

**MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
INSTITUT DE PALEONTOLOGIE HUMAINE**

MEMOIRE DE D.E.A.

QUATERNNAIRE : Géologie, Paléontologie Humaine, Préhistoire

**Mise en évidence des modifications climatiques au Brésil central
à l'Holocène par l'étude sédimentologique
d'une carotte de sédiments fluvio-lacustres
(Itambacuri, Minas Gerais)**

Présenté le 14 Octobre 1991

par

Tahar BOUHAFA

AVANT PROPOS

Avant de présenter ce travail j'ai à remercier les personnes qui m'ont aidé à le réaliser.

Monsieur H. de LUMLEY qui m'a accueilli à l'Institut de Paléonthologie et m'a enseigné le sens de l'approche interdisciplinaire pour une compréhension plus complète de l'Histoire de nos lointains ancêtres.

Monsieur M. SERVANT qui a bien accepté dans sa dynamique équipe de recherche. Sans lui ce travail ne peut voir le jour.

Monsieur B.TURCQ qui a directement veillé sur l'avancement de ce travail. Sa constante disponibilité et sa grande expérience m'ont été indispensable pour faire les premiers pas dans le domaine des recherches sur le Paléoenvironnement et leurs significations climatiques.

Que Monsieur FOURNIER, Madame DELAUNE, trouvent dans ce modeste travail l'expression de gratitude envers leur constante sympathie et disponibilité pour m'apprendre de leur grande expérience , respectivement, en matière de Géochronologie et de sédimentologie.

Mes remerciements vont également à Madame MILLOT (diffractométrie aux rayons X), et Madame PELLETIER (Laboratoire d'Informatique Appliquée) dont leur disponibilité m'a été chère pour m'initier au traitement informatisé des données.

Je tiens à remercier également tous le personnel de L'ORSTOM et de L'Institut de Paléonthologie Humaine et surtout les bibliothécaires pour leur grandes servabilités.

Je ne peut pas oublier de remercier mes collègues et amis de l'Instiut et surtout M.P LEDRU et SIFEDDINE qui m'ont fait profiter de leur expérience "brésilienne".

TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS

TABLE DES MATIERES.....	I
LISTE DES FIGURES.....	II
LISTE DES TABLEAUX.....	IV

INTRODUCTION.....	1
--------------------------	---

CHAPITRE I : APERCU HISTORIQUE SUR LES ETUDES DU QUATERNaire AU BRESIL	3
---	---

1. LES PRECURSEURS DES CHANGEMENTS PALEOCLIMATIQUES QUATERNAIRES; PREMIERES ESQUISSES DE DESCRIPTION SANS DATATIONS PRECISES.....	3
--	---

2.PREMieres PRECISiONS CHRONOLOGIQUES A L'ECHELLE DE L'HOLOCENE.....	4
---	---

CHAPITRE II. CADRE DE GEOGRAPHIE PHYSIQUE GENERALE.....	6
--	---

1. CADRE GEOLOGIQUE ET CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE.....	6
--	---

2. CLIMAT ET VEGETATION	10
--------------------------------------	----

2.1 Les principaux mécanismes climatiques	10
2.2 Les caractéristiques thermiques et pluviométriques	11
2.3 Le couvert végétal	13

CHAPITRE III. MATERIEL D'ETUDE ET METHODOLOGIE.....	15
--	----

1. METHODE DE CAROTTAGE ET D'ECHANTILLONNAGE.....	15
--	----

1.1 Méthode de carottage.....	15
1.2 Méthode d'échantillonnage.....	16

2. DESCRIPTION DE LA CAROTTE API.....	17
--	----

3. ANALYSES DE LABORATOIRE	20
---	----

3.1 Analyses sédimentologiques.....	20
3.2 Analyses aux rayons X.....	24
3.3 Analyses géochimiques.....	24
3.4 Datations au carbone 14.....	24

CHAPITRE IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS	25
1. DESCRIPTION DES FACIES	25
2. RESULTATS DES ANALYSES.....	29
2.1 Résultats séimentologiques	
2.1.1 Variation des principales fractions granulométriques, de la médine et de l'indice de Trask.....	29
2.1.2 Variation du profil des courbes granulométriques.....	31
2.2 Résultats des données géochimiques.....	34
2.2.1 Dosage de la teneur en eau et de la densité apparente.....	34
2.2.2 Dosage du carbone organique.....	37
2.2.3 Dosage de l'azote.....	37
2.2.4 Le rapport C/N.....	38
2.3 Analyse statistique des données.....	40
2.4 Géochronologie de la carotte.....	42
3 INTERPRETATIONS PALEOCLIMATIQUES ET COMPARAISON AVEC D'AUTRES REGIONS DE L'AMRIQUE DU SUD.....	44
3.1 Réconstitution des paléoenvironnements et essai d'interprétation paléoclimatique.....	44
3.1.1 Réconstitution des paléoenvironnements	44
3.1.2 Interprétation paléoclimatique	46
3.2 Comparaison avec d'autres régions de l'Amérique du Sud.	47
CONCLUSION	50
BIBLIOGRAPHIE.....	52
ANNEXES	56

LISTE DES FIGURES

Fig. 1a : Cartes de localisation du site: cartes du Brésil, de l'Etat de Minas Gerais et extrait de la carte topographique d'Itambacuri.....	7
Fig. 1b : Le bassin-versant de Lagoa Preta et coupes topographiques de la région d'étude.....	8
Fig. 2. : Carte géologique de la région d'étude.....	9
Fig. 3 : Carte de la circulation atmosphérique au Brésil du Sud-Est.....	10
Fig. 4 : Diagrammes ombrothermiques des stations voisines du site	12
Fig. 5 : Coupe synthétique de la carotte AP1.....	18
Fig. 6 : Les différents stades de l'analyse des échantillons du lot "B".....	21
Fig. 7 : Les différents stades de l'analyse des échantillons du lot "C".....	23
Fig. 8 : Variation de la teneur en Kaolinite, en Quartz et en Mica (estimation semi quantitative).....	25
Fig. 9 : Variation des principales fractions granulométriques et des quartiles le long de la carotte	30
Fig. 10 : Variation de la médiane et de l'indice de TRASK.....	32
Fig. 11 : Courbes granulométriques indiquant la variation des différents processus de transport et de mise en place des sédiments.....	33
Fig. 12 : Variation de la teneur en eau et de la densité apparente.....	35
Fig. 13a. : Variation de la teneur en carbone organique, en azote et en eau.....	36
Fig. 13b : Variation de la teneur en carbone organique et en azote et le rapport C/N.....	39
Fig. 14a. : La répartition des échantillons et des résultats sédimentologiques et géochimiques selon l'analyse en composante principale.....	40
Fig. 14b : Répartition de la valeur du Facteur 1 en fonction de la profondeur.....	41
Fig. 15 : Projection des datations en fonction de la profondeur.....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Données climatiques des stations voisines du site (Itambacuri, Carantiga, Teofilo Ottoni. et Belo Horizonte.....	12
Tableau II : Description des différents faciès de la carotte	28
Tableau III : Pourcentage des des indices et des principales fractions granulométriques du lot "B	59
Tableau IV: Comparaison des fractions supérieures à 63 µm du lot "B" et "C	60
Tableau V : Teneur en eau, en carbone organique et en azote et rapport C/N.....	61
Tableau VI : Résultats des datations au Carbone 14.....	43

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Des études sur les paléoclimats du Brésil du Sud-Est (**SERVANT et al**, 1989) ont signalé l'existence des figures sédimentaires caractéristiques d'un climat sec (ravinements, cônes de déjections) datés de l'Holocène. La présente étude se propose de caractériser la dynamique morphosédimentaire pendant l'Holocène à partir de l'étude d'une carotte qui a été prélevée dans l'extrémité distale de l'un des cônes de déjection situé au Sud -Est du Brésil

Des analyses de granulométrie et de géochimie organique ont été réalisées pour bien appréhender les propriétés sédimentologiques du dépôt et les conditions de sa mise en place.

Une approche statistique a été tentée pour essayer de corrélérer les observations visuelles et les analyses de laboratoire.

Des datations ont permis de caler dans le temps les grands événements sédimentologiques dont notamment l'arrêt du fonctionnement du cône de déjection. Ces datations nous ont permis par la suite de comparer nos résultats avec ceux d'autres

auteurs qui ont travaillé dans la même région ou dans des régions voisines.

Cette étude s'insère dans le cadre d'un programme de recherche "GEOCIT"((Géodynamique des Climats Intertropicaux) dirigé par **Michel SERVANT**. Ce programme vise à déterminer l'histoire paléoclimatique de la zone intertropicale.

CHAPITRE I : APERCU HISTORIQUE SUR LES ETUDES DU QUATERNaire AU BRESIL

L'études du Quaternaire au Brésil a connu deux grandes étapes :

1 LES PRECURSEURS DES CHANGEMENTS PALEOCLIMATIQUES QUATERNAIRES; PREMIERES ESQUISSES DE DESCRIPTION SANS DATATIONS PRECISES

Vers le début des années soixante **BIGARELLA et al.** (1965), et **AB'SABER** (1977) ont fait remarquer que durant le pléistocène le paysage a été modelé par deux types de processus de morphogénèse différents:

- pendant les glaciations un climat semi-aride règne et facilite une érosion latérale (pénéplanation).
- pendant l'interglaciaire un climat humide favorise plutôt une érosion linéaire responsable de la dissection du modélisé.

Ces auteurs, ont tenté de comprendre la relation qui existe entre les types des dépôts et leurs significations paléoclimatiques, mais se sont limités aux grands cycles du climat quaternaire (glaciaire et interglaciaire).

D'autres chercheurs, parmi eux **TRICART et al.**(1969), et **TRICART** (1974), ont aussi signalé l'existence d'importantes oscillations climatiques au Quaternaire. En s'appuyant sur des images satellites ERTS-1 **TRICART** (1974) a pu détecter des modèles qui ne peuvent être expliqués par la morphogénèse actuelle Il cite, par exemple, les champs de dunes du São Francisco (Brésil) ou les intenses dissections des plateaux cuirassés qui sont le résultat d'un climat plus sec avec un couvert végétal plus ouvert que l'actuel (savane). **TRICART** (1974) conclut que: "il apparaît donc qu'au Würm, les conditions morphogénétiques étaient fort différentes de celles d'aujourd'hui. Les processus mécaniques

étaient plus intenses et permettaient une plus grande mobilisation du matériel...”. D'autre part l'auteur ne disposant pas de datations se limite à faire une distinction nette entre le Quaternaire récent qui va jusqu'à la régression pré-flandrienne et l'Holocène qui correspond à la transgression flandrienne . Ainsi on passe d'un climat sec et irrégulier à une oscillation humide permettant “l'établissement de la grande forêt et faisant régner les conditions de phytostasie que nous observons actuellement “.

Toutes les études citées s'appuient essentiellement sur des observations concernant une morphogénèse attribuée au Quaternaire ancien Les exemples se limitent à traduire l'effet de l'aridification “glaciaire” et le réchauffement accompagné d'un climat humide “post-glaciaire”. Concernant ce dernier des descriptions générales ont été fournies mais sans précision chronologique.

2. PREMIERES PRECISIONS CHRONOLOGIQUES A L'ECHELLE DE L'HOLOCENE

Dans un deuxième temps les chercheurs ont essayé de déterminer la chronologie absolue des événements ayant affecté la fin du Quaternaire.

Vers la fin des années soixante PFLUG (1968), a effectué des études plus détaillées sur les formations alluviales dans les environs de Rio Dôce (confins Sud de notre région d'étude). Il a déduit qu'une phase d'aridité était responsable de la formation d'épais dépôts de terrasse composés de sédiments grossiers. Ces dépôts sont responsables de la formation de lacs. La datation au ^{14}C de la matière organique présente dans les terrasses a donné une date de 14160 ans B.P.(+/-500) qui correspond selon PFLUG (1968) au dernier stade de glaciation dans l'Hémisphère Nord.

Une deuxième série de datations au carbone 14 a été fourni par **BIGARELLA** (1971). Cet auteur a daté des paléosols et des dépôts lacustres, fluviatiles et marins. Certains échantillons ont livrés des datations comprises entre 10000 et 1500 ans B.P. **BIGARELLA**, étant partisan de l'idée que les processus morphogénétiques sous climat plus sec s'arrêtent à la dernière glaciation a été étonné par ces âges et a essayé de chercher une corrélation avec, d'une part la courbe de niveau de la mer établie par **FAIRBRIDGE** (1962) et la préhistoire de la région, d'autre part.

En 1979 **MOUSINHO DE MEIS** et **MONTEIRO** ont repris les études sur les "rampas" au Brésil du Sud-Est et ont signalé que l'évolution des "rampas" (équivalents des cônes de déjections décrits par **SERVANT et al** (1991) semble avoir continué jusqu'à 7000 ans B.P.

Des précisions chronologiques à l'échelle de l'Holocène ont été de nouveau fournies par **SERVANT et al** (1989).

Sur la base d'une étude géomorphologique appuyée par des datations au ^{14}C , ces auteurs montrent que le bassin du Rio Dôce, actuellement occupé par une forêt tropicale humide (*Mata Atlântica*), a été soumis à un climat sec pendant une grande partie de l'Holocène. En effet cette sécheresse a été attestée par la présence à la base des versants d'accumulations sableuses formant des cônes de déjections. Le maximum de sécheresse holocène, marqué par cet intense ravinement des versants, aurait culminé vers 8000 ans B.P. Cette étude a l'avantage de mettre en évidence l'existence d'oscillations climatiques pendant l'Holocène. Par contre ces oscillations et notamment l'âge de la fin du fonctionnement des cônes ne sont pas datées de manière précise.

CHAPITRE II : CADRE DE GEOGRAPHIE PHYSIQUE GENERALE

1.CADRE GEOLOGIQUE ET CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

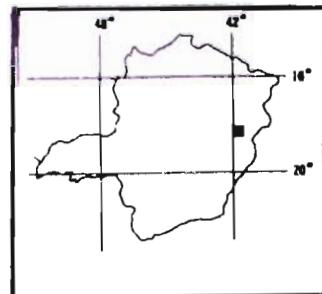
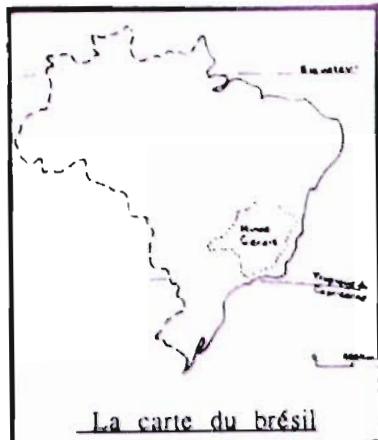
La région du site se trouve dans l'Etat de Minas Gerais au Sud-Est du Brésil (Fig.1a). Le substratum d'âge précambrien est composé de quatre grands types de roches: des gneiss, des quartzites, des micaschistes et des schistes à amphiboles (Fig.2). Le façonnement actuel des formes de reliefs au Brésil traduit l'interaction entre les facteurs endogènes de la morphogénèse (à savoir la nature des roches et la tectonique) et les facteurs exogènes (agents d'érosion physiques et biochimiques). Dans la description des paysages morphologiques actuels de notre région d'étude on peut distinguer, comme c'est le cas de tous le bouclier brésilien, les formes héritées d'un passé lointain et les formes actuelles (**DEMANGEOT**, 1972).

Les formes héritées sont représentées essentiellement par:

- le relief appalachien avec cluses plus ou moins évasées. c'est le cas de la Serra do Espinhaço à l'Ouest de la région de l'étude.
- des collines (Fig.1b) dont l'altitude est d'environ 900 à 1000 m. Ces collines ont souvent une surface sommitale tabulaire "armée" par un niveau siliceux induré (**MELFI et al**, 1979-1980).

Les collines dominent

le relief avoisinant par une dénivellation faible de l'ordre de 80 à 200 m mais la pente des versants est assez forte. Certains reliefs appelés par ailleurs inselbergs ou pain de sucre, ont subit une altération beaucoup plus poussée et il n'en reste que des reliefs résiduels très réduits ; on les appelle aussi "chicots" (**MELFI et al**, 1979-1980).



L'Etat de Minas Gerais



Fig. 1a.: Carte de localisation du site; Cartes du Brésil, de l'Etat du Minas Gerais et un extrait de la carte topographique d'Itambacuri.

Fig. 1b: Bassin-versant du lac (Agua Preta) site du prélèvement de la carotte AP1. (extrait de la carte topographique d'Irambacuri).

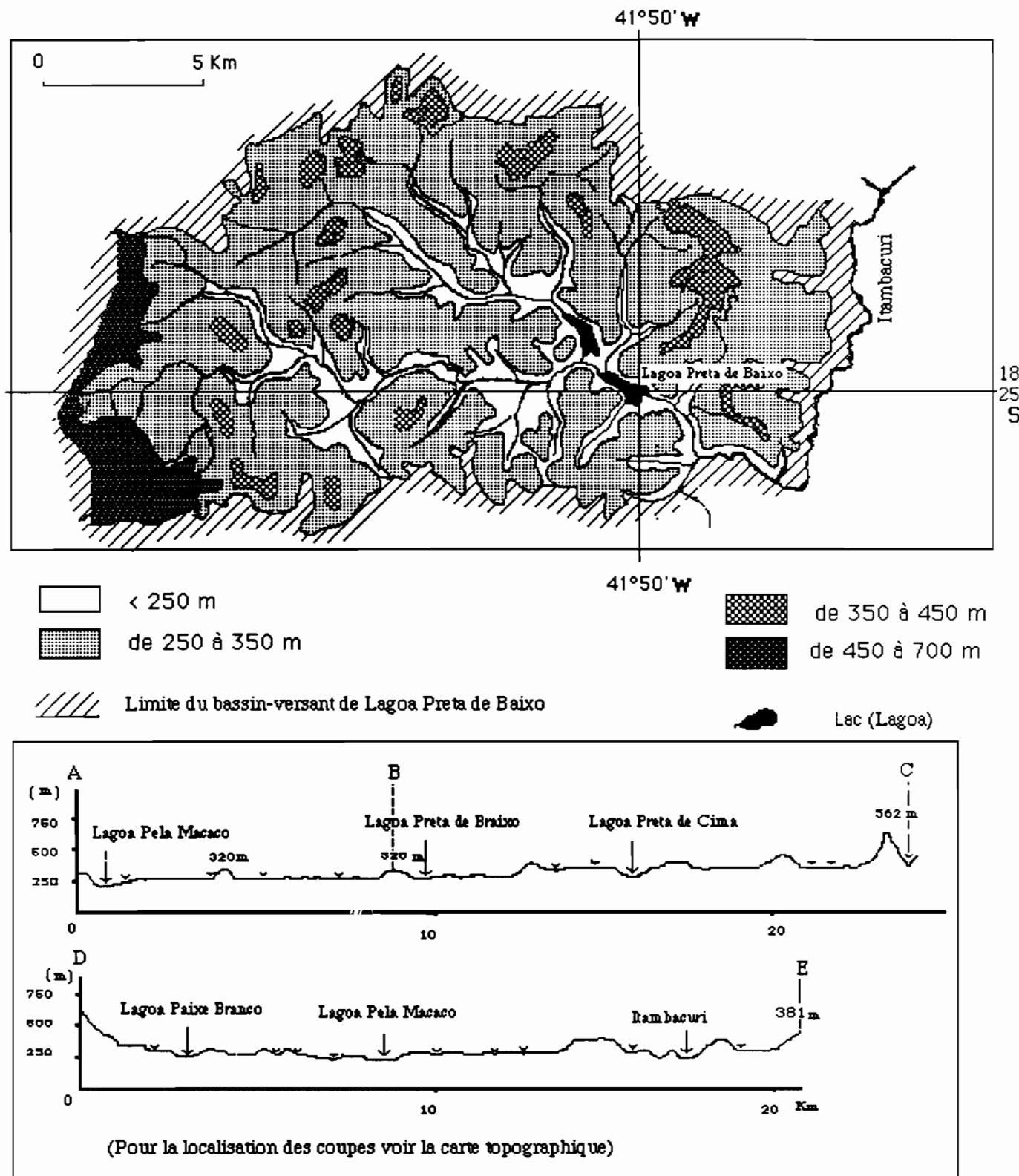
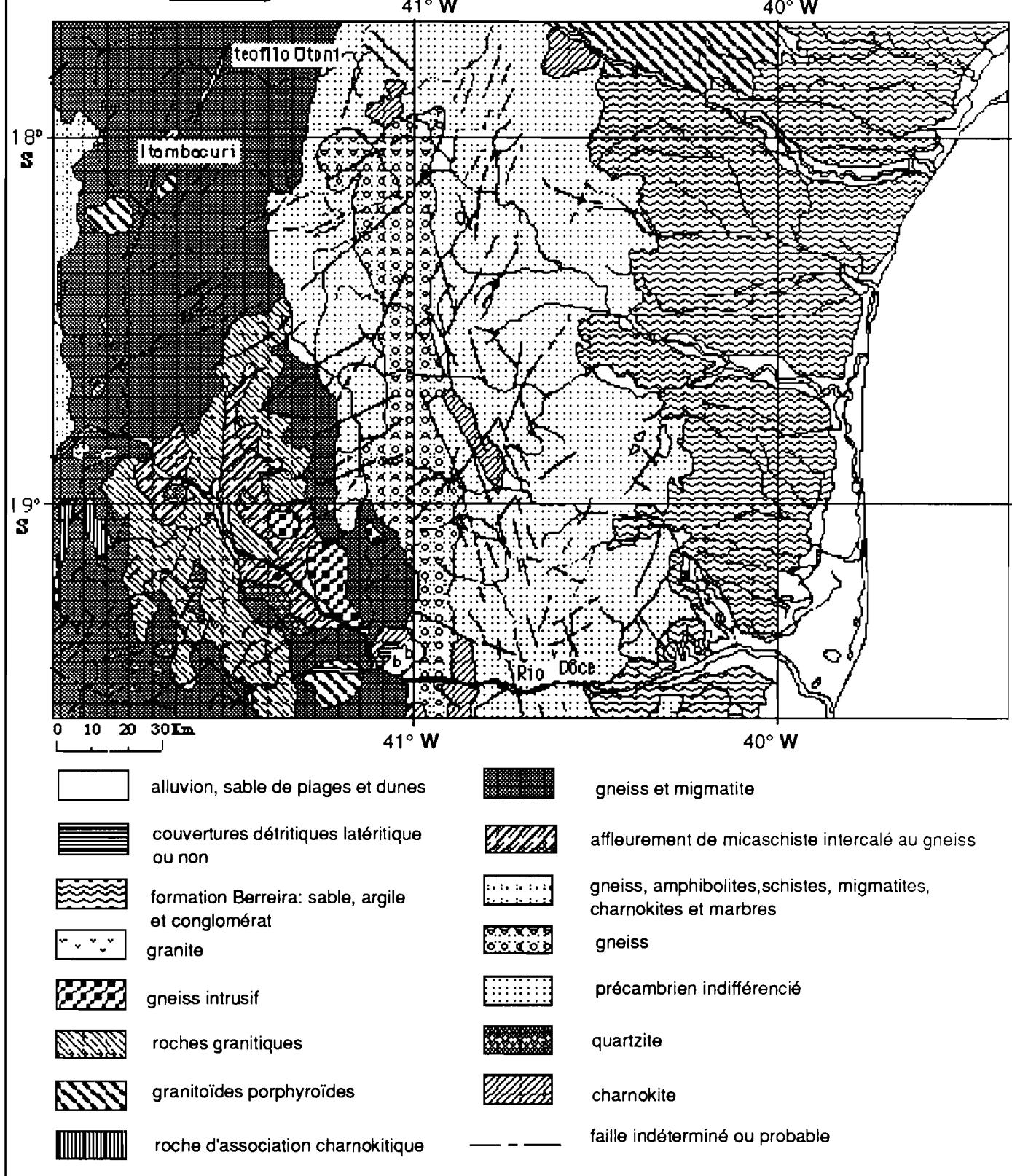


Fig. 2 : Carte géologique de la région d'étude (extrait de la carte géologique de Rio Dôce)



Le deuxième ensemble de formes géomorphologiques est le fait d'une morphogénèse quaternaire (dont la précision dans le temps est, en partie, le sujet de cette étude). Cet ensemble comprend les différentes formes colluviales (pédiments, glacis et cônes de déjection) et alluviales (terrasses) qui sont dans les "bas fonds" de reliefs. Leur répartition dans l'espace, leurs propriétés sédimentologiques et compositions géochimiques organiques et minérales sont d'une grande utilité pour une compréhension encore plus précise de l'histoire paléoclimatique quaternaire du Brésil.

2. CLIMAT ET VEGETATION

2.1. Les principaux mécanismes climatiques

De part sa situation tropicale et sa proximité relative de la façade atlantique la région du site étudié se trouve sous l'influence de trois différents mécanismes atmosphériques (Fig.3) :

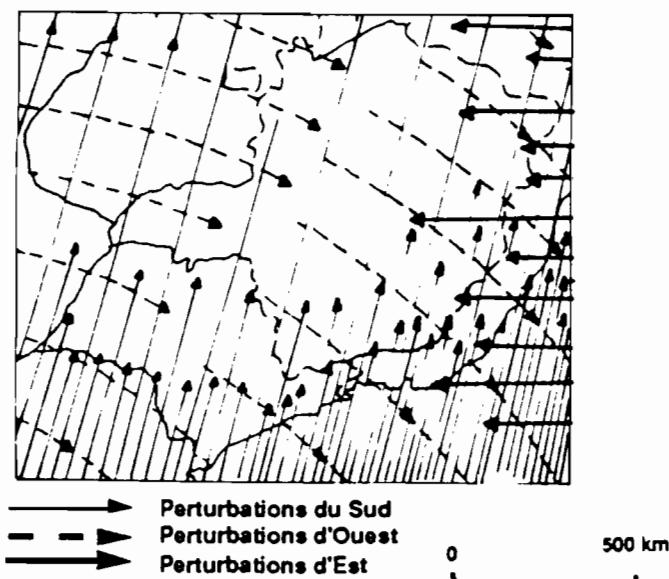


Fig. 3 : Carte de la circulation atmosphérique au Brésil du Sud-Est

- Les perturbations provoquées par l'advection des masses d'air polaire qui marque la saison d'"hiver" austral (PAGNEY, 1976). Ces perturbations sont parfois présentes également pendant la saison estivale de l'hémisphère Sud.

- Les perturbations d'Est et de Nord-Est qui sont le fait des vents Alizés .Ces derniers sont les vents les plus réguliers et les plus humides . Leur apport pluviométrique est plus sensible en été austral.

- Les perturbations d'Ouest qui sont dues aux fluctuations (migrations saisonnières) de la Zone de Convergence Intertropicale.

2.2. Caractéristiques thermiques et pluviométriques du climat

Pour présenter ces caractéristiques on s'est appuyé sur les données calculées sur une période de 30 années d'observations (1931 à 1960) réalisées par **l'Institut National de Météorologie du Brésil** (tableau I). En absence des données propres à la station du site on a choisi les stations météorologiques voisines (Fig.4).

LES TEMPERATURES

La moyenne annuelle est strictement supérieure à 15 °C et peut atteindre 24 °C . L'amplitude thermique est d'environ 5 °C. Les températures les plus faibles sont en relation avec les advections polaires. En fait comme dans tout climat tropical on ne peut parler de saison thermique *stricto sensus* par contre c'est la variabilité pluviométrique qui marque la différence entre les deux saisons.

LES PRÉCIPITATIONS

La moyenne des précipitations annuelles est de l'ordre de 1230 mm (Tableau II). La saison des pluies correspond à la

	TEOFILO OTONI			ITAMBACURI			BELO HORIZONTE			CARATINGA		
	P° en mm	T° en °C	P°/T° (*)	P° en mm	T° en °C	P°/T°	P° en mm	T° en °C	P°/T°	P° en mm	T° en °C	P°/T°
Janvier	187.5	24.7	7.59	150	21	7.14	268.1	22.8	11.76	196	22.8	8.60
Février	135	24.4	5.53	148.5	21.2	7.00	193.9	22.9	8.47	118.9	23	5.17
Mars	126.1	24.2	5.21	115	21	5.48	165.2	22.3	7.41	131.7	22.5	5.85
Avril	92.4	22.9	4.03	66.7	19.8	3.37	77.3	21.1	3.66	69.7	20.7	3.37
Mai	38.4	21	1.83	23	17.7	1.30	22.4	19.1	1.17	24.2	19.1	1.27
Juin	24	19.4	1.24	4.6	16.2	0.28	10.4	18	0.58	15.5	17.2	0.90
Juillet	29.1	18.5	1.57	10.8	15.5	0.70	6.5	17.7	0.37	9.4	16.8	0.56
Aout	25.1	19.3	1.30	9.9	16.7	0.59	9.4	19	0.49	8.6	17.8	0.48
Septembre	32.6	21.2	1.54	28.8	18.1	1.59	37.5	20.8	1.80	28	19.9	1.41
Octobre	108.2	22.9	4.72	86.8	20.2	4.30	113.4	21.5	5.27	104.3	21.4	4.87
Novembre	211.7	23.5	9.01	216.3	20.3	10.66	215.1	21.7	9.91	157.4	21.8	7.22
Décembre	223.7	24.2	9.24	245.8	21	11.70	354.2	21.6	16.40	271.5	22.1	12.29
Total annuel des précipitations (mm)	1234			1106			1473			1135		
Température moyenne annuelle (°C)		22.18			19.06			20.71			18.58	
Amplitude Thermique		4.92			5.7			5,2				
% des mois les plus pluvieux	87.91			93.03			94.15			92.45	5,6	

P°= Précipitation

T°= Température

(*) Un mois est dit sec si ($P°/T°$) < 2 . (H.GAUSSEN)

Tableau I : Données climatiques des stations voisines du site

période allant de l'équinoxe du mois de Septembre jusqu'au mois d'Avril. La saison sèche est plus courte , elle dure cinq mois et correspond aux mois les moins chauds de l'année. Ainsi le manque de pluviosité se trouve compensé en partie par une faible évapotranspiration potentielle. Ces constatations rejoignent les conclusions de **W.KOPPEN** qui classe notre région sous climat de type tropical continental humide avec une saison sèche marquée (*AW*)(in **VAUGHAN-WILLIAMS**, 1988).

2.3. le couvert végétal

Si on se limite à une différenciation assez générale du couvert végétal on peut parler d'un lien étroit entre le climat et la végétation (**LEDRU**, 1991). En fait cette dernière dépend beaucoup plus des seuils climatiques que des moyennes climatiques. En outre elle est sous l'influence des propriétés édaphiques et topographiques du milieu. Ainsi au climat tropical continental humide correspond une forêt mésophile semi-décidue appelée forêt atlantique de l'intérieur (*Mata Atlântica do interior.*) Cette forêt se dégrade en Cerrado vers l'intérieur du continent et cède la place à la forêt pluviale atlantique en direction du littoral.

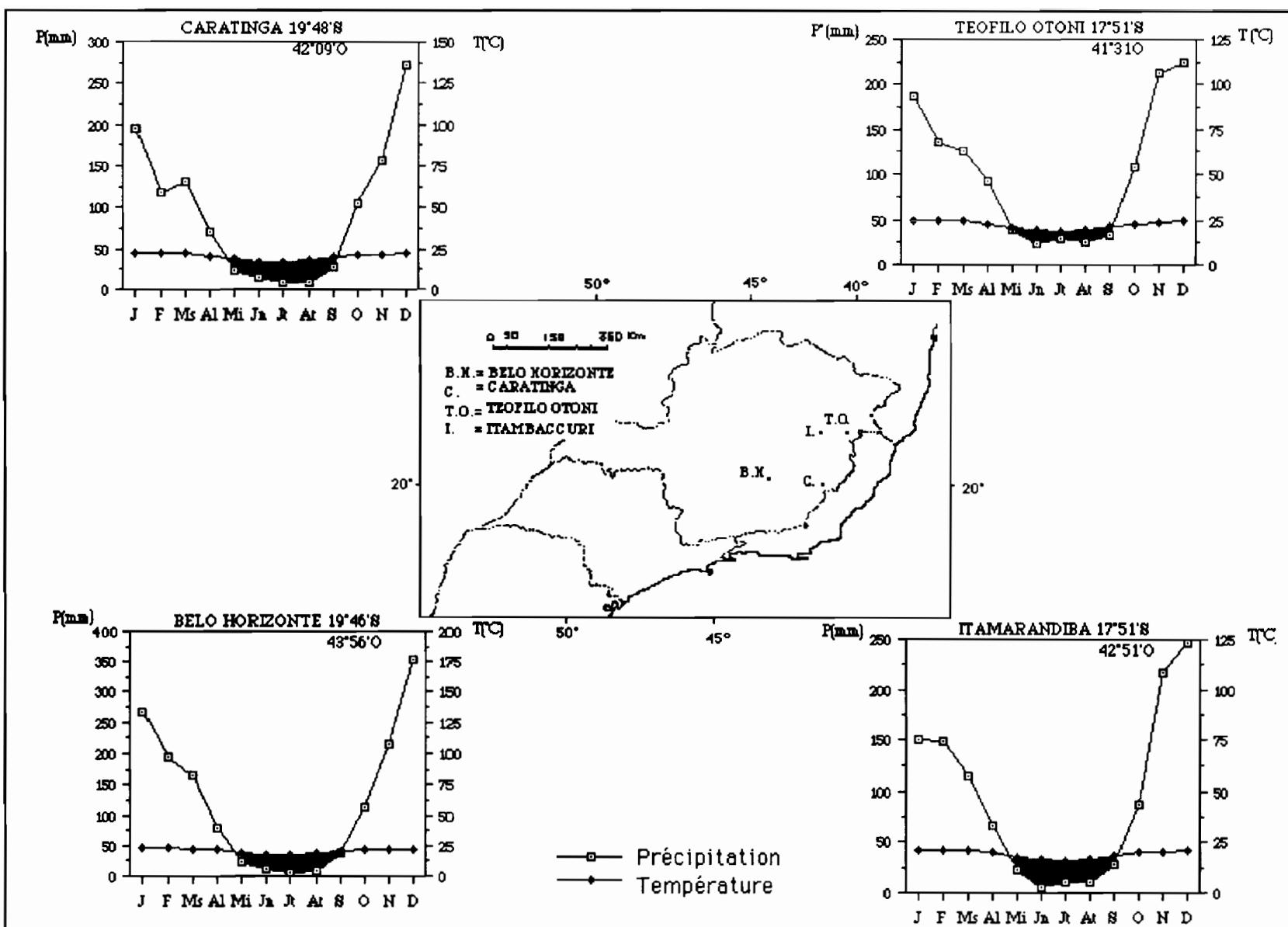


Fig.4. Diagrammes ombrothermiques des stations limitrophes du site d'étude

CHAPITRE III : MATERIEL D'ETUDE ET METHODOLOGIE

1.METHODE DE CAROTTAGE ET D'ECHANTILLONNAGE

1.1.Méthode de carottage

La carotte (AP1, Minas Gerais latitude 18°25' S, longitude 41°50' W) a été prélevée par L.MARTIN , F.SOUBIES , K.SUGUIO., et B.TURCQ le 29 octobre 1988 à l'aide d'un carottier à vibration dans un marécage, près de la municipalité d'Itambacuri. Ce carottier construit par Louis MARTIN à l'**Observatoire National de Rio de Janeiro**, est adapté aux prélèvements de sédiments saturés en eau.

La structure du carottier ainsi que son fonctionnement sont très simple (MARTIN et al., 1989) Un petit vibreur à béton est fixé à l'extrémité d'un tube en position verticale. Sous l'effet de la vibration le tube s'enfonce rapidement dans le sédiment (la durée varie d'une à quelques minutes selon la nature du sol). Ce carottage peut se faire sur terre ferme ou sur l'eau (c'est le cas de notre carotte prélevée sous 1,5 m) jusqu'à une profondeur de 10 m. Une fois le tube enfoncé il est retiré grâce à un palan accroché au sommet d'un trépied. Les trois tubes qui forment le trépied ont chacun 3 m de longueur et peuvent être montés sur une plate-forme flottante . Les tubes utilisés pour le carottage sont en aluminium. Ils ont 6 m de longueur, 7,5 cm de diamètre et une paroi de 1,1 mm d'épaisseur . Techniquement il est possible de faire une carotte de 11,5 m de profondeur en raccordant deux tubes avant le sondage. Le tube de carottage lui-même sera transporté au laboratoire. L'ouverture du tube se fait à la manière des carottes marines. La carotte sciée latéralement présente une visualisation parfaite du dépôt carotté et offre l'occasion de faire un échantillonnage fin pour les différents types d'analyses envisagés.

1.2. Méthode d'échantillonnage

Après la description de la carotte on a procédé à une série d'opérations d'échantillonnage. Le matériel de la carotte a été réparti entre les domaines d'analyses suivants:

- Choix d'un nombre d'échantillons en vue d'obtenir des datations. Un premier choix a été décidé sur la base des observations préliminaires . La sélection finale des échantillons à dater s'est faite à partir des résultats d'analyses sédimentologiques et des observations microscopiques qui nous ont permis de mieux cerner les niveaux de changement de faciès.

- Prelèvement des échantillons en vue d'une analyse pollinique. Ce matériel a été réservé pour une analyse ultérieure. L'échantillonnage a été fait dans des boites de 8 cm³ environ chaque 5 cm (soit 61 échantillons au total).

- Prélèvement des échantillons en vue d'effectuer une analyse granulométrique et morphoscopique; un échantillonnage systématique a été fait suivant les faciès macroscopiques en vue de bien suivre l'histoire de la sédimentation (sauf au cas où l'échantillon a été pris pour d'autres usages). On a ainsi prélevé 39 échantillons éloignés environ de 10 cm. Chaque échantillon a été partagé en 3 parts aliquotes. On a ainsi 3 lots avec le même nombre d'échantillons et au même niveaux nommés "A", "B"et"C".

- Prelèvement de 36 échantillons ayant presque la même position que les échantillons prélevés pour les analyses sédimentologiques. Ces échantillons sont réservés pour le dosage du carbone organique C, de l'azote N, de l'eau H₂O d'imbibition, et de la densité apparente.

- Prélèvement de 11 échantillons choisis le long de la carotte pour l'analyse par diffractométrie aux rayons X. L'objectif est

surtout de reconnaître les principaux minéraux qui constituent le matériel de la carotte selon les différents niveaux . Ceci a été complété par la détermination des minéraux lourds de quelques échantillons.

2. DESCRIPTION DE LA CAROTTE

Juste après l'ouverture de la carotte celle-ci est décrite. Nous avons utilisé les techniques de relevé de coupe. A chaque niveau ou couche on précise l'épaisseur, la couleur selon le code Munsell (le sédiment étant encore à l'état humide), les caractères granulométriques (fin/grossier), la composition organo-minérale, enfin on signale le type de contact d'un niveau au suivant (net, progressif, érosif). Une description détaillée de la carotte est donnée en annexe (Annexe I). On présente ci-dessous une description synthétique de cette carotte.(Fig.5).

En se basant sur des critères de couleurs, de texture, de faciès et de la présence ou non de matière organique visible à l'échelle macroscopique on peut distinguer trois grands ensembles sédimentaires.

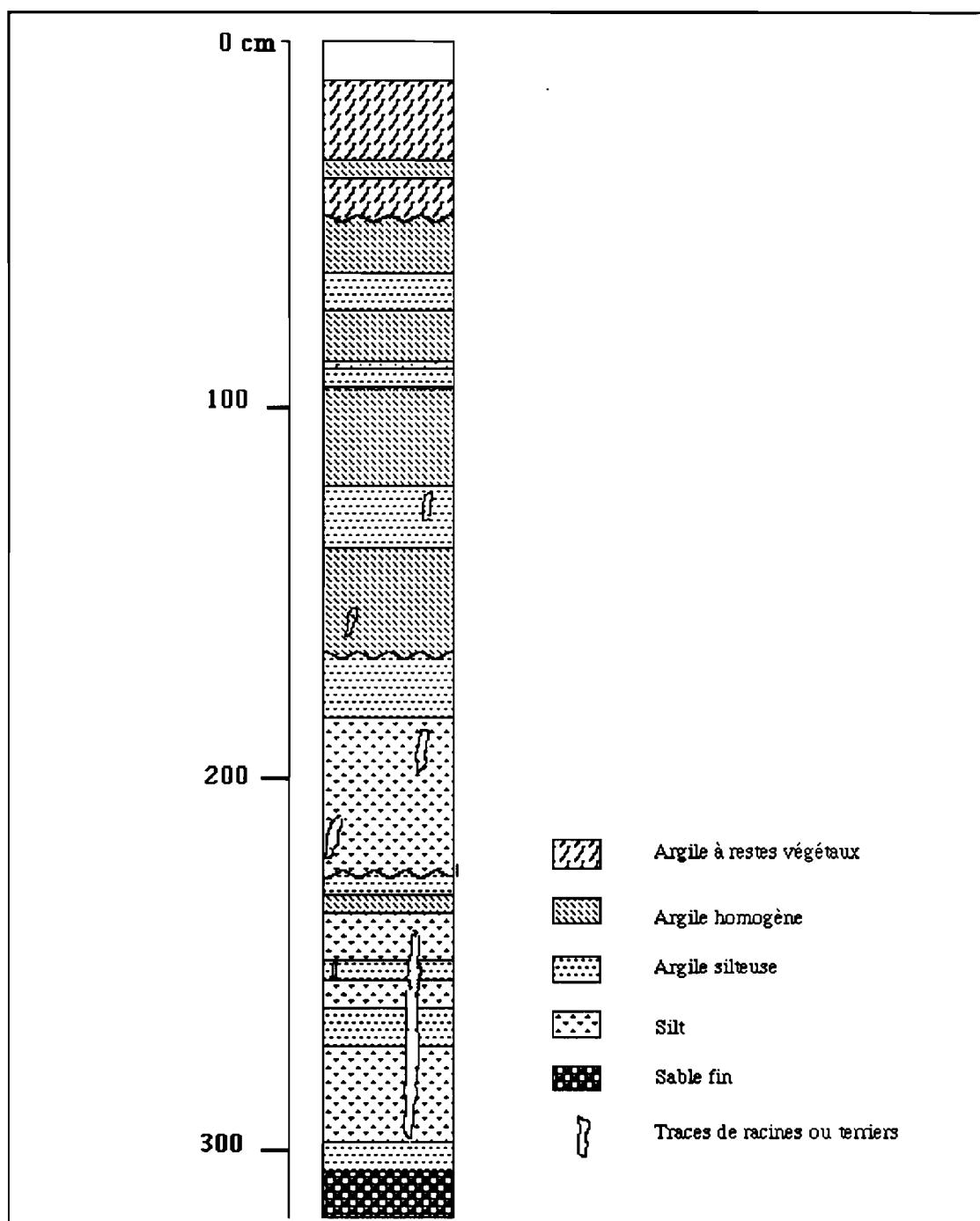


Fig 5 : Coupe synthétique de la carotte AP1.(Description détaillée en Annexe I)

- Du sommet de la carotte jusqu'à 47 cm de profondeur on trouve un dépôt fin très riche en matière organique notamment sous forme de macro-restes végétaux.. Des lits argileux à texture homogène alternent avec des lits d'argiles riches en débris végétaux. La couleur varie du brun à brun foncé (10 YR 4/3) au gris très foncé(10YR 3/1). Le contact est net et érosif avec les niveaux suivant.

- De 47 cm jusqu'à la discontinuité de 165 cm le dépôt reste toujours fin mais sa composition diffère. La matière organique demeure présente dans les sédiments mais elle est beaucoup plus fine et se présente sous forme de grandes tâches noirâtres. Le dépôt présente une alternance de lits d'argiles homogènes et des lits d'argiles silteuses. La couleur va du brun gris foncé (10 YR 4/2) au gris très foncé (10 YR 3/1). Le contact avec l'ensemble suivant est net, présentant un profil irrégulier.

- De 165 cm à 317 cm les sédiments sont nettement riches en mica avec une quasi-absence de matière organique. On note la présence de tâches d'oxydation de couleur brun (10YR5/3) ainsi que des traces de bioturbation sous forme de remplissages tubuliformes à orientation subverticale. Les lits d'argiles silteuses s'alternent avec des lits silteux. La couleur de ce dépôt varie du gris (10 YR 5/1) au brun rouge (5 YR 5/4) vers le sommet, au brun (7,5 YR 5/4), rouge foncé (5 YR 4/2) et gris rose (7,5 YR 6/2) à la base. La base de cet ensemble est formée d'une succession de lits limoneux et des lits argilo-limoneux présentant la texture la plus grossière de tout le dépôt.

3. ANALYSES DE LABORATOIRE

3.1. Analyses sédimentologiques

39 échantillons ont été prélevés en 3 parts aliquotes "A","B","C" pour chaque niveau :

- Le premier lot "A" est encore conservé dans une chambre froide pour l'utiliser à d'autres analyses futures, les deux autres lots ont été analysés.

- Le deuxième lot "B" a été analysé suivant le mode opératoire décrit dans la figure 6. A partir de ces résultats on a tracé les courbes granulométriques cumulées qui ont servi par la suite à calculer les paramètres granulométriques de base (les quartiles **Q25** et **Q75**, la **médiane**, l'**indice de Trask** et **Q de phi**). Dans le cas où la fraction grossière représente plus de 25 % des tamisages supplémentaires ont été effectués .

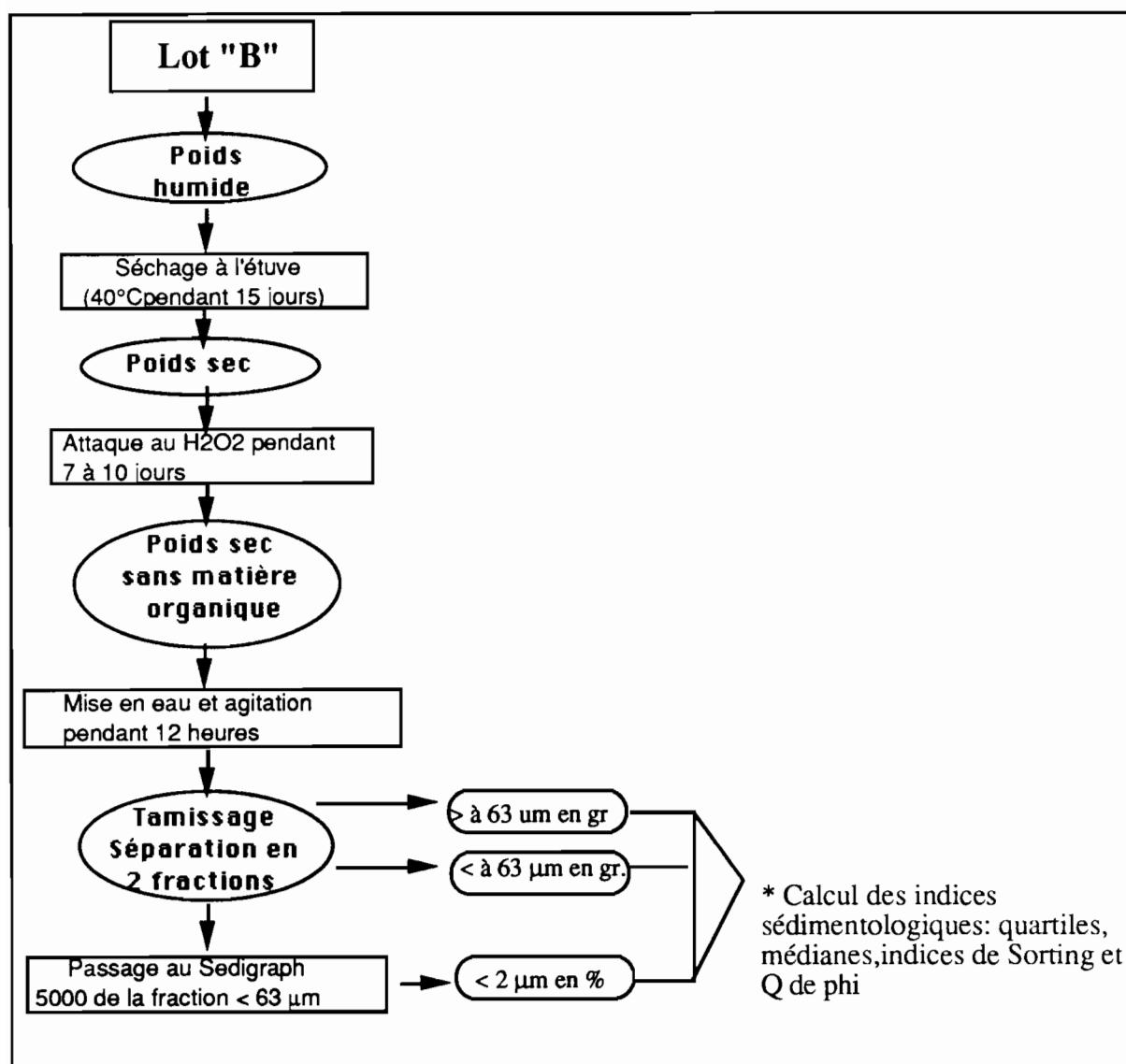


Fig.6 : Les différents stades de l'analyse des échantillons du lot "B"

Le troisième échantillon "C" (Fig.7) a été lui aussi pesé à l'état humide puis à l'état sec . Le résultat du taux d'humidité nous a permis de contrôler l'autre mesure obtenu sur l'échantillon "B" . Sans l'attaquer au H_2O_2 on a procédé au tamisage pour séparer les mêmes fractions (soit supérieur et inférieur à 63 μm) . Cette procédure est destinée à l'étude microscopique de la matière organique. Après avoir séparé la fraction fine on a monté des lames de la façon suivante;

- 3 à 10 ml de la fraction inférieure à 63 μm de chaque échantillon sont filtrés sous vide sur un filtre Sartorius en acétate de cellulose.

- On laisse le filtre sécher puis on le place sur une plaquette en altuglas et par la suite on dissout le filtre à l'aide de l'acétate d'étylène ce qui fixe le sédiment à l'altuglas..

- l'opération suivante consiste à polir la lame à l'aide de deux disques ; un 1^{er} disque en tissu floqué (PRESI HS rose) recouvert d'alumine 12 H (0,5 μm) Un 2^{ème} disque en tissu floqué (CAMPLAN 432) arrosé à l'alumine 48 h (0,02 μm).

- enfin on rince abondamment la lame polie sous un jet d'eau permutée.

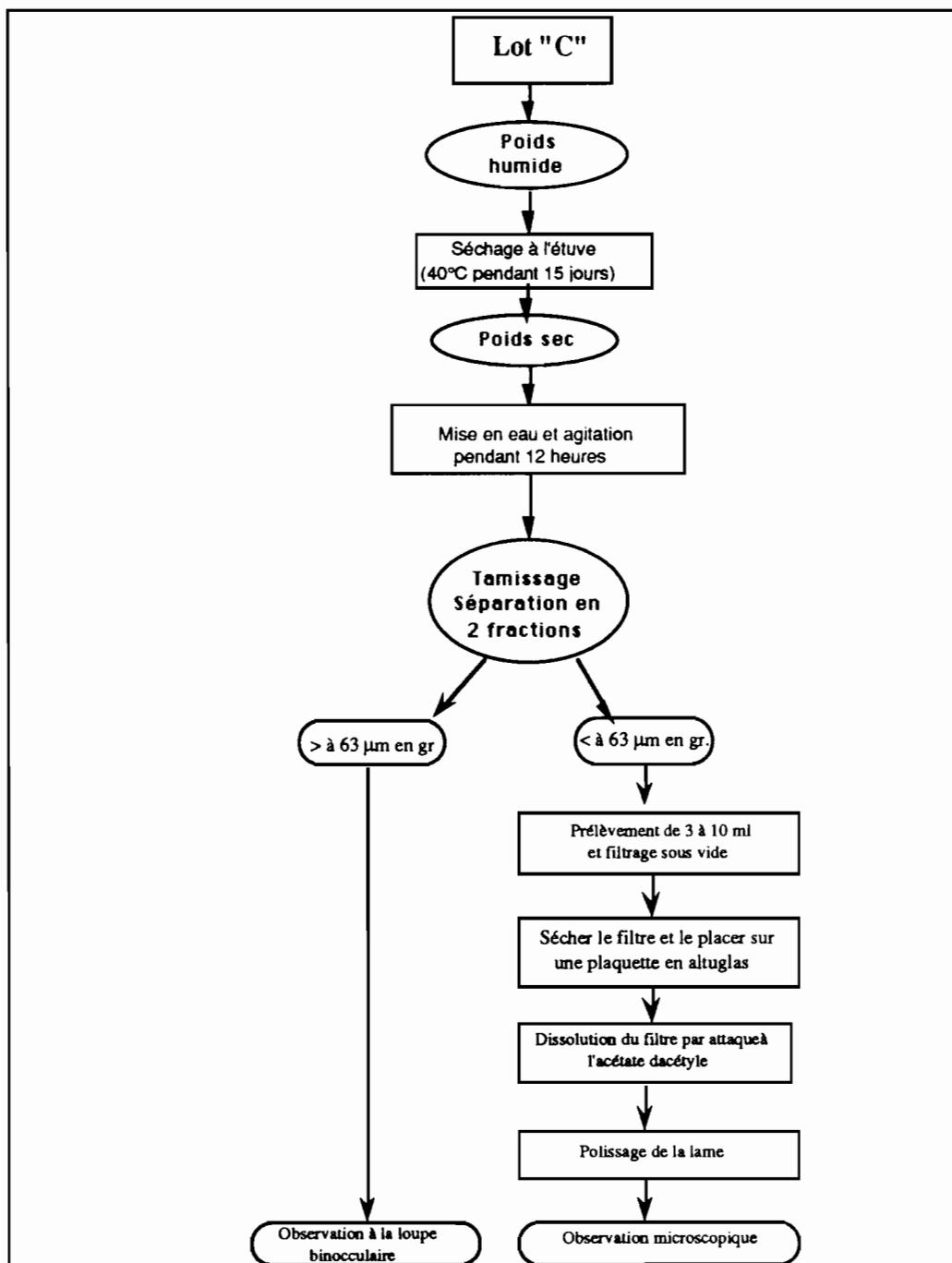


Fig.7 : Les différents stades d'analyse des échantillons du lot "C"

3.2. Analyses aux rayons

Les analyses ont porté sur onze échantillons bruts. Les résultats obtenus (Annexe II) ont été présentés sous la forme d'une courbe calculée sur la base d'une estimation semi-quantitative. On attribue l'importance d'un minéral quelconque dans l'échantillon au nombre des coups enregistrés par la machine au niveau du pic principal du minéral.

3.3. Analyses géochimiques

Ces analyses ont portées sur le dosage du carbone organique et de l'azote. Elles ont été effectuées par un appareil d'Analyse Elementaire (Modèle 1106) au laboratoire de géochimie de l'ORSTOM à Bondy. Ce laboratoire utilise une technique basée sur les méthodes classiques de DUMAS et de PREGL. Le carbone (C), l'azote (N) et l'hydrogène (H) de chaque échantillon sont séparés par une colonne de chromatographie et décelés par un détecteur à conductibilité thermique. Le signal obtenu est amplifié puis envoyé à un enregistreur-intégrateur . Le calcul de la teneur en C, H, N de l'échantillon est obtenu par l'utilisation de la technique de l'étalon externe.

3.4.Datations au carbone 14

Les datations ont été effectuées au Laboratoire de Géochimie isotopique de l'ORSTOM à Bondy sous la responsabilité de **M.FOURNIER**. Les échantillons n'ont pas subi le même prétraitement; certains échantillons ont été tamisés (soit la fraction entre 50 et 200 µm ou la fraction supérieure à 50 µm), d'autres ont été laissés à l'état brut.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

1 DESCRIPTION DES FACIES SEDIMENTAIRES A PARTIR DES OBSERVATIONS A LA LOUPE BINOCULAIRE, AU MICROSCOPE ET AU VU DES RESULTATS DE LA DIFFRACTION AUX RAYONS X

En vue d'affiner la description visuelle de la carotte (voir annexe I), tous les échantillons supérieur à 63 µm qu'ils soient ou non attaqués au H_2O_2 , ont été systématiquement observés à la loupe binoculaire (sédiment en grains supérieurs à 63 µm). L'observation microscopique a porté sur la fraction inférieure à 63 µm du sédiment non attaquée au H_2O_2 et préparé en lame polie. A côté de ces observations on a ajouté les résultats de la diffraction aux rayons X effectués sur quelques échantillons de la carotte (fig. 8 et Annexe II). Notre attention a porté sur la variation des éléments suivant: la kaolinite, la muscovite , le quartz, les charbons de bois, les spicules , les diatomées et les macro-restes végétaux (racines).

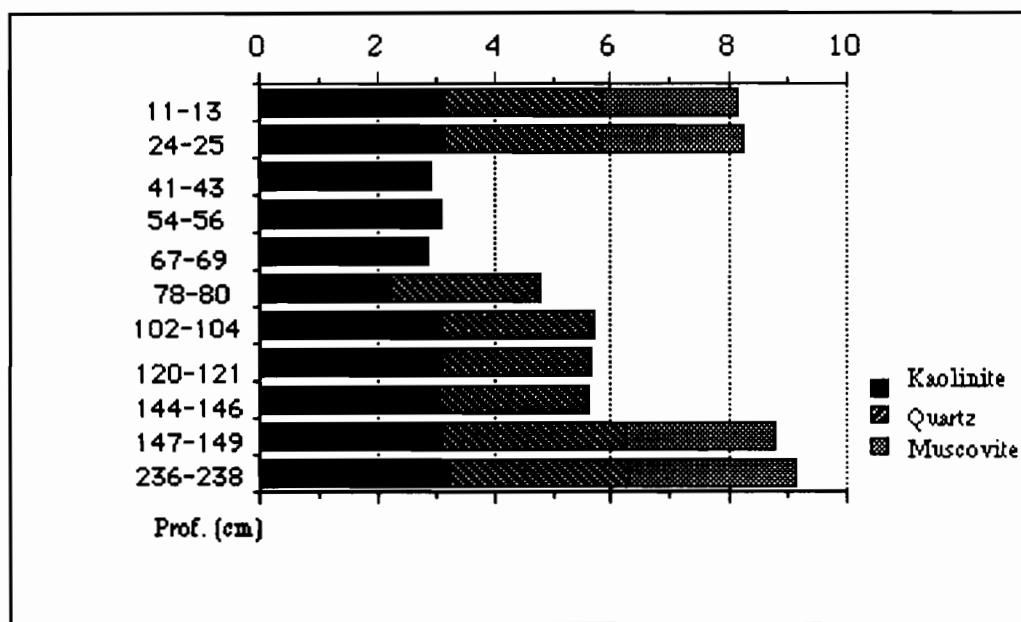


Fig.8 : Variation de la teneur en Kaolinite Quartz et en Mica (estimation semi quantitative)

Le résultat de cet exercice(Tableau II) confirme les ensembles stratigraphiques déjà individualisés sur la base de l'observation visuelle .

Les niveaux de l'ensemble inférieur de couleur brune montrent des alternances de lits de silt et de fins lits d'argile et sont généralement très pauvres en matière organique qui est très dégradée . Par contre on note la présence de micro-charbons de bois. La matrice minérale est composée essentiellement de mica , de kaolinite et de quartz . Ce faciès continue jusqu'à 168-170 cm. Toutefois il est à signaler que dans ce même ensemble il y a quelques fines passées où la présence de la matière organique est relativement plus importante (301-303 cm) Les autres éléments biogènes sont des spicules à 210-211cm et parfois des cuticules de racines silicifiées ou calcinées.

- De 162 cm à 47 cm, le deuxième grand ensemble débute avec une matrice nettement moins minérale et une présence relativement plus importante de la matière organique. Les spectres des rayons X montrent la disparition rapide des micas dès le niveau 138-140 cm puis celle du quartz vers la profondeur 78-80 cm. On trouve encore des charbons de bois mais ils sont moins fins que ceux de l'ensemble supérieur étant déjà visibles à l'œil nu Cet ensemble est caractérisé par la présence des spicules et à un degré moindre des diatomées.

- Le troisième ensemble débute par un contact érosif vers 47 cm et représente tout le sommet de la carotte. On constate la réapparition des micas et du quartz mais avec des proportions qui restent inférieures à celles de la base de la carotte. Les charbons de bois sont toujours présent cette fois sous forme de morceaux

centimétriques. Notons aussi la présence de spicules et de diatomées. La matière organique végétale est représentée par des débris végétaux (probablement les racines et les feuilles des roseaux actuels). La couleur gris-brun de ce dernier dépôt est moins foncée que celle du dépôt précédent gris très foncé.

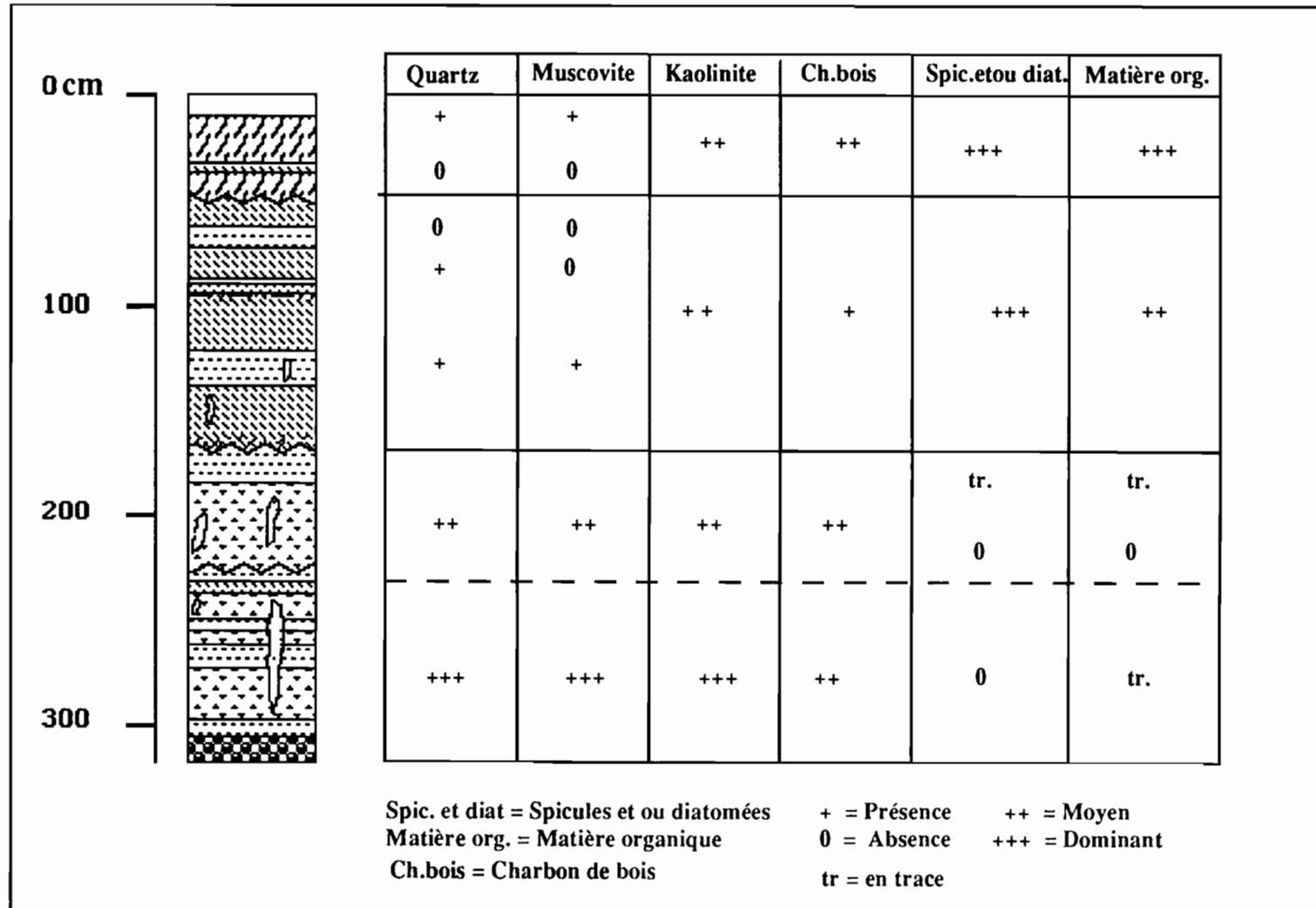


TABLEAU II : Description des différents faciès de la carotte

2 RESULTATS DES ANALYSES

2.1 Résultats sédimentologiques et minéralogiques

2.1.1. Variation des principales fractions granulométriques, de la médiane et de l'indice de Trask

Les résultats des analyses granulométriques sont présentés dans les tableaux III et IV. Les sédiments de la carotte sont dans l'ensemble relativement fins à dominante argilo-limoneuse (Fig. 9). A l'exception de l'échantillon de la base de la carotte (309-311) la fraction supérieure à 63 µm ne dépasse pas 25 % du dépôt. Elle est en général nettement plus faible (6,11% en moyenne). Par contre la fraction argileuse (inférieure à 2 µm) est de loin dominante avec en moyenne 50,07 % du dépôt total. Cette texture fine est mise en évidence par la faible valeur de la moyenne des médianes des échantillons (4,96 µm.).

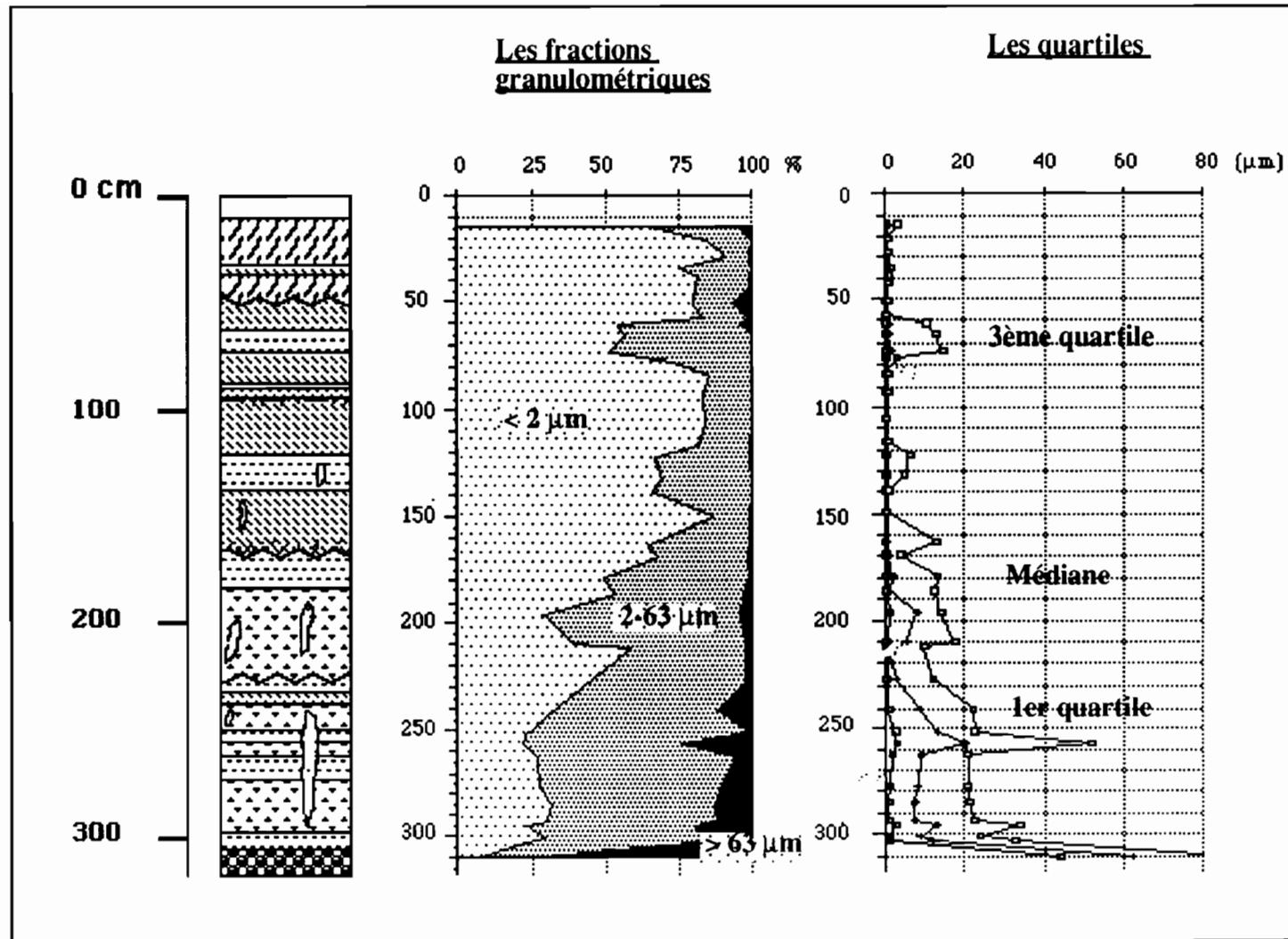


Fig.9: Variation des principales fractions granulométriques et des quartiles le long de la carotte.

La médiane moyenne de l'ensemble supérieur est égale à 0,64 μm . Elle est de 0,59 μm entre 50 et 168 cm alors qu'elle est égale à 9,15 μm dans la partie inférieure de la carotte. Les valeurs de l'indice de Trask suivent la même variation. Les fortes valeurs de cet indice coincident avec le profil en dents de scie de la courbe de variation des fractions sédimentaires notamment argileuses et limoneuses. Ceci traduit le faciès de sédimentation laminaire très fin, mis en place par un agent de transport de compétence variable (ARTHUR, 1987). La variation de l'indice de Trask (Fig.10) montre bien que les sédiments de la carotte sont très mal classés vers la base alors qu'ils sont normalement classés dans les ensembles médian et supérieur.

2.1.2. Variation du profil des courbes granulométriques

L'examen du profil des différentes courbes granulométriques cumulées (Fig.11) souligne aussi une nette différence entre l'ensemble basal et les ensembles médian et supérieur. Dans le premier, le profil est assez redressé; il indique une hydrodynamique relativement forte (RIVIERE, 1977). A l'opposé, les profils de l'ensemble supérieur présentent une concavité tournée vers le bas et indiquent plutôt une dynamique faible et un dépôt sous une certaine tranche d'eau. L'ensemble médian présente des profils composés qui reflètent les fluctuations entre des dépôts tantôt grossiers, tantôt fins.

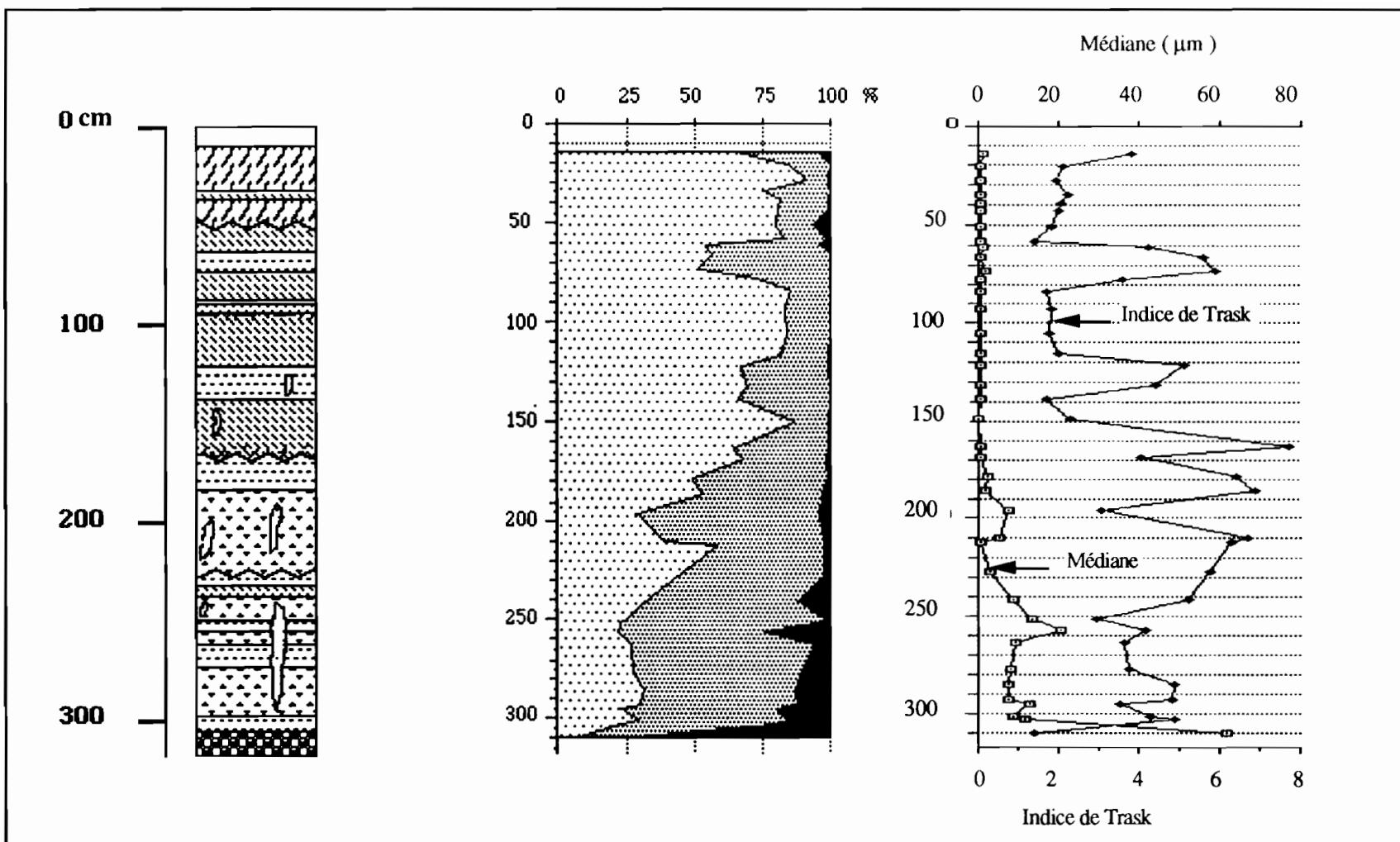


Fig.10. Variation de la médiane et de l'indice de Trask

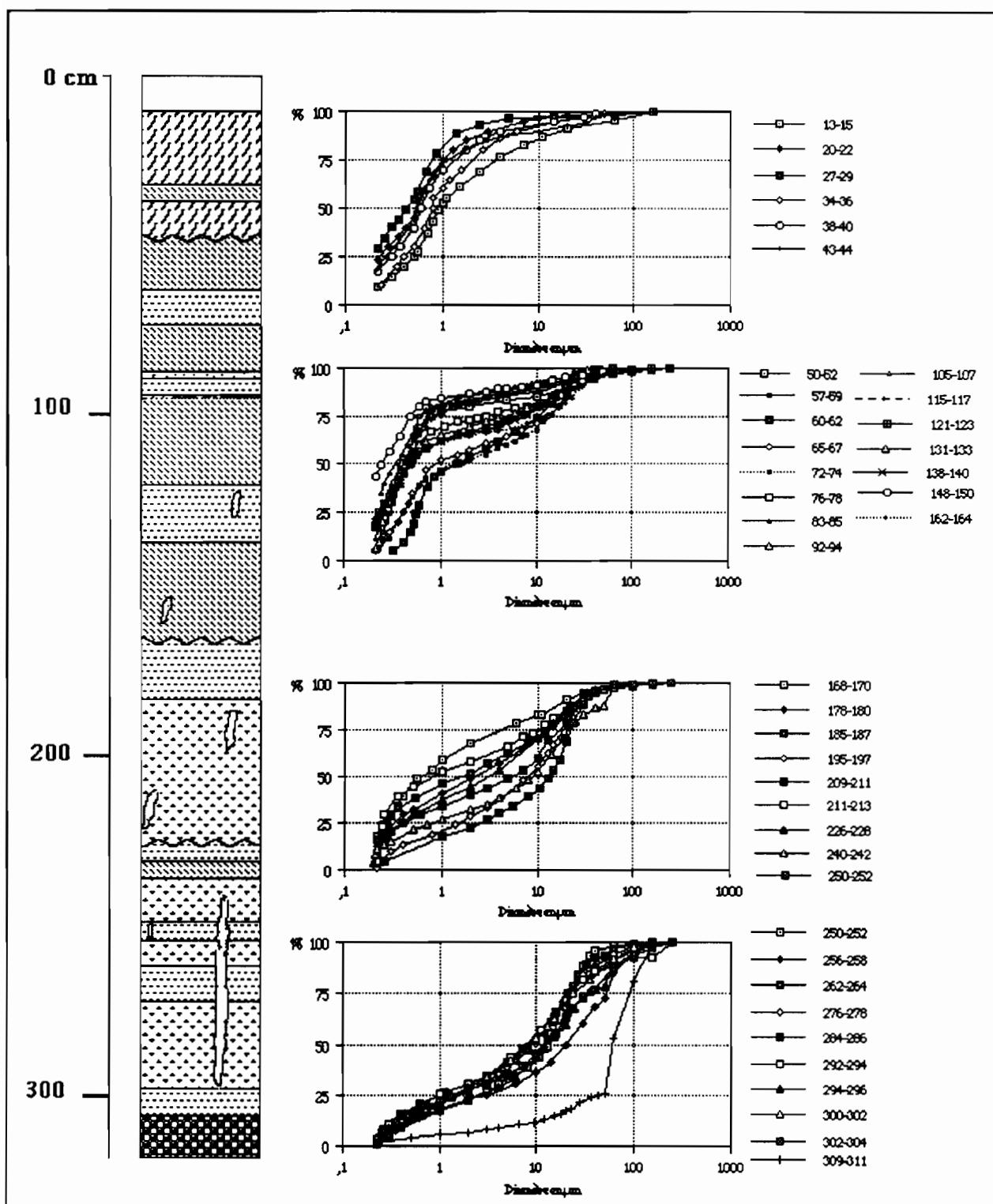


Fig. 11 : Courbes granulométriques indiquant la variation des différents processus de transport et de mise en place des sédiments de la carotte

2.2.Résultats des données géochimiques

Le dosage du carbone organique, de l'azote ainsi que celui de l'eau et de la densité apparente ont été faits sur le même échantillon. Les résultats sont présentés dans le tableau V.

2.2.1 La teneur en eau et la densité apparente

La teneur en eau est exprimée par rapport au sédiment séché à l'étuve à 40 °C pendant quelques jours. Elle a été déterminée sur des échantillons prélevés dans des boîtes cylindriques, de volume connu, ce qui nous a permis de calculer, en même temps, la densité apparente.

La variation de la teneur en eau montre une forte corrélation avec la teneur en matière organique, et la profondeur. On note que la teneur en eau diminue de la base au sommet de la carotte. (Fig.12). A l'inverse la densité apparente diminue du sommet vers la base . Les valeurs les plus élevées de la densité apparente correspondent au niveau les moins riches en matière organique.

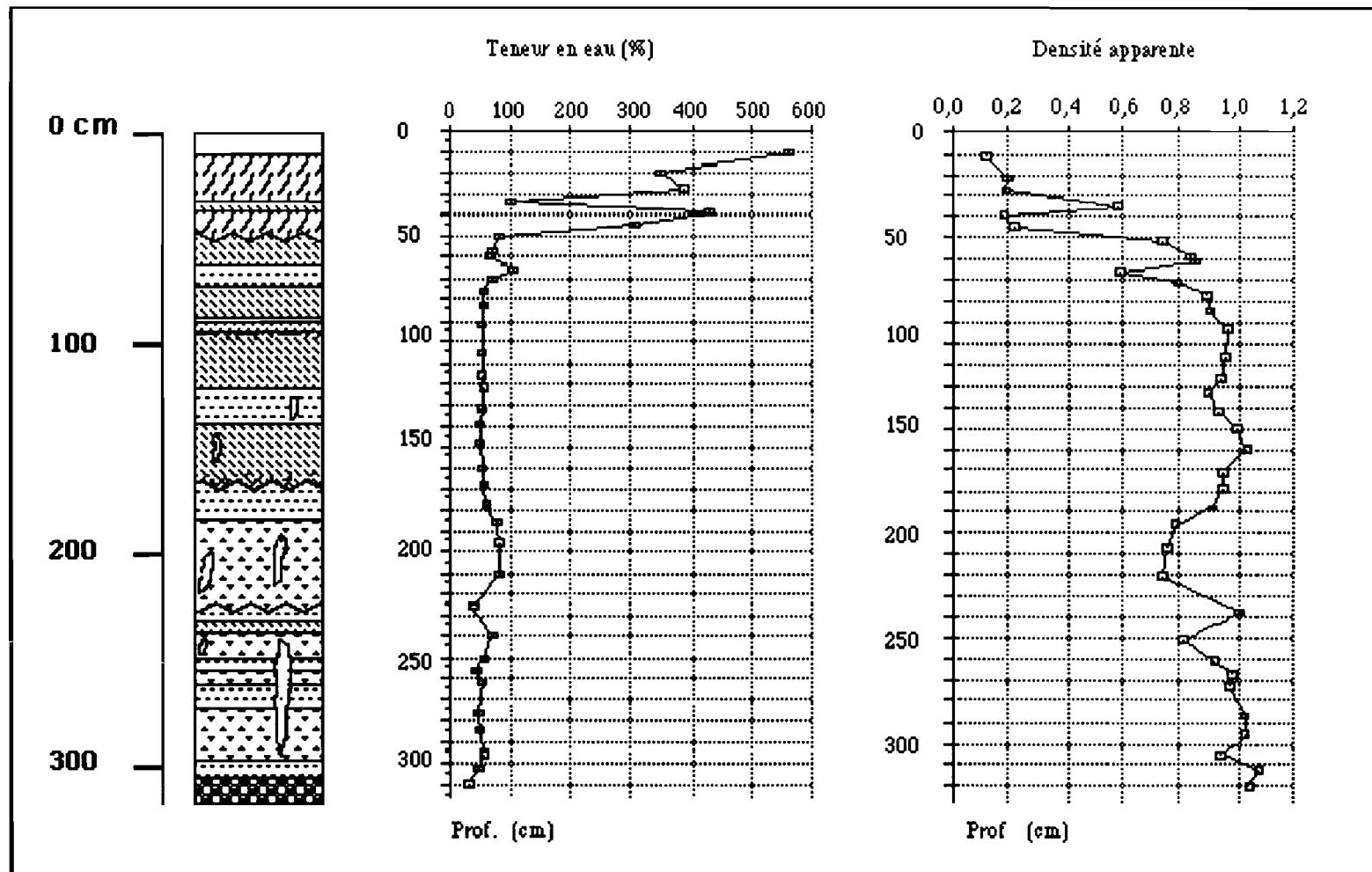


Fig.12 : Variation de la teneur en eau et de la densité apparente

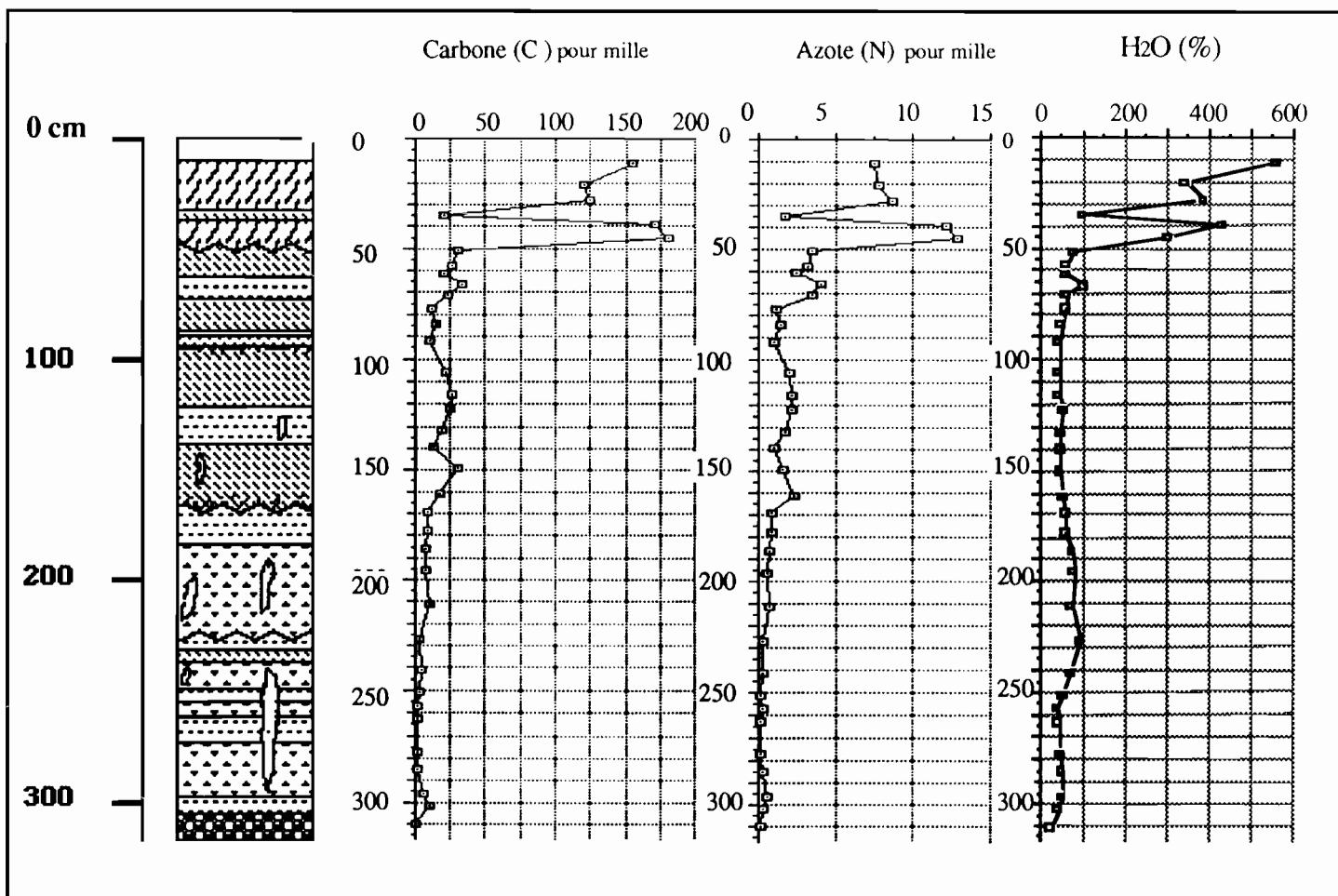


Fig.13a : Variation de la teneur en carbone organique (C), en azote (N) et en eau

2.2.2 Le dosage du carbone organique

La courbe de la variation du taux de carbone organique montre une nette augmentation de la base vers le sommet de la carotte (fig.13a).

Les plus faibles valeurs sont donc concentrées dans l'ensemble inférieur avec une moyenne de 0,317% et un minimum absolu de 0,06 % à 310 cm . Ce n'est qu'à partir de l'échantillon 160 - 162 cm que la teneur en carbone organique devient importante. Cependant le niveau 34-36 cm est marqué par une faible concentration en matière organique.

2.2.3 Le dosage de l'azote

Les résultats du dosage de l'azote présentent des variations analogues à ceux du carbone organique (Fig.13a et 13b.). Ainsi les valeurs enregistrées à la base de la carotte sont faibles 0,044 pour mille en moyenne entre 310 et 168 cm et relativement élevées entre 168 et 50 cm puis deviennent nettement élevées vers le sommet (0,846 pour mille entre 44 cm et le sommet). A l'image de la variation du taux de carbone, le taux d'azote diminue, lui aussi, au niveau de 34-36 cm . De plus il est en régression à l'extrémité sommitale de la carotte .

2.2.4.Le rapport C/N

A l'exception du niveau 302-304 cm, ce rapport est strictement inférieur à 12 dans tous les niveaux détritiques de l'ensemble inférieur de la carotte alors qu'il devient élevé dans les niveaux du sommet de la carotte . A partir du

niveau 43-44 cm jusqu'à l'extrémité sommitale la moyenne est égale à 15,1. D'autre part on note que le rapport C/N demeure relativement faible dans les couches argilo-limoneuses de l'ensemble médian (162-44 cm).

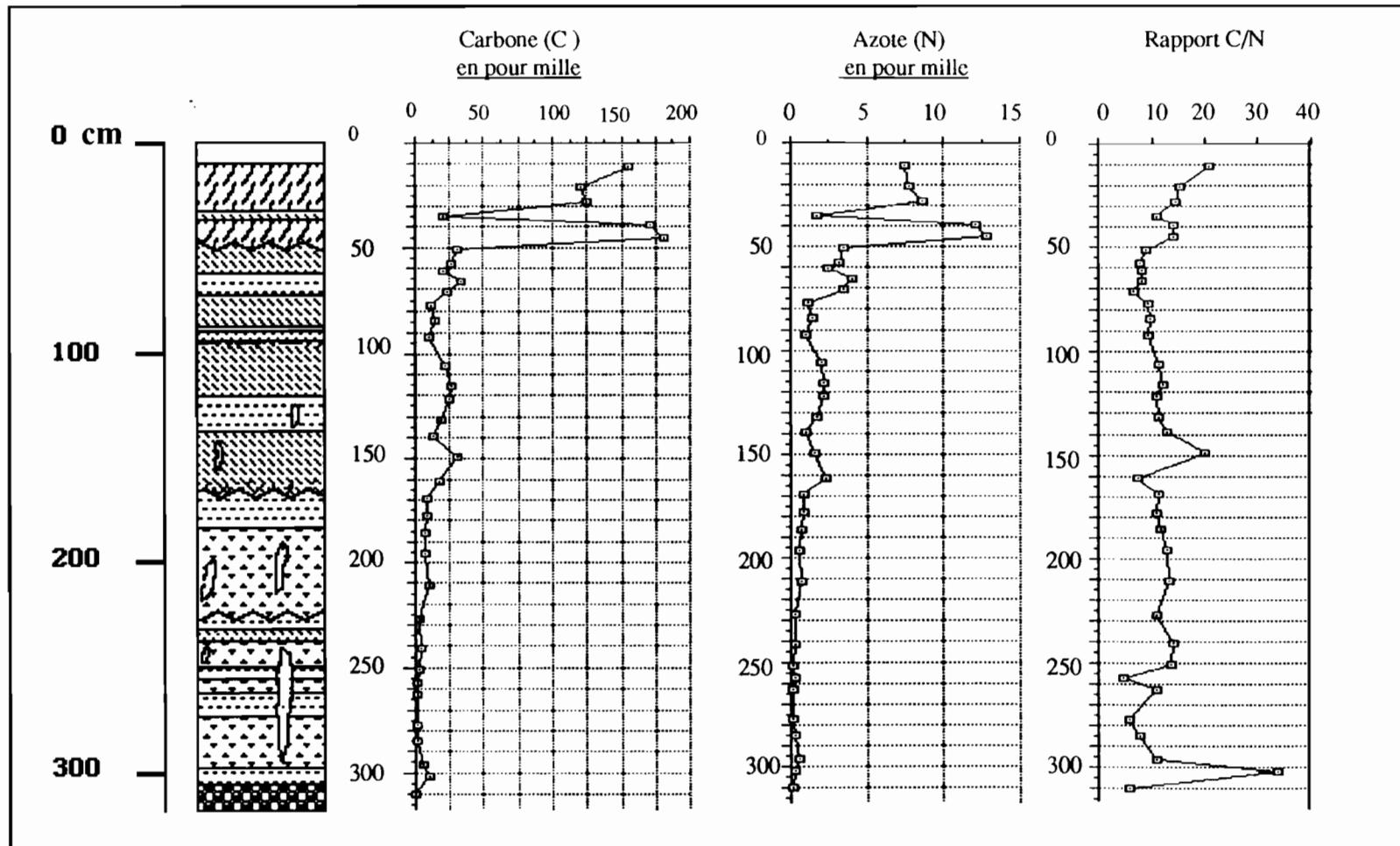


Fig.13b : Variation de la teneur en carbone organique (C), en azote (N) et rapport C/N

2.3. Analyse statistique des données

Afin de mieux comprendre la corrélation entre les échantillons d'une part et l'individualisation des ensembles sédimentaires d'autre part, on a eu recours à l'analyse factorielle en composante principale (A.C.P.).

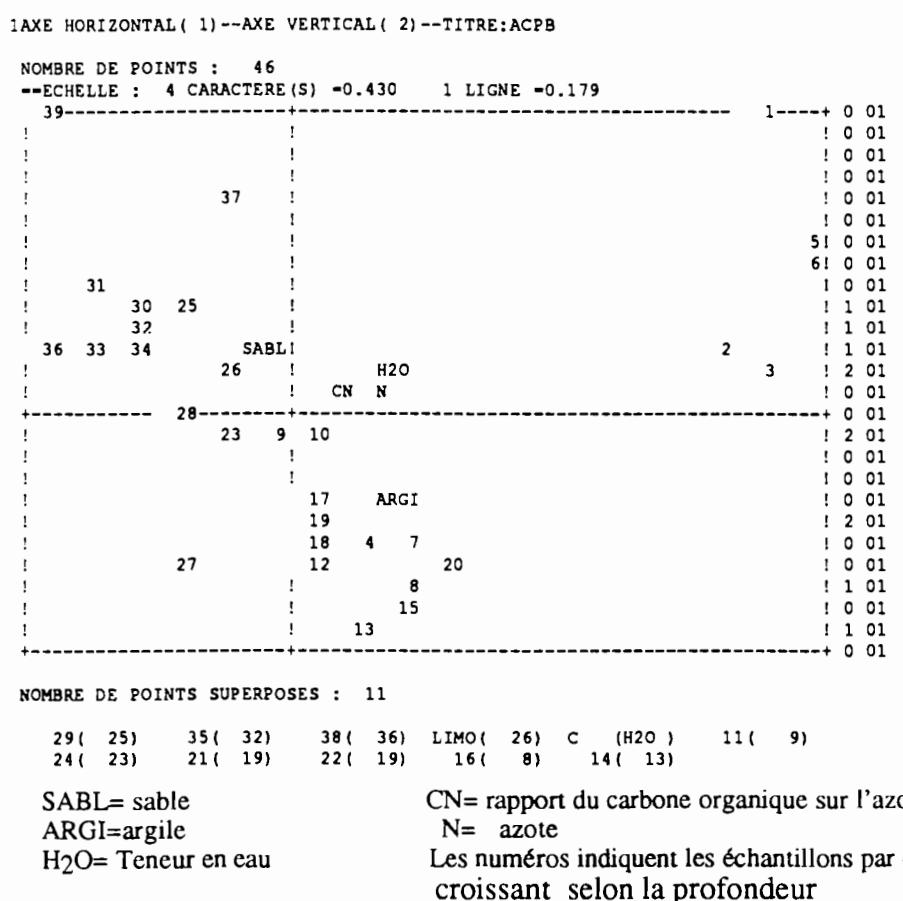


Fig. 14a : La répartition des échantillons et des résultats sédimentologiques et géochimiques selon les deux premiers facteurs de l'analyse en composante principale

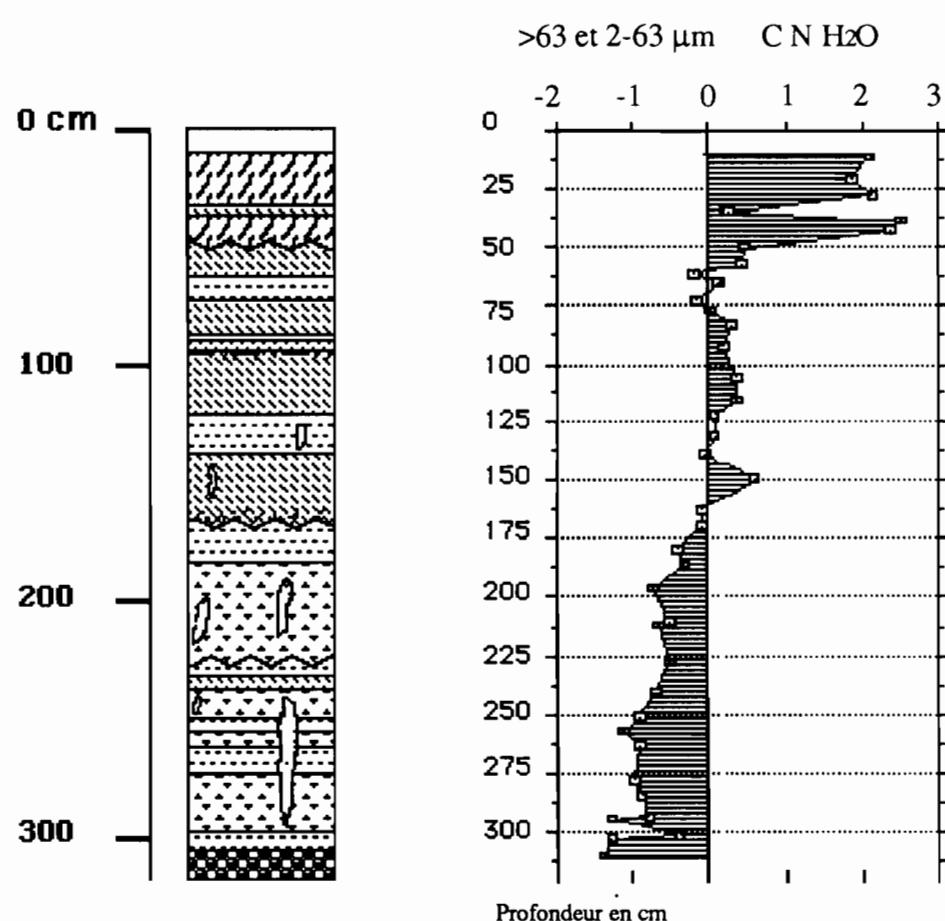


Fig. 14b : Répartition des valeur du facteur I en fonction de la profondeur

Cette analyse factorielle permet de représenter sur un même plan factoriel la répartition des différentes observations (les échantillons) et variables (les flux minéraux et organiques). La proximité des points les uns par rapport aux autres traduit leur degré de corrélation. Sept variables ont été prises en compte dans cette analyse :

- les fractions granulométriques ($>63 \mu\text{m}$, $2 \text{ à } 63 \mu\text{m}$ et $< 2 \mu\text{m}$).

- les teneurs en carbone organique, en azote et en eau

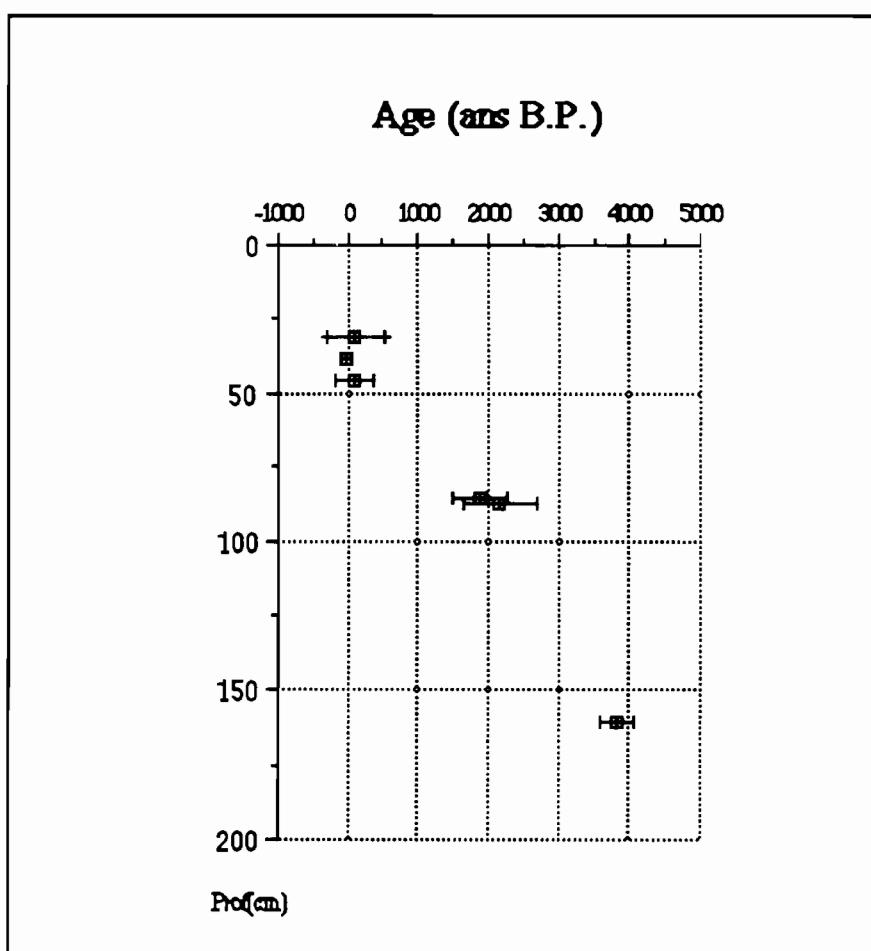
En se limitant au 1er plan factoriel on atteint déjà 74,163 % de la variance totale (55,924 % pour le premier facteur et 18,239 % pour le deuxième facteur) La répartition des échantillons dans l'espace montre 3 regroupements correspondant aux 3 faciès sédimentaires. La superposition des échantillons et des variables (Fig.14a) met en évidence l'opposition entre l'ensemble sédimentaire de la base de la carotte et l'ensemble supérieur . Alors que les échantillons de ce dernier se trouvent attirés par les variables représentant la richesse en matière organique , les échantillons de l'ensemble inférieur sont plutôt attirés par les variables représentant le flux détritique minéral et notamment la fraction supérieure à 63 µm. L'ensemble médian traduit bien une position de transition et le poids des deux ensembles de variables est presque neutre.

En croisant la valeur de la variance du facteur I.avec la profondeur des échantillons on a mis en relief les trois grands ensembles sédimentaires avec toutefois des fluctuations internes (Fig.14b).

2.4. Géochronologie de la carotte

Les résultats des datations sont portés sur le tableau VI et sur la figure 15. Dans l'ensemble supérieur des migrations verticales de la matière organique sont mises en évidence par des datations apparemment contradictoires. Les échantillons n° 752 (45-47 cm)et n° 754 (36-40 cm) présentent des âges plus jeunes que l'échantillon n° 754 (30-32 cm) qui se trouve à un niveau moins profond. La datation de l'ensemble supérieur a été faite par extrapolation des âges obtenus sur les échantillons qui ont subi un prétraitement (tamisage et nettoyage) en vue de réduire la marge d'erreur induite par la pollution du carbone organique. La base de cet ensemble est estimé aux environs de 1000 ans B.P.

Prof(cm)	N° de datat°	m	14C (ans B.P.)	Incert. (+)	Incert (-)	Echantillon daté
30-32	724	0,5589	100	420	400	Fraction nettoyée(bois) : 50µm<Fr<200 µm
36-38 et 38-40	754	1.1609	?	Post 1950	Ant. 1964	E. brut: 14,34+-0,02dpm/g carbone
45-47	752	1.7663	90	270	260	Echantillon brut
85-87	753	0.6128	1870	410	390	Echantillon brut: fraction > 50 µm
87-89	744	0,4416	2160	550	520	Echantillon brut: fraction > 50 µm
159-163	713	13349	3830	250	240	Fraction nettoyée : 50µm<Fr<200 µm

Tableau.VI.: Résultats des données géochronologiques**Fig.15 : Projection des datations en fonction de la profondeur**

3.INTERPRETATION PALEOCLIMATIQUE ET COMPARAISON AVEC D'AUTRES REGIONS INTERTROPICALES

3.1.Réconstitution des paléoenvironnements et essai d'interprétation paléoclimatique

3.1.1.Réconstitution des paléoenvironnements

Les données statistiques, ajoutées aux observations visuelles de la carotte nous ont permis de proposer un processus de mise en place de sédiments de la carotte et de l'évolution des paléoenvironnements.

Trois milieux différents peuvent être reconnus:

- l'ensemble inférieur correspond à un milieu oxydant, relativement sec et à faible couvert végétal. L'oxydation se manifeste par l'état de la matière organique qui est généralement calcinée ou silicifiée. La faiblesse du rapport C/N signifie que le milieu était pendant de longues périodes en plein air. Son oxygénation explique la forte décomposition de la matière organique.(SIFEDDINE,1991). D'autre part l'importance de la fraction grossière dans le sédiment témoigne de la dégradation du couvert végétal. Ces conditions sont favorables à l'érosion. Les alternances des fins lits limoneux à limono-argileux présentant un faciès laminaire et le profil hyperbolique des courbes granulométriques suggèrent la présence d'un écoulement assez fort, probablement de type "sheet flood" (GALLOWAY et al., 1983). Ce genre d'écoulement est généralement lié à des précipitations orageuses provoquant des écoulements torrentiels propres à la formation des dépôts d'épandage des cônes de déjections. Ces données suggèrent un système morphogénétique de climat sec. Une aridité totale est à éloigner car aucune traces d'éolisation ou de dessiccation n'ont été retrouvées (les quartz sont bien luisants anguleux à sub-anguleux).

- le deuxième ensemble correspondant à un environnement nettement plus humide que l'ensemble précédent. En effet le profil des courbes granulométriques montre un écoulement plus faible avec une texture plus fine ainsi que l'absence des quartz et des micas) La teneur en matière organique quoi qu'elle soit restée faible, a enregistré un accroissement net par rapport à l'ensemble précédent . D'autre part l'humidité du milieu est attestée par la présence de spicules et de diatomées . Les quelques échantillons palynologiques qui ont été déterminés par M.P.LEDRU (1991) montrent un développement du couvert végétal arboré. Les principaux taxons sont : Ptedoron, Didimopanax, Byrsonima. Elle a aussi signalé la présence des plantes hygrophiles telles que Gonphrena et les Cypéracées, .et des algues comme les Botryococcus. La faiblesse du rapport C/N pourrait correspondre à cette matière organique phytoplanctonique. Le couvert végétal est tout de même plus développé que celui du milieu précédent Ce faciès correspond à l'installation du lac.

- dans l'ensemble supérieur le milieu est également humide. Le profil moyen des courbes granulométrique montre bien que le dépôt se fait dans un milieu subaquatique calme . La compétence de charriage est très faible ou nulle. C'est dans cet ensemble qu'on trouve les plus fort taux de carbone organique et d'azote contre le plus faible rapport C/N. et la plus forte teneur en eau. L'humidité de ce milieu est soulignée par la présence des diatomées et des spicules en quantité plus abondantes que dans l'ensemble médian. La matière organique est beaucoup mieux conservée et présente sous forme de macro-restes.

Le faciès correspond à un marécage. A ce niveau le seul échantillon palynologique qui a été analysé montre un cortège qui se rapproche de la forêt sémi-décidue ; on cite les taxons de Copaifera et Gonphrena. Le climat de ce dernier ensemble

ressemble beaucoup à l'actuel. Cependant il peut paraître contradictoire de signaler une amélioration climatique durant la mise en place du dernier ensemble alors qu'on observe des phénomènes de reprise de l'érosion attestée par l'augmentation relative de la fraction grossière et la réapparition du quartz et du mica. En fait on doit préciser que ce dernier processus est très récent. Son explication n'est donc pas uniquement ou pas du tout climatique. En fait pour bien comprendre ce dernier processus il serait très intéressant de préciser la chronologie et d'essayer de la caler avec l'histoire de l'occupation humaine de la région et notamment de la colonisation portugaise.

3.1.2. Interprétation paléoclimatique

Les données de la géochronologie nous ont permis de distinguer dans l'Holocène moyen et supérieur trois périodes paléoclimatiques différentes:

une période sèche avant 4000 ans B.P. qui correspond à l'ensemble inférieur de la carotte (317 à 164 cm). C'est la période du fonctionnement du cône de déjection.

une période de mise en eau du lac et d'arrêt du fonctionnement du cône de déjection : c'est la période de la mise en place du deuxième ensemble sédimentaire (TURCQ et al., 1991). Le milieu est nettement plus humide; l'augmentation de l'humidité peut s'expliquer soit par un apport additionnel d'eau par les précipitations ou par une meilleure conservation de l'eau par rafraîchissement du climat et diminution de l'évaporation. La confirmation de l'une ou l'autre hypothèse nécessite plus de précision au niveau de la détermination des taxons marqueurs. En

plus il est possible que le cône de déjection ait joué le rôle de barrage naturel et ait facilité la mise en eau du fond de la vallée.

une période humide correspondant à l'installation du marécage. Le climat de cette période semble être le même que de nos jours. Le déclenchement des processus d'érosion est peut être en relation avec la mise en exploitation du bassin versant du lac.

En dehors des grandes périodes climatiques bien individualisées, des récurrences tantôt sèches tantôt humides ont été repérées. Une étude précise de ce comportement oscillatoire peut rendre compte du caractère cyclique du climat qu'on peut essayer de mettre en relation avec les facteurs responsables des changements climatiques qui eux mêmes ont cette propriété de comportement oscillatoire.

3.2. Comparaison avec d'autres régions de la zone intertropicale

Plusieurs études de paléoclimatologie s'appuyant sur divers critères notamment palynologiques, limnologiques, et sédimentologiques ont été menées dans la zone intertropicale sud-américaine en vue de modéliser l'évolution du climat durant le Quaternaire. On va essayer de comparer nos résultats avec ceux qui ont porté sur la même période de temps à savoir l'Holocène moyen et supérieur.

La période sèche, qui correspond dans notre étude au fonctionnement du cône de déjection, a été signalée par d'autres auteurs ayant travaillé dans la même région. LEDRU (1991) indique une période aride avec une longue saison sèche allant de 5500 à 4500 ans B.P. Cet auteur a en outre remarqué la chute de la fréquence des taxons arborés depuis 6000 ans B.P. et le remplacement de la forêt d'Araucaria, froide et humide, par une forêt mésophile sémi-décidue, moins exigeante en eau et qui

supporte des températures plus élevées. Dans la région étudiée SERVANT.M et al (1989) et SUGUIO et al (1989) ont attiré l'attention sur l'évidence d'une période de climat sec pendant l'Holocène moyen marqué par la formation de cônes de déjection entre le bassin versant de Rio Dôce et celui de Rio Jequitinhonha dans l'Etat de Minas Gerais. Ces auteurs indiquent que le maximum de sécheresse est marqué par un intense ravinement des versants qui a culminé vers 8000 ans B.P. Notre étude précise que le fonctionnement de ces cônes de déjection a continué jusqu'à environ 4000 ans B.P. En Amazonie, ABSY et al. (1991) mentionnent l'apparition d'une phase sèche à partir de 8000 ans B.P. A Carajas, en Amazonie, SIFEDDINE (1991) met l'accent sur l'abondance des microcharbons de bois et la pauvreté du spectre pollinique en taxons arborés dans la période 7000 à 4000 ans B.P. Des charbons de bois dans les sols de l'Amazonie ont signalés par SOUBIES (1979-80). Cet auteur a indiqué l'existence d'une période sèche en Amazonie entre 3000 et 6000 ans B.P. En Bolivie, des études géomorphologiques, (SERVANT et al., 1978, 1981 et 1989), des analyses des diatomées et des ostracodes (ROUX et al., 1987), WIRRMANN et al.,(1987) et MOURGUIART, (1989) ont démontré que le niveau du lac Titicaca (16 à 22°S) était plus bas que l'actuel entre 7500 et 3650 ans B.P.

La période d'humidification commence dans notre site vers 4000 ans B.P. LEDRU (1991) parle d'un retour du couvert arboré attestant un retour à des conditions climatiques plus humides . A Carajas, SIFEDDINE (1991) signale que, après 4000 ans B.P., les flux détritiques diminuent et les flux du carbone organique "redeviennent normaux". En Bolivie la remontée du niveau du lac Titicaca témoigne d'une amélioration climatique .

Cette tendance humide qui caractérise cette dernière période n'exclut pas la présence des petites récurrences sèches identiques au

climat subactuel. Un phénomène identique serait responsable de l'abaissement du niveau du lac Valencia après 1000 ans B.P. (**BRADBURY et al, 1981**).

Par ailleurs un changement du cortège palynologique a été signalé par **MARKGRAF(1989)** dans un article de synthèse sur l'Amérique du Sud. Pour cet auteur ce changement serait lié indiscutablement à l'intervention humaine dans la transformation du couvert végétal à partir de 500 ans B.P.

CONCLUSION

CONCLUSION

Quelques points peuvent être soulignés à la fin de cette étude. On peut les répartir en deux catégories: des points d'ordre méthodologique, d'autres concernant directement les résultats de cette étude.

Sur le plan méthodologique :

- les significations de la teneur en carbone organique, en azote et surtout du rapport C/N doivent être bien cernées . En effet, tous ces paramètres varient selon la nature des plantes aussi bien que des propriétés de conservation(degré d'oxygénéation, acidité,...). Une étude de référence à partir des milieux actuels pourrait être utile à mieux interpréter les résultats des "paléoteneurs " en marqueur d'activités biologiques (à l'exemple de la palynologie).

- l'étude des palynofaciès d'un sédiment argileux à partir de l'observation microscopique de l'échantillon brut reste élémentaire. Il serait plus précis d'isoler , au préalable, la matière organique par centrifugation.

- La datation au carbone 14 des niveaux jugés bioturbés avec une circulation verticale très active mérite un prétraitement spéciale (tamisage et nettoyage).

- L'analyse statistique en composantes principales s'avère d'un grand intérêt pour contrôler les résultats d'analyses surtout lorsque le nombre des variables devient élevé .

- La prise en considération d'impact humain est d'autant plus nécessaire lorsqu'on cherche à comprendre les traces des fluctuations climatiques dans un système naturel de plus en plus anthropisé.

Concernant les résultats propres à cette étude on peut mentionner les points suivants :

- il est établi que l'Holocène a bien connu des périodes de sécheresse. Les données morphosédimentologiques montrent que le fonctionnement d'un système morphogénétique caractéristique d'un climat sec (Formation du cône de déjection) a duré jusqu'à 4000 ans B.P..

- la reprise de la tendance humide post-fontionnement du cône de déjection n'est pas sans fluctuations ; la plus importante récurrence sèche peut être probablement mise en relation avec le petit âge glaciaire.

- les processus d'érosion actuellement actifs sont à mettre en relation avec le poids de l'occupation humaine et notamment l'impact de la colonisation portugaise.

BIBLIOGRAPHIE

AB'SABER A.N., (1977) : Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na America do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Paleoclimas*, 3 : p1-19. Univ. São Paulo, Inst.Geo.

ABSY M.L., CLEEF A., FOURNIER M., MARTIN L., SERVANT M., SIFEDDINE A., SILVA M.F., SOUBIES F., SUGIUO K., TURCQ B., VAN DER HAMMEN Th., (1991): Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le Sud-Est de l'Amazonie au cours de 60.000 dernières années . Premières comparaison avec d'autres régions tropicales. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t.312, Série II, pp. 673-678.

ARTHUR J.L.M., (1987) : The characteristics, classification and origin of late Pleistocene deposits in the Cass Basin, Canterbury, New Zealand. *Sedimentology* n° 34, pp. 459-471.

BRADBURY J.P., LEYDEN B., SALGADO-LABOURIAU M.L., LEWIS W.M.Jr., SCHUBERT C., BENFORD M.W., FREY D. G., WHITTEAD D. R., WEIBEEZAHNF. H., (1981) : Late Quaternary environmental history of Lake Valencia, Venezuela, *Science*, vol.214, pp.1299-1305.

BIGARELLA J.J., MOUSINHOM.R., DA SILVA J.X., (1965) : Processes and environments of the brazilian quaternary. In Symposuim on Cold Climate Processes and Environments .69p. Fairbanks,Alaska, VII INQUA Congress. Universidade do Parana.

- DEMANGEOT J., (1972)
Le continent brésilien : étude géographique. Paris. Société d'Edition et d'Enseignement Supérieur. 176p.
- FAIRBRIDGE R.W., (1962)
World sea level and climate changes . *Quaternaria*. Vol. 6, pp.111-134. Roma.
- GALLOWAY W.E., HOBDAY D.K., (1983)
Terrigenous clastic depositional systems; Application to Petroleum, Coal, and Uranium Exploration..423p. Springer-Verlag, New York - Berlin - Heidelberg - Tokyo.
- LEDRU M.P. (1991)
Etude de la pluie pollinique au cours des forêts du Brésil central: climat, végétation, application à l'étude de l'évolution paléoclimatique des 30.000 dernières années. Thèse de doctorat, Muséum National d'Histoires Naturelles, 193 p.
- MARKGRAF V., (1989)
Paleoclimates in central and south America since 18000 B.P. based on pollen and lake level records, *Quaternary Science Reviews*, vol 8, pp.1-24.
- MARTIN L., FLEXOR J.M. (1989)
Vibro-testemunhador leve: Construção, utilização e possibilidades, 2 ème congresso da associação brasileira de estudos do Quaternário, n°1, pp. 1-2.
- MELFI A.J., TRESCASES J.J., et BARROS de OLIVEIRA S.M., (1979-1980)
Les "latérites" nikélières du Brésil. *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, Vol Xi, n°1, pp. 15-42.
- MOURGUIART Ph., (1987)
Les ostracodes lacustres de l'Altiplano bolivien. Le polymorphisme, son intérêt dans les réconstitutions paléohydrologiques et paléoclimatiques de l'Holocène, Thèse de 3ème cycle, Université de Bordeaux I, 263 p.
- MOUSINHO DE MEIS M.R., MONTEIRO A.M.F., (1979)
Upper Quaternary "rampa" : Docer river valley, Southeastern Brazilian Plateau. *Geomorph.* N.F.23(2) pp.132-151.
- PAGNEY P., (1976)
Les climats de la terre, Masson Paris, 150p.

PFLUG R. (1969) : Quaternary lakes of eastern brazil. *Photogrammetria* , 24, pp.29-35.

RIVIERE A. (1977)

Méthodes granulométriques : techniques et interprétations . Masson, Paris. 170p.

SERVANT M., FONTES J..C., (1978)

Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes Boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cah. ORSTOM.*, sér. Géol., vol.X, n°1, pp. 9-24.

SERVANT M., FONTES J..C., RIEU M., et SALIEGE J.F., (1981)

Phases climatiques arides holocènes dans le Sud-Ouest de l'Amazonie (Bolivie), *C.R.Acad. Sc.*, Paris, t.292, Série II, pp.1295-1297.

SERVANT M., SOUBIES F., SUGUIO K., TURCQ B., FOURNIER M. (1989)

Alluvial fans in Southern Brazil as evidence for early holocene dry climate period. In *International Symposium on Global Changes in South America During the Quaternary*, Sao Paulo, Spec. Pub. n°1,

SERVANT M., FOURNIER M., SOUBIES F., TURCQ B., (1989)

Sècheresse holocène au Brésil(18-20° latitude Sud); implications paléométéorologiques. *C.R.Acad.Sci. Paris* . T.309. Série II, pp. 153-156.

SIFEDDDINE A. (1991)

La sédimentation en région tropicale humide (Carajas, Amazonie,Brésil): relation avec les modifications de l'environnement climatique au cours des 60.000 dernières années, Thèse de doctorat Muséum National d'Histoires Naturelles.119p.

SOUBIES F. (1979-1980)

Existence d'une phase sèche en Amazonie brésilienne datée par la présence de charbon dans les sols (6000-3000 B.P.). *Cah. ORSTOM. Sér. Géol.* . Vol. XI, n°1, pp.133-148.

SOUBIES F. SUGUIO K., MARTIN L., LEPRUN J.C., SERVANT M., TURCQ B., FOURNIER M., DELAUNE M., SIFEDDDINE A., (1989)

The quaternary lacustine deposits of the Serra dos Carajas (state of Para, Brazil): ages and other preliminary results, In *International Symposium on Global changes in South America During the Quaternary*: , Sao Paulo, Spec. Pub. n°1

SUGUIO K., TURCQ B., SERVANT M., SOUBIES F., FOURNIER M., (1989)

Holocene fluvial deposits in Souteastern Brazil : chronology and paleohydrological implications. In *International Symposium on Global changes in South America During the Quaternary*: , Sao Paulo, Spec. Pub. n°1.

TRICART J., DOLLFUS O., CLOOTS-HIRSCH A.R., (1969)

Les études francaises sur le Quaternaire sud-americain. Etudes francaises sur le Quaternaire. *Suppl. au Bull. de L'AFEQ* p215-234.

TRICART J., (1974)

Existence des périodes sèches au Quaternaire en Amazonie et dans les régions voisines, *Rev. Géomorph. Dyn.* t.XXIII, pp.145-158.

TURCQ B., BOUHAFA T., MARTIN L., SERVANT M., SOUBIES F., SUGIUO K., (1991)

Os cones de dejecão da região do Rio Dôce(Minas Gerais): cronologia e implicações paleoclimáticas. In III^{ème} Congresso da Abequa. Belo Horizonte. Brésil. 2p.

VAUGHAN-WILLIAMS P., (1988) : Brazil. A concise thematic geography, ed. Urwin Hyman Limited. 166p.

WIRRMANN D., and de OLIVEIRA.ALMEIDA L.F., (1987)

Low holocene level (7700 to 3650 years B.P.) lake Titicaca (Bolivia), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 59, pp. 315-323.

WIRRMANN D., YBERT J-P., and MOURGUIART Ph., (1991)

A 20 000 record paleohydrological record from lake Titicaca, in *Lake Titicaca, Synthesis of the Limnological knowledge*, Dejoux C and Hiltis A. (eds), Kluwer, in Press.

ANNEXE I

DESCRIPTION DE LA CAROTTE

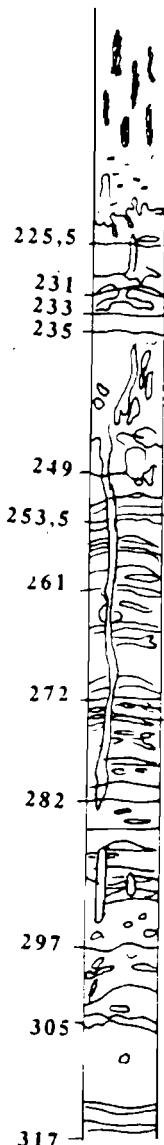
Du sommet vers la base on a relevé les niveaux suivants:



- 0 à 10 cm un vide .
- 10 à 15 cm, un niveau artificiellement compacte. Il est essentiellement composé de débris végétaux. Sa couleur est brun à brun foncé (10 YR 4/3).
- 15 à 32 cm, des débris végétaux (roseaux) de couleur gris brun foncé (10 YR 4/2). Au niveau de 32 cm on note l'existence de plusieurs morceaux de bois . Le contact entre ce niveau et le suivant est net.
- 32 à 37 cm, argile homogène de couleur gris brun (10 YR 5/2). On note l'existence de quelques perforations nettes. A 37 cm le contact est net.
- 37 à 41 cm, argiles riches en fragments végétaux de couleur plus foncé .Elle est gris brun très foncé(10 YR 3/2). Le contact est progressif.
- 41 à 47 cm, un niveau de fragments végétaux de couleur gris très foncé (10 YR 3/1). Ce niveau est assez hétérogène, il contient du charbon de bois. Le contact avec le niveau suivant est érosif.
- 47 à 63 cm, argile de couleur gris foncé (10 YR 4/1) . Il est tâcheté de noir et est percé par une racine qui s'enfonce verticalement . Cet ensemble est plus ou moins homogène et le passage au niveau suivant se fait progressivement .
- 63 à 73 cm, l'argile est un peu plus sombre de couleur gris très foncé (10 YR 3/1) . Elle est grumeleuses avec une passée plus argileuse à 68 cm . On note l'existence des tâches rouges qui sont probablement des oxydes de fer . A 73 cm le passage est progressif.
- 73 à 87 cm, l'argile est tâcheté en noir ocre . La couleur passe du gris brun au sommet (10 YR 5/2) au gris foncé(10 YR 4/1) à la base. Les tâches noires sont plus fréquentes vers la base et la granulométrie est homogène.
- 87 à 89 cm, le contact est net à 87 cm . L'argile est grumeleuses avec des tâches ocres La couleur du dépôt est gris foncé (10YR 3/1). Le contact est aussi net vers la base.
- 89 à 94 cm , argile homogène avec une couleur grise (10 YR 5/1). Le contact se fait progressivement vers le niveau suivant.



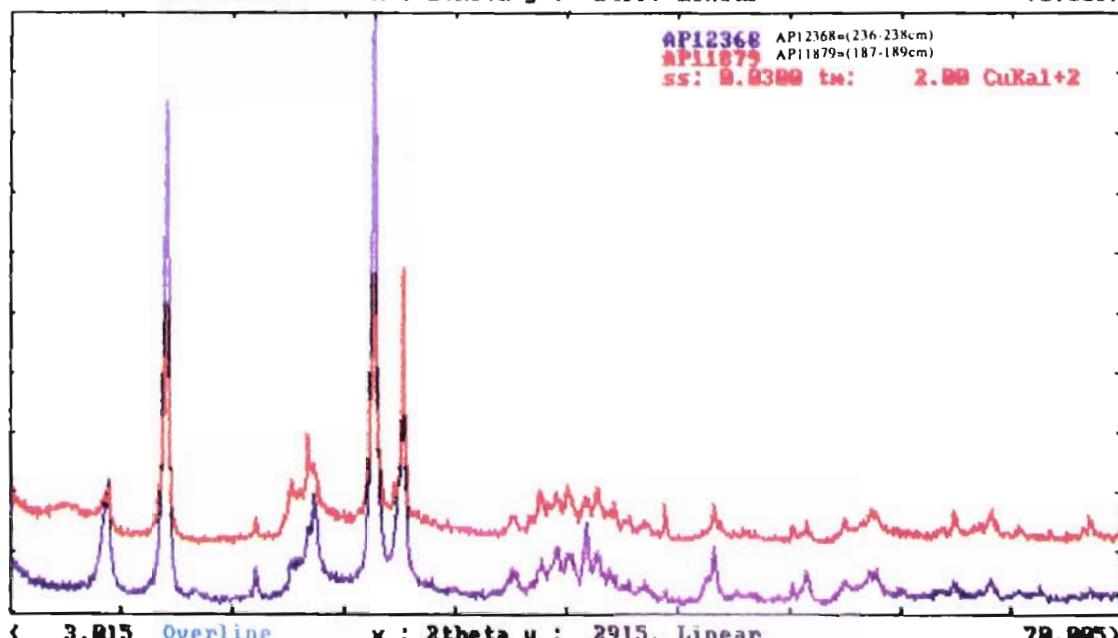
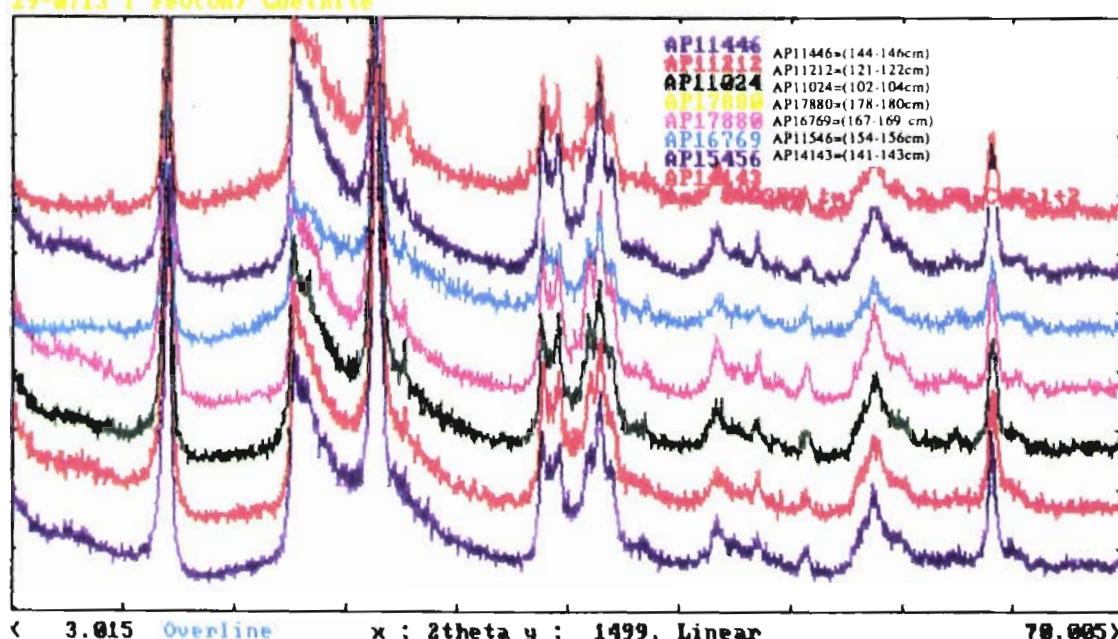
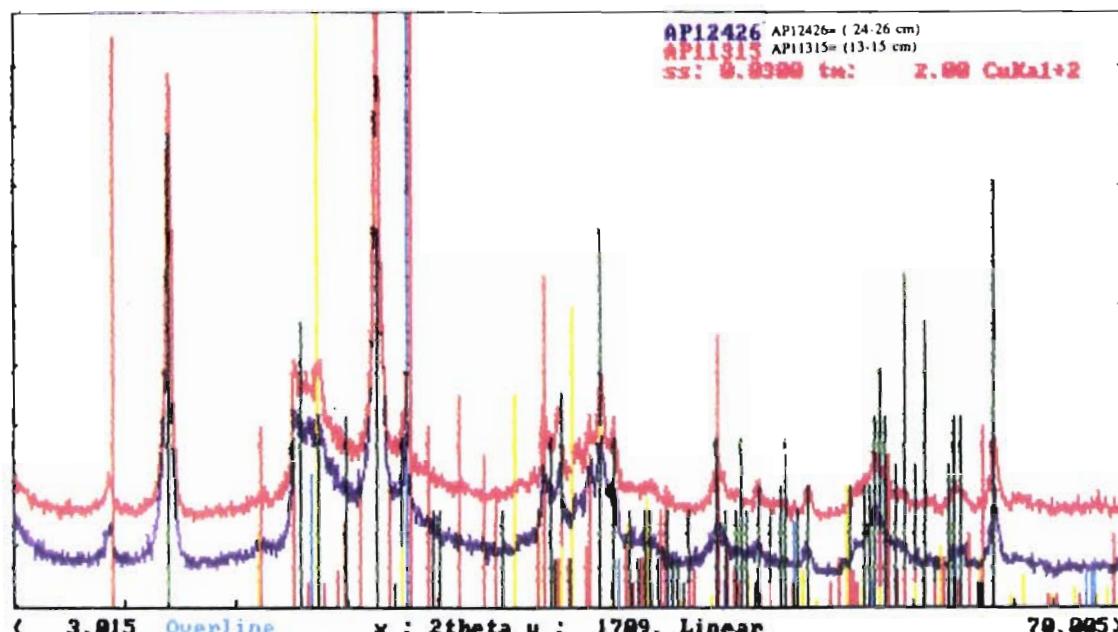
- 94 à 95 cm, l'argile comprend quelques débris végétaux (probablement des restes de roseaux). La couleur est gris très foncé(10 YR 3/1). Le contact est progressif.
- 95 à 120 cm , l'argile est noirâtre de couleur gris très foncé (10YR 3/1) avec quelques tâches claires A 112 cm on trouve une passe encore plus foncée. Le contact est progressif
- 120 à 134 cm, la couleur du dépôt est toujours gris très foncé (10 YR 3/1) On observe des grandes tâches de couleur Ce niveau a un aspect bioturbé. A 123 cm on a relevé la présence de petits nodules. Le contact se fait progressivement.
- 134 à 134,5 cm , l'argile est grumeleuse avec quelques débris végétaux. La couleur est gris très foncé(10 YR 3/1). Le contact est net.
- 136,5 à 140,5 cm, argile avec une passée claire vers le sommet de couleur gris brun pâle (10 YR 6/2) et se noircit vers la base et devient gris brun très foncé (10 YR 3/2). Le contact est net.
- 140,5 à 165 cm , argile tacheté à aspect bioturbé de couleur gris très foncé (10YR 3/1). On signale l'existence de quelques fragments végétaux épars subverticaux (il est possible qu'ils proviennent d'en haut). A 165 cm le passage est net et présente un profil très irrégulier voir même perturbé.
- 165 à 183 cm , argile de couleur gris (10 YR 5/1) avec des tâches noirâtres et d'autres ocres allongées subverticallement . Le passage est progressif.
- 183 à 201 cm , argile micacé de couleur gris (2,5 Y 5/0) et des tâches ocres de couleur gris brun (2,5 Y 5/2). Les tâches ont une position subverticale . A 201 cm le passage se fait progressivement .
- 201 à 225,5 cm argile micacé et grumeleuse de couleur brun jaune foncé (10 YR 3/4). Elle porte des tâches sombres verticales allongées. Le contact est irrégulier avec la présence des lentilles silteuses .
- 225,5 à 231 cm, l'argile a une couleur brun rouge 5YR 5/4) avec des tâches subverticales et des lits millimétriques de silt . Le contact est net avec le niveau suivant .
- 231 à 233 cm, ce niveau est riche en silt micacé de couleur brun (10 YR 5/3) l. A 233 cm le contact est net.
- 233 à 235 cm , argile de couleur brun rouge (5 YR 5/4) avec un lit silteux millimétrique au sommet et des remplissages silteux fins en position verticale. Le contact est net avec le niveau suivant .
- 235 à 249 cm, argile silteuse de couleur gris brun foncé (10 YR 4/2) avec des tâches brun (10 YR 5/3) . Ces tâches sont en position verticale et donnent au remplissage un aspect bioturbé . A 244 cm on a trouvé des petites nodules (roches



altérée ou argile induré!). Le passage au niveau suivant est progressif.

- 249 à 253,5 cm, argile de couleur brun (7,5 YR 4/4) avec des tâches de couleur brun foncé (10 YR 4/3) . A ce niveau débute un remplissage tubuliforme de 3 à 6 mm de largeur et se prolonge jusqu'au niveau 284 cm . La couleur de ce remplissage est aussi brun foncé .
- 253,5 à 261 cm , Le contact est aussi net bien avec le niveau supérieur qu'avec le niveau inférieur. On y trouvé des silts micacés alternants avec des lits d'argiles d'environ 5 mm d'épaisseur.
- 261 à 272 cm , argile de couleur brun (7,5 YR 5/4)alternant avec des lits silteux et un lit grumeleux . A 265 cm on a trouvé des nodules indurés . Le contact est net à la base.
- 272 à 282 cm , argile de couleur brun (7,5 YR 5/4)avec des nombreux lits silteux plus fins et un lit marron grumeleux à 274 cm. Les lits sont d'un aspect lenticulaire net.
- 282 à 297 cm , argile de couleur gris rosâtre (7,5 YR 6/2) vers le sommet et de couleur gris foncé (10 YR 4/1) vers la base. L'argile est interstratifié avec des lentilles silteuses millimétriques et d'autres centimétriques . On note aussi l'existence des tâches ocres en position verticales . Le contact avec la couche suivante est net.
- 297 à 305 cm , l'argile est de même couleur que dans le niveau précédent. On note la présence d'un niveau à lentille à 299 cm . Ces lentilles sont en forme d'un croissant . Le contact avec le niveau inférieur est net.
- 305 à 317 cm , ce niveau est composé de sable fin micacé de couleur gris rouge foncé (5 YR 4/2) avec des passées argileuses millimétriques au sommet, centimétriques à la base . L'argile de couleur brun (10 YR 5/3). Ce niveau renferme des tâches foncées avec des sortes de concrétions non indurées.

ANNEXE II



ANNEXE III

N° des échantillons (cm)	Fraction > 63µm (%)	Fraction < 63µm (%)	Fraction > 2 < 63 µm (%)	Fraction < 2 µm (%)	1er Quartile	Médiane	3ème Quartile	Indice de Trasck	Q de phi
13-15	4,362	95,638	31,288	64,350	0,500	0,950	3,700	3,850	1,940
20-22	0,280	99,720	15,910	83,810	0,230	0,550	1,000	2,090	1,060
27-29	0,429	99,571	8,151	91,420	0,200	0,410	0,760	1,950	0,960
34-36	0,019	99,981	24,991	74,990	0,400	0,780	2,000	2,240	1,160
38-40	0,692	99,308	17,878	81,430	0,300	0,600	13,000	2,080	1,069
43-44	1,027	98,973	18,643	80,330	0,270	0,530	1,100	2,020	1,010
50-52	6,566	93,434	14,014	79,420	0,245	0,420	0,800	1,810	0,850
57-59	2,057	97,943	14,693	83,250	0,305	0,425	0,620	1,430	0,510
60-62	4,037	95,963	42,223	53,740	0,560	1,350	10,500	4,250	2,090
65-67	0,223	99,777	42,907	56,870	0,420	0,700	13,000	5,560	2,470
72-74	0,284	99,716	47,866	51,850	0,420	1,700	14,500	5,880	2,550
76-78	0,061	99,939	26,979	72,960	0,230	0,480	3,000	3,610	1,850
83-85	0,172	99,828	14,978	84,850	0,250	0,420	0,740	1,720	0,780
92-94	0,101	99,899	16,979	82,920	0,240	0,400	0,800	1,830	0,670
105-107	0,188	99,812	15,972	83,840	0,190	0,350	0,600	1,780	0,830
115-117	0,352	99,648	17,938	81,710	0,230	0,460	0,900	1,980	0,980
121-123	0,449	99,551	32,851	66,700	0,260	0,480	6,000	5,110	2,350
131-133	0,263	99,737	29,917	69,820	0,260	0,430	5,000	4,390	2,130
138-140	0,133	99,867	33,957	65,910	0,240	0,460	0,700	1,710	0,770
148-150	0,477	99,523	12,943	86,580	0,090	0,240	0,480	2,310	1,210
162-164	1,539	98,461	34,461	64,000	0,220	0,500	13,000	7,690	2,940
168-170	2,159	97,841	30,331	67,510	0,255	0,600	4,200	4,060	2,020
178-180	0,230	99,770	50,570	49,200	0,330	2,100	13,500	6,400	2,680
185-187	3,441	96,559	43,449	53,110	0,260	1,500	12,300	6,860	2,780
195-197	4,349	95,651	66,951	28,700	1,500	7,800	14,000	3,060	1,610
210-211	2,453	97,547	58,527	39,020	0,400	5,400	18,000	6,710	2,740
211-213	2,637	97,363	38,943	58,420	0,250	0,800	10,000	6,320	2,660
226-228	2,778	97,222	53,472	43,750	0,360	2,900	12,000	5,770	2,530
240-242	11,909	88,091	56,381	31,710	0,800	8,800	22,000	5,240	2,390
250-252	1,984	98,016	74,496	23,520	2,600	13,500	22,500	2,940	1,560
256-258	24,150	75,850	53,850	22,000	3,000	20,500	52,000	4,160	2,060
262-264	5,954	94,046	66,776	27,270	1,600	9,400	21,000	3,620	1,860
276-278	10,946	89,054	61,444	27,610	1,500	8,400	21,000	3,740	1,900
284-286	12,661	87,339	55,899	31,440	0,900	7,600	21,500	4,890	2,290
292-294	12,378	87,622	56,952	30,670	0,960	7,600	22,500	4,840	2,270
294-296	20,385	79,615	56,525	23,090	2,700	13,000	34,000	3,550	1,830
300-302	16,302	83,698	54,408	29,290	1,300	8,800	24,000	4,300	2,100
302-304	20,492	79,508	56,448	23,060	1,400	12,000	33,000	4,860	2,280
309-311	73,563	26,437	19,567	6,870	44,000	62,000	90,000	1,430	0,520

Tableau III : Les données granulométriques du lot "B"

N° des échantillons	Fraction >63µm (%)	Fraction >63µm(%)
13-15	36,506	4,362
20-22	28,443	0,280
27-29	35,694	0,429
34-36	1,741	0,019
38-40	18,875	0,692
43-44	45,113	1,027
50-52	2,280	6,566
57-59	6,273	2,057
60-62	28,271	4,037
65-67	6,949	0,223
72-74	11,084	0,284
76-78	2,531	0,061
83-85	0,025	0,172
92-94	0,646	0,101
105-107	1,315	0,188
115-117	2,189	0,352
121-123	14,857	0,449
131-133	3,617	0,263
138-140	0,658	0,133
148-150	1,883	0,477
162-164	6,341	1,539
168-170	5,493	2,159
178-180	0,629	0,230
185-187	15,491	3,441
195-197	9,873	4,349
210-211	18,840	2,453
211-213	18,178	2,637
226-228	8,196	2,778
240-242	15,301	11,909
250-252	16,252	1,984
256-258	37,466	24,150
262-264	14,638	5,954
276-278	18,754	10,946
284-286	21,105	12,661
292-294	26,902	12,378
294-296	38,497	20,385
300-302	17,308	16,302
302-304	29,418	20,492
309-311	84,888	73,563

Tableau IV : Comparaison des fractions granulométriques des lots
"B" attaqué au H₂O et "C" à l'état brut"

échantillons (cm)	N° des Densité apparente	Teneur en eau H ₂ O (%)	Taux du Carbone (C) en pour mille	Taux d'Azote (N) en pour mille	Rapport C/N
10-12	0,125	561,41	155,78	7,54	20,66
20 - 21	0,199	349,05	120,64	7,86	15,35
27 - 29	0,187	388,77	125,26	8,65	14,48
34 - 36	0,585	101,36	19,98	1,79	11,16
38 - 40	0,186	430,43	171,69	12,11	14,18
44 - 46	0,219	307,74	180,97	12,78	14,16
50 - 52	0,737	79,54	30,91	3,42	9,04
57 - 59	0,834	68,39	25,82	3,23	7,99
60 - 62	0,849	62,67	20,17	2,48	8,13
65 - 67	0,589	103,97	33,57	4,05	8,29
70 - 72	0,789	69,01	23,26	3,43	6,78
76 - 78	0,892	57,11	10,91	1,16	9,41
83 - 85	0,904	54,70	14,64	1,48	9,89
91 - 93	0,964	51,33	9,55	1,02	9,36
105 - 107	0,960	51,40	22,13	1,95	11,35
115 - 117	0,941	51,30	25,86	2,12	12,20
121 - 123	0,900	54,14	24,11	2,18	11,06
131 - 133	0,931	50,87	19,18	1,67	11,49
138 - 140	0,997	49,05	13,64	1,07	12,75
148 - 150	1,030	48,96	30,68	1,54	19,92
160 - 162	0,949	53,34	17,26	2,32	7,44
168 - 170	0,953	56,55	9,13	0,80	11,41
179 - 181	0,915	58,39	9,22	0,83	11,11
185 - 187	0,779	77,96	7,64	0,65	11,75
195 - 197	0,752	81,91	7,95	0,62	12,82
210 - 212	0,736	80,49	10,52	0,79	13,32
226 - 228	1,004	92,92	2,79	0,25	11,16
240 - 242	0,816	70,29	4,99	0,35	14,26
250 - 252	0,920	54,39	2,21	0,16	13,81
256 - 258	0,982	42,31	1,06	0,22	4,82
262 - 264	0,974	50,85	1,51	0,14	10,79
276 - 278	1,028	46,80	1,21	0,21	5,76
284 - 286	1,025	49,10	2,10	0,27	7,78
293 - 295	0,943	54,63	5,89	0,53	11,11
301 - 303	1,080	46,22	9,80	0,29	33,79
309 - 311	1,040	31,94	0,60	0,10	6,00

Tableau V: la teneur en eau (H₂O), carbone (C), azote(N) et le rapport C/N