont employés. Tous les principaux calculs sont alors effectués sur ces deux éléments. Le cycle recommencera ensuite avec sélection des premier (a) et troisième (c) paramètres, puis premier (a) et quatrième (d), etc ... jusqu'au moment où de deuxième élément constitue le dernier paramètre (z) de la rangée. Dans ce cas, toutes les relations entre le paramètre a et les autres paramètres ont été inspectées. Le programme passe alors à une autre rangée et continue le même processus : b₁ et c₁ puis b₁ et d₁ ... etc ...

a	b	c	d	e						z
	b ₁	c ₁	d ₁	e ₁						z ₁
		c ₂	d ₂	e ₂						z ₂
			d ₃	e ₃						z ₃
				e ₄						z ₄

Tableau 4.2 Sélection des paramètres par la subroutine STAT1

Lorsque chaque couple de paramètres a été défini, la subroutine duplique les données de ces paramètres dans deux vecteurs XDATA et YDATA. Ceux-ci sont ensuite transmis à la subroutine REPLIC qui élimine les valeurs manquantes (où l'on a placé préalablement la valeur 99999). Les nouveaux vecteurs (B et C) sont alors transmis avec leur dimension (NJ) à la subroutine STAT2 (figure 4.15).

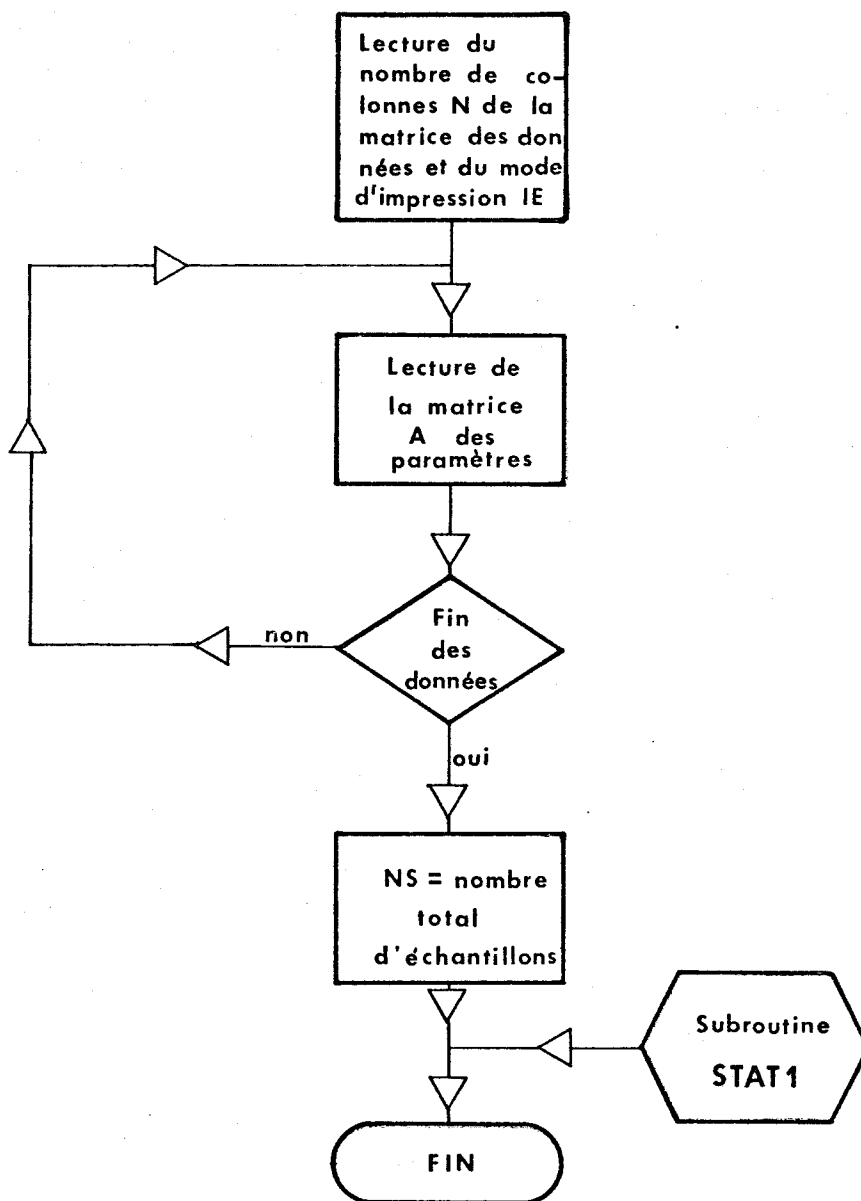


Fig. 4.13 Organigramme schématique du programme CORR



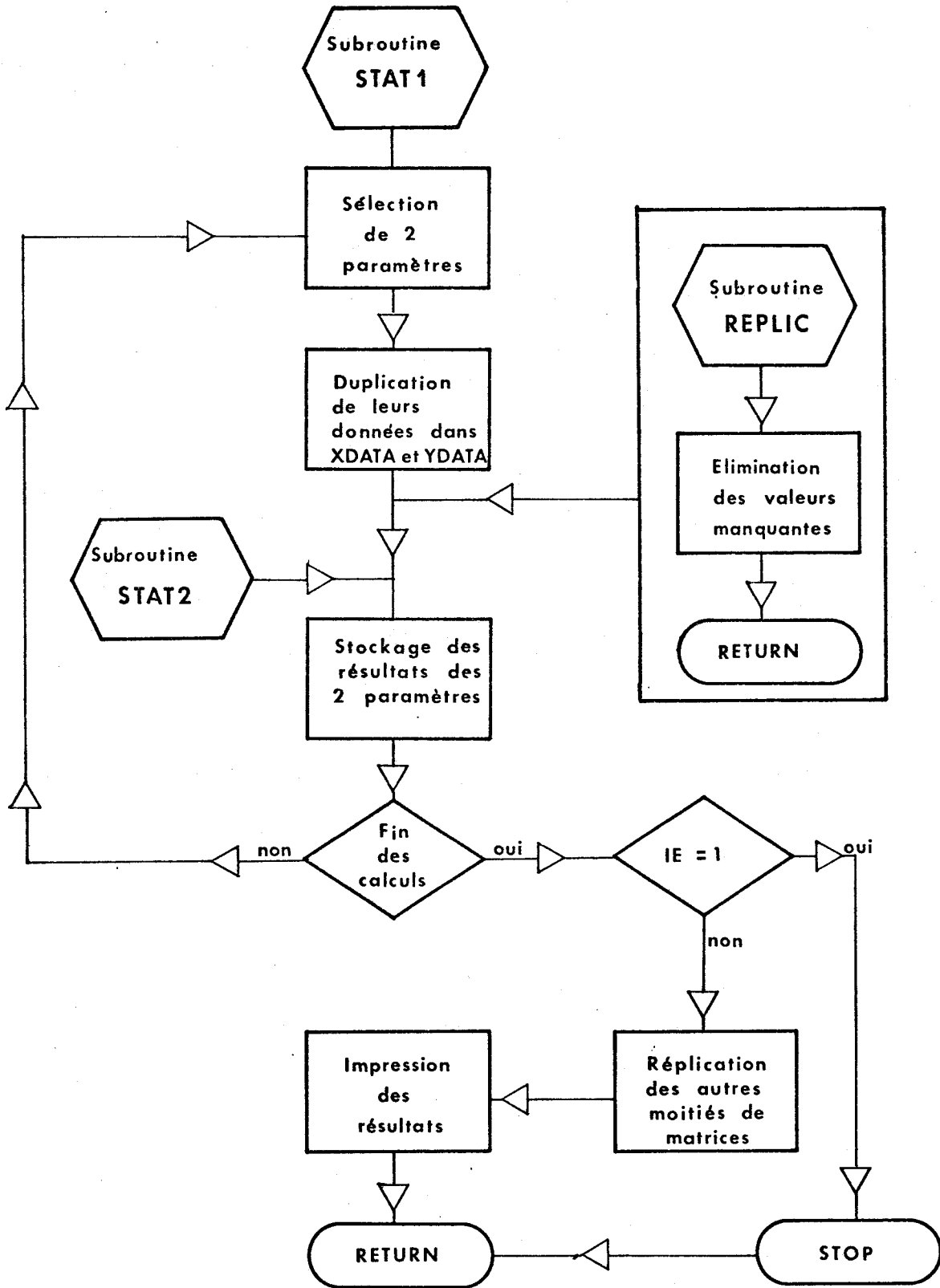


Fig. 4.14 Organigramme schématique des subroutines STAT1 et REPLIC

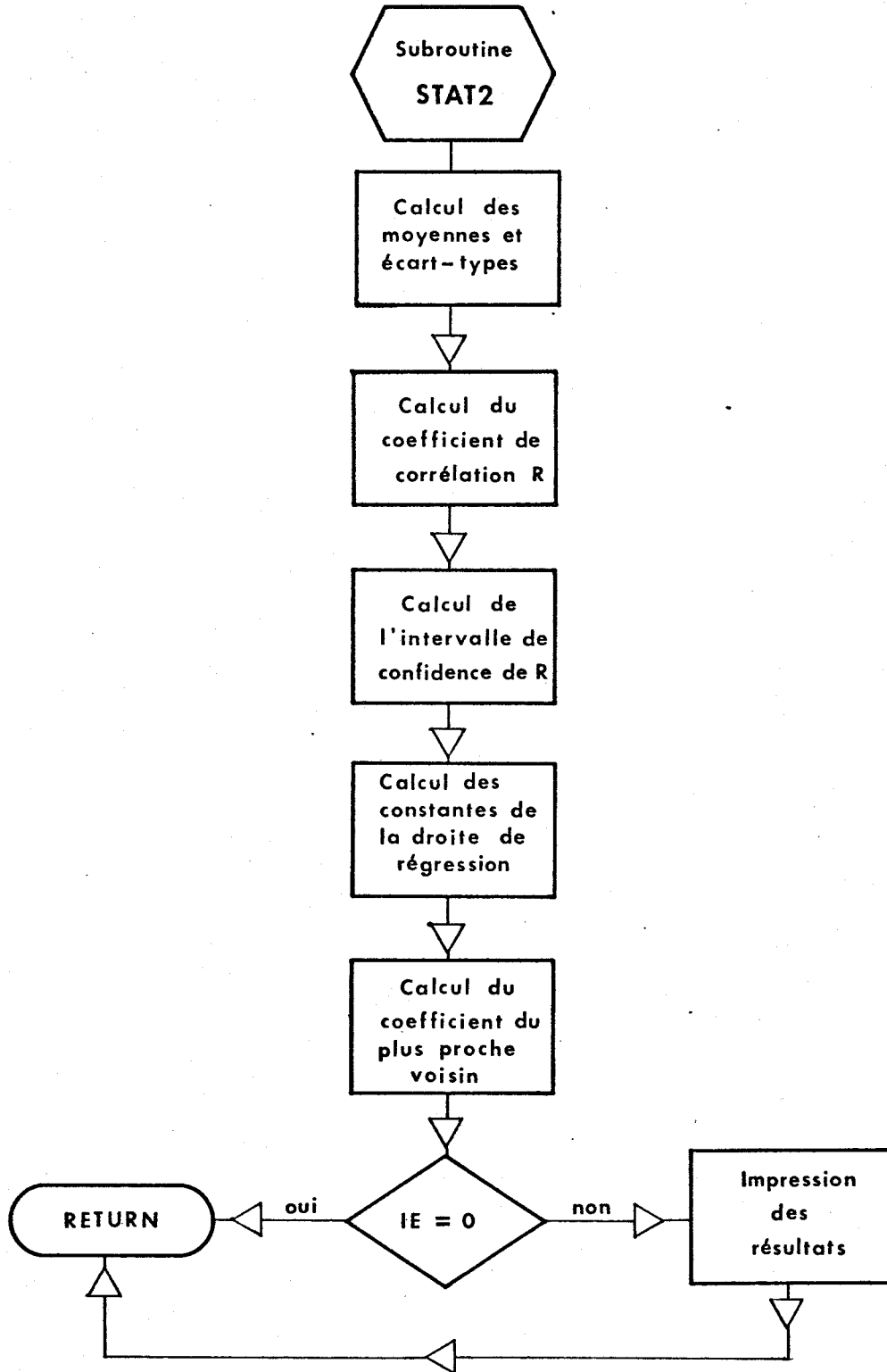


Fig. 4.15 Organigramme schématique de la subroutine STAT2



Cette subroutine est d'un concept très simple. Après initialisation à zéro de différentes valeurs et calcul des diverses sommes utilisées par la suite dans les calculs, les opérations sont très simples et décrites dans l'organigramme de la figure 4.15. Après ces calculs de moyennes arithmétiques, coefficient de corrélation, etc ..., la subroutine teste la valeur de IE ; si celle-ci est égale à 0, l'impression des résultats en mode simple des deux paramètres est sautée et la subroutine retourne à la subroutine STAT1.

Dans le cas où IE est égal à 0, ces valeurs calculées sont mémorisées dans des vecteurs (AMEAN, ASTDEV, AA1, AR, ARS).

Lorsque tous les couples de paramètres ont été analysés, la subroutine STAT1 teste à nouveau la valeur de IE. Si celle-ci est égale à 1 le programme est stoppé. C'est la fin du programme CORR.

Par contre, si celle-ci est égale à 0, il y a replication de l'autre partie de la matrice puis impression des résultats en matrices. La subroutine STAT1 terminée, renvoie au programme principal. Le programme général CORR est alors terminé.

4.3.4 Entrée des données

L'entrée des données est relative au programme principal, donc à l'utilisateur. Celui-ci peut donc adapter une lecture de données convenant à son problème. La subroutine STAT1 n'exige pour sa part qu'une matrice de données A, les dimensions NROWS et NCOLUM de celle-ci, ainsi que la valeur de IE déterminant le type de sortie.

4.3.5 Sortie des résultats

Suivant le type de sortie désiré, les résultats apparaitront en mode simple (tableau 4.3) ou en matrice (tableau 4.4).

MOYENNE ARITHMETIQUE DES XI : 7.361 ECART-TYPE DES XI : 7.147
 MOYENNE ARITHMETIQUE DES YI : 3.778 ECART-TYPE DES YI : 7.051
 COEFFICIENT DE CORRELATION LINEAIRE : .265
 INTERVALLE DE CONFIDENCE : .138 R .393 POUR P = 0.95
 DROITE DE REGRESSION : Y = .26 + 1.84
 DISTANCE MOYENNE ENTRE CHAQUE POINT ET SON PLUS PROCHE VOISIN : DELTA = 1.43
 DISTANCE MOYENNE OBSERVEE ENTRE CHAQUE POINT ET SON PLUS PROCHE VOISIN : DBAR=1.3
 INDICE STATISTIQUE DU PLUS PROCHE VOISIN : R = .97

Tableau 4.3. Sortie des résultats du programme CORR (forme simple)

VECTEUR DES MOYENNES ARITHMETIQUES

X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X10	X11	X12
8.05	2.21	34.86	31.12	33.64	6.18	5.81	1.94	44.59	.29	1.51	3.96

VECTEUR DES DEVIATIONS STANDARD

X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X10	X11	X12
6.25	3.97	46.60	21.10	23.16	2.96	2.84	.81	77.92	.31	1.02	2.06

MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION LINEAIRES

	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X10	X11	X12
X 1	1.00	.27	-.75	.74	.68	.72	.72	.37	-.14	.17	-.04	.35
X 2	.27	1.00	-.16	.12	.18	.18	.17	.09	-.07	.11	.00	.17
X 3	-.75	-.16	1.00	-.93	-.94	-.96	-.96	-.61	.16	-.26	.09	-.34
X 4	.74	.12	-.93	1.00	.79	.88	.83	.54	-.20	.15	-.08	.26
X 5	.68	.18	-.94	.79	1.00	.97	.95	.61	-.20	.38	-.07	.36
X 6	.72	.18	-.96	.88	.97	1.00	.96	.62	-.27	.34	-.08	.33
X 7	.72	.17	-.96	.29	.95	.98	1.00	.61	-.27	.20	-.09	.29
X 8	.37	.09	-.61	.54	.61	.62	.61	1.00	.07	.30	-.00	.15
X 9	-.14	-.07	.16	-.20	-.20	-.27	-.27	.07	1.00	-.04	.05	-.07
X10	.17	.11	-.26	.15	.38	.34	.20	.30	-.04	1.00	.34	.28
X11	-.04	.00	.09	-.08	-.07	-.08	-.09	-.00	.05	.34	1.00	-.11
X12	.35	.17	-.34	.26	.36	.33	.29	.15	-.07	.28	-.11	1.00

Tableau 4.4 Sortie des résultats du programme CORR (sortie en matrices)
 voir suite page 74

MATRICE DES COEFFICIENTS DIRECTEURS DES DROITES

	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X10	X11	X12
X 1	1.00	.26	-.57	2.32	2.27	.32	.30	.05	-1.28	.01	-.01	.12
X 2	.26	1.00	-.79	.32	.51	.07	.06	.01	-.66	.00	.00	.09
X 3	-.57	-.79	1.00	-.48	-.51	-.07	-.07	-.01	.31	-.00	.00	-.02
X 4	2.32	.32	-.48	1.00	.84	.12	.12	.02	-.76	.00	.00	.03
X 5	2.27	.51	-.51	.84	1.00	.13	.12	.02	-.69	.00	.00	.03
X 6	.32	.07	-.07	.12	.13	1.00	.94	.19	-7.29	.03	-.02	.23
X 7	.30	.06	-.07	.12	.12	.94	1.00	.19	-7.61	.02	-.03	.21
X 8	.05	.01	-.01	.02	.02	.19	.19	1.00	6.23	.10	-.00	.38
X 9	-1.28	-.66	.31	-.76	-.69	-7.29	-7.61	6.23	1.00	-.00	.00	-.00
X10	.01	.00	.00	.00	.00	.03	.02	.10	-.00	1.00	1.02	1.91
X11	-.01	.00	.00	.00	-.00	-.02	-.03	-.00	.00	1.02	1.00	-.22
X12	.12	.09	-.02	.03	.03	.23	.21	.38	-.00	1.91	-.22	1.00

MATRICE DES CONSTANTES DES DROITES DE REGRESSION

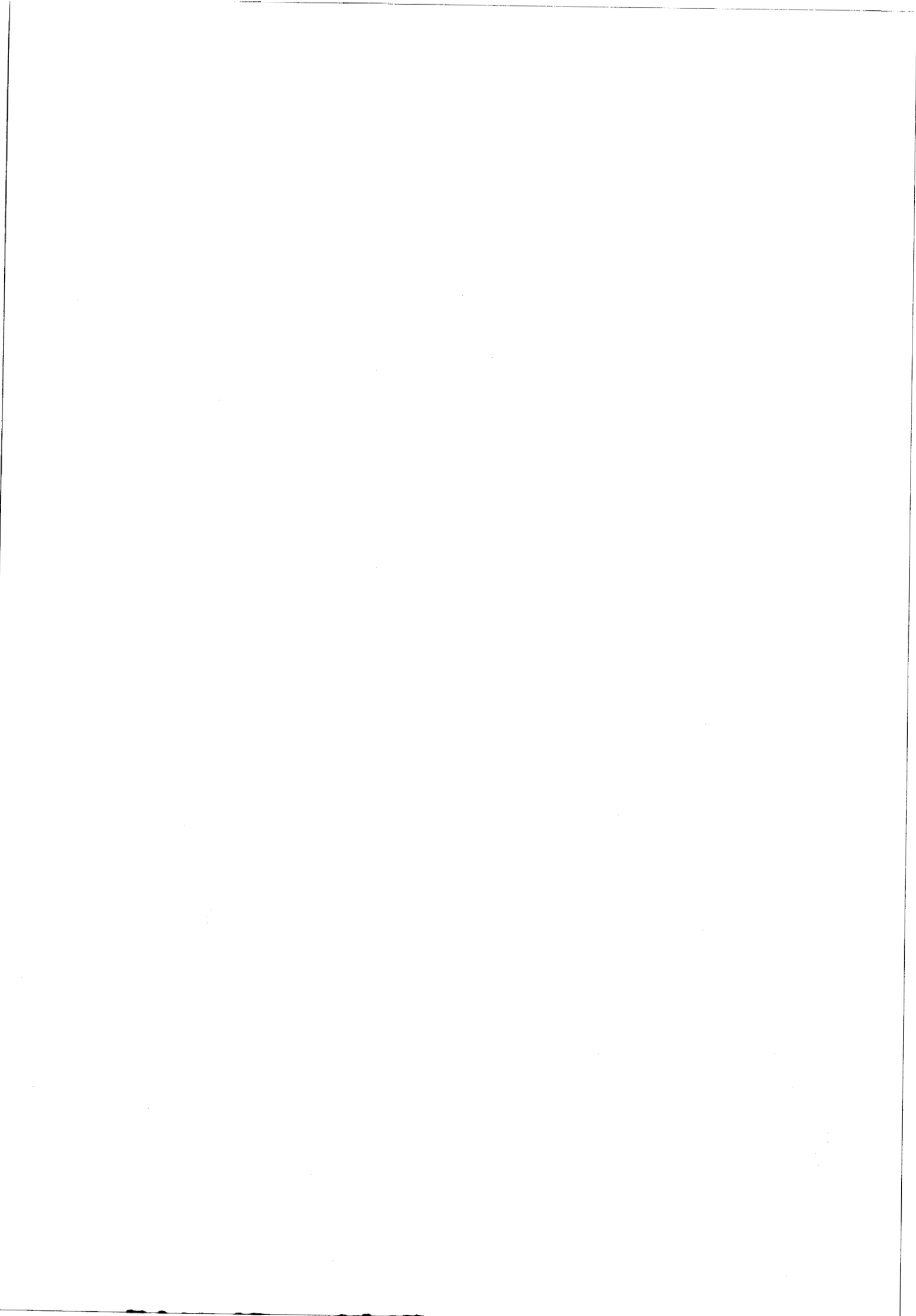
	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X10	X11	X12
X 1	1.00	1.84	79.50	9.40	10.71	3.04	2.84	1.40	52.16	.19	1.49	3.05
X 2	1.84	1.00	53.63	22.78	22.54	4.73	4.49	1.61	49.66	.20	1.43	3.76
X 3	79.55	53.63	1.00	48.23	50.53	8.52	8.09	2.33	31.59	.31	1.33	4.56
X 4	9.40	22.78	48.23	1.00	4.34	2.01	1.85	1.11	65.52	.17	1.50	3.16
X 5	10.71	22.54	50.53	4.34	1.00	1.85	1.78	1.05	64.14	.10	1.49	2.58
X 6	3.04	4.73	8.52	2.01	1.85	1.00	.03	.71	83.64	.05	1.54	2.52
X 7	2.84	4.49	8.09	1.85	1.78	.03	1.00	.75	83.26	.12	1.56	2.73
X 8	1.40	1.61	2.33	1.11	1.05	.71	.75	1.00	36.97	.05	1.43	3.22
X 9	52.16	49.66	31.59	65.52	64.14	83.64	83.26	36.97	1.00	.22	1.40	4.05
X10	.19	.20	.31	.17	.10	.05	.12	.05	.22	1.00	1.20	3.41
X11	1.49	1.43	1.33	1.50	1.49	1.54	1.56	1.43	1.40	1.20	1.00	4.29
X12	3.05	3.76	4.56	3.16	2.88	2.52	2.73	3.22	4.05	3.41	4.29	1.00

MATRICE DES NEAREST NEIGHBOR STATISTICS

	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X10	X11	X12
X 1	1.00	.97	1.14	1.14	1.36	1.25	1.15	1.43	1.01	1.97	1.20	1.55
X 2	.97	1.00	.85	.77	.89	1.06	1.04	1.29	.62	1.85	1.11	1.48
X 3	1.14	.85	1.00	.89	1.06	1.56	1.58	2.15	.73	3.42	1.95	2.06
X 4	1.14	.77	.89	1.00	.92	1.23	1.24	1.68	.68	2.60	1.52	1.67
X 5	1.36	.89	1.06	.92	1.00	1.22	1.26	1.81	.84	2.71	1.65	2.01
X 6	1.25	1.06	1.56	1.23	1.22	1.00	.67	1.22	1.69	1.45	1.13	1.70
X 7	1.15	1.04	1.58	1.24	1.26	.67	1.00	1.22	1.75	1.35	.98	1.48
X 8	1.43	1.29	2.15	1.68	1.81	1.22	1.22	1.00	2.46	1.27	.98	1.74
X 9	1.01	.62	.73	.68	.84	1.69	1.75	2.46	1.00	3.90	2.12	2.18
X10	1.97	1.85	3.42	2.60	2.71	1.45	1.35	1.27	3.90	1.00	1.19	2.05
X11	1.20	1.11	1.95	1.52	1.65	1.13	.98	.96	2.12	1.19	1.00	1.45
X12	1.55	1.48	2.06	1.67	2.01	1.70	1.48	1.74	2.18	2.05	1.45	1.00



Tableau 4.4 (suite) Sortie des résultats du programme CORR (sortie en matrices)



***Distribution
des
Sédiments***

CHAPITRE V DISTRIBUTION DES SEDIMENTS

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous examinerons la sédimentation dans les différents lacs de Gippsland, tant au point de vue superficiel grâce aux nombreuses données fournies par les échantillons collectés, qu'au point de vue vertical avec les trois carottes provenant des lacs Wellington, Victoria et King.

Compte tenu de sa quantité importante, la matière organique joue un rôle important dans les sédiments d'une part, et dans la formation hypothétique de pétrole d'autre part. Si l'on tient le même raisonnement que Krumbein et Caldwell (1939) : "... *(the petroleum) migration involves (1) movement from structural depressions to structural "highs", (2) movement from fine to coarse sediments, and (3) movement from regions of high carbon content to regions of low carbon content.*", on peut ainsi définir trois types de cartes :

- + carte bathymétrique
- + carte du contenu de matière organique dans les sédiments
- + et enfin carte de la granulométrie des sédiments.

Ces différentes cartes sont à même de nous aider à corrélérer un environnement actuel pouvant conduire à la formation de pétrole et d'un gisement pétrolier. Citant à nouveau Krumbein et Caldwell (1939) "*Structure contour maps afford data on the rôle of elevations and depressions ; size contour maps may indicate the rôle of increasing permeability ; carbon contour maps show the regional variation in carbon content.*".

Ces renseignements sont d'autant plus importants que l'on sait que le principal gisement pétrolier en Australie se trouve au large de la côte, face aux lacs de Gippsland.

5.2 Distribution superficielle de la matière organique

La matière organique est rencontrée le plus souvent à l'état lâche dans les sédiments, partiellement en association avec les ar-

giles minéralogiques. Elle confère au sédiment une couleur très foncée à noire, pouvant en quelques heures virer au brun rougeâtre par oxydation à l'air. C'est donc fréquemment une boue coprolitique (Hanses, 1959) que l'on rencontre. Certains échantillons des lacs Tyers, King et Victoria ont révélé des pelotes (*pellets*) et balles de matière fécale. Celles-ci, toujours de forme ovoïde, ne se rencontrent que dans les sédiments contenant au moins 10 pour cent de matière organique. Takahashi et Yagi (1929) signalent de telles pelotes dans la mer du Japon et les identifient comme provenant d'animaux lithophages. Malheureusement, il semble difficile de connaître l'animal en question (Moore, 1939).

La quantité de matière organique s'avère également très importante dans les sédiments, en particulier dans le cas des boues lacustres. Trask (1939) y voit le fait que les eaux (tout au moins profondes) sont stagnantes : *"Organic matter is especially high in bodies of stagnant water where hydrogen sulfide forms in the deep layers, such as the Norwegian fjords and the Black sea. In these areas, the organic content of the sediments may be as much as 10 per cent."*

La matière organique des lacs semble être principalement autochtone (*gyttja*) et, dans ce cas, serait en majeure partie due à la photosynthèse chlorophyllienne des herbes et algues vertes (Hutsinson, 1957) mais-aussi due au plancton (Bodorskiy, 1969). La possibilité d'une source allochtone (*dy*) ne semble toutefois pas exclue mais cette matière organique n'entrerait qu'en infime proportion de la matière organique totale. Les cas du lac Tyers ou de *Jones Bay* dans le lac King, dépourvus de source en sédiments, en sont de très bons exemples.

5.2.1 Lac Wellington

Comparé aux lacs Victoria, King et Tyers, le contenu de matière organique dans les sédiments est généralement plus faible pour ce lac. La moyenne n'est par exemple que de 6,0 pour cent pour le lac Wellington alors qu'elle est de 7,5 pour cent pour tous les autres lacs (tableau 5.1). Si l'on ne tient compte que de la zone centrale des lacs (*offshore zone* de Reineck et Singh, 1973), le lac Wellington accuse une différence encore plus nette : 6,0 à 8,0 pour cent de matière or-

ganique en moyenne alors qu'elle oscille entre 12,0 et 15,0 pour cent pour les autres lacs.

Cette particularité est, en partie, due à l'absence d'une couche superficielle rouge-brun contenant peu ou pas de matière organique. Cette couche n'a pas été observée dans les autres lacs et serait probablement le résultat des crues hivernales provenant de la rivière Latrobe.

	MOYENNE	ECART TYPE
Wellington	8,1 6,0	4,1
Victoria	12,8 11,2	5,1 6,5
King	14,4 8,2	6,6 7,6
Tyers	19,0 11,0	4,3 9,7
Zone entre Lakes Entrance et Metung	2,7	4,8
Total des lacs	7,5	6,8

Tableau 5.1 Moyennes et écart-types des valeurs de matière organique

La distribution de matière organique dans les sédiments du lac est dominée par une zone contenant entre 5 et 10 pour cent (planche 1 en annexe). Plusieurs unités se superposent à ce modèle en le compliquant. Au Sud-Ouest du lac, entre Willow Point et Plover Point, situé à l'entrée Ouest du Mc Lennan Strait, les eaux, moins profondes, sont caractérisées par un très faible pourcentage de matière organique (inférieur à 5 pour cent). A l'extrémité Est de cette zone, une zone à fort contenu de matière organique semble être associée à une zone de remous tourbillonnaires produits par l'entrée et la sortie

des eaux entre le lac et Mc Lennan Strait. Des structures analogues apparaissent au-devant de l'embouchure de la rivière Avon ainsi qu'à la jonction des eaux provenant de cette rivière et de celles provenant de la rivière Latrobe.

Au tiers du lac, dans la partie Est, une zone de 8 km² montre des pourcentages de matière organique très élevés, dépassant parfois 20 pour cent du sédiment sec. Cette zone ne semble pas être régie par les facteurs décrits précédemment (profondeur, tourbillons), mais semble plutôt conséquence de l'activité éolienne. En effet, celle-ci est maximum dans cette partie du lac (Bird, 1965). Il se pourrait donc que les vagues formées à l'autre extrémité du lac viennent déposer dans cette zone les particules de matière organique en suspension. Des études sur la composition de la matière organique pourraient certainement éclaircir ce point en déterminant l'origine autochtone ou allochtone de la matière organique dans cette partie du lac.

5.2.2 Lac Victoria

Le pourcentage moyen de matière organique dans les sédiments du lac (11,2 pour cent) est le plus élevé de ceux trouvés dans les lacs de Gippsland. En fait, cette valeur a peu de sens si la proportion des échantillons collectés dans la zone externe du lac (*inshore zone*) n'est pas constante de lac en lac. Si l'on exclut les valeurs provenant de cette zone externe, la moyenne augmente et passe à 12,8 pour cent, ce qui est plus faible que les valeurs des lacs King (14,4 pour cent) et Tyers (19,0 pour cent).

Nous pouvons donc considérer trois classes différentes :

- + la première, aurait des valeurs comprises entre 5 et 10 pour cent de matière organique et où se situerait le lac Wellington (8,1 pour cent)
- + la seconde, qui comprendrait entre 10 et 15 pour cent de matière organique, comporterait les lacs King et Victoria
- + la troisième, aurait des valeurs comprises entre 15 et 20 pour cent et comprendrait le lac Tyers.

Ceci lève le problème de la signification de ces différentes classes (ou systèmes). Il ne semble pas que la salinité soit le facteur principal: sa gradation entre l'entrée artificielle des lacs et le lac Wellington (Bird, 1965) semble correspondre à l'augmentation de matière organique dans les sédiments. Mais le lac Tyers, qui se trouve être entièrement un lac d'eau douce, dément cette hypothèse. Comme il a été signalé pour le lac Wellington, il se pourrait que le taux de sédimentation détritique annuel intervienne comme constituant majeur dirigeant le contenu de matière organique dans les sédiments. Ainsi, pour un apport important de sédiments dans le lac Wellington correspondent de faibles valeurs de matière organique. Le lac Tyers, à faible taux de sédimentation, voit, par contre son pourcentage de matière organique très élevé. Cette hypothèse ne peut malheureusement être vérifiée car le taux exact de sédimentation annuel n'est pas connu pour l'ensemble des lacs. On peut seulement estimer celui du lac Wellington à 0,14 cm par an (couche de 2 cm contenant environ 70 pour cent d'eau).

Le lac Victoria offre, comparativement au lac Wellington, une distribution uniforme de la matière organique dans les sédiments. Dans une certaine mesure, il ne semble pas que la profondeur influence fortement le pourcentage de matière organique, tout au moins pour la zone interne du lac. Dans la partie Est du lac, où le plancher remonte doucement d'une profondeur de 5 mètres jusqu'à 1,5 mètres, le pourcentage de matière organique reste sensiblement le même (10 à 15 pour cent), indiquant ainsi que la profondeur n'a pas de contrôle marqué sur le contenu de matière organique dans ces sédiments.

5.2.3 Lac King

Une variabilité importante des environnements produit, dans le lac King, une distribution complexe de la matière organique ainsi qu'un étalement important des valeurs (0 à 25 pour cent). La moyenne des pourcentages de matière organique pour l'ensemble du lac est de 8,2 pour cent (tableau 5.1). Par contre, si l'on enlève les échantillons prélevés

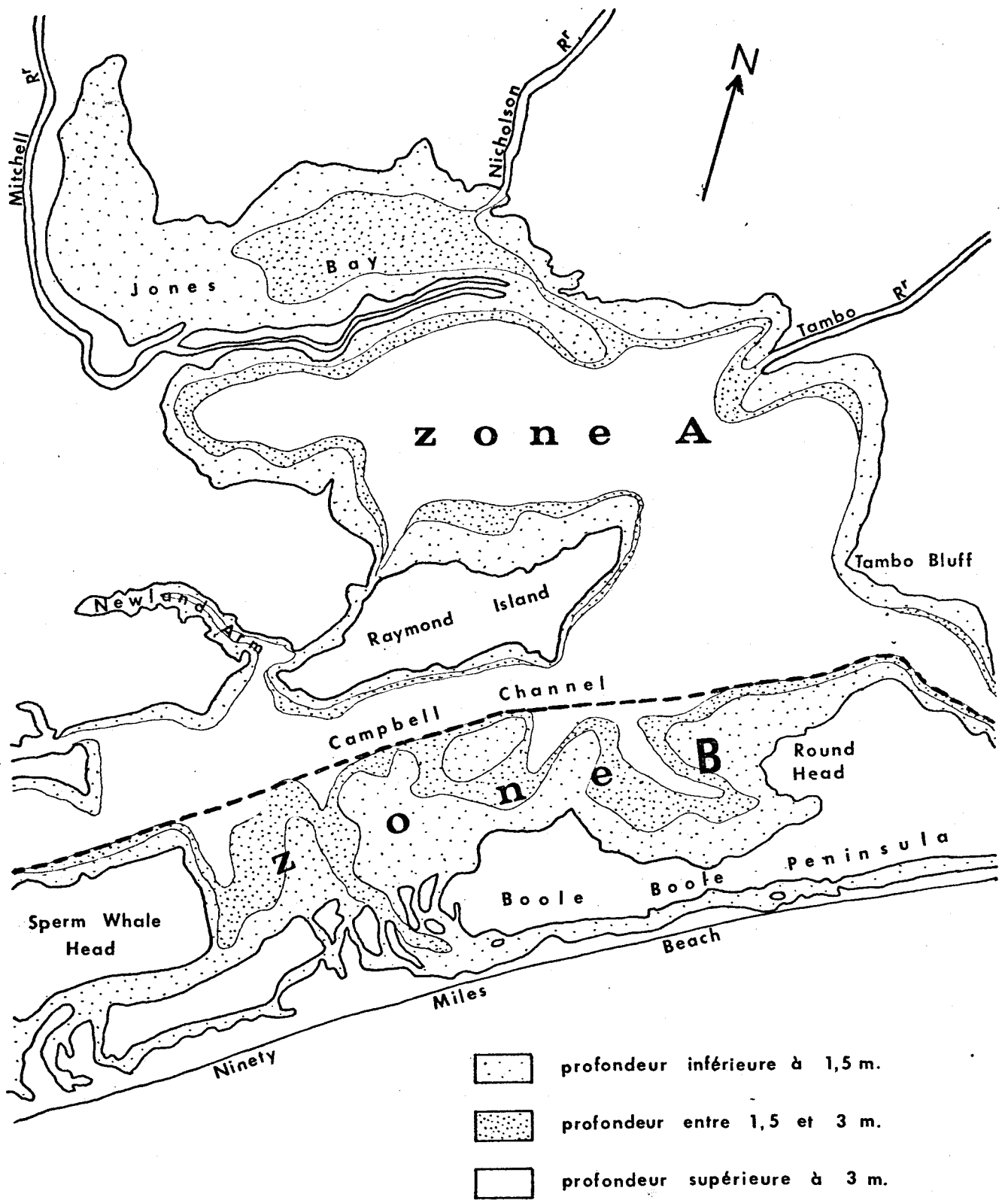


Fig. 5.1 Zones principales du lac King

au Sud du lac sur les bancs sableux, cette valeur atteint 14,4 pour cent, valeur sensiblement identique à celle du lac Victoria.

Ceci délimite deux systèmes différents: un premier au Nord, de *Jones bay* à *Campbell channel*, et un second au Sud, comprenant la séquence des bancs de *Sperm Whale Head* à *Round Head*. Ils correspondent aux zones A et B de la figure 5.1. La zone située au Sud serait la relique de la barrière intérieure, érodée pendant la dernière période glaciaire (Bird, 1965). Une lente sédimentation, identique à celle qui a prévalu durant l'établissement de cette barrière s'opère actuellement dans cette zone.

La zone Nord (zone A de la figure 5.1) est géographiquement divisée en deux par le delta de la rivière Mitchell: un petit bassin, peu profond, au Nord (*Jones bay*) et un autre plus profond et plus étendu au Sud. La figure 5.2 montre l'assymétrie de ces deux sous zones aux caractéristiques très différentes.

Aucune différenciation au point de vue du contenu de matière organique n'est observée dans ces deux sous-zones. *Jones bay*, bien que très peu profonde, a des valeurs identiques à celles de la partie située au Sud du delta de la rivière Mitchell. Au total, plus de 70 pour cent des dépôts superficiels de la zone A ont un pourcentage de matière organique entre 12 et 15 pour cent. Cette répartition générale uniforme est pourtant troublée par des unités venant s'y greffer. Au Nord Ouest de *Jones bay*, dans une zone calme et abritée, un pourcentage important de matière organique (entre 15 et 20 pour cent) est associé à la progradation des marécages de la rivière Mitchell. Bien qu'aucun échantillon ne fut collecté dans ces marécages, nous pouvons corréler notre valeur avec celle d'un autre marécage (échantillon 7670/17) situé au Nord de la ville de Paynesville. Leurs valeurs (17,6 et 21,8 pour cent respectivement) indiquent clairement une évolution vers un type de marécage par comblement progressif et augmentation du taux de matière organique.

Les mêmes processus semblent intervenir dans le *Newland Arm*, au Nord Ouest de Paynesville et dans le *Duck Arm*, au Nord de *Banksia Peninsula*.

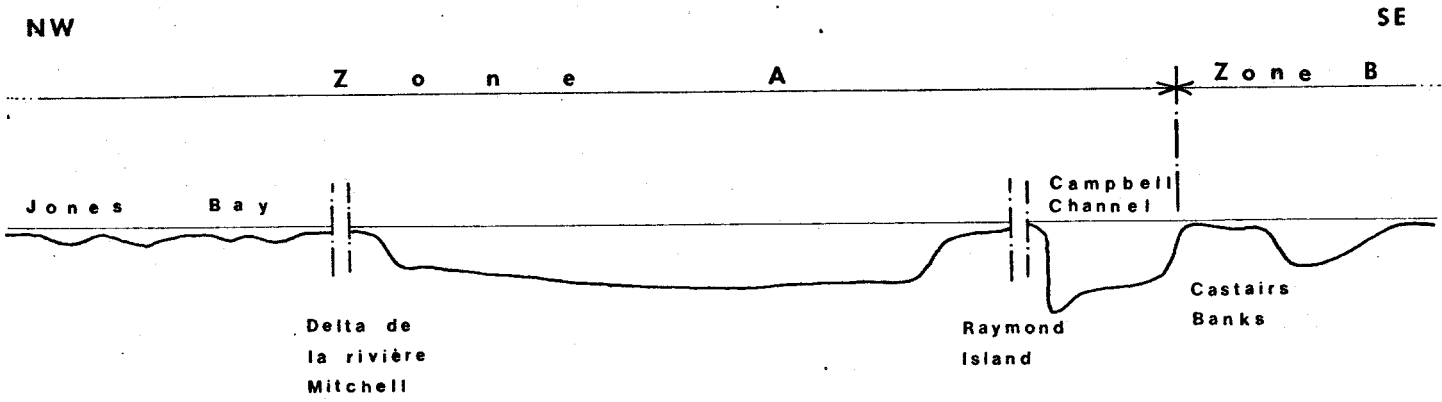


Fig. 5.2 Profil NW-SE du lac King

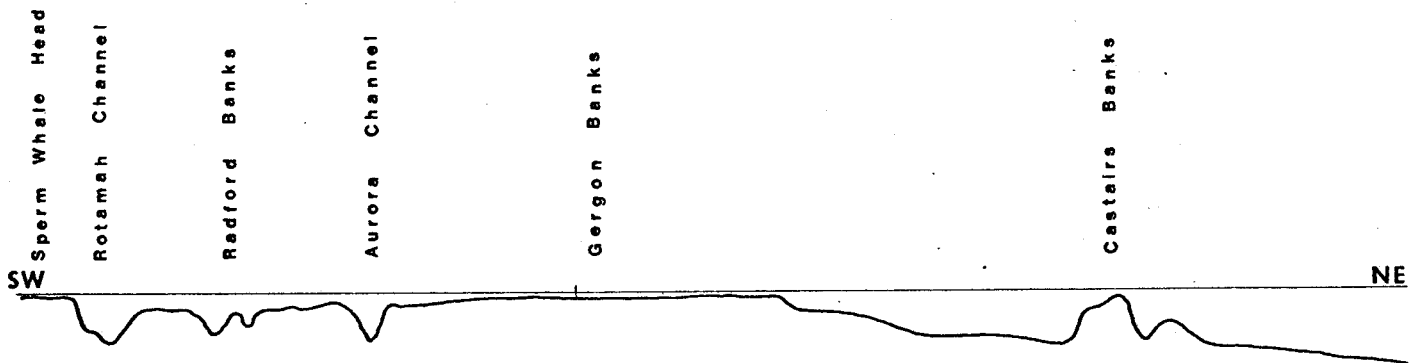


Fig. 5.3 Profil SW-NE de la zone B (méridionale) du lac King



Echelle des profondeurs : 1cm = 7m.

Echelle des distances : 1cm = 0,6 km.

Le facteur commun dans chacun de ces environnements se trouve être un très faible dynamisme du à l'absence de courants ou de vagues produites par le vent. Les pourcentages de matière organique rencontrés dans ces zones sont parmi les plus importants des lacs de Gippsland.

Entre *Tambo Bluff* et *Raymond Island*, une autre zone riche en matière organique s'étend sur une superficie d'environ 12 km². La cause de cette anomalie n'est pas très bien comprise, mais il semble que cette zone, se trouvant à la jonction des eaux salées provenant de la mer et des eaux douces arrivant des lacs, pourrait être expliquée soit par l'absence de bactéries détruisant la matière organique, soit par une floculation suivie d'une précipitation de la matière organique en dispersion dans les eaux (Twenhofen, 1950). Lorsque ces échantillons, contenant un très fort pourcentage de matière organique, sont stockés en flacons plastiques, le fer est fréquemment exudé à la surface et se combine à l'oxygène de l'air pour former une mince couche limonitique rougeâtre. Cette observation démontrant la relation entre le fer et la matière organique a été précédemment décrite par Caspari (in Murray, 1910).

La zone Sud (zone B de la figure 5.1) est constituée en grande partie de bancs de faible profondeur, séparés les uns des autres par des chenaux (Fig. 5.3). La plupart de ces bancs situés entre 50 et 80 centimètres au dessous du niveau d'eau, sont recouverts par une faible densité d'herbes et d'algues marines. Celles-ci se développent sur un plancher sableux duquel tout matériel organique a été enlevé par les vagues. Les chenaux de cette zone offrent les mêmes caractéristiques que le *Campbell Channel* au Nord de cette zone.

5.2.4 Zone comprise entre Metung et Lakes Entrance

Les énergies des marées jouent un rôle important dans cette zone, empêchant ainsi l'accumulation de matière organique sur environ la moitié de la zone. La matière organique en suspension peut être transportée soit vers les lacs ou dans des zones où les courants et turbulences sont minimum, soit vers la mer lors du jusant. Nous pouvons ainsi discerner deux sortes d'environnements suivant la quantité de matière organique: le premier compris entre l'extrémité Est de *Flannaghan Island* et l'entrée artificielle des lacs, est caractérisée par un pourcentage de matière organique très faible (entre 0 et 1 pour cent). La matière organique, balayée de cette

zone, peut se déposer dans certaines parties où les courants ont peu d'effets. Tel est le cas de *Fraser Strait* où l'échantillon 7670/267 contient jusqu'à 11 pour cent de matière organique. Similairement, dans les *North Arm* et *Cunningham Arm*, de chaque côté de la ville de lakes Entrance, les pourcentages sont très élevés.

La seconde zone est plutôt une zone de transition ou de connection entre le lac King et cette première zone. Elle consiste, morphologiquement, en un profond chenal (*Reeve Channel*) où flux et reflux sont concentrés. Les pourcentages de matière organique de ces sédiments sont compris entre 2 et 10 pour cent mais, en général, la transition d'un extrême à l'autre est graduelle.

5.2.5 Lac Tyers

Le lac Tyers, complètement indépendant de la mer, est caractérisé par des eaux douces non troublées par des courants significatifs. Sa forme très découpée empêche toute formation de courants produits par le vent. Nous avons donc affaire à un environnement très calme, comparable à ceux de *Jones bay* ou de *Newland Arm* dont nous avons parlé précédemment. Les apports et sorties de matériaux organiques ou terrigènes étant absentes dans le lac, nous pouvons penser que la matière organique provient principalement de source autochtone, par dégradation partielle de la faune et de la flore du lac (Füchbauer, 1974).

Mis à part les sédiments sableux au Sud du lac, la moyenne de la matière organique atteint 19,0 pour cent du poids total du sédiment sec. Cette valeur très élevée confirme donc la ressemblance entre le lac Tyers et les zones abritées telles que *Jones bay*, *Newland Arm*, *Duck Arm* et *Blond bay* rencontrées dans les lacs King et Victoria.

De telles quantités de matériel organique colloïdal furent également observées en suspension dans l'eau. Cette matière organique, de couleur brun-rougeâtre, amène également à penser à une quantité importante de fer associée à la matière organique (Niino, Emery et Kim, 1969).

5.3 Distribution verticale de la matière organique

Trois carottes furent échantillonnées à l'aide d'un petit carottier à piston dans les trois lacs principaux : Wellington, Victoria, et King. Leur longueur n'a malheureusement pas été assez grande (entre 41 et 52 cm) compte tenu du type de carottier et de la faible profondeur empêchant celui-ci d'atteindre une vitesse de pénétration suffisante dans les sédiments. La carotte n'a donc jamais représenté la hauteur maximum permise par le carottier.

A l'aide de ces renseignements, les contenus en eau et en matière organique furent analysés dans les sédiments en fonction de l'enfouissement. La figure 5.4 montre les variations de ces deux paramètres à partir du contact eau-sédiment jusqu'à une profondeur de 52 cm. Il est à noter qu'aucune structure particulière ne fut observée dans ces diverses carottes : la sédimentation étant relativement homogène (argiles silteuses). Cette absence de stratification que l'on serait en droit de rencontrer est probablement due à une activité biologique intense (animaux fousseurs).

La proportion en eau dans les sédiments (inversement proportionnelle à la compaction du sédiment) ne varie guère dans les différents lacs, d'une part, et, d'autre part, en fonction de l'enfouissement (Fig. 5.4a). La moyenne oscille constamment autour de 70 pour cent avec une variation maximum à proximité du contact eau-sédiment. En effet, alors que la valeur pour le lac Wellington n'est que de 64 pour cent du poids total du sédiment, elle est de l'ordre de 80 pour cent pour le lac King. Ces variations s'estompent pratiquement pour un enfouissement de l'ordre de 10 cm.

La répartition verticale de la matière organique (pourcentage de sédiment sec) est complexe et ne montre pas d'évolution régulière ou marquée lors de l'enfoncement (Fig. 5.4b). Un fait particulier est sans doute le très faible pourcentage de matière organique (3 pour cent) rencontré dans les deux premiers centimètres du lac Wellington. Ce fait est à corrélérer avec l'observation, lors de l'échantillonnage, d'une couche superficielle silto-argileuse de couleur ocre. Dans le paragraphe 5.2.1

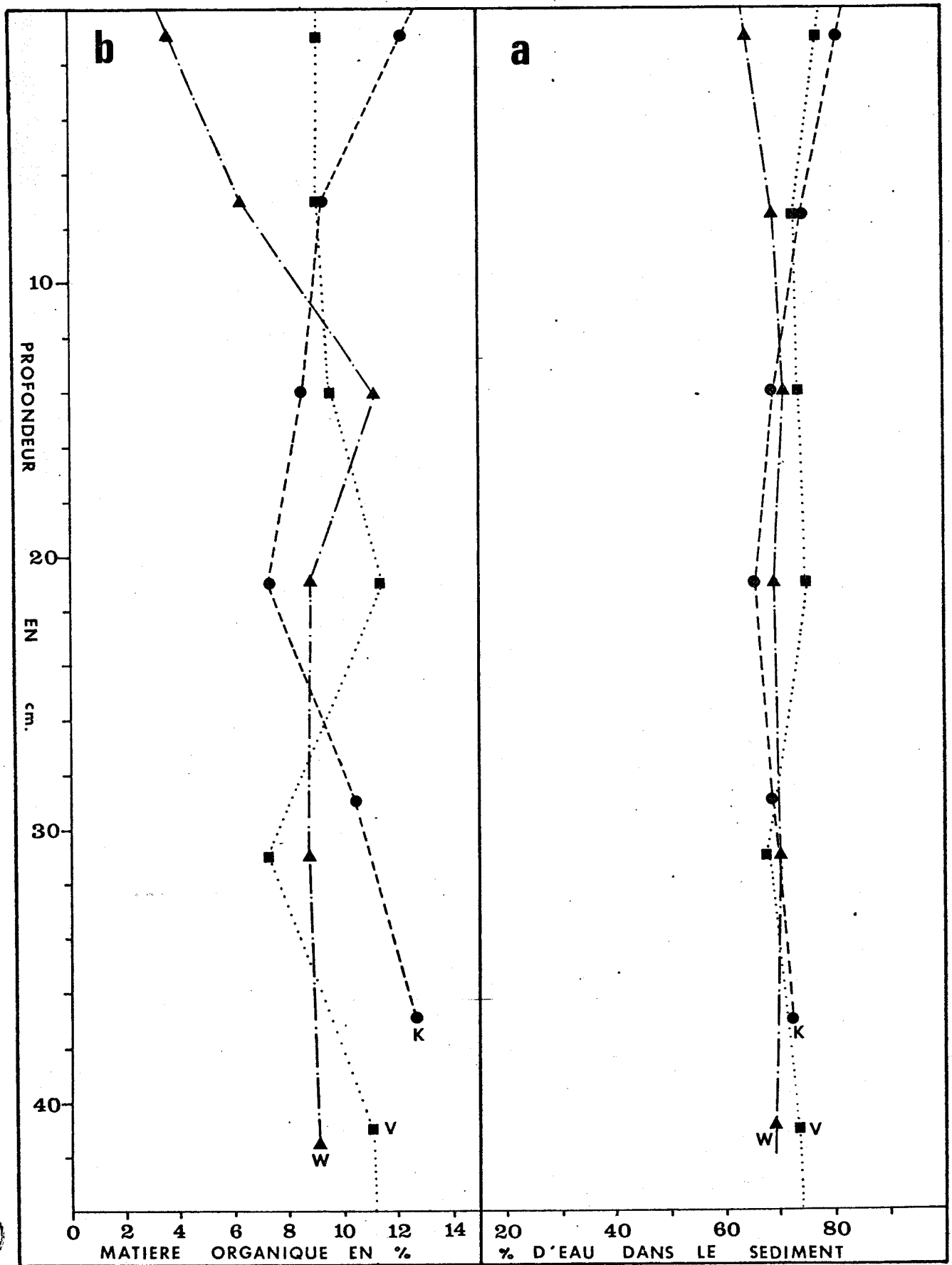


Fig. 5.4 Distribution verticale de la matière organique et du pourcentage en eau dans les sédiments. Légende: W = lac Wellington ; V = lac Victoria ; K = lac King.

nous avons vu que cette couche résultait probablement de crues hivernales. Il est à noter que les valeurs plus faibles de matière organique rencontrées dans le lac Wellington ne sont que l'image de cette mince couche superficielle. On note que pour un enfoncement supérieur à 10 cm, les conditions deviennent similaires aux autres lacs.

En dehors de ce phénomène, les conditions entre les lacs sont sensiblement identiques : sous ces 10 cm de profondeur, les valeurs de matière organique oscillent entre 7 et 12 pour cent, sans aucune loi précise. Ces observations diffèrent de celles de Kemp (1969 et 1971). Cet auteur signale pour le lac Ontario : "*Organic carbon content decreased 50 % in the top 20 cm of sediment ...*". Cette distribution uniforme de la matière organique correspond probablement aussi à l'activité des organismes fousseurs qui homogénéisent les sédiments. Le lac Ontario, de par sa profondeur importante, inhiberait ainsi toute vie biologique dans les sédiments.

5.4. Distribution superficielle de la moyenne granulométrique (planche 2 en annexe)

5.4.1 Lac Wellington

La distribution de la moyenne granulométrique dans le lac Wellington ressemble, en de nombreux points, au schéma-type de sédimentation lacustre (Reineck et Singh, 1973). De la rive au centre du lac, la granulométrie des sédiments décroît, passant de sédiments sableux (2 ϕ) à des argiles et silts (9 ϕ). La diminution de cette granulométrie n'est pourtant pas régulière : ainsi, à des valeurs de la moyenne granulométrique inférieures à 2 ϕ (0,25 mm) correspond la zone de cassure des vagues (*breaker zone*), puis pour des moyennes comprises entre 2 ϕ et 4 ϕ (0,625 mm) correspond la zone au-dessus de la base des vagues. Ce passage entre ces deux zones et la zone centrale du lac (entre 6 et 9 ϕ) est très rapide et n'est guère représenté. Ce phénomène, nous le verrons pour les autres lacs, peut encore être plus prononcé.

A ce schéma régulier, se superposent des unités locales à la sortie de la rivière Latrobe et à l'entrée Ouest du *Mc Lennan Strait*. Parado-

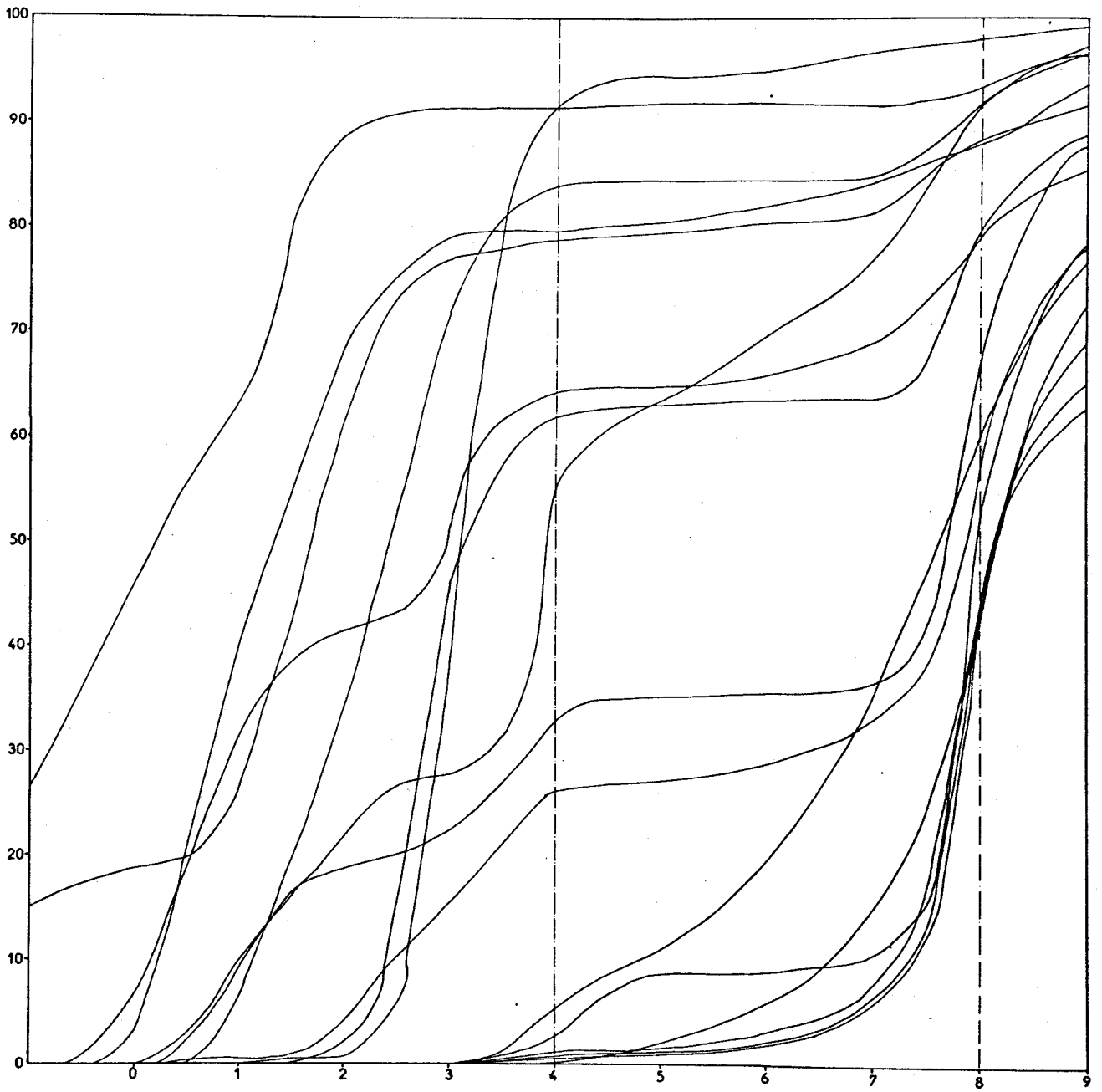


Fig. 5.5 Courbes granulométriques cumulatives du lac Wellington

xalement, aucun trait particulier ne vient se superposer à la sortie de la rivière Avon. L'absence de gradation latérale pour cette rivière peut être imputée aux faibles apports détritiques. Le profil bathymétrique relevé au sonar au travers de *Dishers bay*, en face de la rivière Avon, n'a pas révélé de barre ou de chenal caractéristique des autres rivières. Ceci confirme donc les faibles vélocités et la faible décharge détritique de cette rivière.

La rivière Latrobe qui s'est construite un large delta a visiblement un rôle plus important au point de vue des apports sédimentologiques. La barre en face de ce delta est entaillée par un profond chenal le long duquel le matériel en suspension dans l'eau peut arriver dans la partie centrale du lac. Cette barre est caractérisée par des sédiments légèrement plus grossiers (6,6 ϕ) résultant d'une adjonction de sables fins ou plus généralement de particules silteuses (Fig. 5.5).

Des unités identiques à celles trouvées lors de l'étude de la distribution de la matière organique se rencontrent autour du delta de la rivière Latrobe ainsi qu'à l'entrée Ouest du *Mc Lennan Strait*. Ces structures (voir cartes 2 et 3) sont probablement dues à des remous tourbillonnaires dits zones de convergences. Celles-ci ont préalablement été décrites dans la partie Est du lac Erié (Olson in Hutchinson, 1957) et dans le lac Constance (Wasmund in Hutchinson, 1957) et ne semblent pas exceptionnelles.

5.4.2. Lac Victoria

Le lac Victoria montre des caractéristiques voisines de celles du lac Wellington mais sa forme très allongée, sa profondeur plus importante et l'absence de rivière s'y déversant, lui confèrent des traits propres. Le faciès principal est défini par une zone couvrant 85 pour cent du lac et ayant une moyenne granulométrique supérieure à 8 ϕ . Les zones d'énergie (Fig. 5.6) sont plus distinctes que dans le lac Wellington, conduisant ainsi à une transition plus marquée entre la zone sableuse (zone de cassement des vagues et zone au-dessus de la base des vagues) dont la moyenne granulométrique est comprise entre 2 et 4 ϕ ,

et le bassin principal (ou zone sous la base des vagues) ayant une moyenne granulométrique supérieure à 8 ϕ .

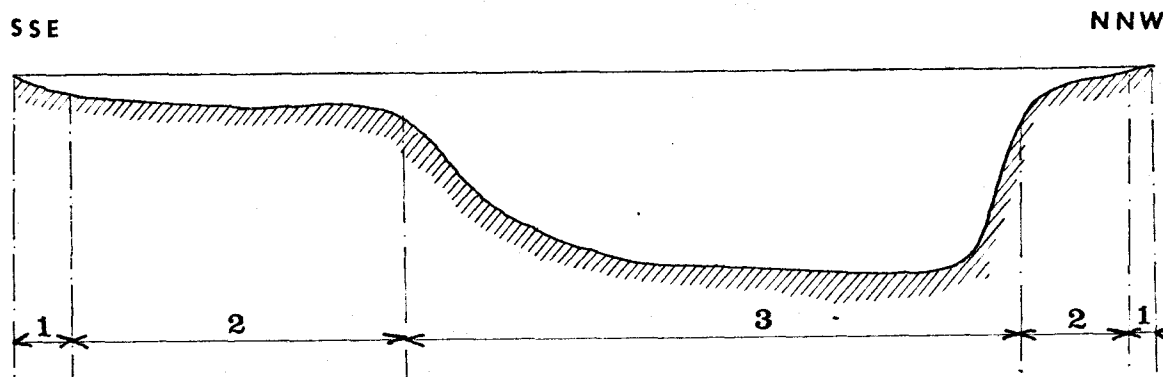


Fig. 5.6 Zones énergétiques d'un lac. Exemple sur une section du lac Victoria

- 1 = zone de cassure des vagues
 - 2 = zone au-dessus du niveau de base des vagues
 - 3 = zone au-dessous du niveau de base des vagues
- échelle : horizontale : 1 cm pour 0,3 km
 verticale : 1 cm pour 2 m.

Cette absence de sédiments ayant des moyennes entre 4 et 8 ϕ provient dans le cas du lac Victoria d'un passage très rapide de la zone au-dessus de la base des vagues à la zone sous cette base. Ceci peut très bien s'observer sur la figure 5.7 où deux séries de courbes cumulatives se distinguent nettement. Il est à noter que ces deux séries de courbes cumulatives correspondent à deux populations normales ou semi-normales. Le mélange de ces populations dites primaires produit comme nous l'avons vu pour le lac Wellington des sédiments à caractère bimodal. Ce mixage de populations a aussi été rencontré par Folk et Ward (1957) ainsi que par Spencer (1963). Ces deux types de sédiments primaires, sableux et silto-argileux, semblent correspondre à une caractéristique de la sédimentation lacustre. Dans la suite de cette étude, nous verrons les différentes manières pour reconnaître ces deux populations primaires.

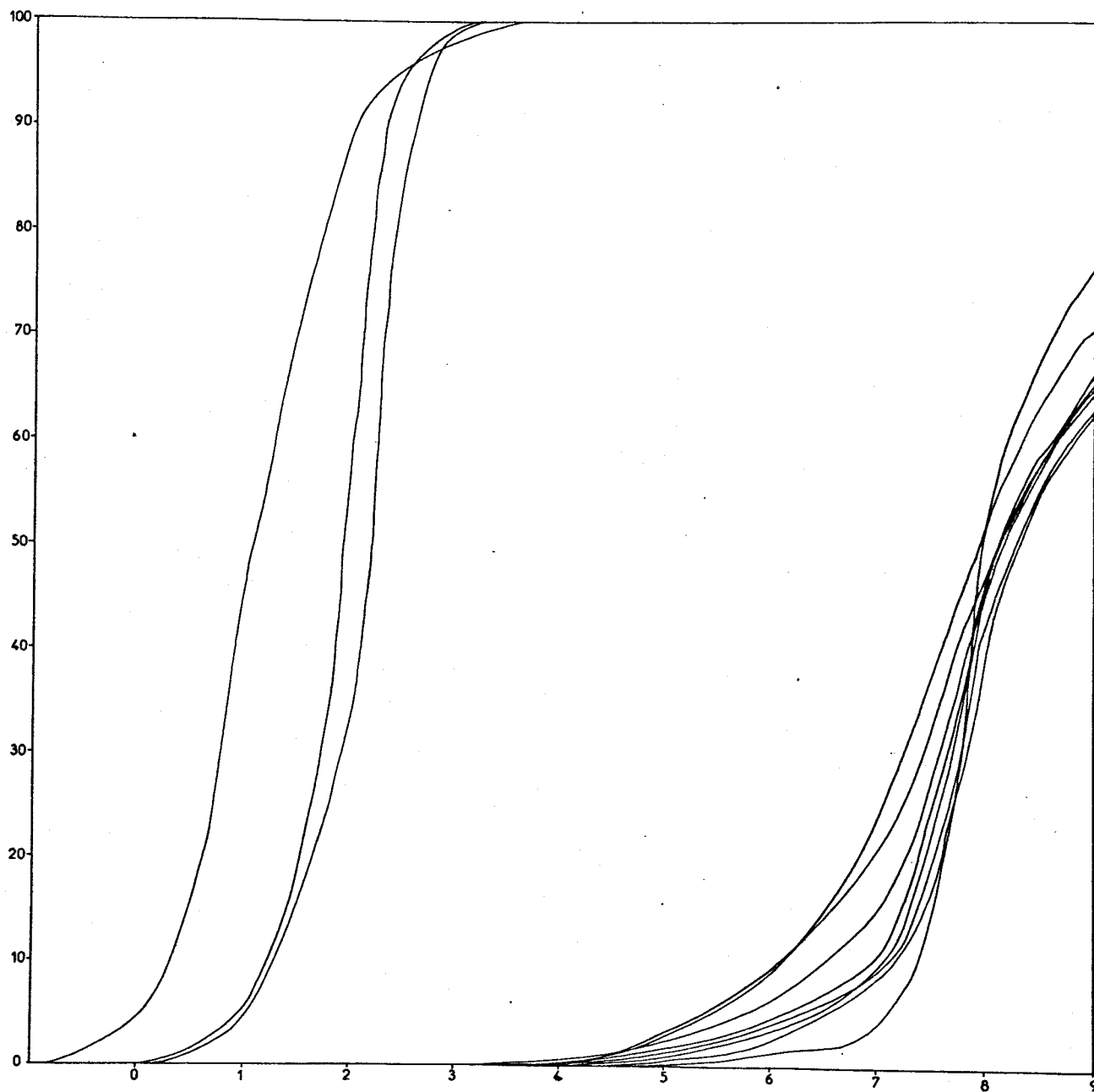


Fig. 5.7 Courbes granulométriques cumulatives du lac Victoria



Dans son ensemble, la répartition granulométrique des sédiments de ce lac ressemble fortement à celle de la matière organique. On note cependant certaines différences, particulièrement à l'extrémité Ouest du lac. Dans cette zone, la moyenne granulométrique est affectée par la faible profondeur (augmentation de la granulométrie du sédiment), alors que le pourcentage de matière organique reste inchangé. Inversement à *Steel bay*, une diminution du contenu de matière organique n'est pas accompagnée du même phénomène en ce qui concerne la granulométrie.

Ainsi donc, il semble que les facteurs régissant ces deux paramètres ne sont pas constants. Il apparaît également qu'ils aient un rôle sélectif pouvant conduire, pour des environnements identiques, à des sédiments divergeant fortement.

5.4.3 Lac King

Les deux zones distinguées dans le lac King lors de l'étude de la répartition de la matière organique dans les sédiments sont également reconnues en ce qui concerne la répartition granulométrique des sédiments. Par conséquent, la même distinction zonale sera suivie afin d'expliquer la répartition des sédiments.

La densité des échantillons dans la zone Nord du lac, adéquate pour la cartographie du contenu de matière organique, fut trouvée insuffisante en ce qui concerne la moyenne granulométrique. En effet, les changements de faciès sont très rapides et impliquent une interprétation personnelle de certains contours.

La zone Nord (zone A de la figure 5.1) montre un complexe d'unités se superposant au schéma usuel rencontré dans les bassins (moyenne granulométrique supérieure à 8 ϕ). Presque toutes les zones externes du lac sont caractérisées par une granulométrie comprise entre 2 et 4 ϕ (sable moyen). La figure 5.8 représente quelques unes des courbes granulométriques cumulatives du lac. Une seule zone, au pied du delta de la rivière Tambo, montre une granulométrie plus grossière provenant des conditions hydrodynamiques importantes. Celles-ci sont en majeure partie dues à des vagues formées par les vents dominants. L'énergie

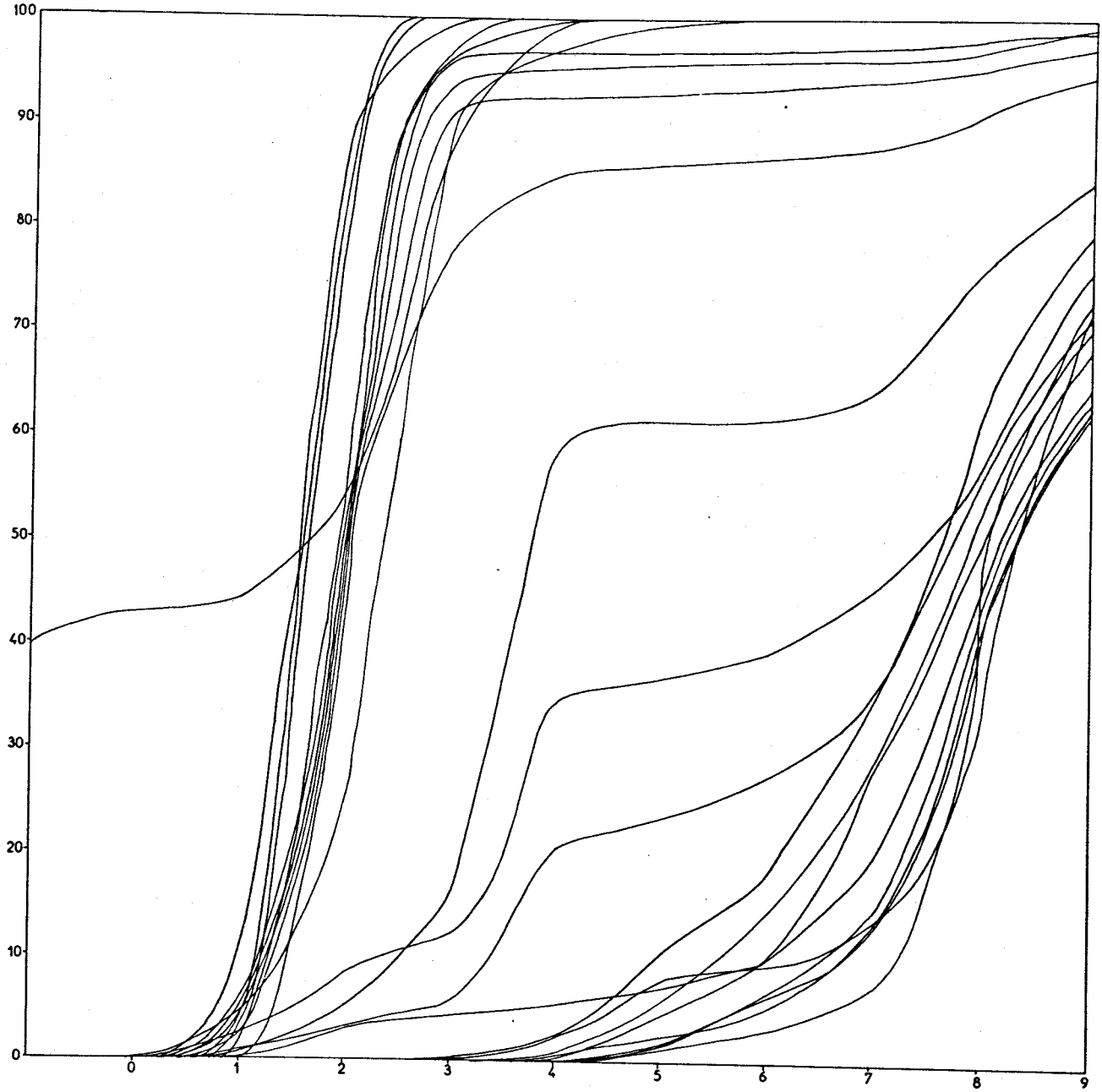


Fig. 5.8 Courbes granulométriques cumulatives du lac King



développée dans ce secteur fut observée dans l'une des missions de terrain sur la rive du delta de cette rivière. Une mince couche de sable grossier (échantillon 7670/28) reposait sur un matériel silteux très compact formant le delta. Pendant les épisodes de tempête, les fortes vagues développées érodaient le rivage, offrant une section de 50 cm de hauteur, puis, durant les périodes de temps calme, une fine couche de sable moyen à grossier se déposait en transgression.

Les rivières Mitchell, Tambo et Nicholson offrent, au-delà de leur embouchure, le même type de sédimentation que celui rencontré pour la rivière Latrobe (lac Wellington) : sédiments grossiers au niveau de la barre puis décroissance progressive de la granulométrie vers le large. Pourtant les zones ne montrent pas la même extension et le même type de granulométrie. Par exemple, la rivière Mitchell qui a sensiblement la même décharge que la rivière Latrobe devrait aussi avoir des caractéristiques similaires en ce qui concerne sa barre. En fait, celle-ci montre des sédiments plus grossiers, sans transition avec les sédiments ayant des granulométries comprises entre 4 et 8 ϕ .

La zone méridionale du lac King (zone B de la figure 5.1) est caractérisée pour presque toute sa superficie par des sédiments sableux dont les moyennes granulométriques oscillent entre 1,9 ϕ et 2,3 ϕ , avec une moyenne de 2,0 ϕ . Ainsi que nous l'a montré la répartition de la matière organique, la granulométrie des sédiments reflète la bathymétrie de la zone. Les chenaux, séparant les bancs sableux sont caractérisés par une moyenne granulométrique supérieure à 8 ϕ (chenaux Est et Ouest) ou comprise entre 6 et 8 ϕ (chenal central). Une fois de plus, on rencontre les deux populations primaires, images des deux environnements (chenaux et bancs).

5.4.4 Zone comprise entre Metung et Lakes Entrance

Ici aussi, les sous-zones délimitées par la répartition de la matière organique sont reconnaissables sur la carte des granulométries (planche 2 en annexe). La plus étendue est comprise entre la barre, face à l'entrée artificielle des lacs, et la partie Nord-Ouest de

Flannaghan Island. Elle est constituée de sables très propres (la matière organique étant complètement absente) dont les moyennes granulométriques oscillent entre 0,7 et 2,2 ϕ . Etrangement, la granulométrie des sables n'augmente pas lorsqu'on se déplace du début de cette zone vers l'entrée artificielle. En fait, les sables les plus gros (échantillons 7670/278 où $M_z = 0,7 \phi$ et 7670/279 où $M_z = 1,0 \phi$) sont localisés au Sud de *Flannaghan Island* où les courants ou les vagues paraissent moins importants que dans le *Reeve Channel* ou à l'entrée artificielle. Généralement, les granulométries sont uniformément réparties dans cette première sous-zone : on ne note, par exemple, qu'un écart type de 0,25 sur une moyenne de 1,55 ϕ .

La seconde sous-zone, transitive entre le lac King au Nord et *Flannaghan Island*, est composée principalement du *Reeve Channel*. Elle est caractérisée par des moyennes granulométriques intermédiaires comprises entre 6 et 8 ϕ vers les lacs, passant à des valeurs de 4 à 6 ϕ en se déplaçant vers l'entrée artificielle. Une particularité dans cette sous-zone est donnée par une dépression (16,3 m de profondeur) au large de *Shaving Point*, près de la ville de Metung. L'échantillon 7670/249 représentant les sédiments de cette dépression a une moyenne granulométrique M_z de 0,8 ϕ , valeur très inférieure à celle commune au chenal.

Le même type de dépression existe dans le *Mc Lennan Strait* reliant les lacs Wellington et Victoria. Il n'a malheureusement pas été possible d'échantillonner cette anomalie. Néanmoins, sur un seul exemple, on peut comprendre que les énergies développées pour maintenir la forme de ce trou sont suffisantes pour sélectionner les sédiments. Ainsi, boues et sables fins et moyens sont éliminés pour ne laisser que les sables grossiers et les graviers (Sly, 1972). Le contenu de matière organique de cet échantillon (7670/249) est très faible confirmant la relation indirecte entre matière organique et sédiments grossiers (Collet, 1925). Cette relation sera vue plus en détail dans le chapitre suivant.

La troisième sous-zone reconnue occupe *North Arm* et *Cunningham Arm* et entoure la ville de Lakes Entrance. Les marées n'affectent pas ces étendues d'eau dont les sédiments, tout au moins dans le *North Arm*, sont identiques à ceux rencontrés dans les étendues d'eaux mortes des autres lacs (*Jones bay*, *Duck Arm*, *Newland Arm*, etc ...). Leur moyenne

granulométrique est toujours supérieure à 8 ϕ .

Dans le *Cunningham Arm*, situé le long du complexe dunier, les sédiments sont plus grossiers, correspondant à un apport en sable provenant des dunes ou, plus probablement, de la mer. Il faut se rappeler dans ce cas, que *Cunningham Arm* faisait office, avant le creusement de l'entrée artificielle, de chenal d'écoulement temporaire des eaux provenant de l'ancienne ouverture située à l'Est. La partie occidentale de *Cunningham Arm*, draguée pour faciliter la navigation, montre des sédiments plus fins ($M_z = 6,3 \phi$) correspondant peut-être à un remaniement de sédiments d'un horizon inférieur.

5.4.5 Lac Tyers

Un schéma simple représente la sédimentation du lac Tyers : deux zones sont clairement définies.

La première, au Nord, est définie par des silts argileux (M_z supérieure à 8 ϕ). Elle représente un milieu calme, très faiblement dynamique. Au Sud de cette zone, située à l'emplacement de l'ancienne barrière intérieure dont ne figurent plus que quelques îlots, une zone de faible profondeur est caractérisée par des sédiments sableux dont les moyennes granulométriques sont légèrement inférieures à 2 ϕ . Cette zone semble se combler peu à peu par un phénomène identique à celui agissant sur la zone méridionale (zone B de la figure 5.1) du lac King. La figure 5.9 donne les courbes granulométriques cumulatives des différents échantillons prélevés dans ce lac. On remarquera les deux types de courbes correspondant aux deux populations primaires rencontrées pour les autres lacs.

5.4.6. Lac Reeve

Le lac Reeve occupe une place bien à part dans le complexe des lacs de Gippsland. Situé le long de la côte océanique, derrière les dunes, il est constitué de différentes zones très distinctes (voir paragraphe 2.2.1.4 et figure 2.5). A chacune de ces zones est associé un type de végétation correspondant au niveau piézométrique de la nappe d'eau. La zone la plus éloignée du lac (zone Cb des figures 2.5 et 5.10) n'est

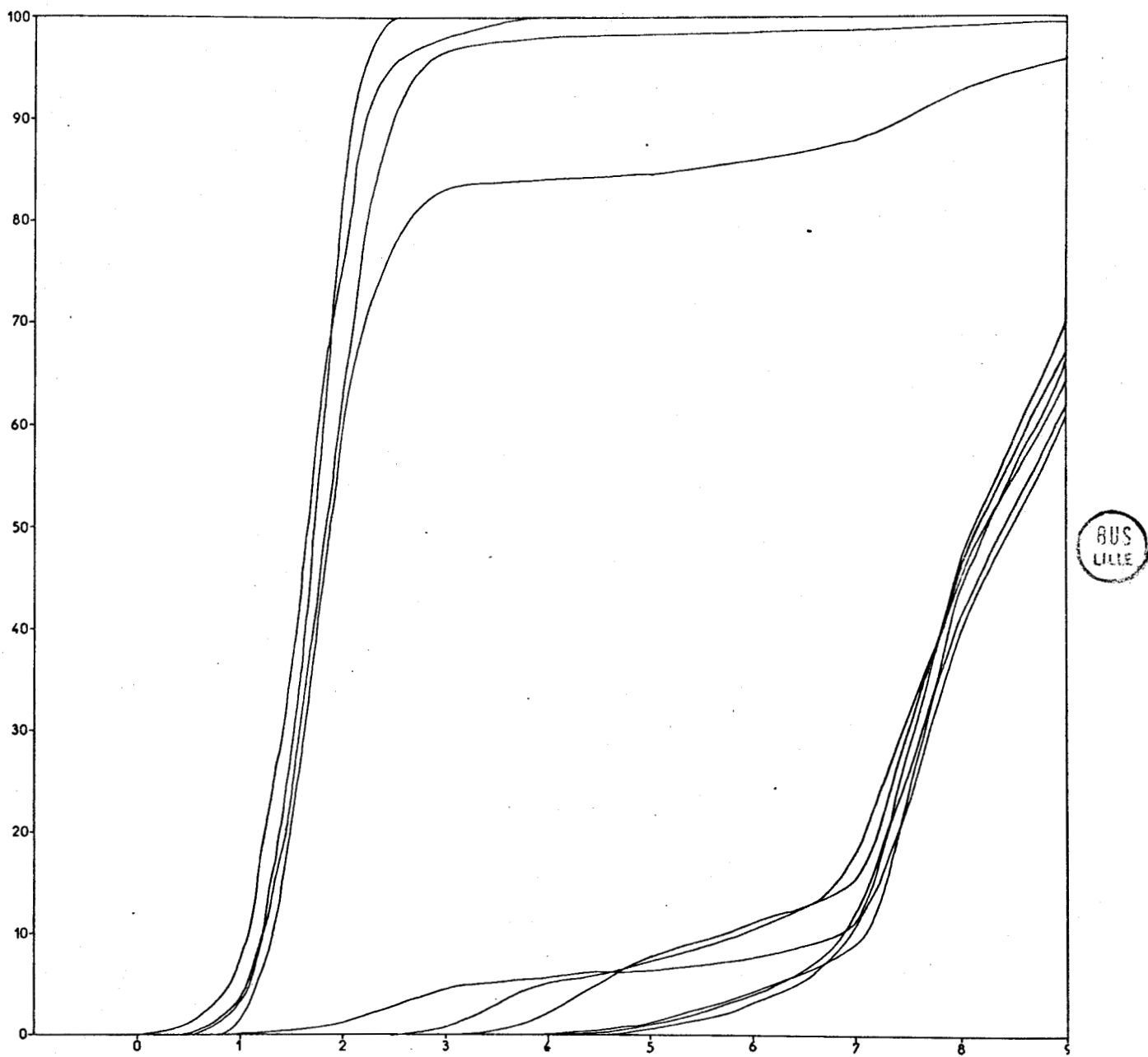


Fig. 5.9 Courbes granulométriques cumulatives du lac Tyers

jamais envahie par les eaux ; la surface de la nappe, fluctuant entre - 2m et - 1,5m, permet la colonisation d'une végétation arbustive dense (Malaleuca, Eucalyptus). Une gradation s'effectue entre cette zone et le lac proprement dit (zones à phragmites, à salicornia et zone temporairement immergée).

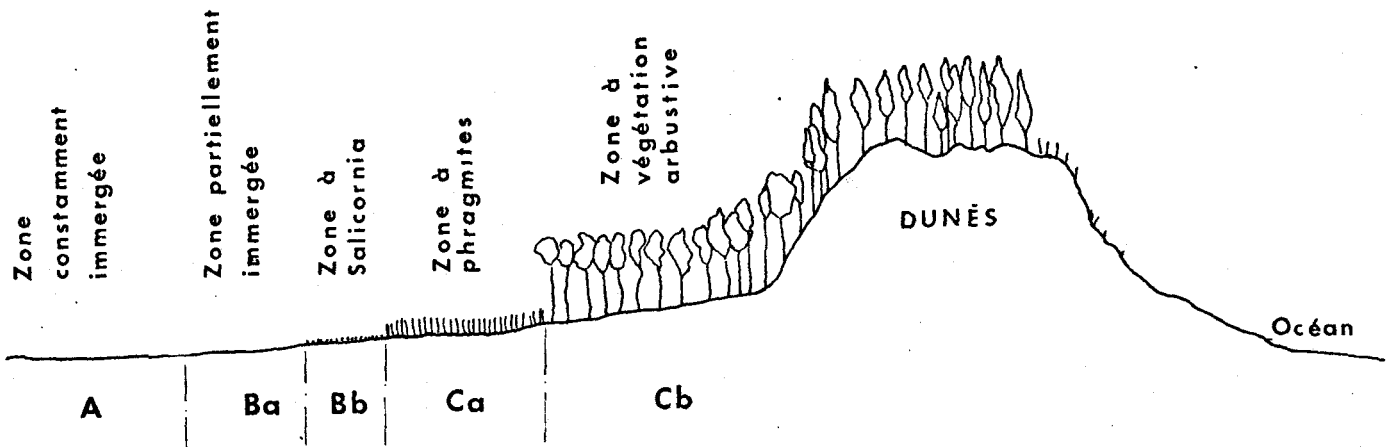


Fig. 5.10 Section transversale du lac Reeve

La sédimentation est également très différente de celle des autres lacs. Le faciès majeur, au centre, est composé de carbonates de précipitation biochimique (calcites magnésiennes) auxquels s'ajoutent une quantité variable de sable ainsi que des tests de gastéropodes. Von der Borch (1965 a et b) et Skinner (1963) ont observé sur les sédiments du Coorong en Australie du Sud, que ces carbonates avaient des tailles de l'ordre de 1 à 20 microns. Aucune mesure directe ne fut réalisée sur cette fraction carbonatée fine dans le lac Reeve, mais, ceci donne à penser que les tailles de ces calcites magnésiennes doivent, tout au moins pour une partie, être supérieures. Les courbes granulométriques cumulatives (figure 5.11) de sédiments sableux, auxquels s'ajoute cette poussière carbonatée, montrent un mode entre 6 et 7 ϕ soit environ 150 microns.

Superficiellement, une fine couche de mousse blanchâtre peut être observée sur le lac lorsque celui-ci est asséché. Elle joue un rôle pro-

tecteur en ce qui concerne cette fine poussière carbonatée que le vent peut emporter facilement.

Les différentes carottes prélevées dans le lac ne permettent pas réellement de définir une sédimentation identique pour les différentes parties du lac. Pourtant, la proportion de sable est généralement plus importante en profondeur. Ceci peut s'expliquer de deux façons :

- a) les particules fines sont lessivées par les montées et descentes de la surface piézométrique lorsque le lac est asséché
- b) jadis, la sédimentation dans le lac Reeve n'a pas été ce qu'elle est maintenant.

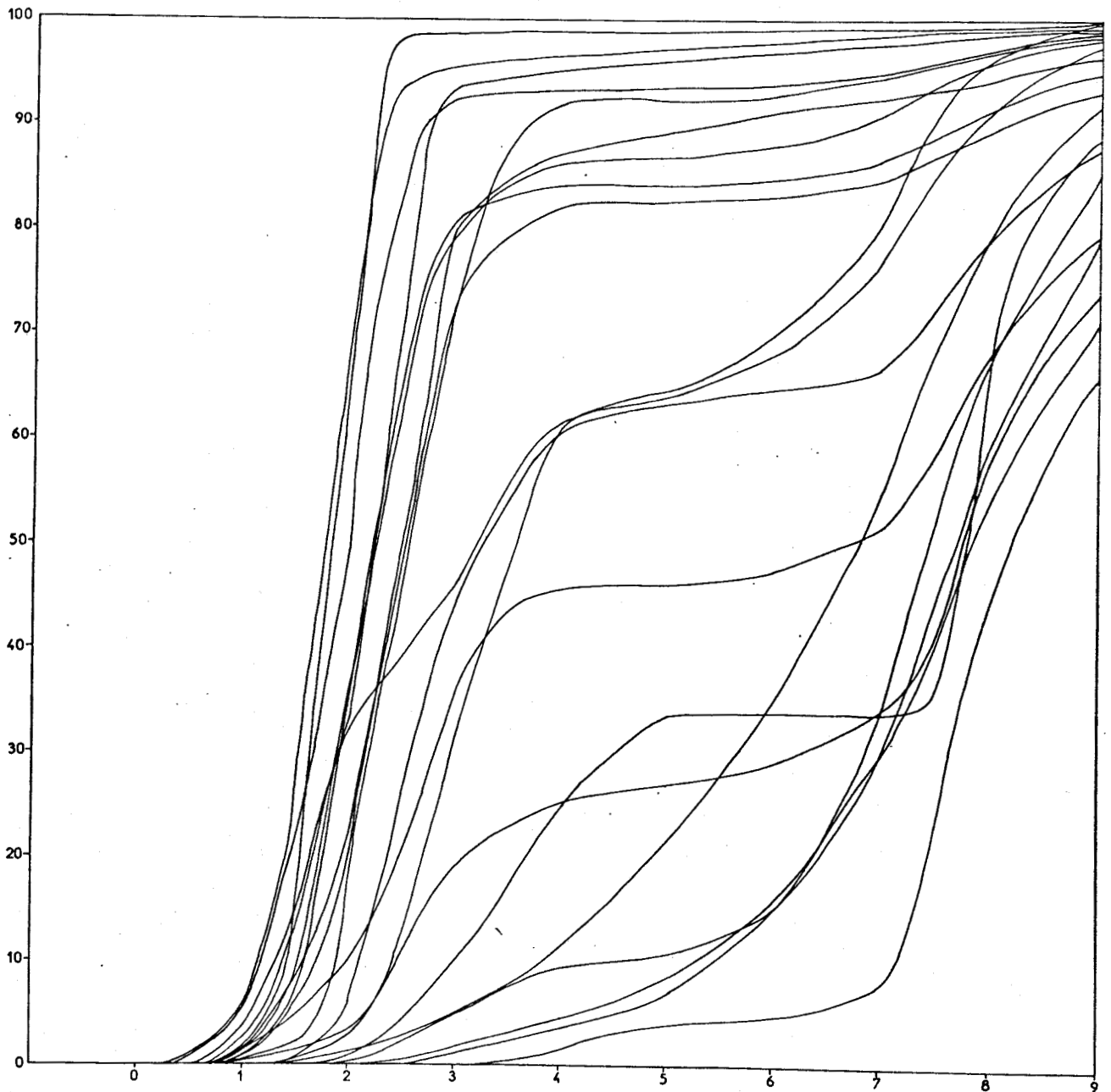


Fig. 5.11 Courbes granulométriques cumulatives du lac Reeve

**Caractéristiques
Texturales
des
Sédiments**

CHAPITRE VI CARACTERISTIQUES TEXTURALES DES SEDIMENTS

6.1 Distributions fréquentielles des paramètres

Par les distributions des valeurs des 12 paramètres texturaux étudiés dans ce paragraphe, nous essaierons d'avoir un aperçu :

- des valeurs les plus fréquentes et moyennes
- des formes de distribution et de leurs similitudes entre-elles et de celles-ci vis-à-vis d'autres provenant de travaux antérieurs.

Les moyennes de ces paramètres proviennent du programme CORR ; le classement des valeurs des paramètres a été effectué par le programme DIST permettant l'établissement d'histogrammes dont le nombre de classes peut être déterminé à l'avance. Dans cette étude, on a utilisé un nombre de classes égal à 15, ce qui donne, pour les 281 échantillons envisagés, un nombre moyen de 19 échantillons par classe.

Aucune des distributions examinées (Fig. 6.1) ne s'apparente à une population normale, ce à quoi l'on pouvait s'attendre en utilisant un grand nombre d'échantillons. Par contre, les distributions offrent plusieurs modes souvent bien distincts les uns des autres. On peut ainsi distinguer deux sortes de populations :

- celles ayant des fréquences importantes vers leurs valeurs extrêmes : c'est le cas des distributions des pourcentages de sable, de silt et de matière organique ;
- celles possédant deux ou trois modes entre leurs extrêmes (autres paramètres).

Entre ces deux types, un type intermédiaire est développé par la distribution de la moyenne granulométrique.

Le tableau 6.1 donne les valeurs des moyennes arithmétiques des paramètres. Celles-ci sont toutefois à prendre avec une certaine précaution du fait de la non normalité des distributions.

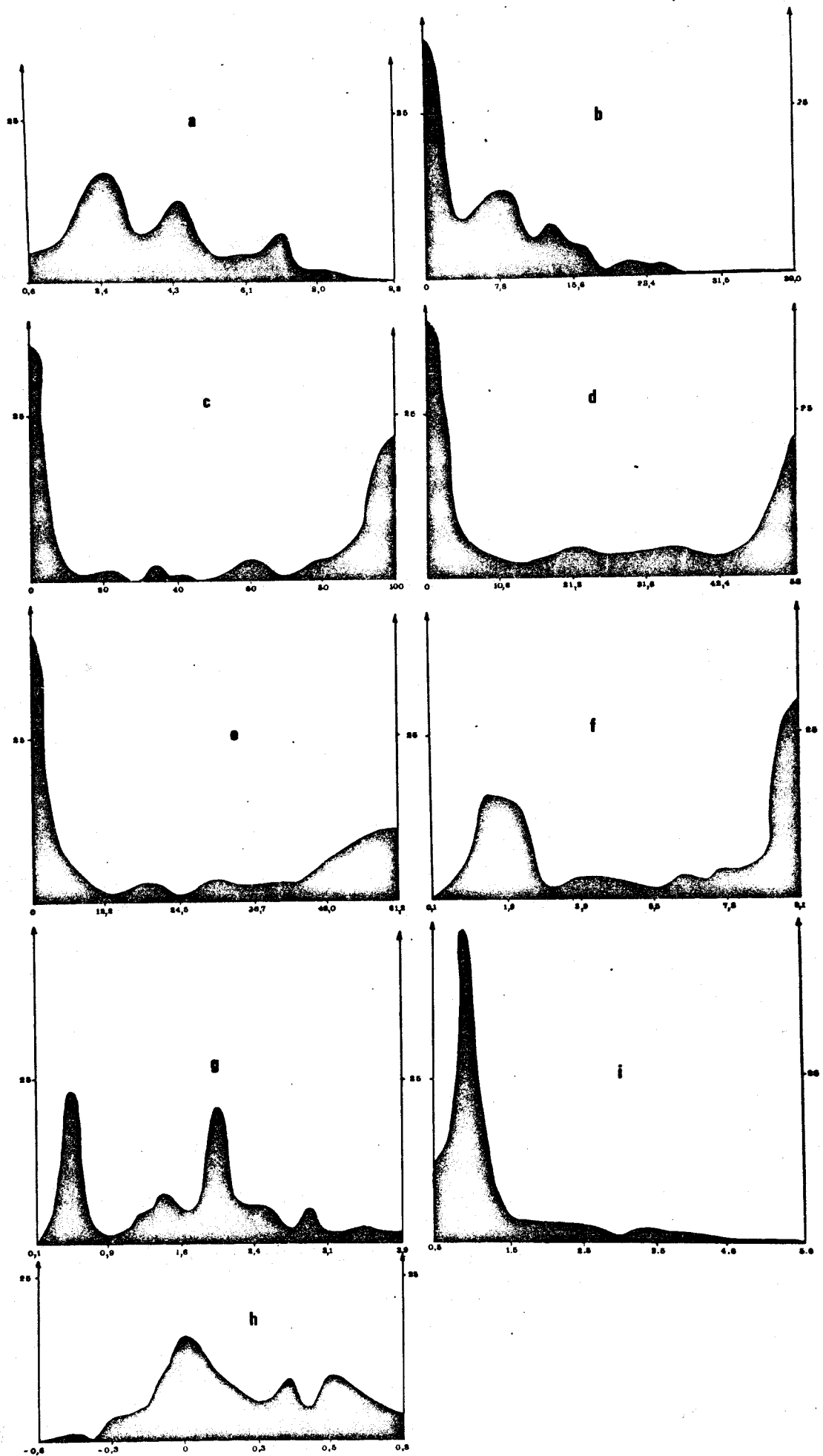


Fig. 6.1 Distributions fréquentielles en % des principaux paramètres des sédiments. (voir légende dans le texte).

Profondeur	Matière organique	Carbonates	Fraction sableuse	Fraction silteuse	Fraction argileuse	Moy: granulométrique	Médiane	Ecart-type	Coef. d'asymétrie	Coef. d'aplatissement
3,96	8,05	2,21	34,86	31,12	33,64	6,18	5,81	1,94	0,29	1,51

Tableau 6.1 Moyennes arithmétiques des paramètres texturaux

La distribution des valeurs de la profondeur (Fig. 6.1.a), comprise entre 0,6 m et 9,8 m, montre trois modes à 2,4 m, 4,5 m et 7,0 m, correspondant aux différents paliers bathymétriques rencontrés dans les lacs. Il est probable que chacun de ces paliers correspond à un type de sédiment précis. Ces trois genres pourraient donc être examinés séparément en éliminant les autres échantillons. Cette étude qui s'avère très prometteuse pour caractériser les différents environnements, conduit malheureusement à un travail très important, dépassant l'ampleur de ce rapport.

La distribution des valeurs de la matière organique (Fig. 6.1.b) montre une forme toute différente : 30 pour cent des échantillons possèdent des pourcentages de matière organique entre 0 et 3 pour cent ; ceux-ci correspondent aux sables purs. Un second mode situé aux environs de 8 pour cent de matière organique semble se rapporter aux sédiments argilo-silteux des bassins lacustres. Ce second mode caractérise les sédiments du lac Wellington contenant fréquemment des pourcentages de cet ordre.

Les distributions des pourcentages de sable (Fig. 6.1.c), de silt (Fig. 6.1.d) et d'argile (Fig. 6.1.e), présentent toutes la même forme :

deux modes importants se situent aux extrêmes. Pour la population sableuse, ces deux modes sont à 0 et 100 pour cent, indiquant ainsi le quasi non mixage du sable avec les autres fractions. Pour les fractions silteuse et argileuse, le phénomène est sensiblement identique sauf que les maxima sont respectivement à environ 40 et 60 pour cent. On reconnaît ainsi les populations primaires entrevues précédemment :

- la première, contenant 100 pour cent de sable et 0 pour cent d'argile et de silt ;
- la seconde, contenant 0 pour cent de sable, 40 pour cent de silt et 60 pour cent d'argile.

Il est difficile de comparer la distribution des moyennes granulométriques (Fig. 6.2.f) avec celle décrite par Folk et Ward (1957) : ces auteurs n'ont rencontré que des sables et graviers tandis que dans la présente étude, les sédiments s'échelonnent entre sables et argiles. Néanmoins, les graphes se chevauchant, il est possible de comparer la fraction sableuse. La présente distribution est caractérisée par deux modes :

- l'un à environ 1,8 ϕ (alors qu'il est à 2,5 ϕ dans l'étude de Folk et Ward)
- l'autre à 9 ϕ .

La différence enregistrée pour le mode sableux semble résulter d'un environnement différent (opposition rivière-lac).

Le classement est un paramètre sans dimension ne faisant plus intervenir le type de sédiment. Ainsi, la comparaison avec d'autres sédiments peut être possible. Les deux modes principaux rencontrés à 0,5 et 2,0 sur la courbe des écarts-types (Fig. 6.1.g) coïncident exactement avec ceux cités dans l'étude de la *Brazos river bar* (Folk et Ward 1957). On peut difficilement considérer ce paramètre comme critère, puisqu'à deux environnements^s différents correspondent des valeurs identiques.

En ce qui concerne les distributions fréquentielles de l'indice d'asymétrie (Fig. 6.1.h) et de l'indice d'aplatissement (Fig. 6.1.i), les modes principaux à 0,0 pour l'indice d'asymétrie et à 1,0 pour

l'indice d'aplatissement, déterminent des sédiments dont les courbes granulométriques fréquentielles tendent fortement vers la normalité. Ce caractère très prononcé est totalement absent pour les sables et graviers étudiés par Folk et Ward (1957).

6.2. Relations entre les paramètres

6.2.1. Relations binaires

Dans le but de discerner les différentes unités environnementales des lacs, les paramètres furent testés les uns par rapport aux autres par des graphes binaires, d'une part, et une corrélation multiple, d'autre part. Ceci s'avéra utile pour distinguer deux sortes de paramètres :

- les paramètres "externes" en relation directe avec l'environnement naturel ;
- les paramètres statistiques en relation avec la granulométrie des sédiments.

Cette seconde catégorie n'a pas de rapport théorique avec des paramètres tels que les pourcentages de matière organique, de carbonates ou même la profondeur. Par définition, les paramètres statistiques dépendent de la courbe granulométrique cumulative. En fait, le problème est plus complexe qu'il ne paraît : la limite entre ces deux catégories est peu marquée. Le tableau 6.2 donne un aperçu de la réelle extension des deux classes :

Paramètres externes

PROFONDEUR	MATIERE ORGANIQUE	CARBONATES %	SABLE %	SILT %	ARGILE %	MOYENNE %
------------	-------------------	--------------	---------	--------	----------	-----------

Paramètres statistiques

SABLE %	SILT %	ARGILE %	MOYENNE	MEDIANE	ECART-TYPE	COEF. D'ASYMETRIE	COEF. D'APLATISSEMENT
---------	--------	----------	---------	---------	------------	-------------------	-----------------------

Tableau 6.2 Limites des classes des paramètres texturaux

De là, nous pouvons définir une classe, contenant les paramètres statistiques, identique à celle qui comprend les coefficients d'aplatissement et d'asymétrie, l'écart-type, la médiane et la moyenne ; d'une certaine manière, les pourcentages d'argile, de sable et de silt peuvent y être inclus avec plus de réserve. L'autre classe comprendrait ainsi la profondeur, les pourcentages de silt, d'argile, de sable, de carbonates et de matière organique, et, comme pour la classe précédente mais avec une probabilité moindre, la médiane et la moyenne.

Lorsque ces paramètres furent portés sur des graphes, il a été noté qu'en général, les paramètres externes suivaient des relations linéaires ou semi-linéaires entre eux, alors que les paramètres statistiques possédaient des relations plus complexes (Folk et Ward, 1957 ; Mason et Folk, 1958 ; Thomas, Kemp et Lewis, 1972). Ces relations seront discutées dans les paragraphes suivants.

6.2.1.1 Relations avec la profondeur

On a maintes fois entrevu la relation entre un milieu de faible profondeur et des sédiments sableux ou entre un milieu plus profond et des sédiments argileux ; on pouvait donc penser qu'une relation très nette pouvait être établie entre la profondeur et d'autres paramètres tels que la moyenne granulométrique, les pourcentages de sable, de silt, d'argile et de matière organique. Une relation possible avec les paramètres statistiques pouvait de même être envisagée.

En fait, les relations entre les divers paramètres et la profondeur se sont avérées bien compliquées dans le détail, pour les quatre lacs recouverts d'eau en permanence. Pourtant, une très bonne relation existe dans chaque lac pris individuellement. Deux ensembles de facteurs détruisent ces bonnes relations :

- les conditions hydrodynamiques et les vitesses de sédimentation et de subsidence correspondant à chaque lac ne sont pas identiques : c'est ainsi que le plancher du lac Wellington n'est recouvert que par une lame d'eau de 3,0 à 3,5 mètres tandis que les lacs Victoria et King ont une profondeur moyenne de 5,5 à 6,0 mètres ;

- des sédiments possédant une granulométrie identique (sables grossiers) peuvent exister à la fois sur la zone périphérique des lacs, c'est à dire à des profondeurs de l'ordre de 2,4 mètres, et dans des chenaux de circulation des eaux tels que le *Reeve Channel* entre le lac King et l'entrée des lacs.

Ces facteurs généraux s'appliqueront donc à toutes les relations d'un quelconque paramètre avec la profondeur. Des facteurs locaux ou spécifiques viennent également s'ajouter à un schéma déjà compliqué. Un exemple typique sera celui de *Jones bay* située au Nord du delta de la rivière Mitchell, lac King. Ses sédiments, ayant un pourcentage de matière organique de 10,0 à 16,0 pour cent, ne sont situés que sous une lame d'eau de 1,0 à 2,5 mètres. Sur le graphe, matière organique - profondeur (Fig. 6.2), ces échantillons sont très décalés par rapport à la direction générale.

La relation entre la profondeur et la moyenne granulométrique (Fig. 6.3) enregistre également le même caractère : grossièrement, les sédiments deviennent plus fins lorsque la profondeur augmente, mais ce phénomène est troublé par des facteurs locaux et généraux décrits précédemment.

6.2.1.2 Relations avec la matière organique

Dans une étude sur le lac Ontario, Thomas, Kemp et Lewis (1972) ont démontré les bonnes relations linéaires entre la matière organique et les paramètres suivants : fraction sableuse, moyenne granulométrique et fraction argileuse. Dans les lacs de Gippsland, les mêmes inter-actions entre paramètres furent rencontrées mais selon un ordre différent : la meilleure relation se produit avec la moyenne granulométrique. Une relation très étroite existe entre ces deux paramètres depuis le pôle des sédiments grossiers (à environ 0,0 ϕ) jusqu'à celui des sédiments fins à 6,0 ϕ . Au-delà de cette valeur, la distribution est légèrement étendue avec cependant une même direction générale.

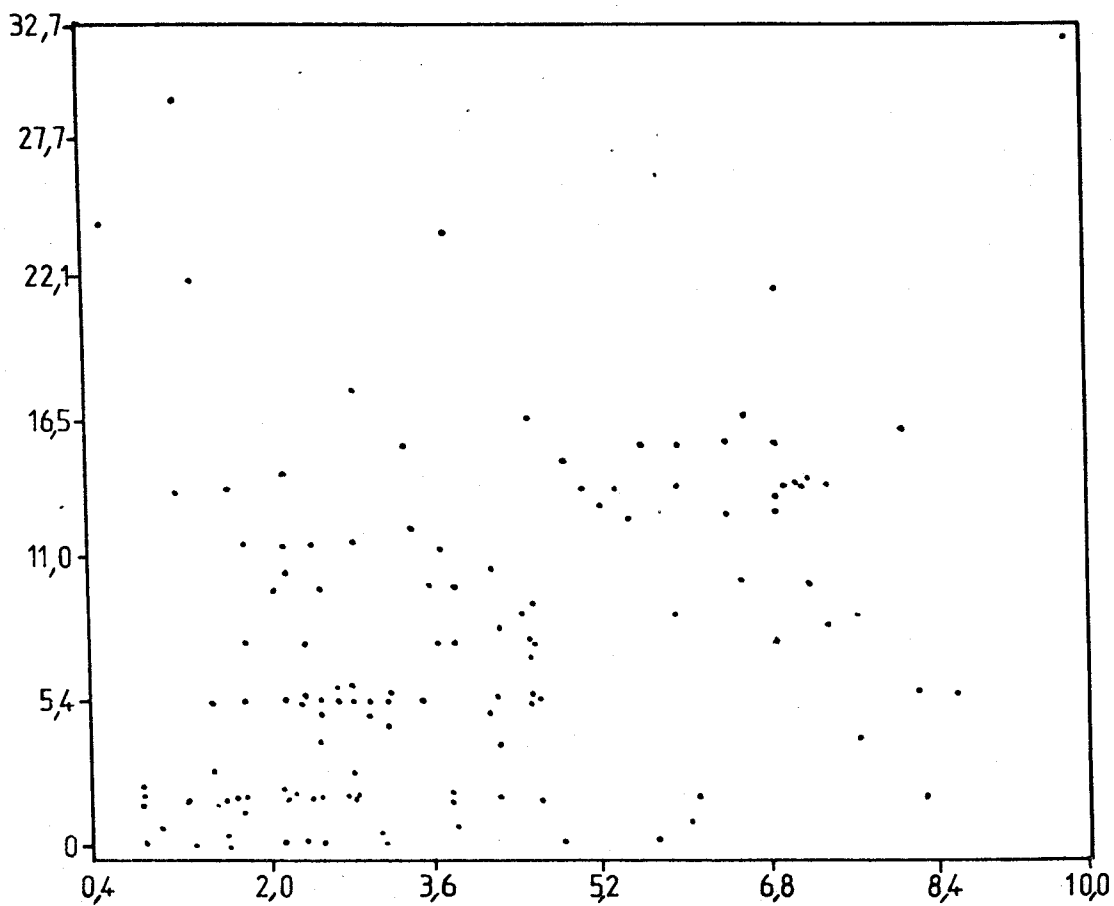


Fig. 6.2 Diagramme binaire profondeur - matière organique (profondeur en abscisses)

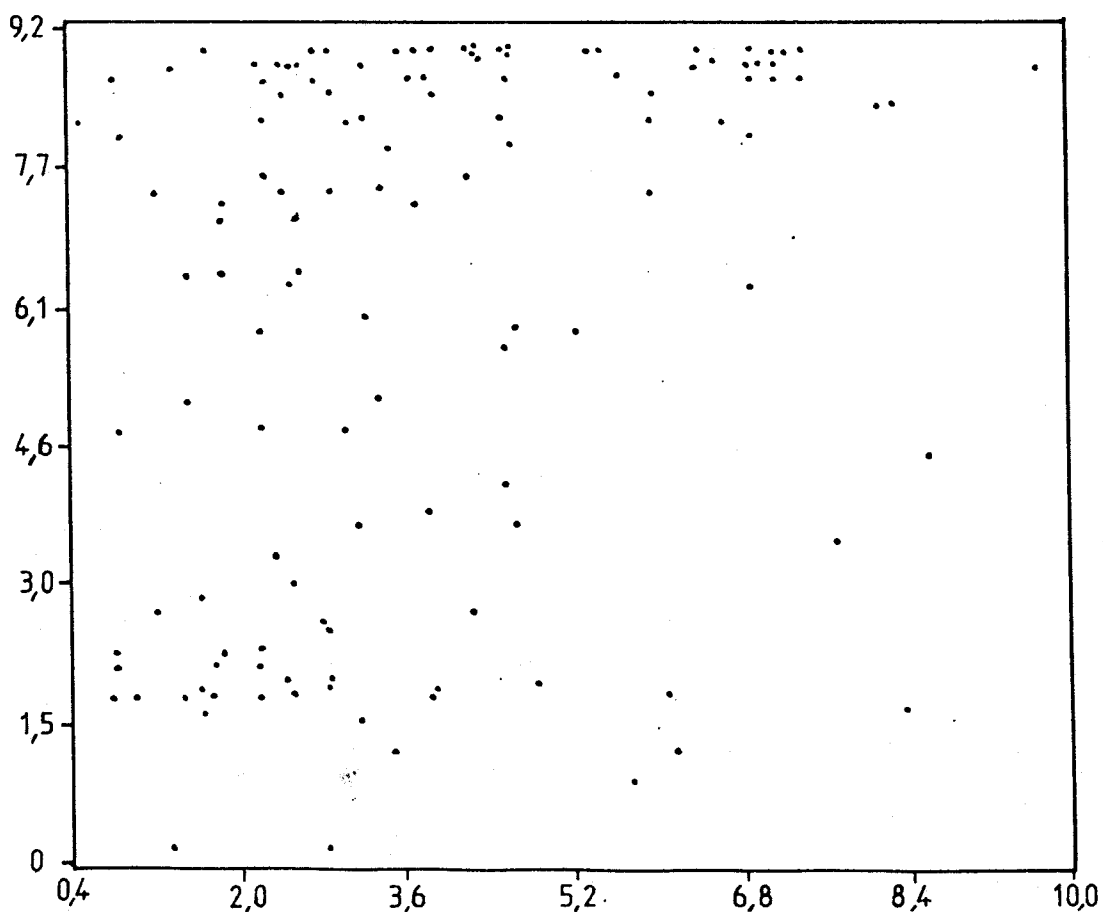


Fig. 6.3 Diagramme binaire profondeur - moyenne granulométrique (profondeur en abscisses)



Il est difficile à partir d'un graphe de déterminer la relation étroite entre deux variables : sur le graphe moyenne granulométrique - matière organique (Fig. 6.4), on peut distinguer une nette direction linéaire sur laquelle se juxtaposent plusieurs caractères différents.

En regardant les autres graphes représentant la matière organique par rapport à la fraction sableuse (Fig. 6.5), silteuse (Fig. 6.6) et argileuse (Fig. 6.7), il est possible d'apprécier les relations des différentes fractions, séparément, puis associées entre elles dans le graphe moyenne granulométrique - matière organique. Fractions sableuse et argileuse offrent un haut degré de corrélation avec la matière organique mais, tandis que la relation avec la fraction argileuse est directe, celle pour la fraction sableuse est indirecte. D'un autre côté, la relation matière organique - fraction silteuse est très floue, montrant une relation linéaire lorsque le pourcentage de silt est au-dessous de 40 pour cent. Au-delà de cette valeur, le pourcentage de matière organique semble fluctuer sans aucune relation avec le pourcentage de silt dans le sédiment.

Par conséquent, de ces trois derniers diagrammes (Fig. 6.5, 6.6, 6.7), on note que les fractions sableuse et argileuse affectent le plus la quantité de matière organique dans les sédiments. Il existe deux explications quelque peu complémentaires permettant de mieux comprendre ces relations :

- les sédiments sableux existent dans des environnements complètement différents de ceux de la matière organique ;
- la relation avec la fraction argileuse semble être due à l'association des argiles minéralogiques avec les particules de matière organique (Trask, 1939).

Sur le diagramme, matière organique - moyenne granulométrique (Fig. 6.4), les trois fractions (sable, silt, argile) réagissent ensemble avec la variable matière organique ; par contre, dans la partie silteuse, où l'addition des populations primaires de sédiments sableux et argileux donnent des valeurs moyennes entre 4 et 8 ϕ , la corrélation est meilleure que dans la partie argileuse.

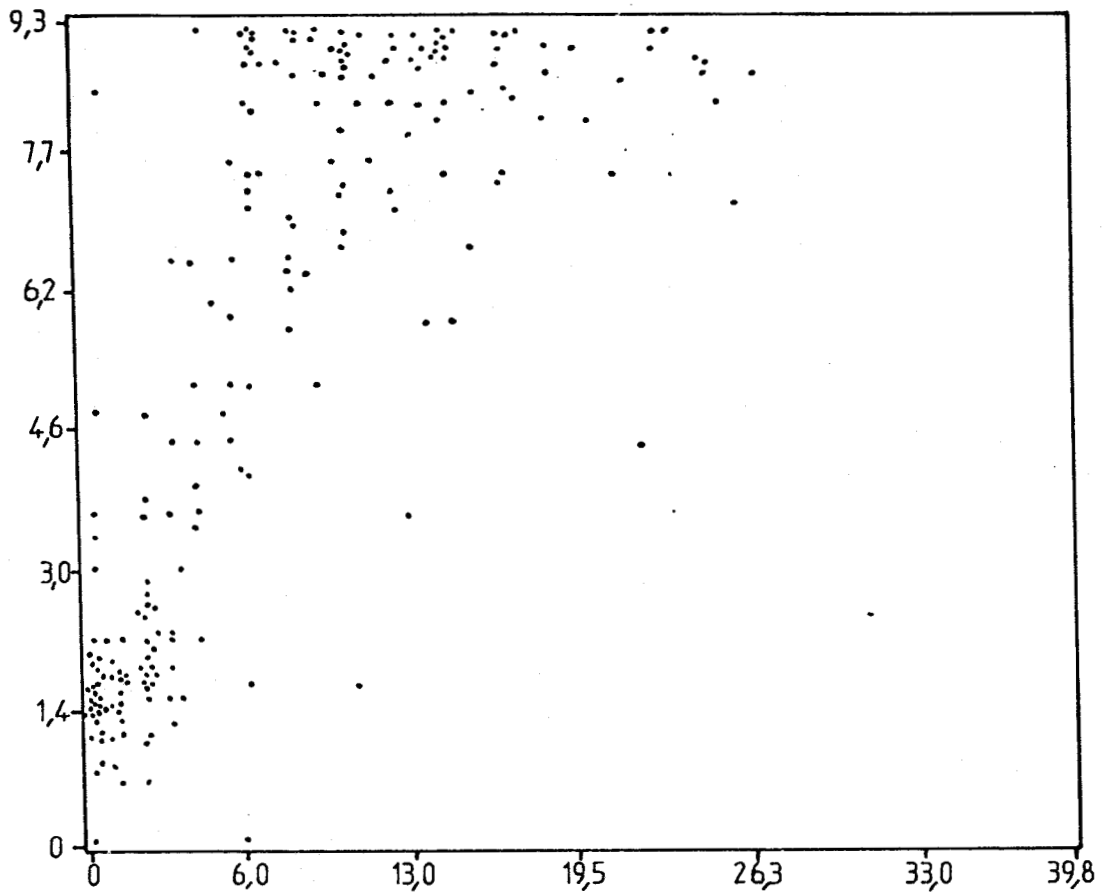
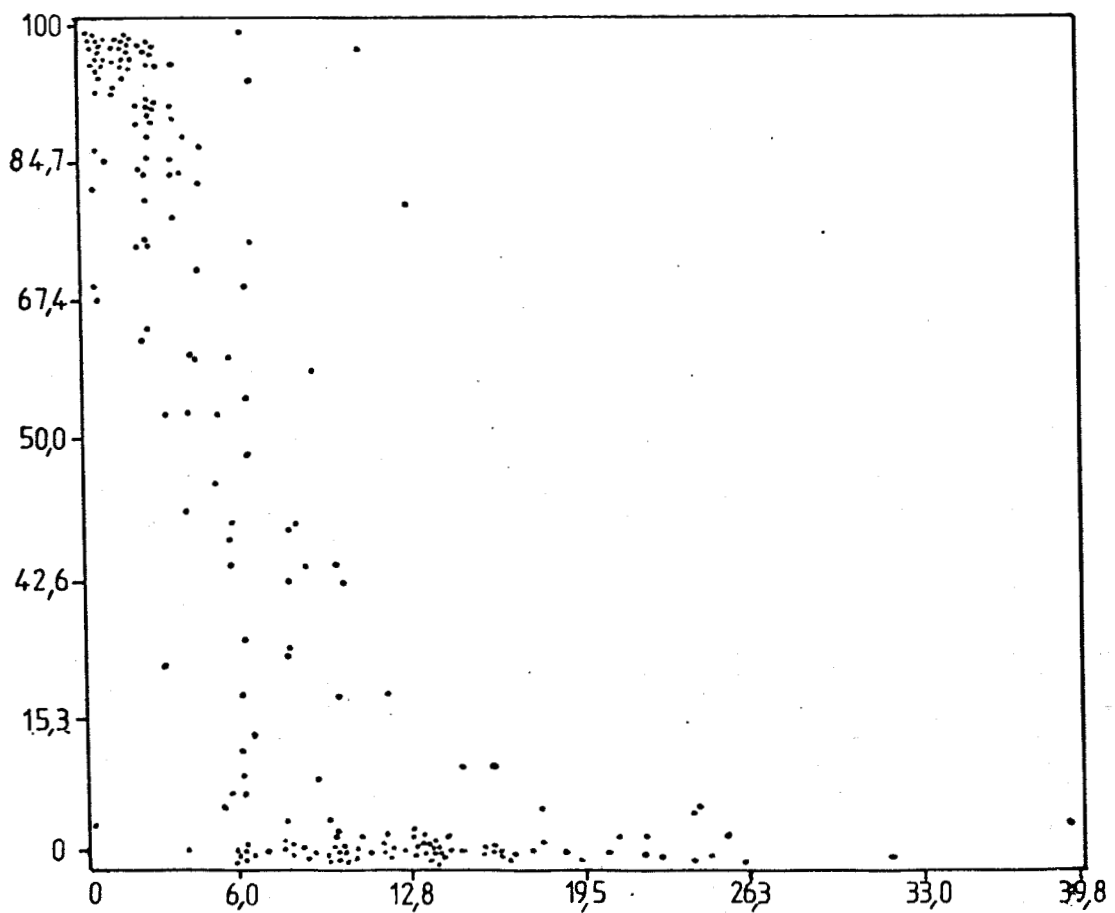


Fig. 6.4 Diagramme binaire matière organique - moyenne granulométrique (matière organique en abscisses)



BUS
LILLE

Fig. 6.5 Diagramme binaire matière organique - pourcentage de sable (matière organique en abscisses)

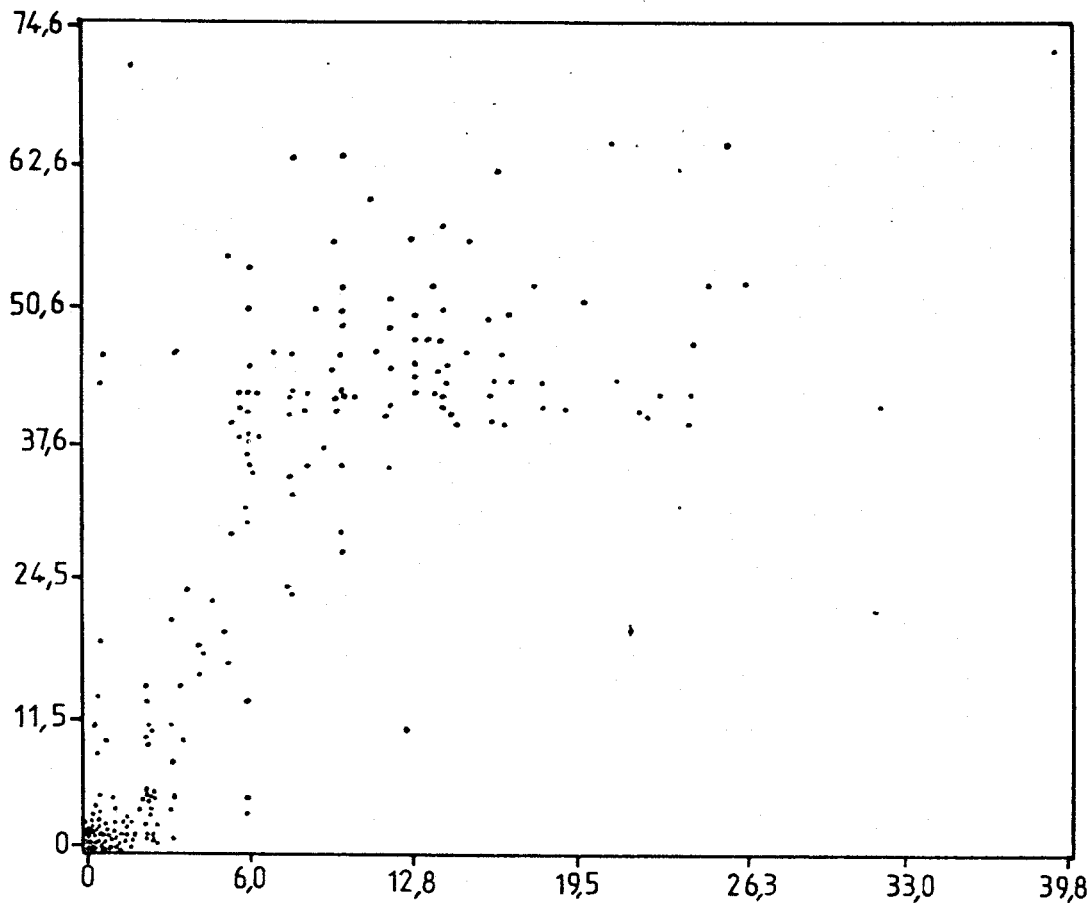


Fig. 6.6 Diagramme binaire matière organique - pourcentage de silt
(matière organique en abscisses)

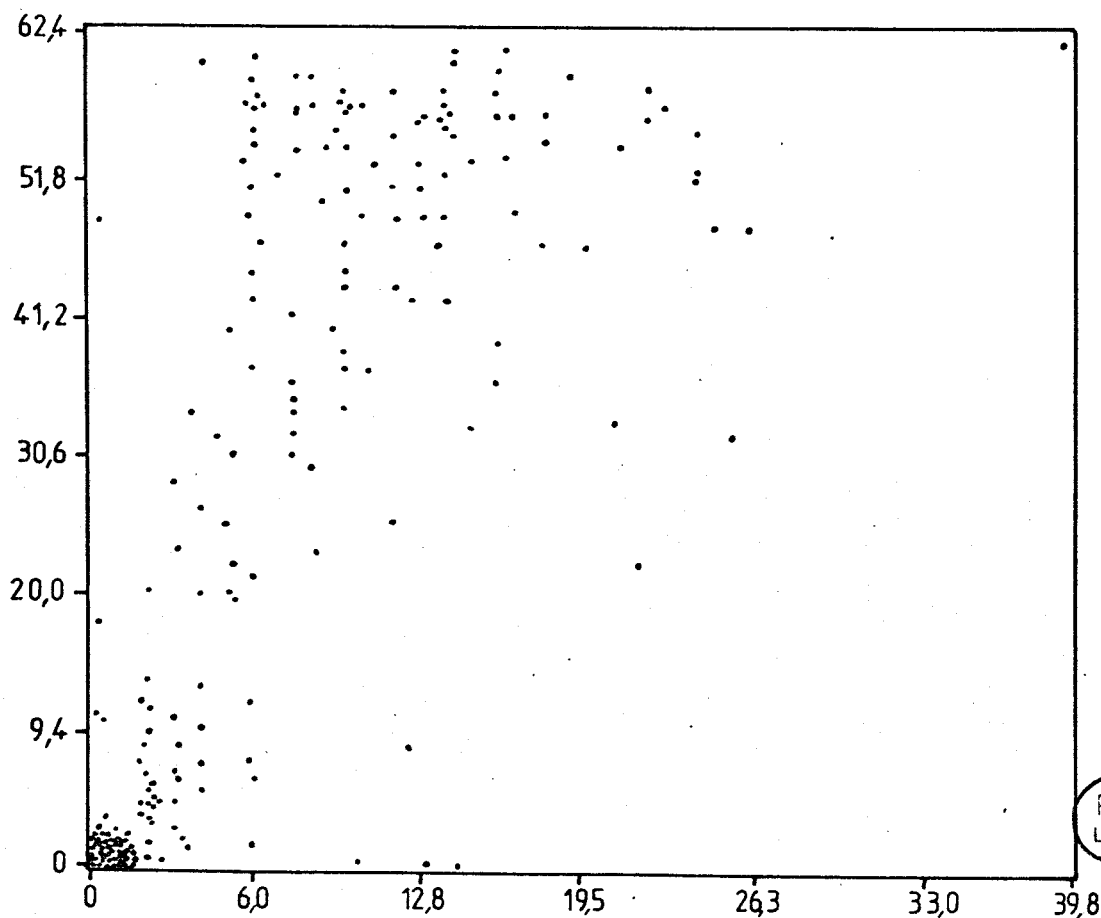


Fig. 6.7 Diagramme binaire matière organique - pourcentage d'argile
(matière organique en abscisses)

6.2.1.3 Relations avec les carbonates (fraction supérieure à 4 ϕ)

Dans le paragraphe précédent, la relation entre les carbonates et la matière organique ne fut pas étudiée. En fait, il n'existe pas de relation (tout au moins directionnelle ou cyclique) entre eux. Il en est d'ailleurs de même avec les autres paramètres. Néanmoins, on peut observer que les coquilles de Lamellibranches ou de Gastéropodes sont retrouvées principalement dans les sédiments grossiers (1,8 ϕ) ou dans les sédiments fins ayant une moyenne de 8,8 ϕ (Fig. 6.8). Cette relation n'est pas aussi distincte qu'elle n'était en ce qui concerne la matière organique et les autres paramètres, mais elle montre une tendance pour les organismes coquilliers à vivre, soit dans des milieux sableux, soit dans des milieux argileux.

6.2.1.4 Relations avec la fraction sableuse

Thomas (1969) avait déjà relevé le haut degré de corrélation entre la moyenne granulométrique et la fraction sableuse. La même corrélation fût également trouvée pour les lacs de Gippsland : une augmentation de la taille des sédiments entraîne automatiquement celle de la fraction sableuse (Fig. 6.9). A côté d'une direction générale très distincte entre les deux variables, on note que les deux pôles extrêmes comportent d'importants groupements de points : le premier, dans la zone des sédiments fins avec peu ou pas de sable, le second, dans la zone des sédiments grossiers avec une proportion importante de sable.

Le même type de relation existe avec la fraction argileuse dont la direction générale est comprise entre un pôle à 60,0 pour cent d'argile et 0,0 pour cent de sable, et un pôle diagonal contenant 0,0 pour cent d'argile et 100,0 pour cent de sable (Fig. 6.10).

6.2.1.5 Relations avec la fraction silteuse

La fraction silteuse ne fût testée graphiquement que par rapport au pourcentage de matière organique ; cette relation fût discutée au paragraphe 6.2.1.2.

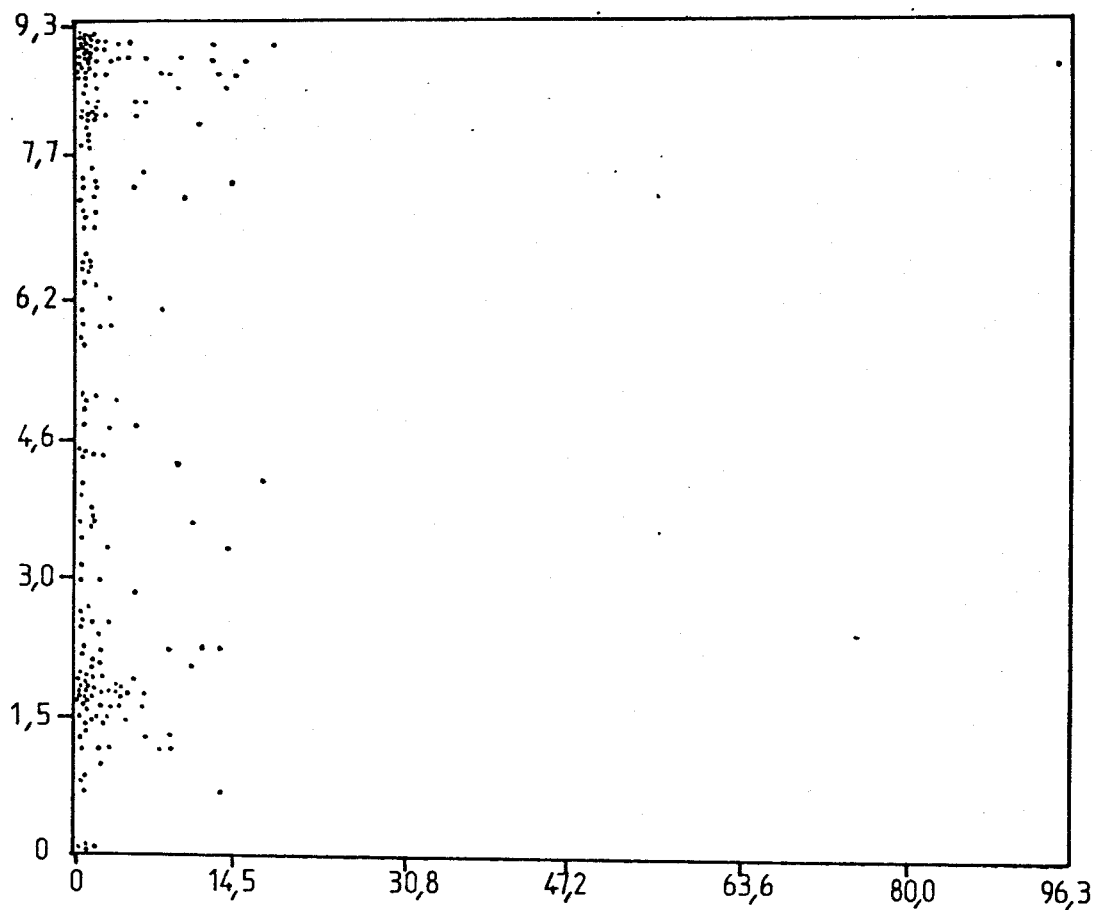


Fig. 6.8 Diagramme binaire carbonates (supérieurs à 4 ϕ) - moyenne granulométrique (carbonates en abscisses)

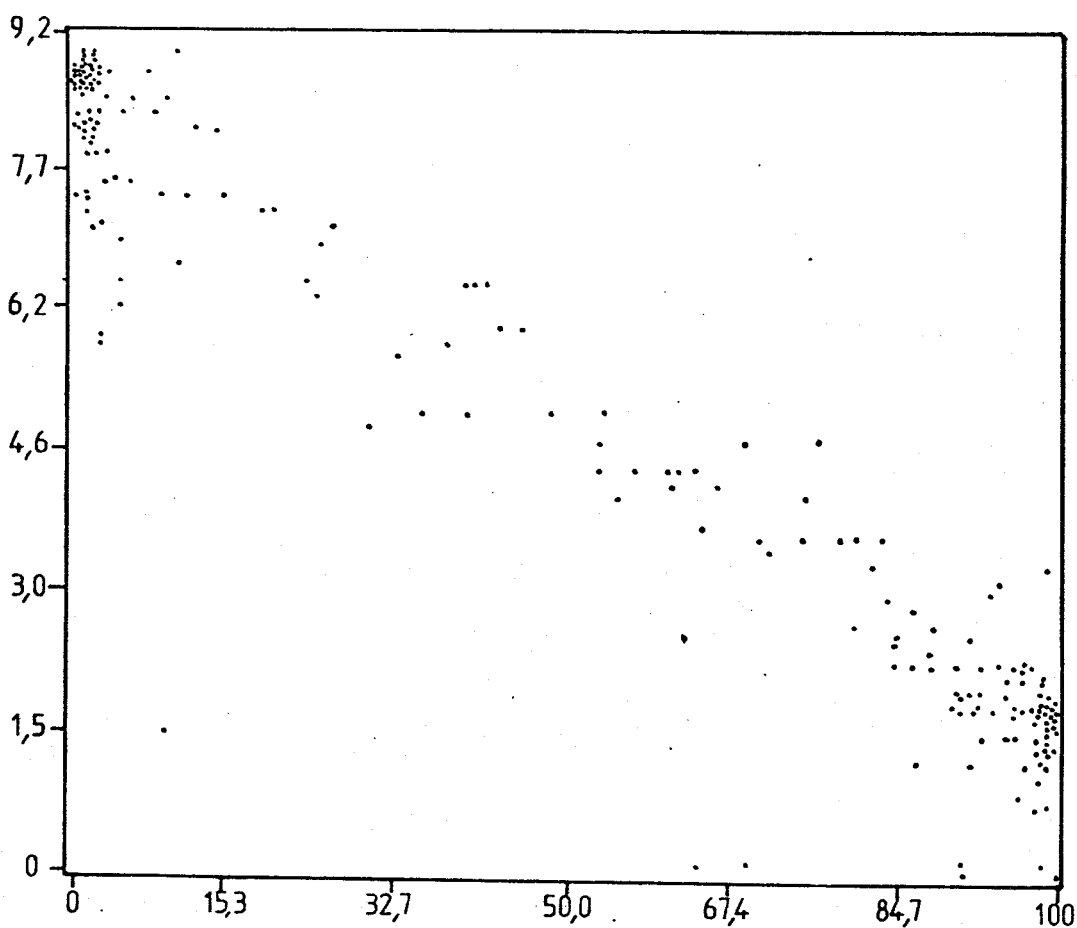


Fig. 6.9 Diagramme binaire pourcentage de sable - moyenne granulométrique (% de sable en abscisses)



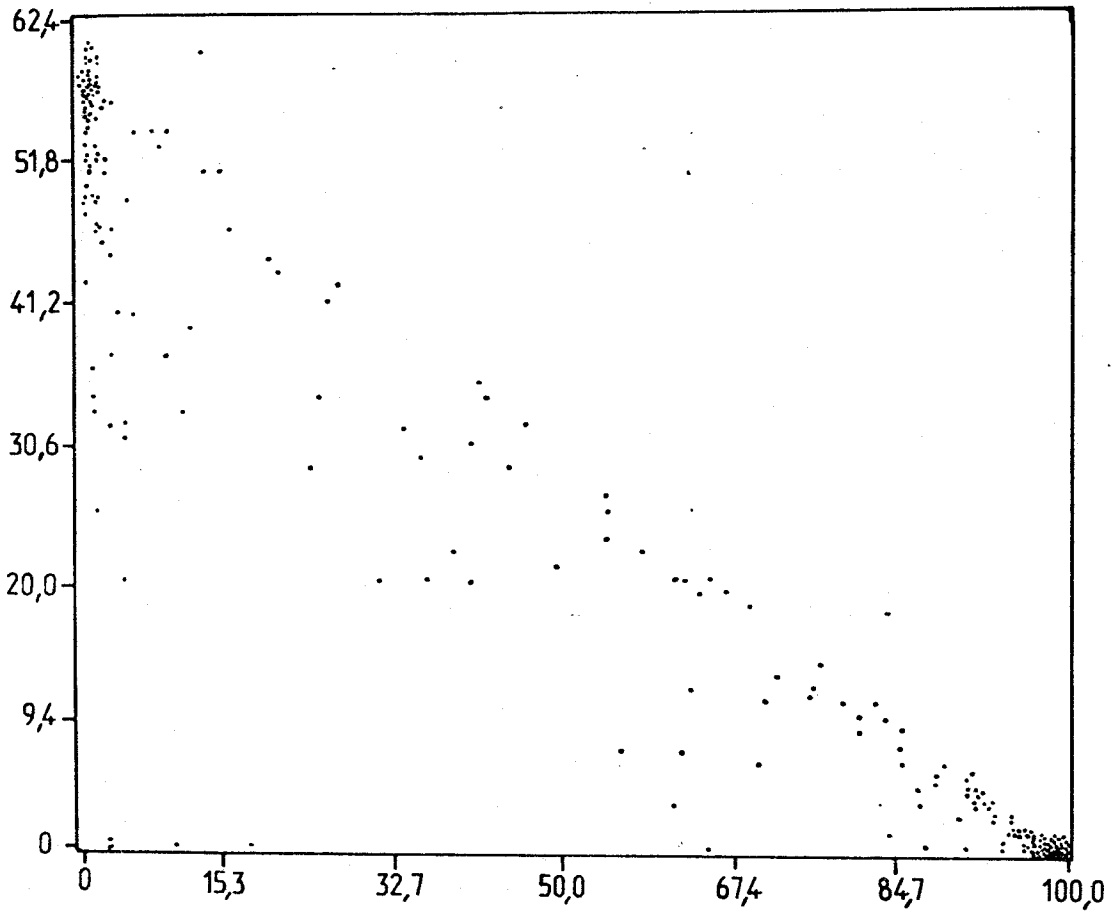


Fig. 6.10 Diagramme binaire pourcentage de sable - pourcentage d'argile
(pourcentage de sable en abscisses)

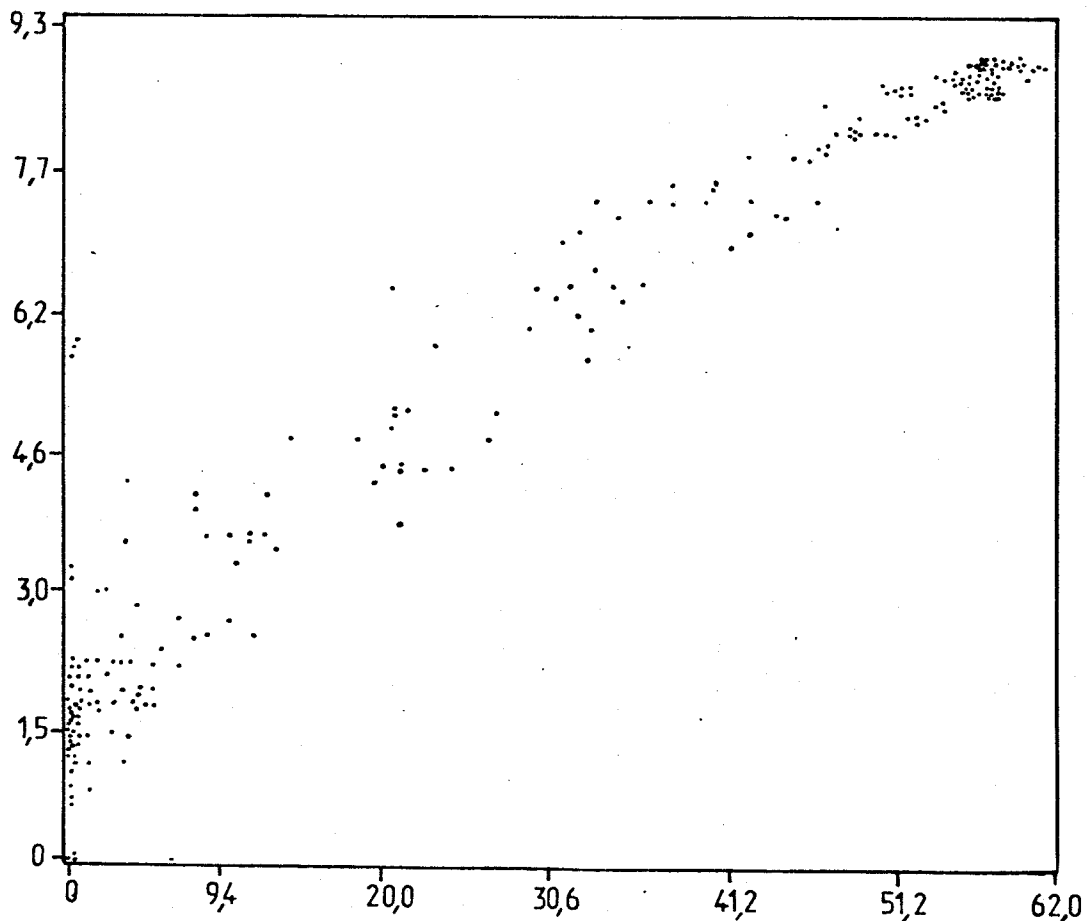


Fig. 6.11 Diagramme binaire pourcentage d'argile - moyenne granulométrique
(% d'argile en abscisses)



6.2.1.6 Relations avec la fraction argileuse

Les relations entre, fraction argileuse et profondeur, matière organique et fraction sableuse, ont été discutées précédemment ; elles montraient, tout au moins pour les deux derniers paramètres, une bonne relation linéaire. Le type de direction principale de ces relations est sensiblement le même que celui entrevu entre le pourcentage de sable contenu dans le sédiment et la moyenne granulométrique (mis à part le signe de la pente). Ces relations dites primaires ont été observées dans les sédiments marins ou lacustres par un grand nombre de chercheurs (Trask, 1939 ; Thomas, Kemp et Lewis, 1972 ; etc ...). Dans le chapitre VII, nous verrons que la fraction argileuse peut être associée intégralement aux argiles minéralogiques en considérant, d'après les diagrammes diffractométriques, que le quartz n'entre qu'en infime partie dans celle-ci. Ceci explique par exemple le haut degré de corrélation entre la fraction argileuse et la matière organique des sédiments.

6.2.1.7 Relations avec la moyenne granulométrique

La moyenne granulométrique est certainement le paramètre le plus représentatif caractérisant la texture du sédiment (Folk, 1966). Comme le montre le tableau 6.2, la moyenne granulométrique est significative des deux catégories de paramètres : externes et statistiques.

Cette propriété sera illustrée par nombre de relations des différents paramètres avec cette valeur : excepté pour la fraction carbonatée, c'est à dire avec les coquillages, tous les paramètres externes y sont corrélés par un haut degré, donnant ainsi de très bonnes relations linéaires (avec la fraction sableuse ou argileuse), ou semi-linéaire (avec la matière organique). Ceci montre très nettement que les paramètres externes sont directement affectés par la granulométrie générale du sédiment.

La moyenne granulométrique qui est la somme des trois composants principaux (sable, silt et argile) réagira avec eux suivant une loi simple. Bien entendu, lorsque l'une de ces fractions augmentera ses proportions par rapport aux autres, l'équilibre (en l'occurrence la

moyenne granulométrique) se déplacera dans ce sens.

La corrélation entre la moyenne granulométrique et la médiane (Fig. 6.12) fut étudiée dans la mesure où ces deux paramètres représentent sensiblement le même caractère du sédiment. Il est donc intéressant de connaître leur comportement vis-à-vis de l'un l'autre.

Certains auteurs, n'utilisant pas les facilités des calculatrices électroniques programmables ou des ordinateurs, préfèrent utiliser la médiane à la place de la moyenne. Cette utilisation est mieux comprise car il est facile de connaître cette médiane par la méthode graphique (1° quartile). Ce remplacement a pourtant été fortement proscrit par R.L. Folk (1966) : "...*certainly not the inefficient median, which ought to be discarded ...*". Le diagramme de la figure 6.12 montre que cette proscription s'avère fautive, tout au moins pour les sédiments des lacs de Gippsland. Le relation entre les deux variables donne un coefficient de corrélation proche de 1,00 (0,97) avec une droite de régression très voisine de 45° avec l'axe des abscisses.

Toutefois, on peut remarquer que la corrélation est déficiente pour les sédiments sableux dont les moyennes granulométriques sont comprises entre 2,5 ϕ et 4,5 ϕ . Ce phénomène ne semble pas avoir une conséquence naturelle mais apparaît plutôt être dû à la formule donnée par Folk et Ward (1957). En effet, cette formule qui tient compte des percentiles à 84 pour cent, 16 pour cent, et 50 pour cent, est fonction de l'asymétrie et de l'aplatissement de la courbe.

La relation entre la moyenne granulométrique et l'écart-type est représentée en figure 6.13 ; la direction sinusoïdale générale que montre la relation a déjà été commentée par Folk et Ward (1957) pour des sédiments sablo-graveleux étalés entre les graviers grossiers et les sables fins. Ceci fut observé également pour des sédiments lacustres, donc à granulométrie plus fine, par Thomas, Kemp et Lewis (1972). Dans l'étude des lacs de Gippsland, la nette

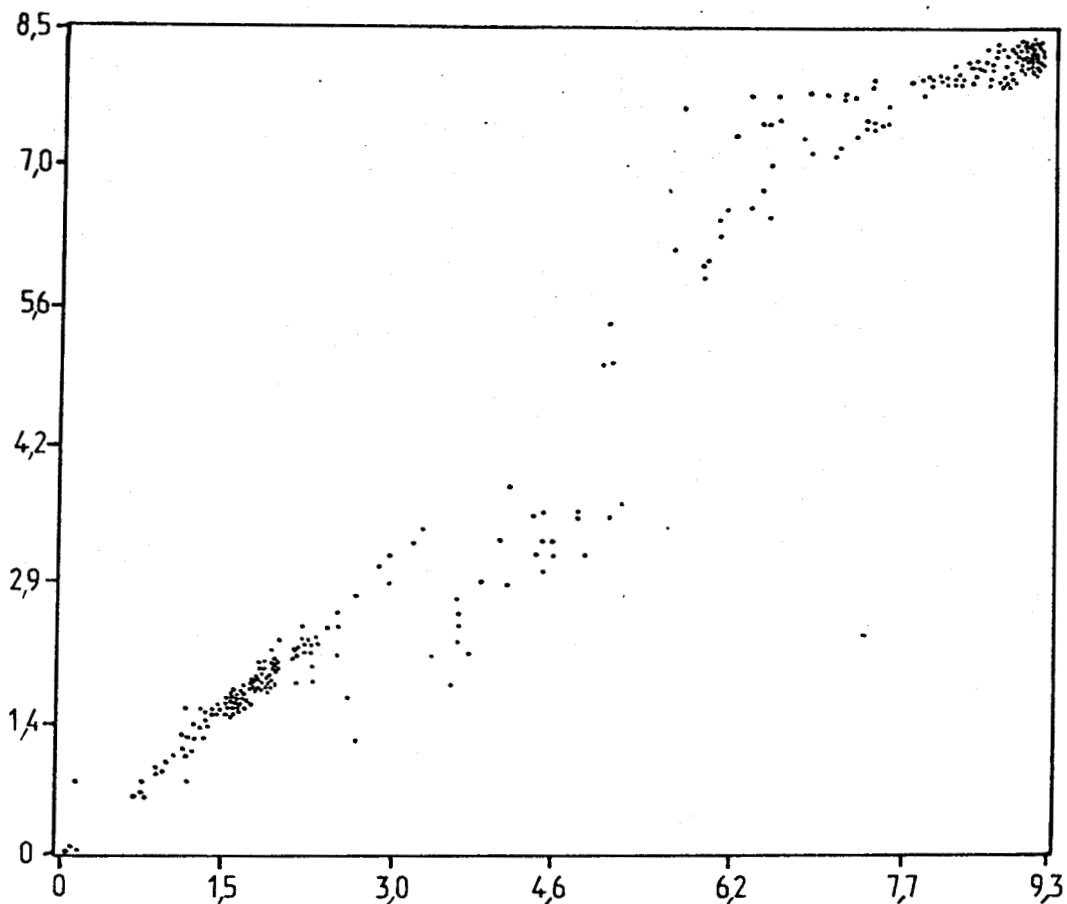


Fig. 6.12 Diagramme binaire moyenne granulométrique - médiane
(moy. gran. en abscisses)

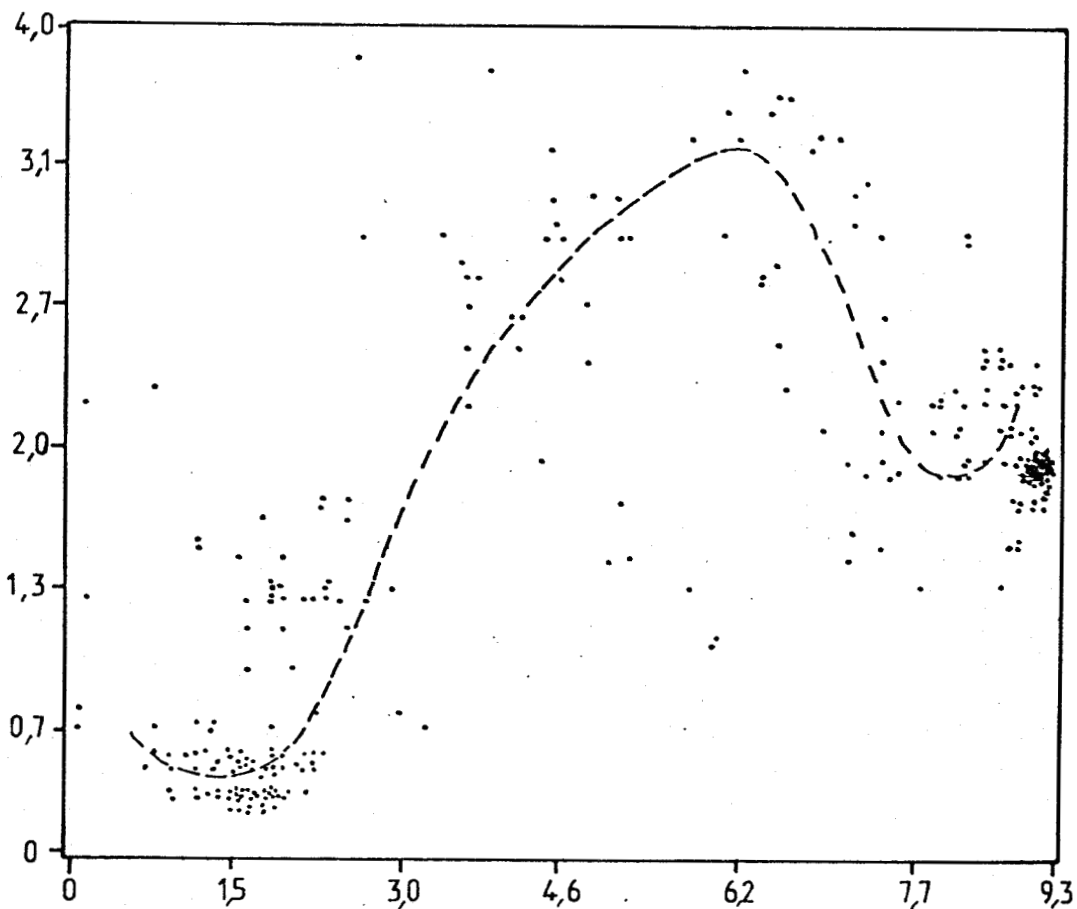


Fig. 6.13 Diagramme binaire moyenne granulométrique - écart-type
(moy. gran. en abscisses)



relation entre la moyenne granulométrique et l'écart-type est partiellement affectée pour des sédiments dont la moyenne granulométrique oscille autour de $5,0 \phi$, mais cela est dû aux valeurs provenant du lac Reeve qui ne présente pas le même environnement que le reste des lacs.

Dans l'étude de la *Brazos River bar*, Folk et Ward (1957) trouvèrent le meilleur classement (écart-type minimum) pour des diamètres moyens des sédiments de l'ordre de 2 à 3 ϕ . Dans les lacs de Gippsland, ce bon classement est décalé vers des sédiments plus grossiers, entre 0,7 et 2,2 ϕ . Par contre, dans le lac Ontario (Thomas, Kemp et Lewis, 1972), les sédiments les mieux classés occupent une position intermédiaire.

D'un autre côté, pour la *Brazos River bar* les valeurs de classement minimales sont inférieures (0,28 à 0,55 ϕ) à celles rencontrées pour les lacs de Gippsland (0,4 à 0,6 ϕ). Ainsi, sur la courbe sinusoïdale viennent se broder des unités mineures caractérisant tel ou tel type d'environnement.

Les deux minima de la courbe correspondant aux meilleurs classements granulométriques, définissent deux modes principaux dans les sédiments. Ces modes coïncident avec ce que l'on a appelé jusqu'ici des populations originelles ou primaires.

- la première, se trouvant dans la zone sableuse (0,7 à 2,2 ϕ)
- la seconde, dans la zone argilo-silteuse (7,0 à 9,0 ϕ).

Toute addition, tout mélange de ces deux populations, supposées normales, donne un nouveau type de sédiment dont l'indice de classement est détérioré.

La relation entre la moyenne granulométrique et l'indice d'asymétrie, représentée en figure 6.14, semble beaucoup plus compliquée que la précédente ; dans cette relation (Fig. 6.13) nous avons vu que la *Brazos River bar*, le lac Ontario et les lacs de Gippsland offraient la même direction sinusoïdale générale avec seulement de faibles distorsions. Le graphe, moyenne granulométrique - indice d'asymétrie, donne le même genre de direction générale que pour la

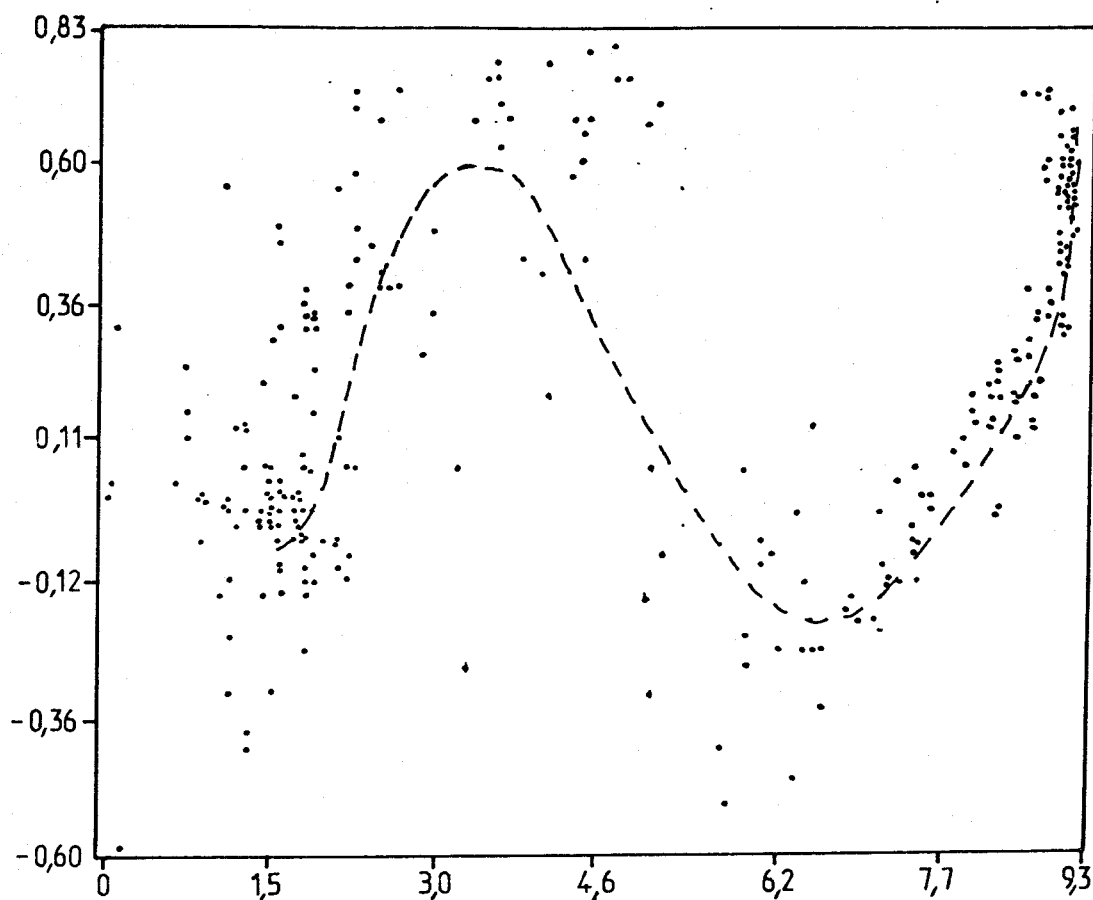


Fig. 6.14 Diagramme binaire moyenne granulométrique - coefficient d'asymétrie (moy. gran. en abscisses)

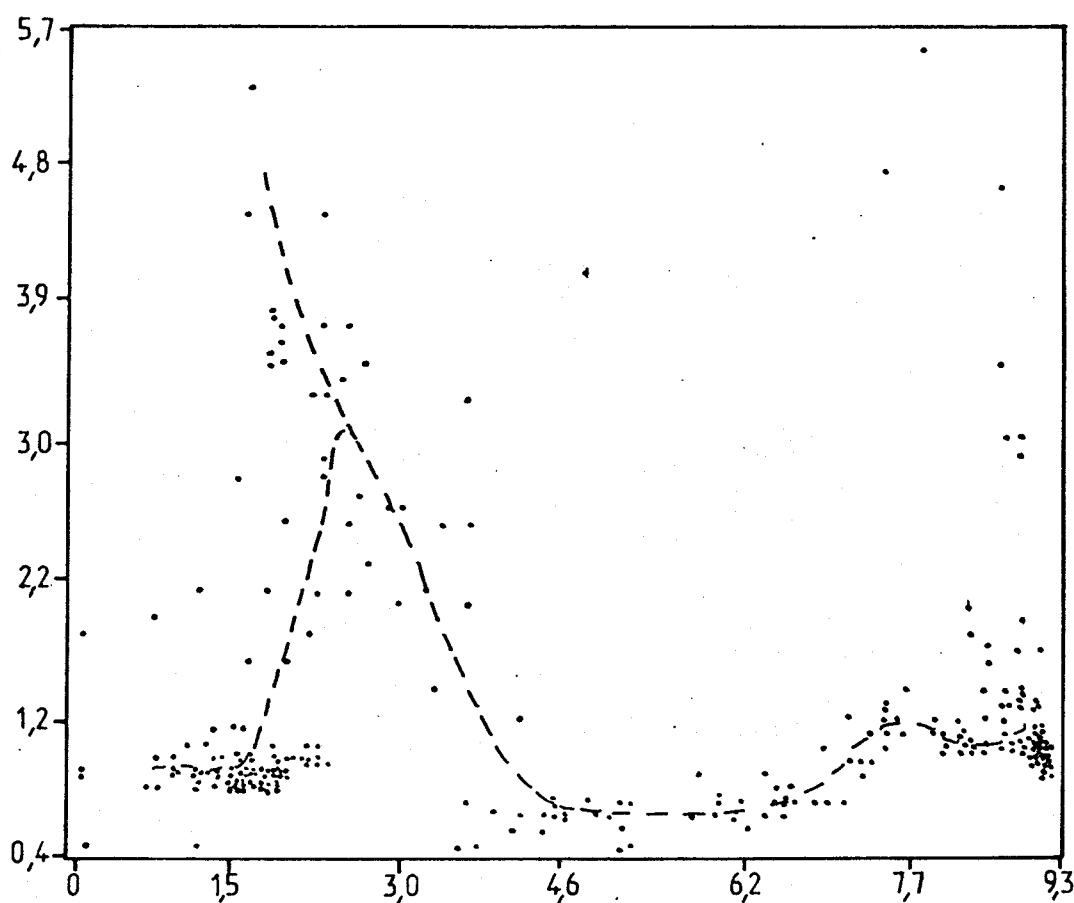


Fig. 6.15 Diagramme binaire moyenne granulométrique - coefficient d'aplatissement (moy. gran. en abscisses)



Brazos River bar mais il est complètement différent de celui du lac Ontario. Il est étonnant dans ce sens, que la relation se fasse avec un environnement de rivière plutôt qu'avec un environnement lacustre, comme pour le lac Ontario.

La direction générale marquée par les deux paramètres est une sinusoïde grossière comprenant deux minima à environ 1,5 ϕ et 6,2 ϕ et un maximum à environ 4 ϕ . Le meilleur indice d'asymétrie ($SK_I = 0,0$) distingue des sédiments sableux ayant une moyenne granulométrique à environ 1,5 ϕ ; il est à noter que ces sédiments possèdent également un indice d'aplatissement (*Kurtosis*) voisin de 1,0 ce qui nous fait dire qu'ils représentent une population normale, c'est à dire une des deux populations que nous mettions en évidence dans nombre de paragraphes précédents.

Le groupe de points représentant cette population primaire est légèrement décalé vers un pôle plus grossier, si on le compare à son équivalent mis en évidence dans l'étude de la *Brazos River bar*. La sinusoïde développée entre les graviers et les sables fins dans la présente étude ne correspond pas au prolongement de celle mise en relief par Folk et Ward (1957) pour la *Brazos River bar*. Ainsi, un fait important à noter est que la présente courbe ne montre pas un environnement différent mais plutôt des conditions énergétiques différentes.

La relation entre la moyenne granulométrique et l'indice d'aplatissement est encore plus complexe que la précédente. Son graphe représenté en figure 6.15 semble se rapprocher beaucoup plus de celui décrit par Thomas, Kemp et Lewis (1972) pour le lac Ontario, que de celui discuté par Folk et Ward (1957) pour la *Brazos River bar*.

De l'environnement lacustre du lac Ontario, la présente courbe possède sensiblement la même silhouette basale mais est affectée par la superposition d'un bruit sinusoïdal correspondant à la courbe enregistrée pour la *Brazos River bar*.

Une fois de plus, deux populations normales sont distinctes dans la fraction sableuse (autour de 1,5 ϕ) et dans la fraction argileuse (autour de 8,7 ϕ) ; elles sont mésokurtiques⁽¹⁾ (K_G compris entre 0,85 et 1,15). Cette normalité est plus distincte en ce qui concerne le pôle sableux (où les erreurs de laboratoire sont moins importantes) que sur la population argileuse à 8,7 ϕ . Comme l'avaient décrit Folk et Ward (1957), une faible addition de sédiments plus fins à cette population sableuse, conduit à un type de sédiment très leptokurtique. Il en est de même pour l'autre population primaire située dans la zone argileuse : un apport, même infime, de sables ou de silts, conduit à un abaissement des valeurs K_G à 0,50 - 0,70 donnant ainsi des sédiments platikurtiques à très platikurtiques.

6.2.1.8. Relations avec la médiane

Les relations graphiques avec la médiane ne furent pas étudiées systématiquement comme cela fut fait pour les autres paramètres. Médiane et moyenne granulométrique ayant approximativement la même signification (Fig. 6.12), nous n'avons pas jugé nécessaire de montrer des relations que la moyenne granulométrique donnait déjà.

(1) A titre indicatif, les différentes classes définies pour l'indice d'aplatissement sont les suivantes:

	$K_G < 0,67$	très platikurtique
0,67	$< K_G < 0,85$	platikurtique
0,85	$< K_G < 1,15$	mésokurtique
1,15	$< K_G < 1,50$	leptokurtique
1,50	$< K_G < 3,00$	très leptokurtique
3,00	$< K_G$	extrêmement leptokurtique

6.2.1.9 Relations avec l'écart-type

La relation entre l'écart-type et l'indice d'asymétrie (SK_I) représentée en figure 6.16 ne montre aucune relation directionnelle, comme ce fut le cas pour la *Brazos River bar* (Folk et Ward, 1957). Pourtant les limites des vecteurs sont les mêmes mais la distribution des échantillons, dans cet espace, est tout à fait différente. Le meilleur classement en ce qui concerne les lacs de Gippsland correspond à des sédiments sableux ayant un indice d'asymétrie égal approximativement à 0,0. Cela coïncide avec la population primaire, normale, qui a été discutée préalablement.

La plupart des échantillons ont un indice d'asymétrie positif et ne montrent pas de relations sauf pour un groupe d'entre eux ayant des indices de classement de l'ordre de 2,2 ϕ . Ecart-type et Kurtosis ne présentent pas de direction générale nette (Fig. 6.17). Mis à part les sédiments ayant un indice de classement autour de 1,4 ϕ , la plupart ont un indice d'aplatissement compris entre 0,5 et 1,5. L'indice de classement n'a ainsi aucun effet sur celui-ci.

6.2.1.10 Relations entre l'indice d'asymétrie et l'indice d'aplatissement

La relation rencontrée entre l'indice d'asymétrie (SK_I) et l'indice d'aplatissement (K_G), représentée en figure 6.18, contient à la fois, les caractères de la courbe des mêmes paramètres pour le lac Ontario (Thomas, Kemp et Lewis, 1972) et ceux observés pour la *Brazos River bar* (Folk et Ward, 1957). Mais, comme cela a été décrit précédemment, la plupart des échantillons des lacs de Gippsland ont des courbes fréquentielles presque symétriques ($SK_I = 0,0$). Pour les sédiments rencontrés dans la *Brazos River bar*, les coefficients d'asymétrie sont négatifs et, par conséquent, la branche située entre 0,0 et 0,6 ϕ se place sous celle trouvée pour les lacs de Gippsland.

En général, il est possible de définir deux groupes majeurs par leur SK_I et K_G :

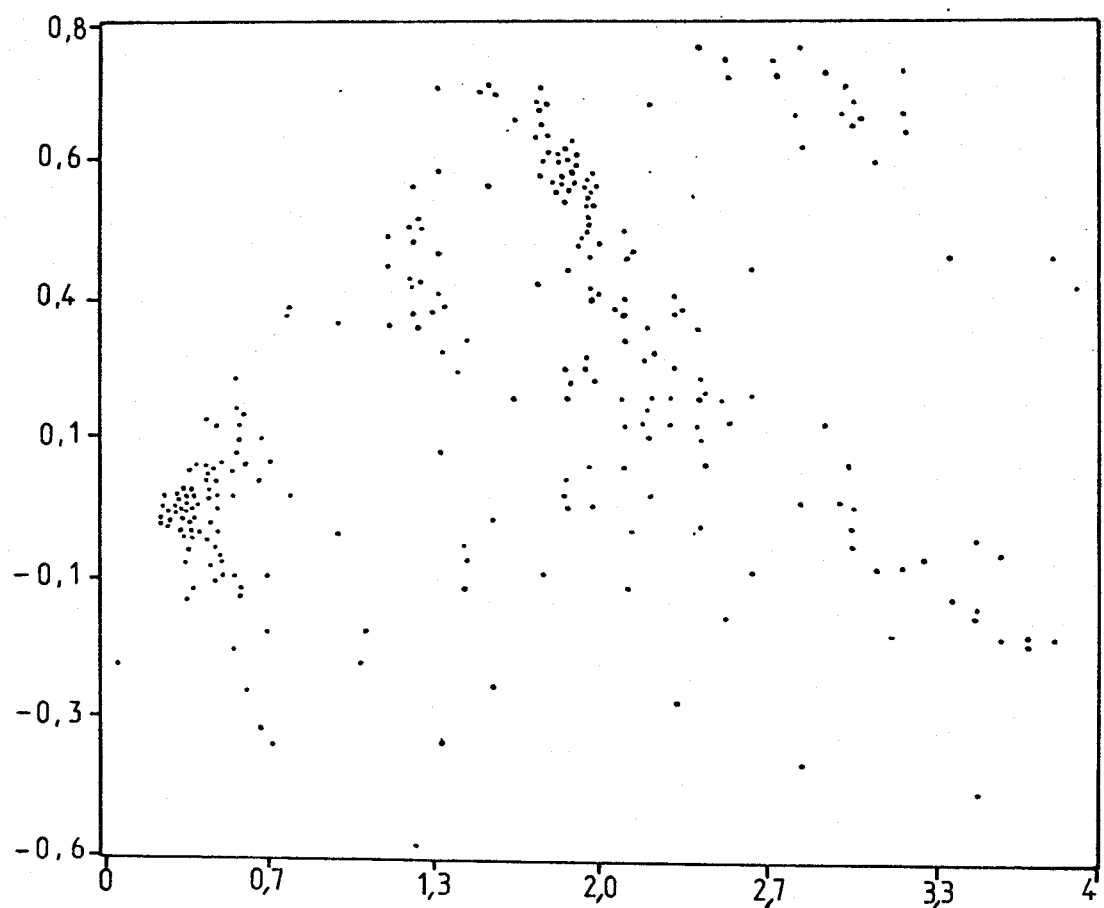


Fig. 6.16 Diagramme binaire écart-type - coefficient d'asymétrie (écart-type en abscisses)

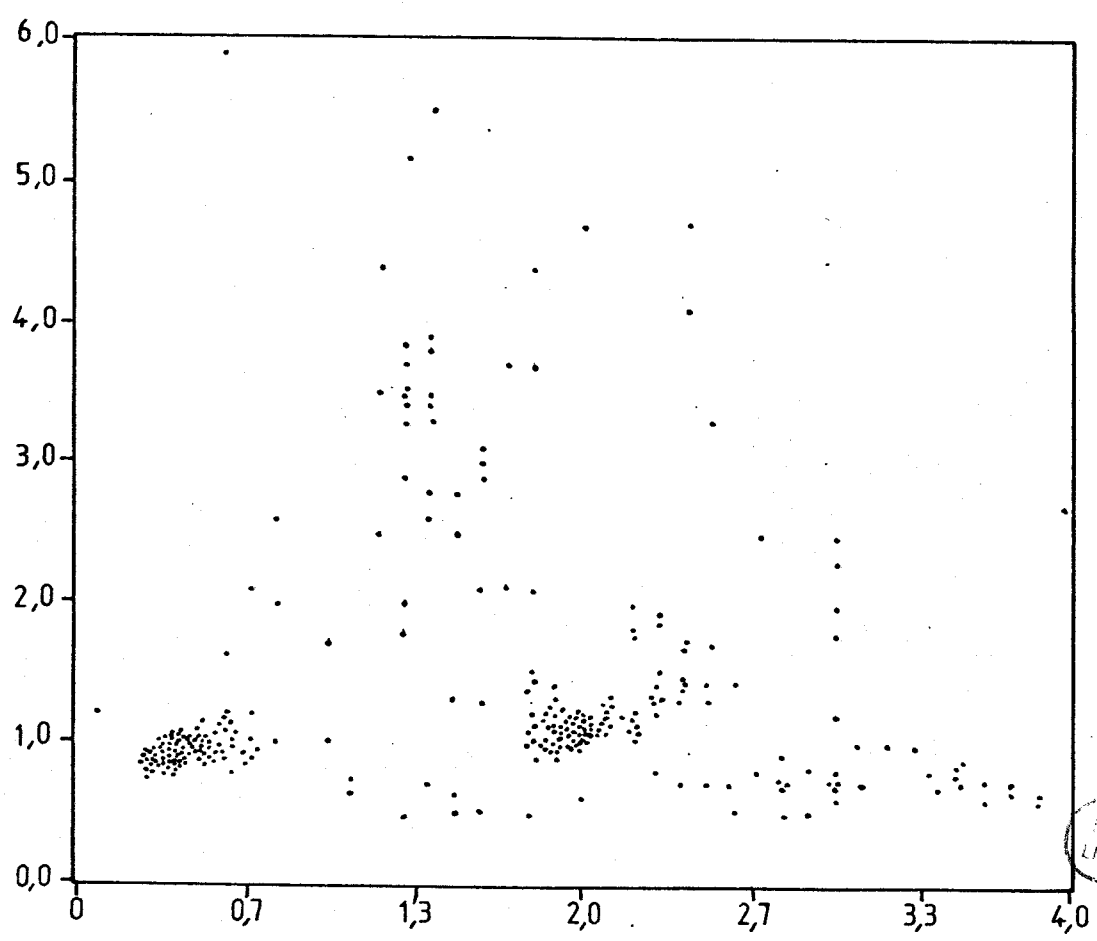


Fig. 6.17 Diagramme binaire écart-type - coefficient d'aplatissement (écart-type en abscisses)



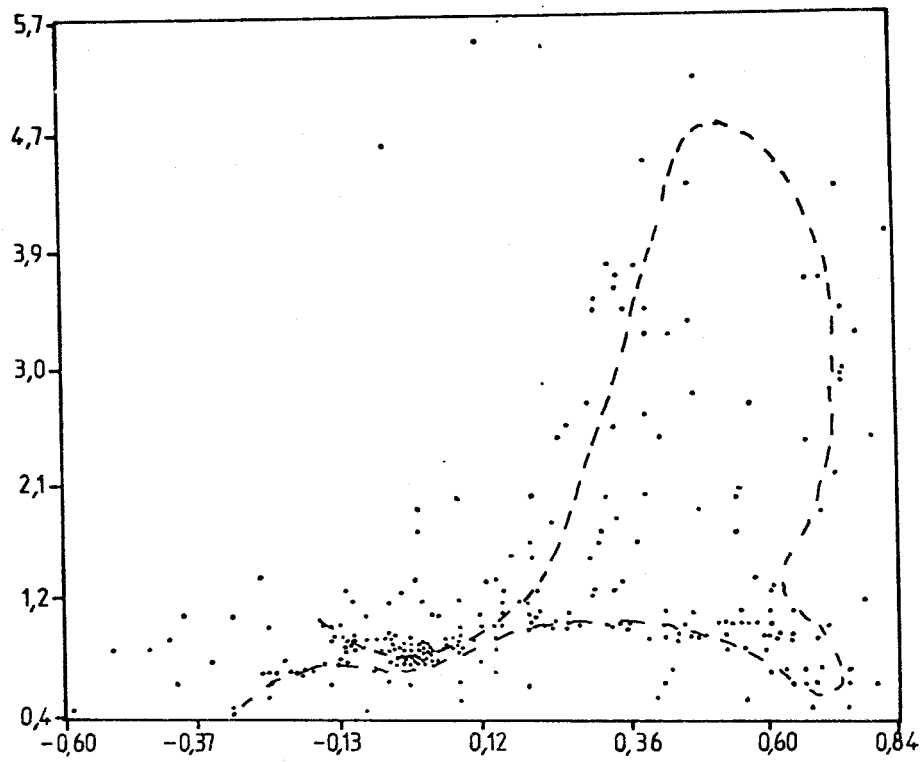


Fig. 6.18 Diagramme binaire coefficient d'asymétrie - coefficient d'aplatissement (coef. d'asy. en abscisses)



- le premier est formé de courbes fréquentielles sensiblement normales, légèrement platikurtiques : il correspond aux sables rencontrés dans la zone bordière du lac (*inshore zone*).

- le second, nettement leptokurtique et positivement asymétrique, correspond aux sédiments silteux et argileux trouvés dans les bassins des lacs.

6.2.2. Relations ternaires

La représentation binaire offre le désavantage d'utiliser un grand nombre de graphes. Il est donc difficile de bien concevoir le sens et l'importance des relations entre certain ou l'ensemble des paramètres. Nous avons donc essayé de les grouper et de les analyser.

6.2.2.1. Diagrammes sable + gravier - silt - argile

6.2.2.1.1 Ensemble des lacs

Etant donné le nombre important d'échantillons, nous avons été contraints d'utiliser un diagramme fréquentiel triangulaire (Fig. 6.19).

Deux zones déterminent les deux populations primaires qui ont été rencontrées jusqu'à présent dans la majeure partie des représentations graphiques. La première est située dans la fraction sableuse et contient sensiblement 15 à 20 % des échantillons récoltés. La seconde, ne détenant que 0,0 à 2,0 pour cent de sable, avec des proportions d'argile variant de 55 à 58 pour cent, contient environ 25 à 30 pour cent des échantillons.

Ces deux zones, très étroites, renferment donc sensiblement 50 % des échantillons.

Entre ces deux pôles, le mélange des deux populations détermine des zones de faible concentration de points. Ces échantillons sont ainsi caractérisés par des distributions bimodales.

Dans le lac Ontario, Thomas, Kemp et Lewis (1972) trouvèrent une direction générale identique à celle des lacs de Gippsland mais avec une courbe déportée vers le pôle argileux (sédiments

ayant près de 85 % d'argile au lieu de 58 % maximum). Il semble que cette troncation de direction générale pour les lacs de Gippsland soit dûe à l'erreur enregistrée avec l'hydrophotomètre, lors de l'analyse de la fraction boueuse.

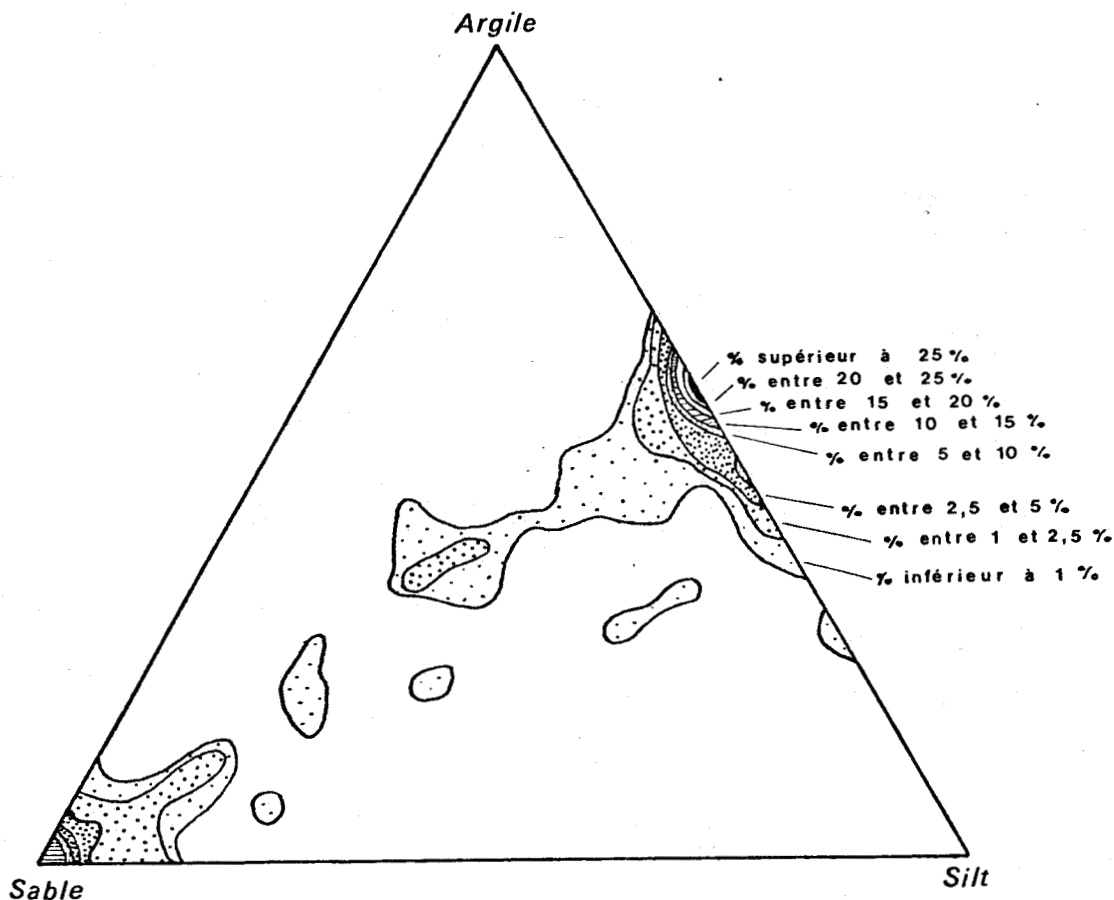


Fig. 6.19 Diagramme fréquentiel ternaire Sable-Silt-Argile pour l'ensemble des lacs

6.2.2.1.2 Lac Wellington

Comparé aux autres lacs du complexe, le lac Wellington est caractérisé par une distribution étendue des échantillons entre les pôles sableux et argilo-silteux ; ceci est effectué aux dépends de la fraction sableuse quasiment absente à l'état pur. Ce diagramme

ternaire (Fig. 6.20) montre également un décalage de la population primaire argilo-silteuse vers le pôle silteux. Ces deux phénomènes semblent dûs à l'absence de zones bathymétriques marquées comme c'est le cas pour les lacs Victoria, Tyers et King.

Le profondeur moyenne, comprise entre 3 et 4,5 mètres, donne des conditions dynamiques intermédiaires : celle-ci est sans doute inférieure à la profondeur d'action des vagues, ce qui permet au sable d'être mélangé aux boues.

La présence d'échantillons provenant des barres, face aux rivières Latrobe et Avon peut également expliquer le mélange des sédiments : ces rivières apportent des matériaux partiellement mélangés lors de leur déposition ; ceci est par exemple visible pour les échantillons 7670/178 et 7670/179.

6.2.2.1.3 Lac Victoria

Le diagramme ternaire correspondant au lac Victoria (Fig. 6.21) présente la meilleure représentation des deux populations primaires. Les sédiments définissent ainsi très étroitement les deux zones bathymétriques du lac :

- la première, caractérisée par une hauteur d'eau de 2 à 3 mètres et par des sédiments sableux, est située sur le pourtour du lac ;
- la seconde, caractérisée par une hauteur d'eau plus importante et des sédiments silto-argileux, occupe la partie centrale du lac.

Très peu d'échantillons sont formés par le mélange des deux populations primaires ; ils sont représentatifs de conditions dynamiques intermédiaires. Nous pouvons ainsi comparer le lac Victoria au lac Wellington. Pour ce dernier, des profondeurs d'eau intermédiaires conduisent à des échantillons à populations mixtes. Par contre, pour le lac Victoria, aux deux zones bathymétriques distinctes, correspondent deux populations différentes séparées très nettement les unes des autres.

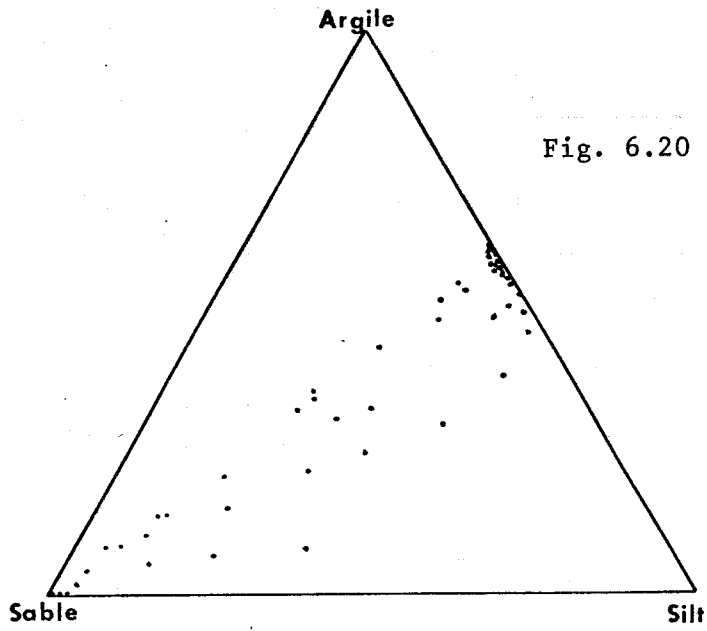


Fig. 6.20 Diagramme ternaire Sable-Silt-Argile du lac Wellington

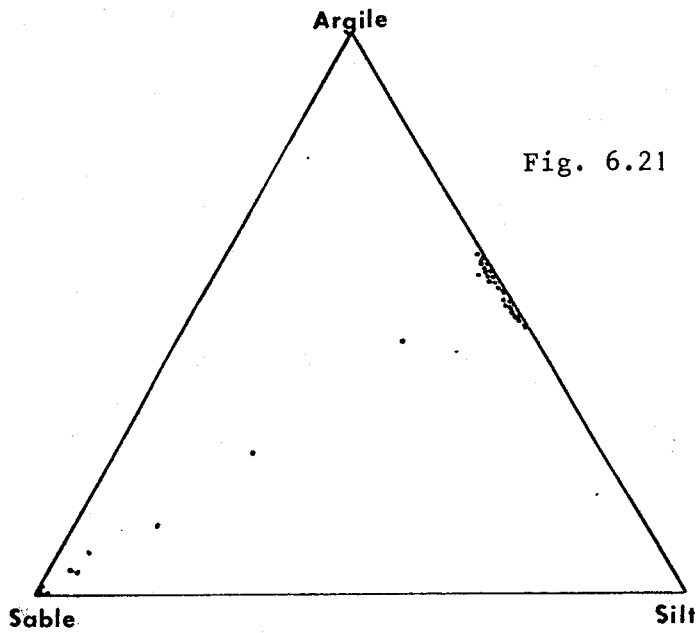


Fig. 6.21 Diagramme ternaire Sable-Silt-Argile du lac Victoria

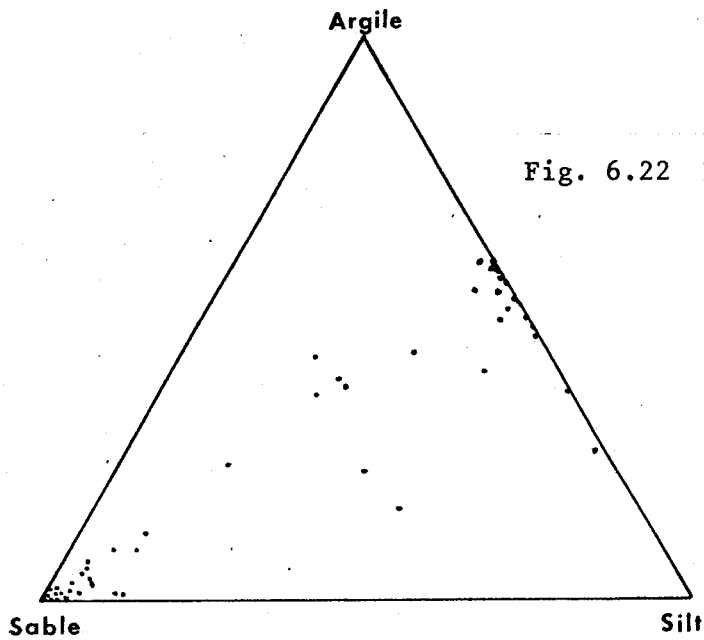


Fig. 6.22 Diagramme ternaire Sable-Silt-Argile du lac King



6.2.2.1.4 Lac King

Le diagramme sable-silt-argile des sédiments du lac King est représenté en figure 6.22. Hormis les valeurs des sédiments collectés entre Lake^s Entrance et Tambo Bluff (lac King), le diagramme possède beaucoup de similitude avec celui du lac Victoria.

En fait, la majeure partie du lac est gérée par les mêmes conditions dynamiques que celles du lac Victoria. La zone comprise entre Lake^s Entrance et Tambo Bluff est affectée par des conditions énergétiques importantes, relatives au flux et reflux des marées. On peut ainsi trouver à l'entrée artificielle (où toutes les eaux s'engouffrent dans un étroit chenal), des sables grossiers tandis qu'au centre du lac King, les sédiments sont argilo-silteux. Une très nette progression de la composition et de la taille des sédiments, correspondant à la zone située entre l'entrée artificielle et le lac proprement dit, peut ainsi être observée sur le graphe.

6.2.2.1.5 Lac Tyers

Il est difficile de discerner une réelle relation directionnelle dans le diagramme du lac Tyers (Fig. 6.23) car le nombre d'échantillons collectés fut réduit. Néanmoins, il est possible de distinguer deux zones différentes correspondant aux populations primaires rencontrées pour les autres lacs.

La population argilo-silteuse est représentative de l'ensemble du lac alors que celle sableuse représente les bancs sableux construits au devant de la communication temporaire du lac avec la mer. On rappellera que ces bancs sableux sont des restes de la barrière intérieure. Cet ensemble est actuellement en équilibre avec le niveau marin existant (en fait le niveau des fortes marées) ; son évolution qui peut être, soit progradatrice avec édification d'une barrière, soit régradatrice, dépend donc de la perte de cet équilibre.

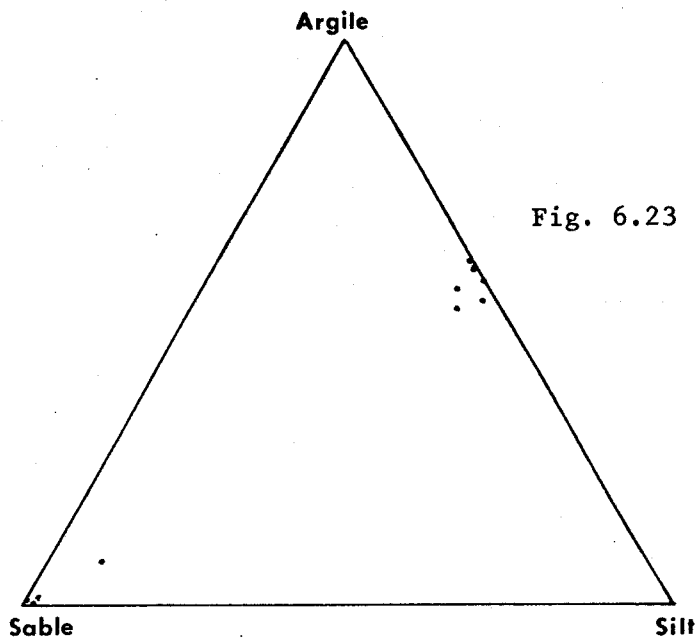


Fig. 6.23 Diagramme ternaire Sable-Silt-Argile du lac Tyers

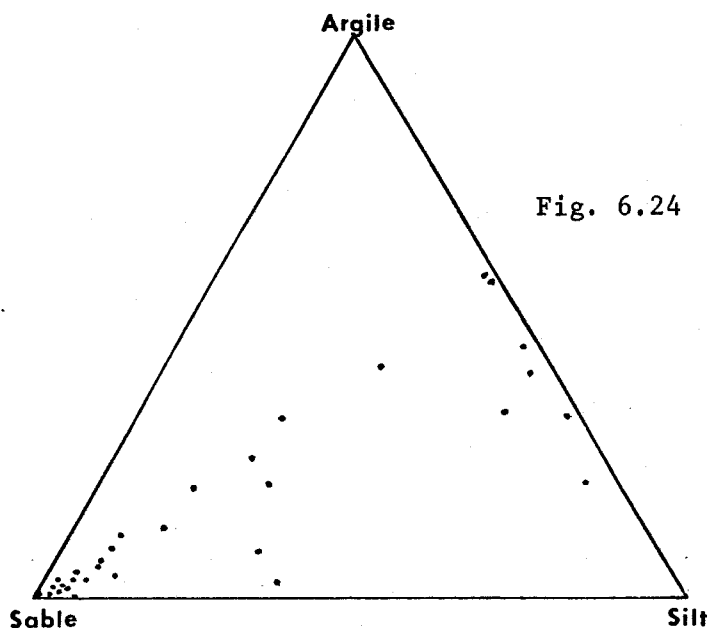


Fig. 6.24 Diagramme ternaire Sable-Silt-Argile du lac Reeve

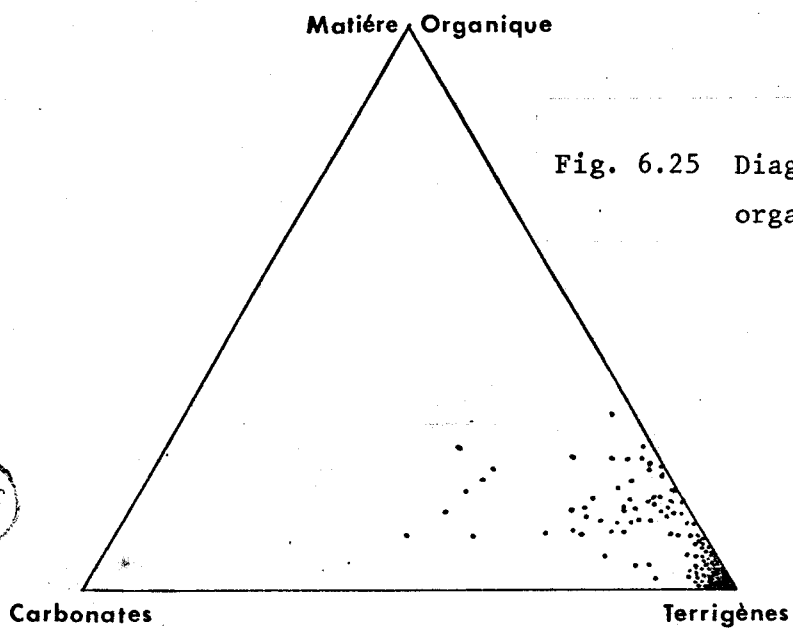


Fig. 6.25 Diagramme ternaire Terrigènes-matière organique-Carbonates pour tous les lacs



6.2.2.1.6 Lac Reeve

Les échantillons collectés dans le lac Reeve ne montrent pas la même relation directionnelle que pour les autres lacs. La sédimentation chimique qui intervient sous de faibles hauteurs d'eau lui confère une place à part dans les lacs de Gippsland. La figure 6.24 nous indique que la plupart des échantillons possèdent un pourcentage en silt plus important que pour les autres lacs.

Par conséquent, la direction générale suivie est décalée vers le pôle silteux. Ceci n'est pas très surprenant lorsque l'on pense que ces sédiments contiennent une proportion importante de carbonates dont la taille des particules oscille entre 4 et 8 ϕ (Wolf, Chilingar et Beales, 1967).

6.2.2.2 Diagramme matière organique - carbonates - terrigènes

Matière organique, terrigènes et fraction carbonatée supérieure à 4 ϕ (62 microns) sont les composants majeurs des sédiments. Suivant la technique de laboratoire utilisée, on peut considérer que leurs pourcentages ont une somme constante. Dans un tel cas, il est donc possible de porter ces 3 paramètres sur un graphe triangulaire (Fig. 6.25).

Environ 95 % des échantillons se placent autour d'une ligne parabolique (ou plutôt à l'intérieur d'un fuseau parabolique) dont le pôle terrigène en est le départ. La plupart des points sont d'ailleurs concentrés dans le triangle inscrit entre le pôle terrigène et la limite 90 pour cent de terrigènes.

Lorsque la proportion de sédiments clastiques diminue, seul le pourcentage de matière organique augmente : les carbonates restant approximativement égaux à 0,0 pour cent. Lorsque le pourcentage de terrigènes a atteint les 90 pour cent du sédiment global, celui de matière organique se stabilise alors que celui des carbonates augmente.

Cette constatation conduit à deux observations :

- d'une part, l'absence complète de relation entre la matière organique et les carbonates des coquillages,
- d'autre part, nous pouvons émettre l'hypothèse que la vie propice des Lamellibranches et Gastéropodes, constituant la fraction carbonatée supérieure à 4ϕ (62 microns), ne semble plus possible au delà de 25 pour cent de matière organique. Ceci est difficilement vérifiable, cependant nous pouvons mettre cette suggestion en parallèle avec l'idée que les mollusques dégraderaient une partie de la matière organique lorsque celle-ci atteint un seuil critique.

6.2.3. Analyse de l'ensemble des relations - corrélation multiple

Contrairement à ce travail, c'est par cette forme d'étude que les diverses relations entre paramètres doivent être étudiées. En fait, s'il n'en a pas été ainsi, cela est dû au programme (CORR) analysant ces relations, créé seulement dans la phase finale du projet.

Comme il a été précisé dans le paragraphe 4.3, le programme CORR calcule pour des matrices $n \times m$ (où n peut varier de 1 à 300 et m de 1 à 15), les valeurs des moyennes arithmétiques et les écarts-types de chaque vecteur colonne m_j ainsi que les matrices suivantes :

- des coefficients de corrélation linéaire ;
- des coefficients directeurs des droites de régression ;
- des constantes de régression de ces droites ;
- des coefficients statistiques du plus proche voisin.

Dans ce paragraphe, nous ne nous servons que des matrices des coefficients de corrélation et des coefficients statistiques du plus proche voisin.

Dans un premier temps, on examinera les valeurs des coefficients de corrélation linéaire afin de reconnaître les diverses relations linéaires entre les paramètres (tableau 6.3). En second lieu, les coefficients statistiques du plus proche voisin (tableau 6.4) seront examinés afin de connaître les relations entre groupes de points (voir théorie paragraphe 4.3).

Les conclusions de ces deux points conduisent normalement à l'étude plus précise des relations dégagées entre les divers paramètres.

Si l'on utilise un seuil minimum (les coefficients de corrélation supérieurs à ce seuil seront considérés comme significatifs) de 0,65 pour le coefficient de corrélation r , la majeure partie des paramètres externes sont liés linéairement les uns aux autres (tableau 6.3). Seuls, le pourcentage des carbonates supérieurs à 4ϕ et la hauteur d'eau, font exception à ce critère.

En ce qui concerne les paramètres suivants : % de matière organique, de sable, de silt, d'argile ainsi que la moyenne granulométrique, les corrélations oscillent entre une valeur minimale de 0,68 (entre les pourcentages de matière organique et d'argile) et des valeurs maximales de 0,97 et 0,98 (entre la moyenne granulométrique et le % d'argile et la moyenne granulométrique et la médiane).

Comparativement à l'étude faite sur le lac Ontario (Thomas, Kemp et Lewis, 1972), les coefficients de corrélation de la présente étude sont plus faibles sur la matière organique, par contre ceux correspondant à la fraction silteuse sont plus importants. Toutefois, il en résulte dans l'ensemble une homogénéité dans les résultats, consécutive des environnements similaires.

Comme il a été dit précédemment (paragraphe 6.2.1.1), la faible corrélation entre la profondeur et les autres paramètres et particulièrement avec les paramètres externes, tient au fait que les lacs de Gippsland forment un ensemble lacustre composé de différentes unités.

Ainsi, contrairement au schéma type d'un lac, composé de deux paliers de profondeur (Reineck et Singh, 1973), le complexe des lacs de Gippsland se compose de trois paliers (voir Fig. 6.1.a).

Les sédiments fins, se trouvant théoriquement au niveau du second palier dans le schéma type, se rencontrent ici sur deux paliers différents (deuxième palier vers 4,4 mètres pour le lac Wellington, et troisième palier vers 7 mètres pour les lacs Victoria ou King).

Il est donc normal, dans un tel cas, que le coefficient de corrélation perde sa signification.

Il faut signaler qu'une étude lac par lac des caractéristiques du complexe, serait plus appropriée mais nécessiterait un travail beaucoup plus important.

Les relations linéaires entre paramètres statistiques eux-mêmes ainsi qu'avec les paramètres externes, sont quasiment inexistantes (tableau 6.3) : aucun coefficient de relation ne dépasse le seuil à 0,65 ; bien au contraire, la majorité d'entre eux montre des coefficients de corrélation oscillant entre - 0,30 et + 0,30, ce qui marque une absence totale de linéarité dans les relations.

A la lumière des graphes binaires entre certains de ces paramètres, on comprend que les relations cycliques enregistrées ne puissent donner des coefficients de corrélation linéaire élevés.

La matrice des coefficients statistiques du plus proche voisin, représentée sur le tableau 6.4, définit un tout autre genre de relations entre variables. Davis (1973) définit les valeurs de ce coefficient R_s comme suit :

- $R_s = 0$ dans le cas où tous les points sont confondus ;
- $R_s = 1,0$ pour une distribution au hasard des points dans l'espace ;
- $R_s = 2,0$ pour une distribution avec un écartement maximum entre les points.

Peu de paramètres montrent une relation où les valeurs sont groupées. Les carbonates provenant des coquillages offrent toutefois des coefficients R_s faibles, inférieurs à 1,00 indiquant ainsi ce genre de relation.

Par exemple, l'association des carbonates des coquillages avec la fraction sableuse ($R_s = 0,85$) correspond à deux groupes assez bien définis : pour des valeurs faibles ou nulles en sable ainsi que pour des valeurs maximum (sables purs), une proportion importante de coquillages est associée.

	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X10	X11	X12
X 1	1.00	.27	-.75	.74	.68	.72	.72	.37	-.14	.17	-.04	.35
X 2	.27	1.00	-.16	.12	.18	.18	.17	.09	.07	.11	.00	.17
X 3	-.75	-.16	1.00	-.93	-.94	-.96	-.96	-.61	.16	-.26	.09	-.34
X 4	.74	.12	-.93	1.00	.79	.88	.89	.54	-.20	.15	-.08	.26
X 5	.68	.18	-.94	.79	1.00	.97	.95	.61	-.20	.38	-.07	.36
X 6	.72	.18	-.96	.88	.97	1.00	.98	.62	-.27	.34	-.08	.33
X 7	.72	.17	-.96	.89	.95	.98	1.00	.61	-.27	.20	-.09	.29
X 8	.37	.09	-.61	.54	.61	.62	.61	1.00	.07	.30	-.00	.15
X 9	-.14	-.07	.16	-.20	-.20	-.27	-.27	.07	1.00	-.04	.05	-.07
X10	.17	.11	-.26	.15	.38	.34	.20	.30	-.04	1.00	.34	.28
X11	-.04	.00	.09	-.08	-.07	-.08	-.09	-.00	.05	.34	1.00	-.11
X12	.35	.17	-.34	.26	.36	.33	.29	.15	-.07	.28	-.11	1.00

Tableau 6.3 Matrice des coefficients de corrélation des paramètres texturaux

	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	X10	X11	X12
X 1	1.00	.97	1.14	1.14	1.36	1.25	1.15	1.43	1.01	1.97	1.20	1.55
X 2	.97	1.00	.85	.77	.89	1.06	1.04	1.29	.62	1.85	1.11	1.48
X 3	1.14	.85	1.00	.89	1.06	1.56	1.58	2.15	.73	3.42	1.95	2.06
X 4	1.14	.77	.89	1.00	.92	1.23	1.24	1.68	.68	2.60	1.52	1.67
X 5	1.36	.89	1.06	.92	1.00	1.22	1.26	1.81	.84	2.71	1.65	2.01
X 6	1.25	1.06	1.56	1.23	1.22	1.00	.67	1.22	1.69	1.45	1.13	1.70
X 7	1.15	1.04	1.58	1.24	1.26	.67	1.00	1.22	1.75	1.35	.98	1.48
X 8	1.43	1.29	2.15	1.68	1.81	1.22	1.22	1.00	2.46	1.27	.98	1.74
X 9	1.01	.62	.73	.68	.84	1.69	1.75	2.46	1.00	3.90	2.12	2.18
X10	1.97	1.85	3.42	2.60	2.71	1.45	1.35	1.27	3.90	1.00	1.19	2.05
X11	1.20	1.11	1.95	1.52	1.65	1.13	.98	.98	2.12	1.19	1.00	1.49
X12	1.55	1.48	2.06	1.67	2.01	1.70	1.48	1.74	2.18	2.05	1.49	1.00

Tableau 6.4 Matrice des coefficients statistiques du plus proche voisin des paramètres texturaux

Légende :

- X 1 = % de matière organique
- X 2 = % de carbonates
- X 3 = % de sable
- X 4 = % de silt
- X 5 = % d'argile
- X 6 = moyenne granulométrique
- X 7 = médiane
- X 8 = écart-type
- X 9 = coefficient de variation
- X10 = coefficient d'asymétrie
- X11 = coefficient d'aplatissement
- X12 = profondeur



En conclusion, on peut donc dire que quatre types de relations ont été définies dans ce paragraphe et dans le paragraphe 6.2.1.

- a) Relations linéaires qui affectent les paramètres externes (sauf les carbonates entre eux) ;
- b) Relations cycliques ayant lieu principalement sur les paramètres statistiques entre eux ;
- c) Relations "en groupes" qui sont visibles sur les carbonates supérieurs à 4 ϕ ;
- d) Absence de relations entre les paramètres statistiques et externes.

6.3 Courbes granulométriques cumulatives des différents environnements

L'interprétation d'une partie des courbes cumulatives a été donnée dans le chapitre III afin d'étayer les explications concernant les sites de sédimentation. Nous ne reparlerons donc pas de ces environnements en particulier, mais nous nous attacherons à les comparer, chose qui n'a pu être faite auparavant.

Les courbes granulométriques cumulatives des sédiments provenant de la barrière extérieure mettent très nettement en évidence les trois environnements échantillonnés : plage, prédune et dune. Ces trois environnements représentés en figure 6.26 montrent un gradient d'accroissement de la taille des particules sableuses lorsque l'on se déplace de la plage au complexe dunier. Ainsi, les sédiments provenant de la plage sont comparativement distingués par un classement et une moyenne granulométrique plus faibles (de l'ordre de 0,8 à 1,2 ϕ).

Les sédiments de la prédune, c'est à dire de la dune actuellement en formation, se trouvant au pied du complexe dunier, sont par contre caractérisés par un meilleur classement dans l'ensemble de la courbe à l'exception de la base de celle-ci. Cette adjonction de sédiments grossiers pourrait être imputée aux tempêtes affectant partiellement cette zone. A l'encontre des autres, les sédiments duniens ont un meilleur classement ($\sigma = 0,3$ à $0,4$) et une granulométrie plus fine ($M_z = 1,7$ à $1,9 \phi$).

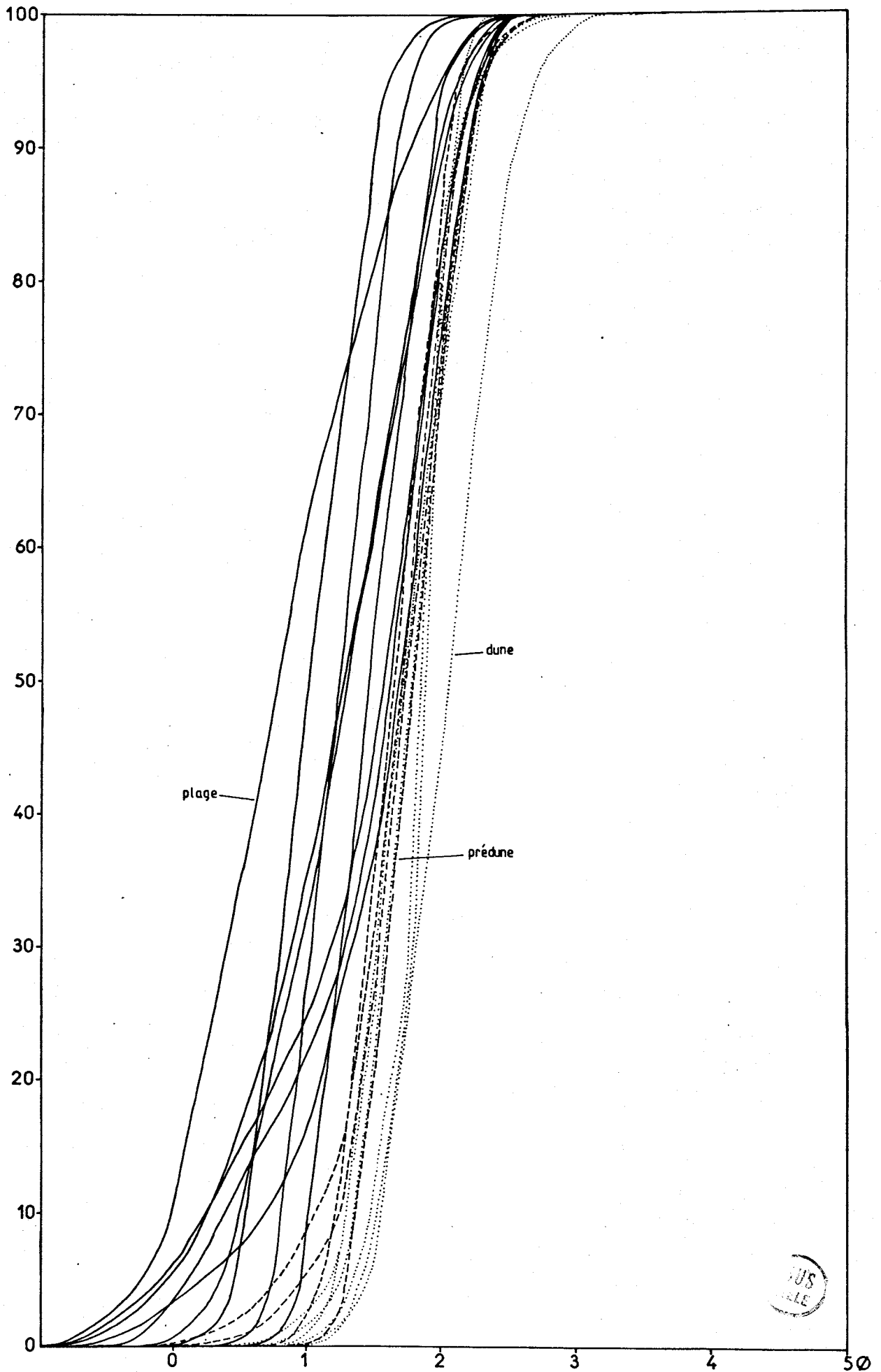


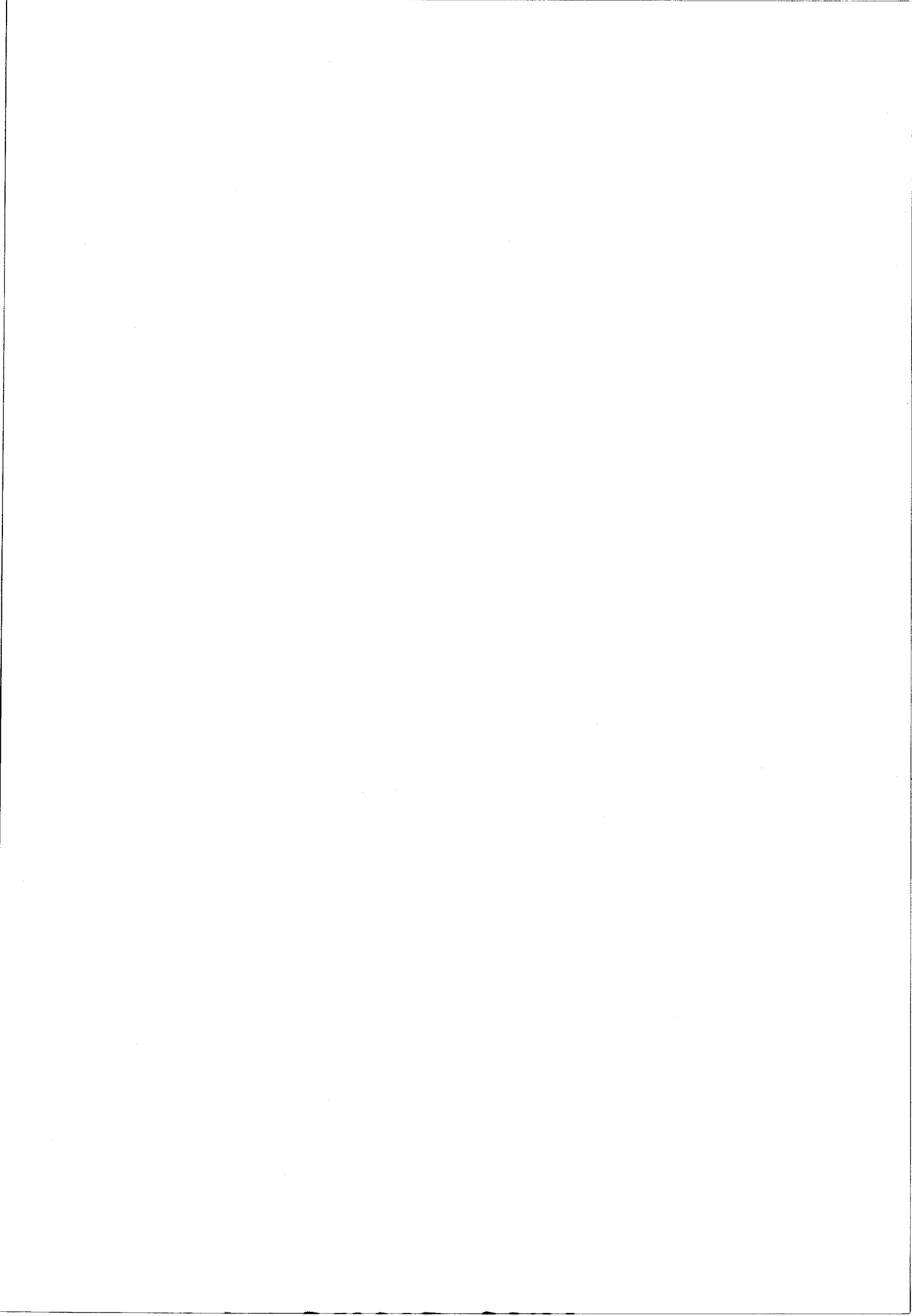
Fig. 6.26 Courbes granulométriques cumulatives d'échantillons de la barrière extérieure.

Si l'on prend l'exemple de l'échantillon 7670/138 provenant d'une dune ancienne, très éloignée de la plage actuelle, on s'aperçoit que la granulométrie est encore plus fine ($M_z = 2,0 \phi$) que les sédiments duniers usuels. Le vent, facteur de sélection, agit donc de telle façon que plus un sédiment sera éloigné de la plage, plus sa granulométrie sera fine et mieux il sera classé.

Le lac Reeve, se situant derrière le complexe dunier, soulève donc la question de l'origine de ses sables : ceux-ci proviennent-ils de la déflation de la barrière extérieure ou alors d'une sédimentation lacustre (actuelle ou ancienne). En fait, malgré un bon classement et une granulométrie légèrement plus fine ($M_z = 2,3$ à $2,4 \phi$), il semble que la provenance de ces sables à partir du complexe dunier soit minime. En outre, si l'on observe ces sables à la loupe binoculaire, les grains ne montrent que très rarement des textures comparables aux grains ronds mats des dunes.

La granulométrie, résultant des conditions dynamiques sur la plage, nous permet également de comparer ces sables avec ceux généralement rencontrés dans les sédiments lacustres. La fraction sableuse de ces derniers se révèle être beaucoup plus fine que celle des sables côtiers et, dans un grand nombre de cas, plus fine que les sables duniers. Ceci met encore en évidence le caractère hydrodynamique très faible des lacs.

Les échantillons du *Reeve Channel* présentent pourtant une similitude de granulométrie avec les sables de la plage océanique. On sait que cette zone, où se situent les échanges d'eau entre la mer et les lacs, est caractérisée par de forts flux et reflux des marées.



Minéralogie

CHAPITRE VII MINÉRALOGIE

7.1 Travaux antérieurs

De nombreuses études concernant la minéralogie de sédiments actuels ont été effectuées dans le passé. Elles se reportent à plusieurs environnements : océanique, maritime, d'estuaire, fluviatile ou lacustre. Les travaux réalisés sur ce dernier environnement ont consisté principalement à décrire et parfois estimer les constituants minéralogiques de la fraction argileuse. Une des seules études considérant également la fraction sableuse a été réalisée sur le lac Ontario par Thomas, Kemp et Lewis (1972). Ces auteurs signalent ainsi, dans la fraction sableuse, des proportions de quartz variant entre 70 et 95 %, de feldspaths (orthoclase, microcline, albite, labradorite) de 4 à 20 %.

Les minéraux argileux rencontrés dans les différents lacs étudiés sont très variés en types et en proportions : dans son étude de la minéralogie des sédiments du lac Erié, Curthbert (1944) signale que l'illite est le constituant essentiel ; seuls quelques minéraux interstratifiés viennent occasionnellement s'ajouter à ce minéral. Rolfe (1957) décrit des sédiments à dominante montmorillonitique en association à de l'illite, lors de son étude sur le lac Mead (frontière du Nevada et de l'Arizona).

En 1970, Brooks et Ferrel étudient d'une manière très détaillée les sédiments des lacs Pontarchain et Maurepas, Louisiane. Ils décrivent une répartition des espèces minéralogiques en fonction de la salinité des eaux : la kaolinite se dépose préférentiellement dans les zones éloignées de la connection des deux lacs avec le Golfe du Mexique, tandis que la montmorillonite se rencontre dans les zones à haute salinité. L'illite en faible quantité (constamment inférieure à 20 %) se répartit indifféremment. Court et Goldman (1972), dans une étude sur le lac Tahoe, Californie, remarquent que les interstratifiés chloritiques dominent largement dans les sédiments ; secondairement, vermiculite, mica et montmorillonite sont associés à ces minéraux. Enfin, dans le lac Ontario, Thomas,

Kemp et Lewis (1972) signalent que les sédiments composés essentiellement d'illite admettent aussi parfois des proportions relativement importantes de chlorite et de kaolinite.

Dans cette optique, on s'aperçoit que les sédiments lacustres n'offrent pas de minéraux types qui puissent être présents régulièrement. La composition minéralogique de la fraction fine dépend donc essentiellement de trois facteurs :

- du climat
- des apports
- de l'authigénèse minéralogique.

Dans la mesure des données en notre possession, la présente étude essaiera de remonter la filière : après avoir déterminé les minéraux présents, on tâchera de les corrélérer aux données climatiques afin de connaître la part des apports et de l'authigénèse minéralogique.

7.2. Constituants minéralogiques

Deux types différents de sédimentations s'appliquent au complexe lacustre de Gippsland ; les lacs Wellington, Victoria, King et Tyers, reliés à un ou plusieurs systèmes fluviaux, sont caractérisés par une sédimentation détritique, tandis que le lac Reeve, coupé de tout apport, est soumis à une sédimentation exclusivement chimique et biochimique. Cette distinction déterminera deux parties différentes dans le plan d'étude :

- dans un premier temps, la minéralogie des fractions argileuses
- dans un second temps, celle du lac Reeve sera discutée.

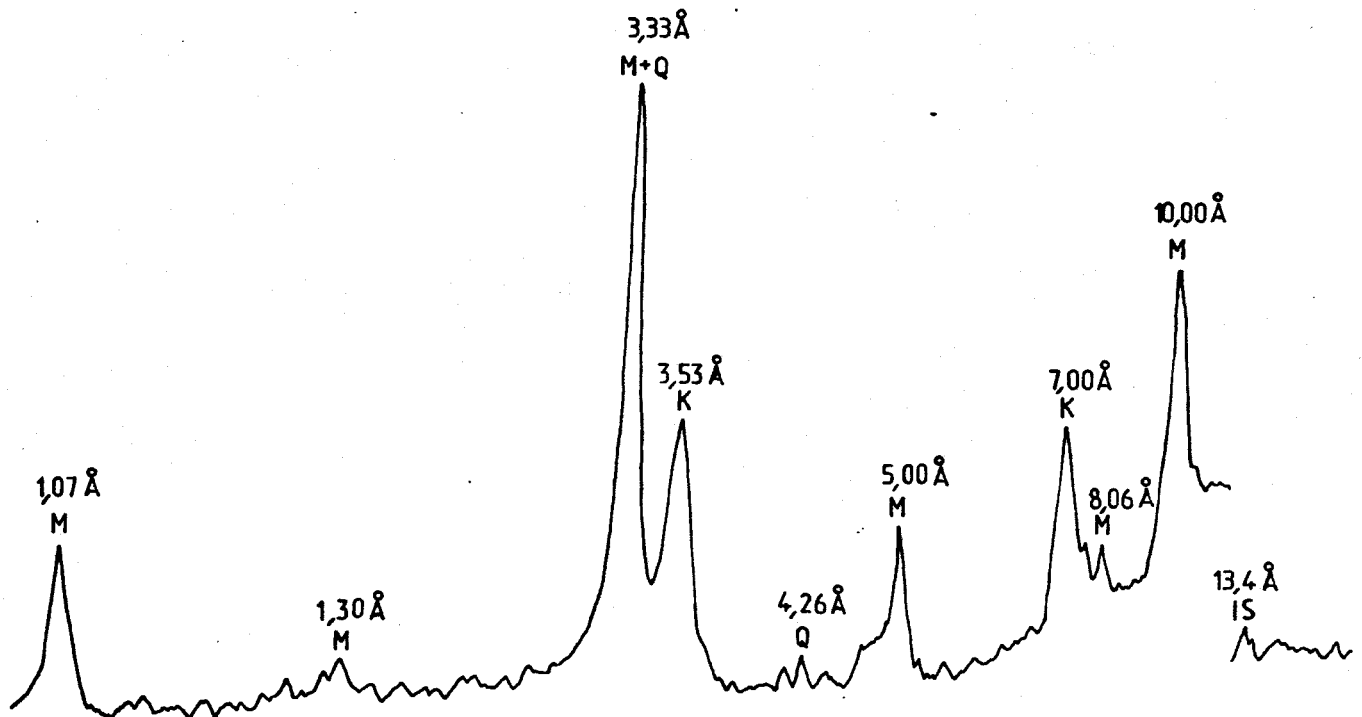
7.2.1 Fraction argileuse

7.2.1.1 Lacs Wellington, Victoria, King et Tyers

Les principaux minéraux présents dans la fraction argileuse consistent en illite et kaolinite. Ces deux minéraux, dans la majorité des cas, forment presque intégralement la fraction argileuse des échantillons. Les minéraux interstratifiés, lorsqu'ils sont présents, forment le troi-

sième constituant majeur, en concurrence avec le quartz. Mais ces deux types de minéraux ne sont toujours qu'en composants mineurs ou en trace par rapport aux deux minéraux principaux (tableau 7.1). Chlorite, feldspaths et calcite furent observés occasionnellement, mais n'interviennent que dans la constitution de certains échantillons isolés.

Le type de diffractogramme rencontré le plus fréquemment est présenté par la figure 7.1. Les deux minéraux principaux ainsi que le quartz peuvent y être reconnus.



IS = minéraux interstratifiés.

K = kaolinite

M = illite - muscovite

Fig. 7.1 Exemple de diffractogramme de la fraction argileuse

Il est possible que dans la fraction argileuse de la silice amorphe soit présente, mais la technique d'étude utilisée ne permet pas de discerner les substances non cristallisées. Cette silice amorphe, qui proviendrait des tests de diatomées, a de grandes chances de faire partie de cette fraction inférieure à 2 microns car les diatomées sont fréquentes dans les sédiments. Leur cassure et leur pulvérisation sont en outre très aisées.

Numéro d'échant.	Traitement au Glycol	Traitement Thermique	Désignation du Sédiment	Kaolinite	Illite	Quartz	Feldspath	Chlorite	Minéraux interstratifiés	Carbonates
1			CZ	A	D	M	Tr		M	
3			CZ	A	D	M			M	
8			CZ	D	D	Tr	Tr			
12			ZC	A	D	Tr				
37			CZ	M	M				M	A
40			ZS							D
47			CS		M					A
55	-	-	SZC	A	M					
59			CS		M					D
65			S						Tr	D
78	-	-	ZCS		M	Tr	Tr		M	D
86			CZ	A	A	Tr		M	Tr	
92	-	-	ZCS	A	A	Tr				
95			ZC	A	A	M		M		
102			CZ	A	D	Tr	Tr			
125			ZC	A	D	Tr				
141			ZC	A	A	M				
146			CZ	A	A	M				
151			ZCS	A	A	M			M	
156	-	-	ZC	A	A	M		M	M	
159	-	-	CZ	A	A	M		M		
160			ZC	A	D	M	Tr		M	
163			ZC	A	A					
179	-	-	ZCS	A	A	Tr				
181			ZC	A	A	Tr			M	
183	-	-	ZC	A	D	M		M	M	
191	-	-	ZC	A	D	M				
194	-	-	ZC	A	D	M			M	
197			S	M	D	Tr				
200	-	-	ZCS	A	D	Tr				
202			S	A	A				Tr	
222			ZC	A	D	Tr			M	
227			ZC	A	A				M	
230			ZC	A	A	Tr			M	
234			ZC	A	D	M			A	
243	-	-	ZCS	M	A	Tr				A
249	-	-	CS	A	A	Tr			M	
253	-	-	ZC	M	A	Tr			M	A

Tableau 7.1 Distribution des minéraux de la fraction argileuse

D = dominant

A = abondant

M = mineur

Tr = en trace.



Dans la suite de ce paragraphe, la procédure pour l'identification des minéraux sera discutée en insistant sur la détermination du mica dioctaédrique rencontré ainsi que sur la nature des minéraux interstratifiés.

Le chauffage à 550°C pendant une heure, a révélé la présence de kaolinite dans tous les échantillons par l'annulation des pics à 7 Å et 3,6 Å. Le type de kaolinite en présence (kaolinite 1 T) est caractérisé par ce pic à 3,6 Å absent pour la kaolinite 1 Md (Carroll, 1970).

La détermination du mica, caractérisé par un pic important à 10 Å, s'est avéré plus complexe. En premier lieu, le rapport d'Esquevin (Esquevin, 1969) a permis de connaître quelle "famille" de mica était en présence. La figure 7.2 représentant ce rapport pour les 31 échantillons analysés, indique, qu'aux erreurs près, seule la muscovite est présente. Les échantillons 7670/197, 7670/141 et 7670/102, mentionnant la possibilité de phengite, ne doivent être considérés qu'avec beaucoup de précautions : des erreurs de lecture des intensités des pics à 10 et 4,5 Å pouvant conduire à des erreurs dans l'établissement du rapport d'Esquevin.

Dans le groupe de la muscovite existe un remplacement isomorphique du pôle muscovite, avec des concentrations importantes en potassium, jusqu'au pôle illite et hydromicas avec des proportions plus importantes en SiO_2 et H_2O (Carroll, 1970).

Sans analyses chimiques sur le mica dioctaédrique, il est difficile de déterminer exactement le degré d'altération de la muscovite en illite. Pour la plupart des échantillons, sauf pour l'échantillon 7670/234, le pic haut et aigu à 10 Å ainsi que la présence du pic à 4.49 Å absent pour l'illite, semblent affirmer que la muscovite n'est pas encore ou très peu altérée en illite. Il est possible également que l'illite soit présente dans les sédiments mais ses pics seraient dans ce cas cachés par ceux de la muscovite. L'estimation des deux minéraux est donc impossible par la méthode diffractométrique.

Dans la suite de l'exposé, le terme illite sera utilisé dans son sens large, c'est à dire en tant que groupe de la muscovite. Ceci facilitera

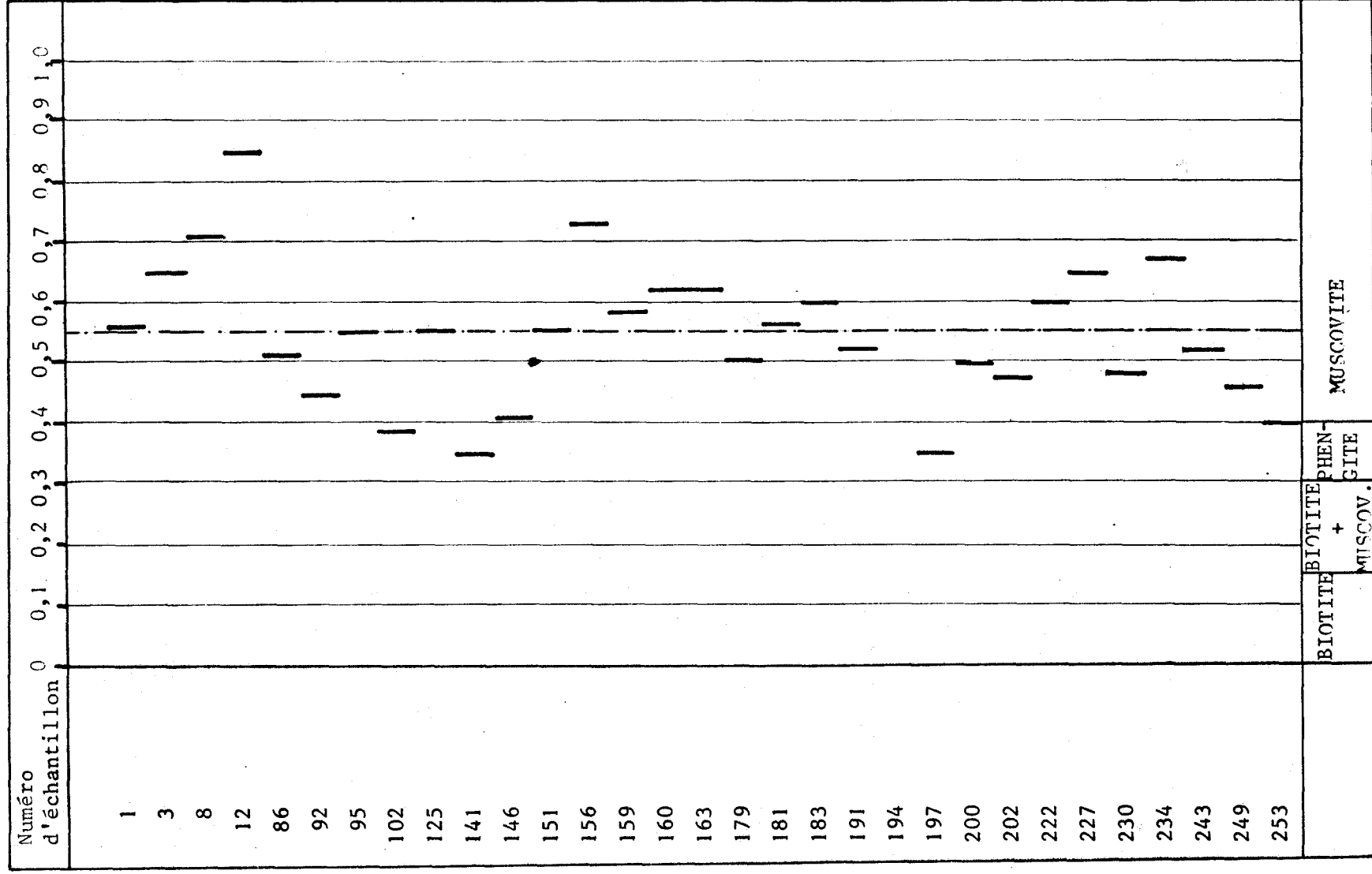


Figure 7.2. Indices d'Esquevin des 31 échantillons traités.



la compréhension car nombre d'auteurs l'utilisent ainsi : "... as a general term for the clay mineral constituent of argillaceous sediments belonging to the mica group". (Grim, Bray et Bradley, 1937). Lorsque la distinction sera nécessaire, les deux termes seront utilisés en spécifiant leur emploi.

Le quartz, présent dans presque tous les échantillons (tableau 7.1) est défini par son pic à 4.26 Å. Il n'entre toutefois qu'en très faible quantité dans la fraction argileuse.

Les minéraux interstratifiés sont caractérisés sur le diffractogramme par un large pic situé approximativement entre 17.65 Å et 12.62 Å. La glycolisation décale ce spectre de réflexions vers un autre pic centré autour de 16.7 Å. Zen (1959) suppose que cela peut représenter le mélange de couches non dilatables à 10 Å, telle que la muscovite, et de couches dilatables ayant un espacement basal de 14 Å, comme la montmorillonite. Ces minéraux interstratifiés seraient donc en mesure d'utiliser les faibles quantités de montmorillonite déchargées dans les lacs.

Les feldspaths potassiques et calcosodiques furent reconnus grâce à leurs pics à 3.18 Å et 3.24 Å. Bien souvent, la détermination s'est avérée difficile compte tenu de la faible hauteur de ces pics et de l'effet du pic à 3.33 Å de l'illite. La calcite caractérisée par son pic à 3.02 Å n'a été rencontrée que dans un seul échantillon provenant des principaux lacs. Quant à la chlorite, elle fut reconnue grâce à son pic à 14 Å, stable après glycolation.

Le tableau 7.1 montre en détail la minéralogie de chacun des échantillons examinés.

7.2.1.2 Lac Reeve

La sédimentation dans le lac Reeve fut trouvée complètement différente de la sédimentation opérant dans les autres lacs. Aucune argile minéralogique, sauf dans les zones Est et Ouest, ne fut rencontrée dans les échantillons. Une sédimentation biochimique (et peut-être partiellement chimique) forme ainsi des carbonates de calcium et de magnésium. L'analyse diffractométrique des échantillons a conduit aux espacements résumés dans le tableau 7.2.

DOLOMITE	CALCITE	NUMEROS D'ECHANTILLONS						
		37	40	47	59	65	78	243
1,792	1,876	-	1,847	-	1,857	1,856	1,850	-
1,812	1,909	-	1,890	-	1,894	1,892	1,894	-
2,021	2,092	-	2,069	2,074	2,078	2,077	2,067	2,087
2,199	2,285	-	2,257	2,263	2,265	2,265	2,257	2,276
2,421	2,493	-	2,459	2,469	2,475	2,473	2,463	2,482
2,891	3,025	2,996	2,986	3,013	3,013	3,005	3,005	3,017

Tableau 7.2 Comparaison des pics de diffraction (en Å) : Dolomite, calcite et échantillons du lac Reeve.

De ce tableau, nous pouvons observer que :

- toutes les positions de pics des échantillons sont situés entre les pics de la calcite et de la dolomite
- ces pics sont toujours plus près du pôle calcitique que du pôle dolomitique.

On doit donc s'attendre à trouver une variété de carbonates intermédiaires entre le pôle dolomitique $MgCO_3$ et le pôle calcitique $CaCO_3$. Goldsmith Grap et Joessou (1955) ont décrit une méthode permettant l'estimation des pourcentages de calcium et de magnésium en utilisant les distances inter-réticulaires obtenues par la diffraction X. Bien que cette relation fut donnée pour des hautes pressions et températures, Von der Borch (1965) l'a vérifiée par des analyses chimiques sur des sédiments quasiment identiques à ceux du lac Reeve.

La même notation que cet auteur sera utilisée ici pour les carbonates. Pour plus de renseignements, le lecteur peut se reporter aux articles de Von der Borch (1965) et Skinner (1963). L'application de cette méthode aux sédiments a abouti aux résultats détaillés dans le tableau 7.3.

Echantillons	37	40	47	59	65	78	243
d (112)	0.030	0.040	0.012	0.012	0.020	0.020	0.008
Mol % MgCO ₃	10.52	13.98	4.24	4.24	7.02	7.02	2.82

Tableau 7.3 Pourcentages de MgCO₃ dans les carbonates du lac Reeve (sauf échantillon 7670/243)

Pour l'ensemble du lac, on peut donc considérer que la composition moyenne des carbonates est de Ca₉₂Mg₈, ce qui représente la composition d'une calcite magnésienne.

En définitive, la composition de ces calcites magnésiennes s'étalent entre les compositions Ca₈₆Mg₁₄ (CO₃)₂ et Ca₉₆Mg₄ (CO₃)₂

7.2.2 Fraction sableuse

La fraction granulométrique supérieure à 4 ϕ (62 microns) est constituée des minéraux usuels trouvés dans les sables : quartz, feldspaths potassiques, plagioclases et biotite. La détermination de ces minéraux sur les diffractogrammes a été commentée précédemment dans le paragraphe 7.2.1.1. Le type de mica étudié fut confirmé par l'observation à la loupe binoculaire où ils apparaissent en lamelles sombres.

7.3. Evaluation quantitative

En réalité, l'évaluation quantitative est encore impossible à déterminer : on parle alors plutôt d'évaluation semi-quantitative.

De nombreux auteurs se sont penchés sur le problème : les principaux travaux effectués à ce jour ont été réalisés par Johns, Grim et Bradley (1954)

qui ont mis au point la première méthode semi-quantitative ; Griffin et Goldberg (1963), Biscaye (1965) ont, sur les argiles des grands fonds de l'Océan Atlantique, mis en pratique une méthode dérivée de celle de John, Grim et Bardley (1954) ; Meade (1967), Keller et Richards (1967) et enfin Wilson (1971) ont effectué une analyse minutieuse des argiles des Vieux Grès Rouges d'Ecosse. Malheureusement, les méthodes d'évaluation sont sujettes à deux groupes de facteurs modifiant considérablement les résultats :

- préparation de l'échantillon
- méthode d'évaluation utilisée.

La replicabilité du diffractogramme sur un même échantillon et pour une association d'argiles minéralogiques donnée, dépend de la préparation de l'échantillon : épaisseur du montage sur lame mince, orientation préférentielle des minéraux lors du séchage du montage, cristallinité des minéraux, effet des substitutions atomiques, association de deux ou plusieurs minéraux argileux (interstratifiés), hydratation, etc ...

De plus, les différents auteurs ne se sont pas encore réellement entendus sur l'universalité d'une méthode d'évaluation. Carroll (1969) Piere et Siegel (1969), lors d'une étude comparative de cinq différentes méthodes, ont noté la variabilité importante des résultats.

La présence des minéraux interstratifiés empêche d'utiliser une méthode semi-quantitative, reposant sur l'aire délimitée sous les différents pics ; aussi, on se bornera à la classification de Wilson (1971) qui définit les éléments en : *dominant, abondant, mineur ou trace*. Les coefficients de Weaver (1958) seront également utilisés pour les proportions relatives entre kaolinite et illite. Le tableau 7.1 donne un aperçu des quantités des différents minéraux dans chaque échantillon.

Kaolinite et illite constituent approximativement 80 à 100 % de la fraction argileuse. La proportion restante est principalement partagée par les interstratifiés et le quartz. Quelques minéraux comme la chlorite et la calcite, présents dans certains échantillons (7670/86, 7670/243 et 7670/253), ne montrent en fait qu'une anomalie locale dans le schéma monotome de sédimentation. Si l'on considère le critère de pro-

portionnalité de Weaver (1958) : "... For equal amount of kaolinite and illite, the 7 Å kaolinite peak would be approximately two or three times as large as the 10 Å peak", on peut considérer dans le cas présent que la quantité de kaolinite est sensiblement plus petite que la moitié d'illite.

La composition type de la fraction argileuse serait donc approximativement :

- Illite	: 58 %
- Kaolinite	: 27 %
- Interstratifiés	: 10 %
- Quartz	: 5 %

Pour le lac Reeve, la détermination quantitative des carbonates a été discutée dans le paragraphe précédent.

Le modèle s'avère très simple en ce qui concerne la fraction sableuse : le quartz forme environ 90 % de l'ensemble. Les feldspaths potassiques, les plagioclases et les micas entrent pour leur part en proportions très variables. Les sédiments situés à l'embouchure des rivières possèdent des pourcentages supérieurs de biotite à n'importe quel autre sédiment situé plus loin de ces rivières. Ceci met en évidence la courte existence de la biotite. Il soulève également le problème de la dégradation de la biotite. Roubault (1963) considère cette dégradation en tant qu'évolution vers la chlorite et la vermiculite.

Excepté pour un échantillon, ces minéraux étaient absents de la fraction argileuse. Si une telle évolution survient, on peut penser que ces minéraux sont instables sous les conditions thermodynamiques existant dans les lacs. La dégradation de cette seconde génération de minéraux conduirait ainsi vers un type d'illite.

Une autre hypothèse, plus probable, a été émise par Esquevin (1969) : la biotite se transformerait directement en phengite puis en illite en perdant petit à petit ses ions Fe et Mg.

7.4. Cristallinité

Le terme de cristallinité sera utilisé dans le sens défini par Kubler (1970), c'est à dire le degré d'ordre existant dans le réseau cristallin.

Dans les principaux lacs de Gippsland, seules les cristallinités de l'illite et de la kaolinite seront discutées. Les conclusions de ce paragraphe conduiront ainsi insensiblement à l'origine des sédiments.

Hinckley (1963) a décrit un index de cristallinité de la kaolinite. L'application de cet index pour la kaolinite présente dans les lacs, a révélé que cette kaolinite était fortement désordonnée : les réflexions 110 et 111 à $20,4^\circ$ et $21,3^\circ$ 2θ étant pratiquement toujours absentes. Cet auteur décrit également des kaolinites dures et molles (*hard and soft kaolinites*) correspondant respectivement aux kaolinites bien ou pauvrement cristallisées. De son point de vue, les "soft" kaolinites étaient originelles de kaolinites détritiques, n'ayant pas été recristallisées dans le milieu lacustre. Il n'est donc pas surprenant de rencontrer un tel genre de kaolinite.

Dans la famille illite-muscovite, le réseau le plus organisé, c'est à dire celui possédant la meilleure cristallinité, est la muscovite ; à l'autre pôle, les minéraux interstratifiés illite-smectite, offrent le plus grand désordre cristallin. Entre ces extrêmes se trouve une série continue (Kubler, 1970). Une illite mal cristallisée montre de larges pics de diffraction tandis que la muscovite ou la biotite, bien cristallisée, offre des pics très pointus (Weaver, 1960). Pour mesurer cette cristallinité, Kubler (1966) a mis au point un index de cristallinité pour cette famille. Ce dernier est obtenu en mesurant la largeur du pic à 10 Å à la mi-hauteur. L'index a été porté sur un graphe en fonction de l'indice d'Esquevin (fig. 7.3). On peut voir que sur cette figure 95 % des points sont compris dans l'anchizone et que le reste apparaît dans les zones diagénétiques et métamorphiques.

Cette classification doit être regardée avec précaution car elle fut proposée par des pétrographes pour la différenciation de provinces métamorphiques. Néanmoins, il est possible de l'utiliser en tant qu'index de cristallinité : les minéraux ayant les valeurs les plus basses étant bien cristallisés tandis que ceux possédant un indice élevé peuvent être considérés comme illites s.s. ayant une cristallinité plus faible.

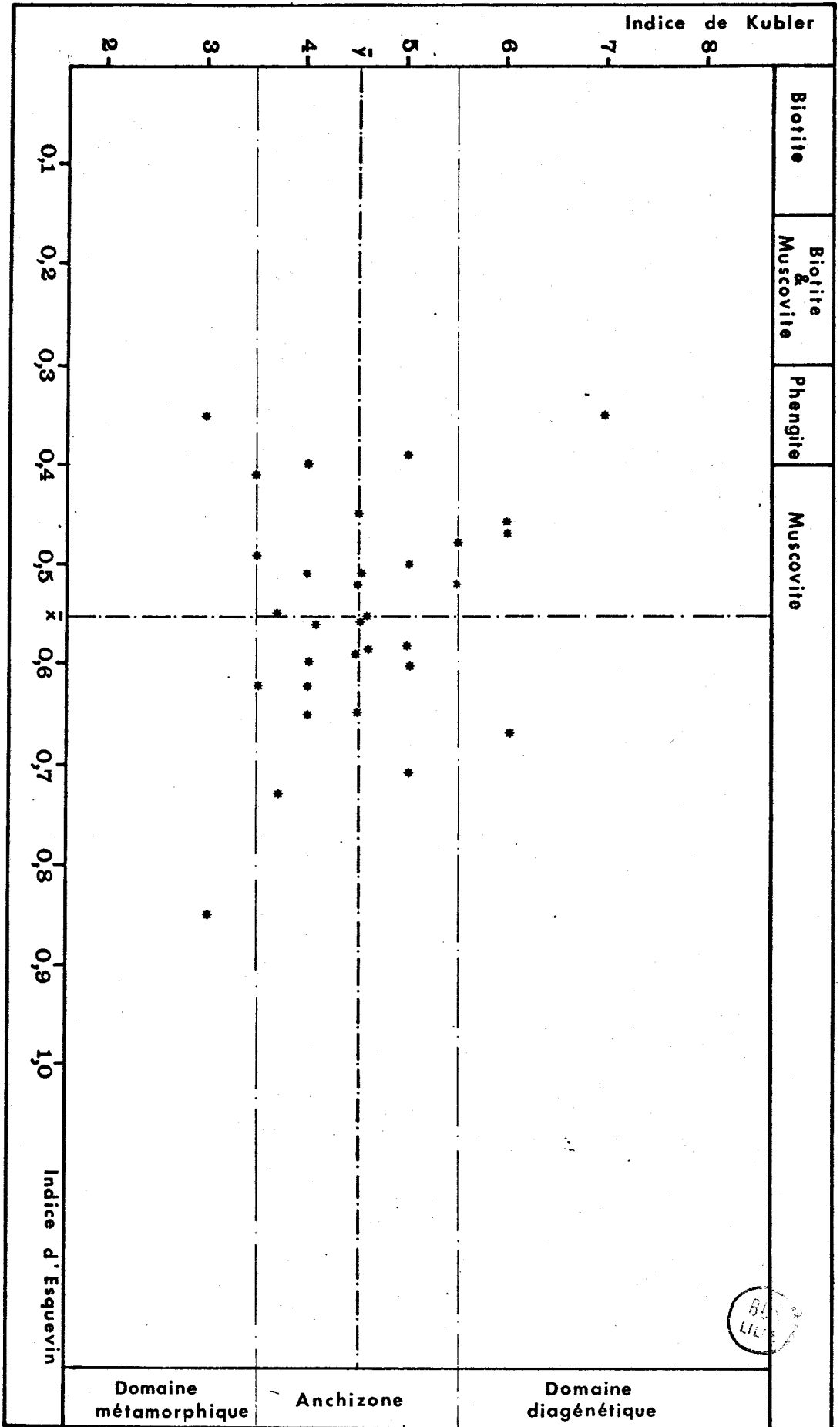


Figure 7.3 Diagramme d'Esquevin

Aucune méthode réelle ne permet à cette date de déterminer la cristallinité d'un minéral du groupe dolomite-calcite.

Von der Borch (1965) dans son étude sur les sédiments du Coorong, South Australia, a décrit cette cristallinité en fonction de la forme des pics de diffraction. Les calcites (ou dolomites) pauvrement organisées sont ainsi entendues comme ayant des pics larges et diffus. Ce critère est bien entendu très subjectif et dépend beaucoup de l'interprétation. Les calcites magnésiennes formant le lac Reeve se sont avérées partiellement désordonnées. Cette désorganisation du réseau cristallin est due à deux raisons principales :

- d'une part, le remplacement d'ions Ca^{++} par des ions Mg^{++} dans le réseau calcitique
- d'autre part, par l'origine très récente des carbonates.

7.5 Distribution superficielle

La sédimentation dans les lacs de Gippsland offre une distribution quasiment uniforme. La seule distinction dans ce complexe de lacs est apportée par l'opposition des deux types d'environnement :

- le lac Reeve, avec une sédimentation carbonatée
- les lacs Wellington, Victoria, King et Tyers, avec une sédimentation détritique.

Dans le lac Reeve, la sédimentation chimique et biochimique est troublée à l'Est par la connection avec le lac King et à l'Ouest où des marais sont occasionnellement approvisionnés en sédiments argileux par des crues provenant de *Merrimans Creek*.

Dans les autres lacs, très peu d'hétérogénéités minéralogiques apparaissent. Deux échantillons provenant de la zone située à l'arrière de l'entrée artificielle contiennent de la calcite très faiblement magnésienne dans leur fraction argileuse. Ceci est probablement dû à l'énergie importante mise en jeu, pulvérisant les coquillages en particules très fines. La présence de chlorite dans l'échantillon 7670/86 ne peut s'expliquer que par des conditions locales particulières, préservant la décomposition du minéral.

7.6 Origine

La composition minéralogique et la cristallinité de l'illite et de la kaolinite ont déjà répondu partiellement à la question de l'origine. En ce qui concerne la fraction sableuse, il est assez difficile sans études exoscopiques de déterminer la provenance des minéraux composants. Le quartz, par exemple, peut être conservé dans le même état que celui de son cycle antérieur. Il peut provenir des roches paléozoïques et de leurs intrusions granitiques, ou des grès tertiaires.

Il est possible d'avoir une idée plus précise de l'origine par la fraction argileuse : nous avons vu grâce à la figure 7.3 que la cristallinité de l'illite était en étroite relation avec son origine. Les échantillons dispersés entre un pôle métamorphique et un pôle diagénétique se rencontrent pour leur grande majorité dans l'anchizone. De telles muscovites s.s. ne peuvent se former dans l'environnement lacustre. Il faut donc éliminer toute possibilité de formation de muscovite dans les lacs. La seule source, dans ce cas, ne peut donc être que les schistes et gneiss paléozoïques affleurant dans le bassin versant des lacs. L'évolution des muscovites métamorphiques en illites semble s'être déroulée pendant l'altération pédogénétique des roches ainsi que pendant leur transport. L'élargissement des pics à 10 Å est le résultat de cette procédure (Kubler, 1966).

La kaolinite est un minéral se formant principalement dans un milieu pédogénétique de sols très lessivés. Elle a également été décrite comme minéral diagénétique, correspondant à la reconstitution par solutions de minéraux argileux existants. Cette origine est encore mal connue et les chercheurs expérimentent encore en laboratoire son évolution.

Bien que la possibilité d'une telle kaolinite ne soit pas exclue, la plupart semble dériver d'altérations pédogénétiques ; les pics de diffraction à 7 Å et 3,54 Å bien définis écartent l'hypothèse de quantité importante de kaolinite diagénétique.

En outre, l'absence des pics de diffraction à 4,3 Å et 4,2 Å semble confirmer l'origine pédogénétique (Hinc kley, 1963).

Conclusion

CHAPITRE VIII CONCLUSION

La sédimentation dans les lacs de Gippsland se conforme au schéma lacustre général où silts et argiles se rencontrent dans le bassin central, tandis que les sédiments sableux forment la zone externe du lac. Ces caractéristiques générales sont toutefois modifiées localement par l'absence de zones énergétiques distinctes, telles qu'au lac Wellington, et par des barres et chenaux dont les conditions hydrodynamiques sont spéciales. Le lac Reeve se distingue par de nombreux points des autres lacs: sa lame d'eau n'est que très faible et temporaire; sa sédimentation actuelle est essentiellement biochimique avec un apport de minéraux terrigènes pratiquement inexistant dans sa majeure partie. Les sédiments qui lui sont associés offrent une diversité importante, des sables grossiers aux silts et argiles correspondant à un environnement complexe.

La matière organique, linéairement associée à la granulométrie, montre de ce fait le même schéma général. A la zone centrale du lac correspond des pourcentages élevés, tandis que la zone bordière n'admet que des pourcentages de l'ordre de 0 à 2 pour cent. La distribution de cette matière organique met en évidence d'autres particularités telles que zones gérées par des énergies très faibles, zones d'accumulation, zone de floculation, etc...

Le contenu de la matière organique dans les sédiments s'est avéré très important par rapport aux autres lacs du monde. Cette particularité semble être due à la profondeur relativement faible des lacs de Gippsland (environ 7 m) et à une salinité intermédiaire entre celle des lacs d'eau douce et des lagons sensu stricto.

Nous retrouvons les deux types de sédiments, sableux et argilo-silteux, dans deux populations de courbes granulométriques, appelées populations primaires. Leurs paramètres texturaux sont voisins de ceux de courbes normales (gaussiennes). Par contre, les sédiments rencontrés dans les environnements intermédiaires sont caractérisés par des courbes granulométriques fréquemment bimodales ou trimodales.

L'analyse des paramètres texturaux, ainsi que de leurs relations, nous a conduit à observer plusieurs points importants qui sont :

- la possibilité de reconnaître l'environnement initial d'un sédiment enfoui ou remanié,
- la place à part qu'ont les tests de lamellibranches et de gastéropodes dans les sédiments où ils vivent,
- le rejet d'une évolution hélicoïdale des paramètres structuraux, proposée par Folk et Ward (1957) ; ceci, bien entendu étant valable pour le milieu lacustre considéré,
- la différenciation des zones internes et externes suivant les indices d'asymétrie et d'aplatissement.

La distribution minéralogique des sédiments est très monotone : la zone interne, bordant les lacs, est caractérisée par des sables quartzeux (90 %) avec des proportions variables de biotites et de feldspaths alcalins et alcalino-terreux. Les argiles de la zone interne sont constitués en moyenne de 58 pour cent d'illite, 27 pour cent de kaolinite, 10 pour cent de minéraux interstratifiés et 5 pour cent de quartz. L'écart sur ces valeurs semi-quantitatives n'est malheureusement pas connu ; on peut le considérer comme étant de l'ordre de 20 pour cent ou plus.

L'étude de la cristallinité de l'illite et de la kaolinite nous a permis une approche de la provenance des minéraux argileux et l'hypothèse d'une formation dans le lac est rejetée. Les illites (muscovites peu altérées) correspondent aux muscovites rencontrées dans les schistes et gneiss affleurant dans le bassin d'alimentation des lacs. Les sédiments du lac Reeve sont constitués de sables anciens mélangés à des carbonates (calcites magnésiennes) se déposant actuellement par voie biochimique. Contrairement aux argiles des autres lacs, ces minéraux sont donc autochtones.

--- BIBLIOGRAPHIE ---

- BIRD E.F.C. (1959).- The Gippsland Lakes, Victoria : a geomorphological study. *Unpublished thesis, Australian National University, Canberra.*
- BIRD E.F.C. (1961a).- Reed growth in the Gippsland Lakes. *Vict. Nat.*, 77, p. 262 - 268.
- BIRD E.F.C. (1961b).- Landform changes at Lakes Entrance. *Vict. Nat.*, 78, p. 137 - 146.
- BIRD E.F.C. (1962).- The river deltas of the Gippsland Lakes. *Proceedings Royal Soc. Vict.*, 75, p. 65 - 74.
- BIRD E.F.C. (1963).- The phisiography of the Gippsland Lakes. *Zeit für Geomorph.*, 7, p. 233 - 245.
- BIRD E.F.C. (1965).- A geomorphological study of the Gippsland Lakes. *Australian National University, Research school of Pacific Studies, Dept. Geog., Pub G./I, 95 pages.*
- BISCAYE P.E. (1965).- Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 76, p. 803 - 832.
- BORDOVSKIY O.K. (1965).- Organic matter in marine sediments. *Marine Geol.*, 3, p. 1 - 114.
- BORDOVSKIY O.K. (1969).- Organic matter of recent sediments of the Caspian sea. *Oceanography*, 9, p. 799 - 807.
- BRYANT E.C. (1960).- Statistical analysis. *Mc Graw Hill Co, New-York, 183 pages.*
- CAILLIERES S. et HENIN S. (1963).- Minéralogie des argiles. *Masson et Cie, Ed, 355 pages.*

- CARROLL D. (1970).- Clay minerals : A guide to their identification. *Geol. Soc. Am., Spec. Paper*, 126, 80 pages.
- CHAPMAN F. (1919).- On the age of the Bairnsdale Gravels. *Proc. Roy. Soc. Vict.*, 31, p. 166 - 175.
- COLLET L.W. (1925).- Les lacs. *Gaston Douin, Ed.*, 320 pages.
- COURT J.E. and GOLDMAN C.R. (1972).- Surface sediments in Lake Tahoe, California - Nevada. *Jour. Sed. Petrology*, 42, p. 359 -377.
- CREPIN I. (1943).- The stratigraphy of the Tertiary marine rocks in Gippsland, Victoria. *Mineral Resources Survey, Palaeontological Bull.*, 4.
- CUTHBERT F.L. (1944).- Clay minerals in Lake Erie sediments. *Am. Mineralogist*, 29, p. 378 - 388.
- DAVIS J.C. (1973).- Statistics and data analysis in Geology. *Wiley, New-York*, 550 pages.
- DEAN W.E. (1974).- Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition : comparaison with other methods. *Jour. Sed. Petrology*, 44, p. 242 - 248.
- DEER W.A. , HOWIE R.A and ZUSSMAN J. (1966).- An introduction to the rock forming minerals. *Longman Group Limited, London*, 528 pages.
- DOUGLAS J.G. (1976).- in DOUGLAS J.G. and FERGUSON J.A. (1976).- *Geology of Victoria. Geol. Soc. Aust., Spec. Publ. No 5.*
- DUCHAUFOUR P. (1970).- Précis de pédologie. *Masson et Co, Ed.*, 481 pages.
- EL-WAKEL S.K. and WAHBY S.D. (1970).- Bottom sediments of Lake Manzalah, Egypt. *Jour. Sed. Petrology*, 32, p. 480 - 496.
- ESQUEVIN J. (1969).- Influence de la composition des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centre Rech. Pau, S.N.P.A.*, 3, p. 147 - 153.

- FOLK R.L. (1966).- A review of grain size parameters. *Sedim.*, 6, p. 73 - 93.
- FOLK R.L. and WARD W.C. (1957).- Brazos river bar : a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrology*, 27, p. 3 - 26.
- FUCHTBAUER H. (1974).- Sedimentary petrology : sediments and sedimentary rocks. Vol. 2. Wiley, Inc., New-York, 464 pages.
- GOLDSMITH J.R., GRAF D.L. and JOENSUU O.I. (1955).- The occurrence of magnesian calcites in nature. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 7, p. 212 - 230.
- GRIFFIN J.J. and GOLDBERG E.D. (1963).- Clay mineral distribution in the Pacific Ocean. in HILL M.N., ed., *The Seas : Ideas and observations*, Vol. 3, Wiley, New-York, p. 728 - 741.
- GRIM R.E., BRAY R.H. and BRADLEY W.F. (1937).- The mica in argillaceous sediments. *Am. Min.*, 22, p. 813 - 829.
- HALL T.S. (1914).- Some notes on the Gippsland Lakes. *Vict. Nat.*, 31, p. 31 - 35.
- HANSEN K. (1959).- Sediments from the Danish Lakes. *Jour. Sed. Petrology*, 29, p. 38 - 46.
- HART T.S. (1921).- The Gippsland Lakes country : physiographical features. *Vict. Nat.*, 38, p. 75 - 82.
- HILLS E.S. (1940).- The physiography of Victoria (4th edition 1959). Melbourne.
- HILLS E.S. (1962).- Elements of structural geology. Methen, London.
- HILLS E.S. and THOMAS D.E. (1954).- Turbidity currents and the Graptolite Facies in Victoria. *Jour. Geol. Soc. Aust.*, 1, p. 119 - 133.
- HINKLEY D.N. (1963).- Variability in "crystalinity" values among the kaolin deposits of the coastal plain of Georgia and South Carolina, in INGERTON E., Ed., *Clays and clay minerals*. Pergamon Press, New-York, p. 229 - 235.

- HUTCHINSON G.E. (1957).- A treatise on limnology, Vol. 1. Wiley, Inc., New-York, 1015 pages.
- JAQUET J.M. et VERNET J.P. (1976).- Moment and graphic size parameters in the sediments of Lake Geneva (Switzerland). *Jour. Sed. Petrology*, 46, p. 305 - 312.
- JENKIN J.J. (1968).- The geomorphology and upper Cainozoic geology of south-east Gippsland, Victoria. *Geol. Survey Vict., Memoir 27*, 144 pages.
- JOURDAN C.F., FRYERS G.E. and HEMMEN E. (1971).- Size analysis of silt and clay by hydrophotometer. *Jour. Sed. Petrology*, 41, p. 489 - 496.
- KELLER G.H. and RICHARDS A.F. (1967).- Sediments of the Mollacca Strait, Southeast Asia. *Jour. Sed. Petrology*, 37, p. 102 - 127.
- KEMP A.L.W. (1969).- Organic matter in the sediments of Lakes Ontario and Erie. *Proc. 12th Conf. Great Lakes Res.*, p. 237 - 249.
- KEMP A.L.W. (1971).- Organic carbon and nitrogen in the surface sediments of Lakes Ontario, Erie and Huron. *Jour. Sed. Petrology*, 41, p. 537-548.
- KRUMBEIN W.C. and COLDWELL L.T. (1939).- Areal variation of organic carbon content of Barataria Bay sediments, Louisiana. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 23, p. 584 - 594.
- KUBLER B. (1966).- La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. *Colloque sur les étapes tectoniques, Neuchatel. Festschrift*, p. 105 - 122.
- KUBLER B. (1970).- Crystallinity of illite. Detection of metamorphism in some frontal parts of the Alps. *Forsch. Mineral.*, 47, p. 39 - 40.
- LANE E.W. et al. (1957).- Report of the subcommittee on sediment terminology. *Am. Geophys. Union Trans.*, p. 936 - 938.
- LUMSEN D.N. (1973).- TRI : A FORTRAN subroutine to plot points on a triangular diagram. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 84, p. 1765 - 1768.

- MASON C.C. and FOLK R.L. (1958).- Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *Jour. Sed. Petrology*, 28, p. 211 - 226.
- MEADE R.H. (1967).- Petrology of sediments underlying areas of land subsidence in Central California, U.S.. *Jour. Sed. Petrology*, 37, p. 1084 - 1116.
- MOORE H.B. (1939).- Faecal pellets in relation to marine deposits. in TRASK P. D., *Recent Marine sediments - A Symposium*. Assoc; Petrol. Geol., Thomas Murphy and Co., London, 736 pages.
- MURRAY J. (1910).- Bathymetrical survey of the Scottish fresh water lochs. Vol.1 *Challenger Office, Edingburg*.
- NIINO H., EMERY K.O. and KIM C.M. (1969).- Organic carbon in sediments of the Japan Sea. *Jour. Sed. Petrology*, 39, p. 1390 - 1398.
- PIERCE J.W. and SIEGEL F.R. (1969).- Quantification in clay mineral studies of sediments and sedimentary rocks. *Jour. Sed. Petrology*, 39, p. 187-193.
- REINECK H.E. and SINGH I.B. (1973).- Depositional sedimentary environments. *Springer Verlag, Ed., Berlin*, 440 pages.
- ROLFE D.N. (1957).- Superficial sediments in Lake Mead. *Jour. Sed. Petrology*, 27, p. 378 - 386.
- ROUBAULT M. (1963).- Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant. *Lamare-Poinat, Ed., Paris*, 365 pages.
- SHEPARD F.P. (1954).- Nomenclature based on sand - silt ratios. *Jour. Sed. Petrology*, 24, p. 151 - 158.
- SHEPARD F.P. (1960).- Mississippi Delta : Marginal environments, sediments and growth, p. 56 - 81. in SHEPARD F.P. and al., Ed., *Recent sediments, northwest Gulf of Mexico*.
- SHEPARD F.P. (1973).- Submarine geology, 3th edition, Harper and Row, Pub., New-York.

- SKINNER H.C.W. (1963).- Precipitation of calcian dolomites and magnesian calcites in the southeast of South Australia. *Am. Jour. Sci.*, 261, p.449-471.
- SLY P.G. (1972).- The significance of sediment deposits in large lakes and their energy relationships. *Hydrology Symposium, IAHS - AISH, Pub. 109.*
- TAKAHASHI J. and YAGI T. (1929).- Peculiar mud grains and their relation to the origin of glauconite. *Econ. Geol.*, 24, p. 838 - 852.
- THOMAS R.L. (1969).- A note on the relationship of grain size, clay content, quartz and organic carbon in some Lake Erie and Lake Ontario sediments. *Jour. Sed. Petrology*, 39, p. 803 - 809.
- THOMAS R.L., KEMP A.L. and LEWIS C.F.M. (1972).- Distribution, composition and characteristics of the superficial sediments of Lake Ontario. *Jour. Sed. Petrology*, 42, p. 66 - 84.
- TRASK P.D. (1939).- Organic content in recent marine sediments -A symposium. P.D. TRASK Edit., Thomas Murby and Co., London, 736 pages.
- TWENHOFEN W.H. (1950).- Principles of sedimentation. Mc Graw Hill Co, Inc, New-York.
- VATAN A. (1967).- Manuel de sédimentologie. Technip Ed., 397 pages.
- VON DER BORCH C. (1965a).- The distribution and preliminary geochemistry of modern carbonate sediments of the Coorong Area, South Australia. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 29, p. 781 - 799.
- VON DER BORCH C. (1965b).- Source of ions for Coorong dolomite formation. *Amer. Jour. Sci.*, 263, p. 684 - 688.
- WEAVER C.E. (1958).- Geologic interpretation of argillaceous sediments. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 42, p. 254 - 310.
- WEAVER C.E. (1960).- Possible uses of clay minerals in search for oil. *Clays and clay minerals, 8th Nat. Conf.*, p. 214 - 227.

WILSON M. J. (1971). - Clay mineralogy of the Old Red Sandstone (Devonian) of

Annexes

Scotland. Jour. Sed. Petrology, 41, p. 213-227.

WHITAKER B. T. and ROBINSON G. (1959). - The calculus of observations. Int.

Statist. Review, 37, 1-10. Glasgow, 1959, 102 pages.

WHITING J. D. (1957). - X-Ray diffraction techniques for mineral identification.

Mineralogical Magazine, 28, 1-14. (1957).

Methods of soil analysis, Part 2. Agr. Chem. Soc. Amer., Inc., Madison,

Wisconsin, p. 671 - 690.

WOLF K. H., CHILINGER G. V. and BEALE F. W. (1967). - Elemental composition of

carbonaceous shales, minerals, and sediments. In Carbonate rocks

, CHILINGER G. V., STROEL W. J. and FAIRBRIDGE R. W., eds., Elsevier,

Amst., Amsterdam, 413 pages.

ZEM E. (1957). - Mineralogy and petrology of marine bottom sediment samples

off the coast of Peru and Chile. Jour. Sed. Petrology, 27, p. 213 -

230.

0-0-0-0-0

WILSON M.J. (1971).- Clay mineralogy of the Old Red Sandstone (Devonian) of Scotland. *Jour. Sed. Petrology*, '41, p. 995 - 1007.

WHITTAKER E.T. and ROBINSON G. (1929).- The calculus of observations, 2nd edition. *Blackie and Sons, Ltd., Glasgow*, 395 pages.

WHITTING L.D. (1965).- X-Ray diffraction techniques for mineral identification and mineralogical composition. in BLACK C.A. ed. (1965).- *Methods of soil analysis, Part One*. Am. Soc. Agron., Inc, Madison, Wisconsin, p. 671 - 698.

WOLF K.H., CHILINGAR G.V. and BEALES F.W. (1967).- Elemental composition of carbonates skeletons, minerals, and sediments. in *Carbonate rocks*, CHILINGAR G.V., BISSEL H.J. and FAIRBRIDGE R.W., ed;, Elsevier Publ. Co, Amsterdam, 413 pages.

ZEN E. (1959).- Mineralogy and petrography of marine bottom sediment samples off the coast of Peru and Chile. *Jour. Sed. Petrology*, 29, p. 513 - 539.

ANNEXE I

```

1. C
2. C
3. C
4. C
5. C
6. C
7. C
8. C
9. C
10. C
11. C
12. C
13. C
14. C
15. C
16. C
17. C
18. C
19. C
20. C
21. C
22. C
23. C
24. C
25. C
26. C
27. C
28. C
29. C
30. C
31. C
32. C
33. C
34. C
35. C
36. C
37. C
38. C
39. C
40. C
41. C...
42. C
43. C
44. C
45. C
46. C
47. C
48. C
49. C
50. C
51. C
52. C
53. C
54. C
55. C
56. C
57. C
58. C
59. C
60. C
61. C
62. C...
63. C
64. C
65. C
66. C
67. C
68. C
69. C
70. C
71. C
72. C
73. C
74. C
75. C
76. C...
77. C
78. C
79. C
80. C
81. C
82. C
83. C
84. C
85. C
86. C
87. C
88. C...
89. C
90. C
91. C...
92. C
93. C
94. C
95. C
96. C
97. C
98. C
99. C
100. C
101. C
102. C

```

```

*****
*
* PROGRAMME SEDIMT
*
*****

PROGRAMME ETABLI PAR B. DELPORTE

POUR L'ENTREE DES DONNEES,CONSULTER LE PARAGRAPHE 4*2.4.

DIMENSION SFRAC(100),EXP(100),FEXP(100),RI(9),PCT(100),PHI(100),
1 C(100),CUM(100),AA(100)
REAL MUD,MEAN,KURT
INTEGER SAMPLE,XSAMPL(2)
DATA LEC,IMP /105,108/
DATA NAME /4H7670/
SAMPLE = 0
ISAMPL = 0

115 READ(LEC,1000) SAMPLE, BEAKER, 0M2, SE05, SE10, SE20,
1 SE40,NSAMPL,IHYDR0
IF(SAMPLE.EQ.99999) GOTO 300
WRITE(IMP,1020)
IF(SAMPLE.NE.ISAMPL) GOTO 116
WRITE(IMP,2170)
GOTO 300
116 CONTINUE
I0RG1 = 0
I0RG2 = 0
I0RG3 = 0
ISIEV1 = 0
ISIEV2 = 0
ISIEV3 = 0
IMUD = 0
PHI1 = 0.0
IF(SE05.GT.SE40) I0RG1=1
IF(SE40.GT.SE20) I0RG2=1
IF(SE20.GT.SE10) I0RG3=1

C...
LECTURE DES FRACTIONS SABLEUSES. SI LE TAMISAGE N'A PAS ETE
EFFECTUE (NSAMPL = 0), LE PROGRAMME NE LIT PAS LES DONNEES
DES FRACTIONS SABLEUSES

IF (NSAMPL .NE. 0) GOTO 114
READ(LEC,1030)SAMPLE,PHI1,(SFRAC(I),I=1,14)
DO 210 I=2,14
IF(SFRAC(I).NE.0.0.AND.SFRAC(I).LT.SFRAC(I-1)) ISIEV1=1
210 CONTINUE
IF(SFRAC(14).EQ.0.0)GOTO105

READ(LEC,1050)SAMPLE,(SFRAC(I),I=15,29)
DO 211 I=15,29
IF(SFRAC(I).NE.0.0.AND.SFRAC(I).LT.SFRAC(I-1)) ISIEV2=1
211 CONTINUE
IF(SFRAC(29).EQ.0.0) GOTO 105
READ(LEC,1050) SAMPLE,(SFRAC(I),I=30,44)
DO 125 I = 30,44
IF(SFRAC(I).NE.0.0.AND.SFRAC(I).LT.SFRAC(I-1)) ISIEV3=1
125 CONTINUE
105 CONTINUE

C...
LECTURE DES MESURES DE L'HYDROPHOTOMETRE. SI LA FRACTION BOUEUSE
N'A PAS ETE ANALYSEE (IHYDR0 = 0), LE PROGRAMME NE LIT PAS LES
DONNEES HYDROPHOTOMETRIQUES.

114 IF(IHYDR0 .NE. 0) GOTO 138
READ(LEC,1040) SAMPLE,(RI(I),I=1,9)
DO 212 I=2,9
IF(RI(I).LT.RI(I-1))IMUD=1
212 CONTINUE
138 CONTINUE

C
IF(I0RG1.EQ.1.0R.I0RG2.EQ.1.0R.I0RG3.EQ.1.0R.ISIEV1.EQ.1.0R.
1ISIEV2.EQ.1.0R.ISIEV3.EQ.1.0R.IMUD.EQ.1) GOTO 137

C...
CALCUL DU POURCENTAGE DE MATIERE ORGANIQUE: LE POIDS INITIAL DE
L'ECHANTILLON (0M3) ETANT FIXE A 5 GRAMMES.

DATA 0M3 /5.0/
IF(BEAKER .NE. 0.0) GOTO 100
0M5 = 100.
0RG = 0.0
GOTO 101
100 0RG = (BEAKER+0M3-0M2)*100./0M3
IF(0RG .LT. 0.0) 0RG=0.0
0M5 = 100.-0RG

C...
CALCUL DES POURCENTAGES DE SABLE, DE BOUE, DE CARBONATES ET DE
TERRIGENES.

101 SE15 = SE10-SE05
SE30 = SE10 - SE20
MUD = SE30 * 0M5/SE15
GRSAND = (SE40-SE05)*0M5/SE15
CARB = (SE20+SE40)*0M5/SE15
PSAND=GRSAND*100.0/(MUD+GRSAND)
PMUD=MUD*100.0/(MUD+GRSAND)
TERRI=100.0-CARB-0RG

INITIALISATION DES VECTEURS INITIAUX

```




```

103.      DN 113 I=1,100
104.      AA(I) = 0.0
105.      C(I) = 0.0
106.      PCT(I) = 0.0
107.      EXP(I) = 0.0
108.      CUM(I) = 0.0
109.      FEXP(I) = 0.0
110.      PHI(I) = -6.0+FLSAT(I-1)*0.25
111. 113 CONTINUE
112.      IF(NSAMPL.NE.0) GOT0 139
113. C...
114. C      CALCUL DES POURCENTAGES DE LA FRACTION SABLEUSE
115. C...
116.      J = 1
117.      DN 106 I=1,41
118.      IF(PHI(I).LT.PHI1) GOT0 106
119.      CUM(I) = SFRAC(J)
120.      IF(CUM(I).LT.CUM(I-1)) CUM(I)=CUM(I-1)
121.      J = J+1
122. 106 CONTINUE
123.      PCT(I) = CUM(I)
124.      DN 110 I=2,41
125.      PCT(I) = CUM(I)-CUM(I-1)
126. 110 CONTINUE
127.      DN 107 I=1,41
128.      SFRAC(I) = CUM(I)
129.      PCT(I) = PCT(I)*PSAND/CUM(41)
130.      CUM(I) = CUM(I)*PSAND/CUM(41)
131. 107 CONTINUE
132. C
133. C      CALCUL DES POURCENTAGES DE SILT ET D'ARGILE PROVENANT DES DONNEES
134. C      HYDROPHOTOMETRIQUES
135. 139 CALL HYDR0P(AA,CUM,PCT,RI,PMUD,PSAND,IHYDR0,NSAMPL)
136. C
137. C      EXTRAPOLATION DES VALEURS MANQUANTES DE LA PARTIE GAUCHE DE
138. C      LA COURBE CUMULATIVE
139. C
140. C
141. C      DN 133 I=2,100
142.      IF(PHI1.LE.-5.00) GOT0 136
143.      IF(AA(I-1).NE.0.0) GOT0 133
144.      IF(AA(I).EQ.0.0) GOT0 133
145.      IF(AA(I).LT.2.) GOT0 136
146.      X1=PHI(I)
147.      Y1=AA(I)
148.      X2=PHI(I+1)
149.      Y2=AA(I+1)
150.      IF(Y1.EQ.Y2) Y1=.99*Y2
151.      CALL TAIL (AA,PHI,X1,Y1,X2,Y2,I)
152.      GOT0 136
153. 133 CONTINUE

154. C
155. C      EXTRAPOLATION DES VALEURS MANQUANTES DE LA PARTIE DROITE DE LA
156. C      COURBE CUMULATIVE
157. C
158. 136 IF(IHYDR0.NE.0) GOT0 123
159.      X0=7.25
160.      X1=7.75
161.      Y0 = AA(54)
162.      Y1 = AA(56)
163.      GOT0 117
164. 123 X0=3.75
165.      X1=4.00
166.      Y0 = AA(40)
167.      Y1 = AA(41)
168. 117 CALL RTAIL(AA,PHI,IHYDR0,X0,Y0,X1,Y1)
169. C
170. C
171. C      LISSAGE DE LA COURBE CUMULATIVE
172. C
173. C      CALL SMOOTH (AA,EXP,FEXP)
174. C
175. C      CALCUL DES POURCENTAGES DE GRAVIER, SABLE, SILT ET ARGILE
176. C      THE CLASSIFICATION USED COMES FROM THE NATIONAL RESEARCH CONCIL
177. C      (LANE,E.W.,ET AL.,1957,REPORT OF THE SUBCOMTEE ON SEDIMENT TERMINOLOGIE
178. C      AM. GEOPHYS. UNION TRANS.,V.28,PP.936-938 )
179. C
180. C
181.      DN 118 I=1,81
182.      IF(PHI(I) .EQ. -1.) GRAVEL=EXP(I)
183.      IF(PHI(I) .EQ. 4.0) SAND=EXP(I)
184.      IF(PHI(I) .EQ. 8.0) SILT=EXP(I)
185.      IF(EXP(I) .EQ. 0.0 .AND. EXP(I+1) .EQ. 0.0) GOT0 118
186.      IF(EXP(I) .EQ. 0.0 .AND. EXP(I+1) .GT. 0.0) GOT0 104
187.      GOT0 103
188. 102 J = 1
189.      NSTART = I
190. 103 C(J) = EXP(I)
191.      J=J+1
192. 118 CONTINUE
193.      C(J) = EXP(I)
194.      NPSINT = J
195.      CLAY=100.0-SILT
196.      SILT=SILT-SAND
197.      SAND=SAND+GRAVEL
198. C
199. C      CALCUL DES PARAMETRES STATISTIQUES
200. C      CALL PARAM(NPSINT,NSTART,C,MEAN,CV,STDEV,SKEW,KURT,
201. C      1 P05,P16,P25,P50,P75,P84,P95)
202. C
203. C
204. C      CALL SASICL(SAND,SILT,CLAY,XSAMPL)

```



```

205. C
206. C
207. C      IMPRESSION DES RESULTATS
208. C
209. 137 WRITE(IMP,200) NAME,SAMPLE,XSAMPL(1),XSAMPL(2)
210. IF(IORG1.EQ.1.AND.IORG2.EQ.0.AND.IORG3.EQ.0.AND.ISIEV1.EQ.0.
211. 1 AND.ISIEV2.EQ.0.AND.ISIEV3.EQ.0.AND.IMUD.EQ.0) GOTO 140
212. IF(IORG1.EQ.1.OR.IORG2.EQ.1.OR.IORG3.EQ.1) WRITE(IMP,2130)
213. IF(ISIEV1.EQ.1) WRITE(IMP,2140)
214. IF(ISIEV2.EQ.1) WRITE(IMP,2150)
215. IF(IMUD.EQ.1) WRITE(IMP,2160)
216. IF(IORG1.EQ.1.OR.IORG2.EQ.1.OR.IORG3.EQ.1.OR.ISIEV1.EQ.1.OR.
217. 1 ISIEV2.EQ.1.OR.IMUD.EQ.1) GOTO 115
218. 140 WRITE(IMP,2070)
219. IF(BEAKER.EQ.0) ORG=10000.
220. WRITE(IMP,2010) ORG,GRAVEL,MEAN,STDEV,SKEW,P05
221. WRITE(IMP,2090) P16
222. WRITE(IMP,2020) CARB,SAND,P50,CV,KURT ,P25
223. WRITE(IMP,2100) P50
224. WRITE(IMP,2030) TERRI,SILT,P75
225. WRITE(IMP,2110) P84
226. WRITE(IMP,2060) CLAY,P95
227. WRITE(IMP,2070)
228. WRITE(IMP,2120)
229. N = 25
230. IF(PH1.GE.0) GOTO 126
231. DO 127 I=1,25
232. IF(CUM(I).NE.0) N=N+1
233. IF(CUM(I).NE.0) N=N+1
234. 127 CONTINUE
235. 126 DO 111 I=N,62
236. IF(PCT(I-1).EQ.0) AND.CUM(I-1).EQ.100) AND.FEXP(I-1).EQ.0) AND.
237. 1 EXP(I-1).EQ.100) GOTO 120
238. IF(I.LE.41) AND.NSAMPL.EQ.0) GOTO 119
239. IF(I.EQ.42) AND.IHYDR0.EQ.0) J=1
240. IF(IHYDR0.NE.0) GOTO 124
241. IF(I.GE.57) GOTO 112
242. IF(I.GT.41) AND.PCT(I).EQ.0) AND.CUM(I).EQ.0) GOTO 112
243. IF(I.EQ.42) OR I.EQ.44) OR I.EQ.46) OR I.EQ.48) OR I.EQ.50) OR I.EQ.
244. 152) OR I.EQ.54) OR I.EQ.56) AND.IHYDR0.EQ.0) GOTO 122
245. GOTO 124
246. 119 WRITE(IMP,2180) PHI(I),SFRAC(I),PCT(I),CUM(I),FEXP(I),EXP(I)
247. GOTO 111
248. 122 WRITE(IMP,2190) PHI(I),RI(J),PCT(I),CUM(I),FEXP(I),EXP(I)
249. J = J+1
250. GOTO 111
251. 124 WRITE(IMP,2040) PHI(I),PCT(I),CUM(I),FEXP(I),EXP(I)
252. GOTO 111
253. 112 WRITE(IMP,2050) PHI(I),FEXP(I),EXP(I)
254. 111 CONTINUE
255. IF(IHYDR0.GT.0) GOTO 121
256. WRITE(IMP,2190) PHI(81),RI(9),PCT(58),100) FEXP(81),EXP(81)
257. GOTO 120
258. 121 WRITE(IMP,2040) PHI(81),0) 0,100) FEXP(81),EXP(81)
259. 120 ISAMPL = SAMPLE
260. C
261. C
262. C      IMPRESSION DU GRAPHE DES COURBES CUMULATIVE ET FREQUENTIELLE.
263. J = 0
264. DO 141 I=21,81
265. J = J+1
266. AA(J) = FEXP(I)
267. PHI(J) = -6.0*FL9AT(I-1)*0.25
268. 141 C(J) = EXP(I)
269. CALL PL0TER(PHI,C,61,PHI,AA,61,-1.,14.,0.,100.,60.)
270. C
271. C
272. C      GOTO 115
273. C
274. 1000 FORMAT(15,2F5.2,4F5.1,215)
275. 1020 FORMAT(1H1)
276. 1030 FORMAT(15,F5.2,14F5.1)
277. 1040 FORMAT(15,9F5.1)
278. 1050 FORMAT(15,15F5.1)
279. 200J FORMAT(///16H SAMPLE NUMBER ,A4,15,15X,2A4,///)
280. 201C FORMAT(2H ,13H ORG. MATTER=F5.1,2X,1H,8H GRAVEL=F5.1,2X,1H,8H
281. 1 MEAN=F5.1,3H ,14H ST.DEVIATION=F5.1,3H ,10H SKEWNESS=
282. 2 F5.2,3H ,5H P05=F5.1,3H *)
283. 202C FORMAT(2H ,13H CARBONATE=F5.1,2X,1H,8H SAND=F5.1,2X,1H,8H
284. 1 MEDIAN=F5.1,3H ,14H CO.VARIATION=F5.1,3H ,10H KURTOSIS=
285. 2 F5.2,3H ,5H P25=F5.1,3H *)
286. 203J FORMAT(2H ,13H TERRIGENOUS=F5.1,2X,1H,8H SILT=F5.1,2X,1H,
287. 1 15X,1H,21X,1H,1X,16H(FBLK AND WARD ,1H,5H P75=F5.1,3H *)
288. 2040 FORMAT(1X,F10.2,38X,4(F10.2,6X))
289. 2050 FORMAT(1X,F10.2,70X,2(F10.2,6X))
290. 2060 FORMAT(2H ,20X,1H,8H CLAY=F5.1,2X,1H,15X,1H,21X,1H,
291. 1 17X,1H,5H P95=F5.1,3H *)
292. 207C FORMAT(1X,107(1H))
293. 2090 FORMAT(2H ,20X,1H,15X,1H,15X,1H,21X,1H,17X,1H,5H P16=F5.1,
294. 1 3H *)
295. 2100 FORMAT(2H ,20X,1H,15X,1H,15X,1H,21X,1H,17X,1H,5H P50=F5.1,
296. 1 3H *)
297. 2110 FORMAT(2H ,20X,1H,15X,1H,15X,1H,21X,1H,17H PARAMETERS,1957)
298. 1 ,1H,5H P84=F5.1,3H *)
299. 2120 FORMAT(//,23X,4HSAND,12X,3HMUD,10X,8H9BSERVED,8X,8H0BSERVED,6X,
300. 1 10HCALCULATED,6X,10HCALCULATED,/,22X,6HWEIGHT,12X,1H,10X,
301. 2 9HFREQUENCY,7X,10HCUMULATIVE,7X,9HFREQUENCY,7X,10HCUMULATIVE,
302. 3 //,8X,3HPHI,10X,8HRETAINED,5X,12HTRANSMISSION,8X,5HLCURVE,
303. 4 11X,5HLCURVE,11X,5HLCURVE,11X,5HLCURVE,/)
304. 2130 FORMAT(////,20H ERROR IN FIRST CARD )
305. 2140 FORMAT(////,21H ERROR IN SECOND CARD )
306. 2150 FORMAT(////,54H ERROR IN SAND FRACTIONS BETWEEN PHI=1.75 AND PHI=4

```




```

307.      1.00 )
308. 2160 FORMAT(////,30H ERROR IN HYDROPHOTOMETER DATA )
309. 2170 FORMAT(////,40H ERROR IN THE NUMBER OF CARDS OF THE LAST SAMPLE )
310. 2180 FORMAT(1X,F10.2,6X,F10.2,22X,4(F10.2,6X))
311. 2190 FORMAT(1X,F10.2,22X,5(F10.2,6X))
312.      300 STOP
313.      END

```

```

1.      SUBROUTINE HYDR0P(AA,CUM,PCT,RI,PMUD,PSAND,IHYDR0,NSAMPL)
2.      C
3.      C LA SUBROUTINE HYDR0P CALCULE LES POURCENTAGES DE SILT ET D'ARGILE
4.      C AINSI QUE LES DIFFERENTS POURCENTAGES ENTRE 4,25 ET 8,25/
5.      C
6.      DIMENSION RJ(9),BRD(10),D0RD(9),V(9),RI(9)
7.      DIMENSION AA(100),CUM(100),PCT(100)
8.      DATA RJ/4.65,27.78,18.22,11.31,7.00,4.83,3.22,2.03,0.56/
9.      C
10.     IF(NSAMPL.NE.0) CUM(41)=PSAND
11.     IF(IHYDR0.NE.0) CUM(42)=100.0
12.     IF(IHYDR0.NE.0) G0T0 140
13.     D0 110 N=1,9
14.     BRD(N)=100.0*AL0G(100.0/RI(N))
15. 110 CONTINUE
16.     BRD(10)=0.0
17.     SUMV=0.0
18.     D0 120 N=1,9
19.     D0RDT=BRD(N)-BRD(N+1)
20.     D0RD(N)=D0RDT
21.     IF(D0RDT.LT.0.0)D0RDT=0.0
22.     V(N)=D0RDT*RJ(N)
23.     SUMV=SUMV+V(N)
24. 120 CONTINUE
25.     PCT(42) = PMUD*(V(1)/SUMV)
26.     CUM(42) = CUM(41) + PCT(42)
27.     D0 130 N=2,9
28.     I = 42 +(N-1)*2
29.     PCT(I) = PMUD*(V(N)/SUMV)
30.     CUM(I) = CUM(I-2)+PCT(I)
31. 130 CONTINUE
32. 140 CONTINUE
33.     AA(1) = CUM(1)
34.     D0 150 I=2,100
35.     AA(I) = CUM(I)
36.     IF(NSAMPL.NE.0.AND.CUM(I).EQ.CUM(I+1)) AA(I)=0.0
37.     IF(AA(I-1).EQ.100.0) AA(I)=100.0
38.     IF(CUM(I-1).EQ.100.0) CUM(I)=100.0
39. 150 CONTINUE
40.     D0 160 I=43,56,2
41. 160 AA(I) = (AA(I-1)+AA(I+1))*0.5
42.     RETURN
43.     END

```

```

1.      SUBROUTINE TAIL(AA,PHI,X1,Y1,X2,Y2,I)
2.      C
3.      C LA SUBROUTINE TAIL CALCULE LES VALEURS MANQUANTES DE LA PARTIE
4.      C GAUCHE DE LA COURBE CUMULATIVE PAR EXTRAPOLATION SUIVANT UNE
5.      C FONCTION DE G0MPERTZ      Y = A*B**C**X
6.      C LE PARAMETRE A A ETE DEFINI EGAL A 0.0001
7.      C REFERENCE: BRYANT,E.C.,1960, STATISTICAL ANALYSIS, MC GRAW
8.      C HILL BOOK COMPANY, INC., NEW-Y0RK, 183P.
9.      C
10.     C
11.     DIMENSION AA(100),PHI(100)
12.     YY1 = AL0G(Y1)
13.     YY2 = AL0G(Y2)
14.     Y = AL0G(YY1/YY2)
15.     Y = Y/(X1-X2)
16.     C = 2.718282**Y
17.     Y = YY1/C**X1
18.     B = 2.718282**Y
19.     D0 100 J=1,I
20. 100 AA(J) = .0001*B**C**PHI(J)
21.     RETURN
22.     END

```

```

1.      SUBROUTINE RTAIL(AA,PHI,IHYDR0,X0,Y0,X1,Y1)
2.      C
3.      C LA SUBROUTINE CALCULE LES VALEURS MANQUANTES DE LA PARTIE DROITE
4.      C DE LA COURBE CUMULATIVE PAR UNE EQUATION EXPONENTIELLE MODIFIEE
5.      C      Y = A + B*C**X
6.      C LE PARAMETRE A A ETE DEFINI EGAL A 100.0 (ASSYMP0TE
7.      C HORIZONTALE DE LA COURBE CUMULATIVE)
8.      C REFERENCE: BRYANT,E.C.,1960, STATISTICAL ANALYSIS, MC GRAW
9.      C HILL BOOK COMPANY, INC., NEW-Y0RK, P 183/
10.     C
11.     DIMENSION AA(100),PHI(100)
12.     IF(ABS(Y1-Y0).LE.0.01) Y1=1.001*Y0
13.     IF(ABS(Y0-100.0).LE.0.01) G0T0 500
14.     IF(ABS(Y1-100.0).LE.0.01) G0T0 500
15.     Y = (Y0-100.0)/(Y1-100.0)
16.     IF(Y.GT.0.0) G0T0 100
17. 500 C = 1.0
18.     R = 0.0
19.     A = 100.0
20.     G0T0 200
21. 100 Y = AL0G10(Y)/(X0-X1)
22.     C = 10**Y

```



```

23.      B = (Y0-100.0)/C**X0
24.      A = 100.0
25.      200 N = 57
26.      IF(IHYDR0.NE.0) N = 42
27.      DO 300 I=N,100
28.      300 AA(I) = A+B*(C**PHI(I))
29.      IF(AA(81).GE.100.0) GOTO 400
30.      A = A+0.1
31.      GOTO 200
32.      400 CONTINUE
33.      RETURN
34.      END

```

```

1.      SUBROUTINE SMOOTH (AA,EXP,FEXP)
2.      C
3.      C LA SUBROUTINE SMOOTH LISSE LA COURBE EXPERIMENTALE AVEC UN FILTRE
4.      C A SEPT TERMES.
5.      C DANS LE CAS OU SEULE LA FRACTION SABLEUSE EST PRESENTE, LE FILTRE
6.      C UTILISE N'EST QUE D'ORDRE 3.
7.      C REFERENCE /J.C. DAVIS,1973, STATISTICS AND DATA ANALYSIS
8.      C IN GEOLOGY, PAGE 226/
9.      C
10.     DIMENSION AA(100),EXP(100),FEXP(100)
11.     IF(AA(41).EQ.100.0) GOTO 200
12.     DO 100 I=4,96
13.     X=AA(I+1)+AA(I-1)
14.     Y=AA(I+2)+AA(I-2)
15.     Z=AA(I+3)+AA(I-3)
16.     EXP(I) = (7.*AA(I)+6.*X+3.*Y-2.*Z)/21.
17.     R = 10.**EXP(I)
18.     EXP(I) = IFIX(R)/10.
19.     IF(R.GT.500.) R=R+1
20.     IF(I.GE.5.AND.EXP(I).LT.EXP(I-1)) EXP(I)=EXP(I-1)
21.     IF (EXP(I) .LT. 0.0) EXP(I) = 0.0
22.     IF (EXP(I) .GT. 100.) EXP(I) = 100.0
23.     100 CONTINUE
24.     GOTO 400
25.     200 DO 300 I=2,41
26.     X = AA(I-1)
27.     Y = AA(I)
28.     Z = AA(I+1)
29.     EXP(I) = (X+2.*Y+Z)/4.
30.     R = 10.**EXP(I)
31.     IF(R.GT.500.) R=R+1
32.     EXP(I) = IFIX(R)/10.
33.     IF(I.GE.5.AND.EXP(I).LT.EXP(I-1)) EXP(I)=EXP(I-1)
34.     IF (EXP(I) .LT. 0.0) EXP(I) = 0.0
35.     IF (EXP(I) .GT. 100.) EXP(I) = 100.0
36.     300 CONTINUE
37.     400 FEXP(1) = EXP(1)
38.     DO 500 I=2,100
39.     FEXP(I) = EXP(I)-EXP(I-1)
40.     RETURN
41.     END

```

```

1.      SUBROUTINE SASICL(SA,SI,CL,XSAMPL)
2.      C
3.      C INTEGER XSAMPL(2)
4.      C INTEGER A,B,C,D,E,F1,F2,G1,G2,H,P,Q1,Q2,R,S
5.      C DATA A,B,C,D,E,F1,F2,G1,G2,H,P,Q1,Q2,R,S /4HSAND , 10HSILTY SAND
6.      C 1 , 10HSANDY SILT , 4HSILT , 9HCLAY SAND , 10HSILTY CLAY ,
7.      C 2 6H SAND , 10HSANDY CLAY , 6H SILT , 9HCLAY SILT , 10HSANDY CLAY
8.      C 3 , 10HSANDY SILT , 6HY CLAY ,10HSILTY CLAY , 4HCLAY /
9.      C XSAMPL(1) = 10H
10.     XSAMPL(2) = 6H
11.     IF(SA.GE.90.0) XSAMPL(1) = A
12.     IF(SI.GE.90.0) XSAMPL(1) = D
13.     IF(CL.GE.90.0) XSAMPL(1)=S
14.     IF(SI.GT.15.0.AND.CL.GT.15..AND.SA.GT.SI.AND.SA.GE.CL)XSAMPL(1)=F1
15.     IF(XSAMPL(1).EQ.F1) XSAMPL(2)=F2
16.     IF(SA.GT.15.0.AND.CL.GT.15..AND.SI.GE.SA.AND.SI.GT.CL)XSAMPL(1)=G1
17.     IF(XSAMPL(1).EQ.G1) XSAMPL(2)=G2
18.     IF(SI.GT.15.0.AND.SA.GT.15..AND.CL.GE.SI.AND.CL.GT.SA)XSAMPL(1)=Q1
19.     IF(XSAMPL(1).EQ.Q1) XSAMPL(2)=Q2
20.     IF(SA.LT.90.0.AND.CL.LE.15..AND.SA.GT.SI.AND.SI.GE.CL) XSAMPL(1)=B
21.     IF(SI.LT.90.0.AND.CL.LE.15..AND.SI.GE.SA.AND.SA.GT.CL) XSAMPL(1)=C
22.     IF(SA.LT.90.0.AND.SI.LE.15..AND.CL.GT.SI.AND.SA.GE.CL) XSAMPL(1)=E
23.     IF(SA.LE.15.0.AND.SI.LT.90..AND.SI.GT.CL.AND.CL.GE.SA) XSAMPL(1)=H
24.     IF(SI.LE.15.0.AND.CL.LT.90..AND.SA.GE.SI.AND.CL.GT.SA) XSAMPL(1)=P.
25.     IF(CL.LT.90.0.AND.SA.LE.15..AND.CL.GE.SI.AND.SI.GT.SA) XSAMPL(1)=R
26.     RETURN
27.     END

```

```

1.      SUBROUTINE PARAM(N,NN,C,MEAN,CV,STDEV,SKEW,KURT,
2.      C P05,P16,P25,P50,P75,P84,P95)
3.      C
4.      C
5.      C
6.      C LA SUBROUTINE PARAM CALCULE LES PARAMETRES STATISTIQUES DE LA
7.      C COURBE CUMULATIVE SUIVANT LA METHODE GRAPHIQUE
8.      C REFERENCE: FBK R.L. AND WARD W.C(1957)- RAZOS RIVER BAR, A STUDY
9.      C IN THE SIGNIFICANCE OF GRAIN SIZE PARAMETERS. JOUR. SED.
10.     C PETROLOGY,27,P 3-27.
11.     C
12.     DIMENSION C(N)

```




```

13. REAL KURT,MEAN
14. DO 100 I=1,N
15. PHI1=FLB0AT(AN+I-1)
16. P11 = .6.00+PHI1*0.25
17. X = C(I)
18. Y = C(I+1)
19. IF(ABS(Y-X).LE.0.0001) Y=0.001*X
20. IF(Y.GE.5.0.AND.X.LE.5.0)P05=PHI1-((Y-5.0)/(Y-X))/4*0
21. IF(Y.GE.16.0.AND.X.LE.16.0)P16=PHI1-((Y-16.0)/(Y-X))/4*0
22. IF(Y.GE.25.0.AND.X.LE.25.0)P25=PHI1-((Y-25.0)/(Y-X))/4*0
23. IF(Y.GE.50.0.AND.X.LE.50.0)P50=PHI1-((Y-50.0)/(Y-X))/4*0
24. IF(Y.GE.75.0.AND.X.LE.75.0)P75=PHI1-((Y-75.0)/(Y-X))/4*0
25. IF(Y.GE.84.0.AND.X.LE.84.0)P84=PHI1-((Y-84.0)/(Y-X))/4*0
26. IF(Y.GE.95.0.AND.X.LE.95.0)P95=PHI1-((Y-95.0)/(Y-X))/4*0
27. 100 CONTINUE
28. MEAN = (P16+P50+P84)/3.0
29. STDEV=(P84-P16)/4.+(P95-P05)/6.6
30. SKEW=(P84+P16-2*P50)/(2*(P84-P16))
31. SKEW*SKEW+(P95+P05-2*P50)/(2*(P95-P05))
32. KURT=(P95-P05)/(2.44*(P75-P25))
33. CV=STDEV*100.0/MEAN
34. CV=STDEV*100.0/MEAN
35. RETURN
36. END

```

```

1. SUBROUTINE PLBTER(A,B,N1,C,D,N2,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,VAR)
2. C
3. C A AND B CONTAIN THE FIRST SET OF VARIABLES TO BE PLOTTED
4. C A IS A VARIABLE PLOTTED IN THE X DIRECTION
5. C B IS THE VARIABLE PLOTTED IN THE Y DIRECTION
6. C C AND D CONTAIN A SECOND SET OF VARIABLES TO BE PLOTTED
7. C N1 IS THE ACTUAL NUMBER OF ROWS IN THE A AND B ARRAYS
8. C N2 IS THE ACTUAL NUMBER OF ROWS IN THE C AND D ARRAYS
9. C XMIN IS THE MINIMUM VALUE OF THE GRAPH
10. C
11. C
12. C
13. DIMENSION IBUT(121),XX(16)
14. DIMENSION A(N1),B(N1),C(N2),D(N2)
15. IMP = 103
16. DATA IBLNK,II,IPLUS,IXI,IMINUS,ISTAR,IO
17. 1 /1H,1HI,1H+,1HX,1H-,1H*,1HO/
18. IVAR1 = IFIX(VAR)/10
19. IVAR3 = IFIX(VAR)+1
20. IVAR4 = IFIX(VAR)+2
21. VAR2 = VAR/10.0
22. C
23. C FIND MIN-MAX OF DATA
24. C
25. IF(XMAX.NE.0.0.OR.YMAX.NE.0.0) GOTO 1
26. XMIN = A(1)
27. XMAX = XMIN
28. YMIN = A(1)
29. YMAX = YMIN
30. DO 100 I=1,N1
31. IF(A(I).LT.XMIN) XMIN=A(I)
32. IF(A(I).GT.XMAX) XMAX=A(I)
33. IF(B(I).LT.YMIN) YMIN=B(I)
34. IF(B(I).GT.YMAX) YMAX=B(I)
35. 100 CONTINUE
36. IF(N2.LE.0) GOTO 1
37. DO 101 I=1,N2
38. IF(C(I).LT.XMIN) XMIN=C(I)
39. IF(C(I).GT.XMAX) XMAX=C(I)
40. IF(D(I).LT.YMIN) YMIN=D(I)
41. IF(D(I).GT.YMAX) YMAX=D(I)
42. 101 CONTINUE
43. 1 DX = (XMAX-XMIN)/120.
44. DY = (YMAX-YMIN)/VAR
45. C
46. WRITE(IMP,1000)
47. Y = YMAX
48. DO 102 I=1,IVAR3
49. IF(MOD(I-1,VAR2).EQ.0) GOTO 2
50. DO 103 J=1,121
51. IBUT(J) = IBLNK
52. IF(MOD(J-1,10).NE.0) GOTO 103
53. IF(J.EQ.1.OR.J.EQ.121) IBUT(J)=II
54. 103 CONTINUE
55. GOTO 3
56. 2 DO 104 J=1,121
57. IF(I.EQ.1.OR.I.EQ.IVAR3) GOTO 5
58. IBUT(1) = IPLUS
59. IBUT(121) = IPLUS
60. GOTO 3
61. 5 IBUT(J) = IMINUS
62. IF(MOD(J-1,10).EQ.0) IBUT(J)=IPLUS
63. 104 CONTINUE
64. C
65. C PLOT DATA SET ONE
66. C
67. 3 DO 105 J=1,N1
68. IY = IFIX((B(J)-YMIN)/DY*0.005)+1
69. IF((IVAR4-I).NE.IY) GOTO 105
70. IX = IFIX((A(J)-XMIN)/DX*0.005)+1
71. IBUT(IX) = ISTAR
72. 105 CONTINUE
73. C
74. C PLOT DATA SET TWO
75. C
76. IF(N2.LE.0) GOTO 10
77. DO 106 J=1,N2
78. IY = IFIX((D(J)-YMIN)/DY*0.005)+1

```



```

79.      IF((IVAR4-I).NE.IY) GOTO 106
80.      IX = IFIX((C(J)-XMIN)/OX+.005)+1
81.      IF(IX.GT.120) IX=120
82.      IF(IBUT(IX).EQ.10) GOTO 106
83.      IF(IBUT(IX).EQ.1STAR) GOTO 4
84.      IBUT(IX) = IXI
85.      GOTO 106
86.      4 IBUT(IX) = 10
87.      106 CONTINUE
88.      C
89.      C      PRINT LINE OF PLOTS
90.      C
91.      10 IF(MOD(I-1,IVAR1).NE.0) GOTO 11
92.      WRITE(IMP,1001) Y,IBUT
93.      Y = Y-VAR2*DY
94.      GOTO 102
95.      11 WRITE(IMP,1002) IBUT
96.      102 CONTINUE
97.      C
98.      C      PRINT LEGEND ACROSS BOTTOM OF GRAPH
99.      C
100.     XXX = *1
101.     DO 110 I=1,16
102.     XX(I) = XXX
103.     XXX = XXX+1.
104.     110 CONTINUE
105.     WRITE(IMP,1003) (XX(I),I=1,16)
106.     WRITE(IMP,1000)
107.     1000 FORMAT (1H1)
108.     1001 FORMAT (1X,F5.1,1X,121A1)
109.     1002 FORMAT (7X,121A1)
110.     1003 FORMAT(5X,16(F3.0,5X))
111.     RETURN
112.     END

```



ANNEXE II

```

1.      DIMENSION A(300,12)
2.      C      A(I,1) = BRG
3.      C      A(I,2) = CARB
4.      C      A(I,3) = SAND.....
5.      LEC = 105
6.      IMP = 108
7.
8.      C      LECTURE DU NOMBRE DE COLONNES DE LA MATRICE DES DONNEES (FORMAT I2)
9.      C      AINSI QUE DU MODE DE RESULTAT SOUHAITE: IE=1 POUR DES RESULTATS
10.     C      PARAMETRE PAR PARAMETRE OU IE=0 POUR DES RESULTATS EN MATRICES.
11.     C
12.     READ(LEC,1005) N, IE
13.     1000 FORMAT(2I2)
14.     NJ = 0
15.     DO 100 I=1,300
16.     READ(LEC,1010) (A(I,J),J=1,N)
17.     WRITE(IMP,1010) (A(I,J),J=1,N)
18.     1010 FORMAT(5X,9F5.1,3F5.2)
19.     IF(A(I,1).EQ.8888.8) GOT0 10
20.     100 NJ = NJ+1
21.     10 CONTINUE
22.     CALL STAT1 (A,NJ,N,IE)
23.     END

```

```

1.      SUBROUTINE STAT1 (A,NROWS,NCOLUM,IE)
2.      C
3.      C      A EST LA MATRICE COMPORTANT NROWS RANGEES ET NCOLUM COLONNES
4.      C      OU SONT STOCKEES LES INFORMATIONS. IE = PARAMETRE PERMETTANT LE
5.      C      CONTRÔLE DU TYPE DE SORTIE DES RESULTATS
6.      C      IE = 1 POUR DES RESULTATS PARAMETRE PAR PARAMETRE
7.      C      IE = 0 POUR DES RESULTATS EN MATRICE
8.      C
9.      C      LA SUBROUTINE CALCULE:
10.     C      LES MOYENNES ARITHMETIQUES
11.     C      LES ECARTS-TYPES
12.     C      LES COEFFICIENTS DE CORRELATION
13.     C      LES CONSTANTES DE LA DROITE DE REGRESSION
14.     C      LES COEFFICIENTS DU NEAREST-NEIGHBOR STATISTIC
15.     C
16.     C
17.     DIMENSION A(300,NCOLUM)
18.     DIMENSION XDATA(300),YDATA(300),B(300),C(300)
19.     DIMENSION AMEAN(15),ASTDEV(15),AA1(15,15),AB1(15,15),AR(15,15)
20.     DIMENSION VEC(20),ARS(15,15)
21.     DATA VEC/3HX 1,3HX 2,3HX 3,3HX 4,3HX 5,3HX 6,3HX 7,3HX 8,3HX 9,
22.     1 3HX10,3HX11,3HX12,3HX13,3HX14,3HX15,3HX16,3HX17,3HX18,3HX19,
23.     2 3HX20/
24.     IMP = 108
25.     C
26.     WRITE(IMP,20 2)
27.     J = 1
28.     50 K = J+1
29.     40 DO 200 I=1,NROWS
30.     XDATA(I) = A(I,J)
31.     YDATA(I) = A(I,K)
32.     200 CONTINUE
33.     CALL REPLIC(XDATA,YDATA,B,C,NJ,NROWS)
34.     CALL STAT2 (B,C,NJ,IE,XMEAN,YMEAN,XSTDEV,YSTDEV,A1,R1,R,RS)
35.     AMEAN(J) = XMEAN
36.     AMEAN(K) = YMEAN
37.     ASTDEV(J) = XSTDEV
38.     ASTDEV(K) = YSTDEV
39.     AA1(J,K) = A1
40.     AB1(J,K) = B1
41.     AR(J,K) = R
42.     ARS(J,K) = RS
43.     IF(K.EQ.NCOLUM) GOT0 30
44.     K = K+1
45.     GOT0 40
46.     3. J = J+1
47.     IF(J.NE.NCOLUM) GOT0 50
48.     C
49.     C
50.     IF(IE.EQ.1) STOP
51.     DO 300 I=1,NCOLUM

```



```

52.      AA1(I,I) = 1.0
53.      AA1(I,I) = 1.0
54.      AR(I,I) = 1.0
55.      ARS(I,I) = 1.0
56.      DO 400 J=1,NCBLUM
57.      AA1(J,I) = AA1(I,J)
58.      AB1(J,I) = AB1(I,J)
59.      ARS(J,I) = ARS(I,J)
60.      AR(J,I) = AR(I,J)
61. 300 CONTINUE
62.      WRITE(IMP,2002)
63.      WRITE(IMP,2006)
64.      WRITE(IMP,2005) (VEC(I),I=1,NCBLUM)
65.      WRITE(IMP,2007) (AMEAN(I),I=1,NCBLUM)
66.      WRITE(IMP,2008)
67.      WRITE(IMP,2005) (VEC(I),I=1,NCBLUM)
68.      WRITE(IMP,2007) (ASTDEV(I),I=1,NCBLUM)
69.      WRITE(IMP,2002)
70.      WRITE(IMP,2001)
71.      WRITE(IMP,2005) (VEC(I),I=1,NCBLUM)
72.      DO 500 I=1,NCBLUM
73. 500 WRITE(IMP,2005) VEC(I),(AR(I,J),J=1,NCBLUM)
74.      WRITE(IMP,2002)
75.      WRITE(IMP,2003)
76.      WRITE(IMP,2005) (VEC(I),I=1,NCBLUM)
77.      DO 600 I=1,NCBLUM
78. 600 WRITE(IMP,2005) VEC(I),(AA1(I,J),J=1,NCBLUM)
79.      WRITE(IMP,2002)
80.      WRITE(IMP,2004)
81.      WRITE(IMP,2005) (VEC(I),I=1,NCBLUM)
82.      DO 700 I=1,NCBLUM
83. 700 WRITE(IMP,2005) VEC(I),(AB1(I,J),J=1,NCBLUM)
84.      WRITE(IMP,2002)
85.      WRITE(IMP,2009)
86.      WRITE(IMP,2005) (VEC(I),I=1,NCBLUM)
87.      DO 800 I=1,NCBLUM
88. 800 WRITE(IMP,2005) VEC(I),(ARS(I,J),J=1,NCBLUM)
89.      WRITE(IMP,2002)
90. 2001 FORMAT(//,1X,A3,2X,20(F8.2,2X))
91. 2002 FORMAT(//,15X,49MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION LINEAIRE
92. 15 //,/,/)
93. 2003 FORMAT(1H1)
94. 2003 FORMAT(//,15X,47MATRICE DES COEFFICIENTS DIRECTEURS DES DROITES,
95. 1 //,/,/)
96. 2004 FORMAT(//,15X,48MATRICE DES CONSTANTES DES DROITES DE REGRESSION
97. 1 //,/,/)
98. 2005 FORMAT(11X,27(A3,7X))
99. 2006 FORMAT(//,15X,34VECTEUR DES MOYENNES ARITHMETIQUES,/,/,/,/)
100. 2007 FORMAT(//,16X,20(F8.2,2X))
101. 2008 FORMAT(25(//),15X,31VECTEUR DES DEVIATIONS STANDARD,/,/,/,/)
102. 2009 FORMAT(//,15X,40MATRICE DES NEAREST NEIGHBOR STATISTICS //,/,/,/)
103.      1)
104.      RETURN
105.      END

```

```

1.      SUBROUTINE REPLIC (A,B,XDATA,YDATA,J,N)
2.      DIMENSION A(N),B(N),XDATA(J),YDATA(J)
3.      J = 1
4.      DO 110 NI=1,N
5.      VALUE2 = B(NI)
6.      VALUE1 = A(NI)
7.      IF(VALUE1.EQ.999.99.0R.VALUE1.EQ.9999.9) GOT0 110
8.      IF(VALUE2.EQ.999.99.0R.VALUE2.EQ.9999.9) GOT0 110
9.      XDATA(J) = VALUE1
10.     YDATA(J) = VALUE2
11.     IF(NI.NE.N) J=J+1
12. 110 CONTINUE
13.     RETURN
14.     END

```

MS
ILLE


```

1.      SUBROUTINE STAT2(XDATA,YDATA,NS,IE,XMEAN,YMEAN,XSTDEV,YSTDEV,
2.      A,R,RS)
3.      DIMENSION XDATA(NS),YDATA(NS)
4.      C
5.      C LA SUBROUTINE CALCULE LES MOYENNES ET DEVIATIONS STANDARD POUR
6.      C LES DEUX VECTEURS XDATA ET YDATA
7.      C ELLE CALCULE ENSUITE LE COEFFICIENT DE CORRELATION R AINSI
8.      C QUE L'INTERVALLE DE CONFIDENCE SI R EST SIGNIFIANT (CAS DE
9.      C POPULATIONS SUPERIEURES A 100 POINTS.)
10.     C NS = NOMBRE D'OBSERVATIONS.
11.     C CALCUL DES MOYENNES ET DEVIATIONS STANDART
12.     C
13.     IMP = 100
14.     SUMX = 0.0
15.     SUMY = 0.0
16.     SUMXY = 0.0
17.     SUMXSQ = 0.0
18.     SUMYSQ = 0.0
19.     XMIN = XDATA(1)
20.     XMAX = XMIN
21.     YMIN = YDATA(1)
22.     YMAX = YMIN
23.     DO 100 I=1,NS
24.     IF (XDATA(I).LT.XMIN) XMIN = XDATA(I)
25.     IF (XDATA(I).GT.XMAX) XMAX = XDATA(I)
26.     IF (YDATA(I).LT.YMIN) YMIN = YDATA(I)
27.     IF (YDATA(I).GT.YMAX) YMAX = YDATA(I)
28.     SUMX = SUMX + XDATA(I)
29.     SUMY = SUMY + YDATA(I)
30.     SUMXY = XDATA(I)*YDATA(I)+SUMXY
31.     SUMXSQ = SUMXSQ + XDATA(I)*XDATA(I)
32.     SUMYSQ = SUMYSQ + YDATA(I)*YDATA(I)
33. 100 CONTINUE
34.     XMEAN = SUMX/FL0AT(NS)
35.     YMEAN = SUMY/FL0AT(NS)
36.     XSTDEV = SQRT((FL0AT(NS)*SUMXSQ-SUMX*SUMX)/FL0AT(NS*(NS-1)))
37.     YSTDEV = SQRT((FL0AT(NS)*SUMYSQ-SUMY*SUMY)/FL0AT(NS*(NS-1)))
38.     C
39.     C CALCUL DU COEFFICIENT DE CORRELATION R
40.     C
41.     R = 0.0
42.     DO 200 I=1,NS
43. 200 R = (XDATA(I)-XMEAN)*(YDATA(I)-YMEAN)+R
44.     R = R/(NS*XSTDEV*YSTDEV)
45.     C
46.     C CALCUL DE L'INTERVALLE DE CONFIDENCE RMIN-RMAX
47.     C
48.     SIGMAR = 2*(1-R*R)/SQRT(NS-1)
49.     IF(ABS(R).GT.SIGMAR) ICONF = 1
50.     RMAX = R+SIGMAR
51.     RMIN = R-SIGMAR
52.     C
53.     C CALCUL DES CONSTANTES DE LA DROITE DE REGRESSION
54.     C
55.     A = (SUMXY-SUMX*SUMY/NS)/(SUMXSQ-SUMX*SUMX/NS)
56.     B = YMEAN-A*XMEAN
57.     C
58.     C
59.     C CALCUL DU NEAREST NEIGHBOR STATISTIC (RS)
60.     C
61.     P = FL0AT(NS)/((XMAX-XMIN)*(YMAX-YMIN))
62.     DELTA = 1./(2.*SQRT(P))
63.     NI=NS-1
64.     DSUM = 0.0
65.     DO 300 I=1,NI
66.     DMIN = 99.9**10
67.     K = I+1
68.     DO 400 J=K,NS
69.     D = (YDATA(I)-YDATA(J))**2+(XDATA(I)-XDATA(J))**2
70.     D = SQRT(D)
71.     IF(D.LT.DMIN) DMIN=D
72. 300 CONTINUE

```



```

73.      300 DSUM = DMIN+DSUM
74.      DBAR = DSUM/FLGAT(NS)
75.      PS = DBAR / DELTA
76.
77.      C
78.      C
79.      IF (IE.EQ.0) GO TO 30
80.      WRITE (IMP,2556) XMEAN,XSTDEV
81.      WRITE (IMP,2557) YMEAN,YSTDEV
82.      IF (ICONEF.NE.1) GO TO 10
83.      WRITE (IMP,2552) R
84.      WRITE (IMP,2553) RMIN,RMAX
85.      IF (ICONEF.EQ.1) GO TO 20
86.      10 WRITE (IMP,2554) R
87.      20 CONTINUE
88.      WRITE (IMP,2556) A,B
89.      WRITE (IMP,2557) DELTA,DBAR,RS
90.      WRITE (IMP,2555)
91.      30 CONTINUE
92.      2000 FORMAT(29H MOYENNE ARITHMETIQUE DES XI: ,F10.3,7X,
93.      1 1XHECART-TYPE DES XI:,F10.3)
94.      2001 FORMAT(/,29H MOYENNE ARITHMETIQUE DES YI: ,F10.3,7X,
95.      1 1XHECART-TYPE DES YI:,F10.3)
96.      2002 FORMAT(/,37H COEFFICIENT DE CORRELATION LINEAIRE: ,F6.3)
97.      2003 FORMAT(/,26H INTERVALLE DE CONFIDENCE: ,F6.3,6H < R < ,
98.      1  F6.3,14H POUR P=0.95 )
99.      2004 FORMAT(/,47H COEFFICIENT DE CORRELATION NON SIGNIFIANT: R= ,F6.3)
100.     2005 FORMAT(1H1)
101.     2006 FORMAT(/,25H DROITE DE REGRESSION: Y=,F6.2,2HX+,F6.2,
102.     2007 FORMAT(7H DISTANCE MOYENNE ENTRE CHAQUE POINT ET SON PLUS PROCHE
103.     1V0ISIN: DELTA=,F6.2,/,
104.     2 75H DISTANCE MOYENNE OBSERVEE ENTRE CHAQUE POINT ET SON + PROCHE
105.     3V0ISIN: DBAR=,F6.2,/,
106.     442H INDICE STATISTIQUE DU + PROCHE VOISIN: R=,F6.2,/)
107.     RETURN
108.     END

```

