



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Canadian Theses Service

Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

NOTICE

The quality of this microform is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us an inferior photocopy.

Reproduction in full or in part of this microform is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30, and subsequent amendments.

AVIS

La qualité de cette microforme dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de qualité inférieure.

La reproduction, même partielle, de cette microforme est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30, et ses amendements subséquents.



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Canadian Theses Service Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada
K1A 0N4

The author has granted an irrevocable non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her permission.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

ISBN 0-315-53279-3

Canada

*SEDIMENTOLOGIE DE LA BASSE VALLEE
DE LA GATINEAU, QUEBEC.*

par

André Prigent

Thèse présentée à l'Ecole des études supérieures
en vue de l'obtention de la
Maîtrise ès Art en Géographie

UNIVERSITE D'OTTAWA



André Prigent, Ottawa, Canada, 1989.

REMERCIEMENTS

J'aimerais exprimer ma reconnaissance la plus sincère à mon directeur de thèse, le Dr Daniel Lagarec, pour ses conseils judicieux, sa sagesse et sa grande patience. Il a su m'encourager, tout en me faisant profiter de son expérience et de ses vastes connaissances.

Ma gratitude va aussi à mes amis et collègues du Département de Géographie, plus particulièrement M. André Leclerc, pour son aide en laboratoire, et M. Luc Carrier et M. Clément Prévost (un redoutable adversaire au ping-pong!) pour leurs critiques constructives des manuscrits originaux.

Je remercie tout spécialement Josée, pour son support moral, ses encouragements et sa confiance. J'aimerais finalement remercier mes parents pour leur compréhension, leur patience et leur support financier.

RESUME

Dans la vallée de la Gatineau, orientée approximativement nord-sud, le retrait glaciaire s'est effectué vers le nord. On constate l'existence de certaines concentrations de dépôts glaciaires sur de courtes distances. Ces concentrations sont-elles significatives vis-à-vis de la dynamique de la déglaciation? Une étude sédimentologique est effectuée le long d'un transect parallèle à la Gatineau, sur une distance d'environ 43 kilomètres. Ainsi, 37 coupes stratigraphiques, provenant de 23 sites, ont été étudiées et 120 échantillons prélevés pour fins d'analyse granulométriques.

Les résultats de l'analyse granulométrique sont soumis à deux programmes d'analyses multivariées, soit un programme de classification et une analyse factorielle des correspondances. La combinaison des résultats de l'analyse stratigraphique et des analyses multivariées permet de discerner cinq types d'environnement de sédimentation:

- 1-Mise en place au contact de la glace
- 2-Mise en place proximale
- 3-Mise en place proximale intermédiaire
- 4-Mise en place distale intermédiaire
- 5-Mise en place distale

La cartographie et la localisation de ces cinq types de faciès montre un passage progressif et rapide d'un environnement distal à un environnement de glace dans la région de Farrelton-Lascelles. De plus, ces sites correspondent à de fortes accumulations de sédiments, suggérant ainsi un arrêt momentané du retrait glaciaire.

ABSTRACT

The Gatineau Valley has a north-south orientation. The deglaciation of this region was in a northward direction. There are concentrations of glacial sediments along short distances within the valley. What implications, if any, do these concentrations of sediments have towards the determination of the deglaciation in the Gatineau Valley? A sedimentological study was undertaken along a transect, parallel to the valley, for a distance of 43 kilometers. Grain-size analyses were performed on 120 samples taken from 23 sites.

Two types of multivariate analysis (classification and correspondence factor analysis) were performed on the granulometric result. The multivariate analyses combined with stratigraphic facies provided information that allowed determination of five types of sedimentary environments:

- 1-Ice contact environment
- 2-Proximal environment
- 3-Proximal intermediate environment
- 4-Distal intermediate environment
- 5-Distal environment

In the Farrellton-Lascelles region, the cartography and localisation of these five types of facies show a progressive and rapid change, from a distal to an ice-contact environment. Furthermore, these sites correspond to the largest accumulation of glacial sediments in the Gatineau Valley, thus indicating a temporary halt in glacial retreat.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION - LA VALLEE DE LA GATINEAU	1
BUT DE L'ETUDE	1
CHAPITRE I - LA REGION D'ETUDE	3
SITUATION GENERALE	3
PHYSIOGRAPHIE	3
Topographie	3
Géologie	6
CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE	8
Etudes antérieures	9
Contexte géomorphologique	12
<i>La déglaciation de la vallée de l'Outaouais</i>	12
<i>La déglaciation de la vallée de la Gatineau</i>	15
CHAPITRE II - PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE	19
INTRODUCTION	19
DEFINITION DES HYPOTHESES	19

METHODOLOGIE	21
Travail de terrain	21
Analyses en laboratoire	22
<i>Etudes granulométriques</i>	23
Analyse des données	25
<i>Méthodes d'analyses bivariées</i>	25
<i>Méthodes d'analyses multivariées</i>	27
CHAPITRE III - PRESENTATION DES RESULTATS	31
INTRODUCTION	31
LISTE DES ECHANTILLONS	31
CLASSIFICATION ET COURBE D'INFORMATION MUTUELLE	32
DESCRIPTION DES GROUPES	35
ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES	45
Introduction	45
Méthode d'interprétation pour l'A.F.C.	45
Valeurs propres, inertie et trace	47
Contributions absolues et relatives	52
<i>Contributions des fractions granulométriques</i>	52
<i>Contributions absolues des sous-groupes</i>	54
<i>Contributions relatives des sous-groupes</i>	56
Interprétation des facteurs	56
CHAPITRE IV - STRATIGRAPHIE ET ENVIRONNEMENT DE SEDIMENTATION	61

INTRODUCTION	61
STRATIGRAPHIE	62
Interprétation	62
<i>Groupe I</i>	63
<i>Groupe II</i>	64
<i>Groupe III</i>	66
<i>Groupe IV</i>	69
<i>Définition des environnements</i>	72
LOCALISATION STRATIGRAPHIQUE ET GEOGRAPHIQUE	73
Discussion	80
Conclusion	82
CONCLUSION	83
BIBLIOGRAPHIE	87
ANNEXE A - STRATIGRAPHIE	94
ANNEXE B - TABLEAU DES CONTRIBUTIONS	133

LISTE DES FIGURES

1.1 Carte de localisation	4
1.2 Région d'étude	5
2.1 Exemple de courbe et de quartiles	26
3.1 Courbe d'information mutuelle	33
3.2 Dendrogramme de regroupement	34
3.3 Courbes cumulatives, sous-groupes IA et IB	36
3.4 Courbes cumulatives, sous-groupes IIA et IIB	37
3.5 Courbes cumulatives, sous-groupe IIC	38
3.6 Courbes cumulatives, sous-groupes IIIA et IIIB	39
3.7 Courbes cumulatives, sous-groupes IIIC	40
3.8 Courbes cumulatives, sous-groupes IVA et IVB	42
3.9 Courbes cumulatives, sous-groupes IVC et IVD	43
3.10 Diagramme médiane-Qd ϕ	44
3.11 Analyse factorielle des correspondances, plan 1-2	48
3.12 Analyse factorielle des correspondances, plan 1-3	49
3.13 Contributions, fractions granulométriques	53
3.14 Contributions absolues, sous-groupes	55
3.15 Contributions relatives, sous-groupes	57
4.1 Localisation des unités	74

LISTE DES TABLEAUX

2.1	Fractions granulométriques et équivalences	24
2.2	Fractions granulométriques, Coulter Counter (100 μ m)	24
3.1	Identification des sites et échantillons	32
4.1	Aspect stratigraphique, groupe I	63
4.2	Aspect stratigraphique, groupe II	65
4.3	Aspect stratigraphique, groupe III	66
4.4	Aspect stratigraphique, groupe IV	70

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

1.1 Le Bouclier Canadien au nord du Mont Ste-Marie	7
1.2 La vallée au sud de Farrelton	8
4.1 Echantillon FO4, sommet de Farrelton	68
4.2 Edelweiss 1, site 8. Notez le décrochement	68
4.3 Gravière d'Alcove, site 14	76
4.4 Gravière Lascelle, site 16	77
4.5 Wilson's Corner, site 4	78
4.6 Wilson's Corner, site 5	78
4.7 Farrelton est, site 18	79
4.8 Farrelton, site 19	79

INTRODUCTION

LA VALLEE DE LA GATINEAU

Le paysage de la vallée de la Gatineau montre, surimposés à la structure rocheuse, les vestiges de la glaciation, sous forme de dépôts glaciaires, fluvio-glaciaires et glacio-marins (Allard 1977a). Une étude de la littérature nous montre que, parmi ceux-ci, les dépôts fluvio-glaciaires sont prédominants (Romanelli 1976, Allard 1977a, O.P.D.Q. 1980).

Les dépôts les plus importants (par leur superficie et leur épaisseur), sont concentrés dans la région de Wakefield-Wilson's Corner (épandage fluvio-glaciaire, delta fluvio-glaciaire), et de Farrellton et Alcove (Romanelli 1976, Allard 1977a, O.P.D.Q. 1980). On retrouve aussi des accumulations fluvio-glaciaires au nord et au sud de ces localités, mais celles-ci sont beaucoup moins importantes. Les dépôts glaciaires sont généralement situés sur les hauteurs du bouclier (Allard 1977a), et les dépôts glacio-marins se retrouvent dans les basses-terres, sous forme d'argile.

BUT DE L'ETUDE

Cette étude a pour but de décrire et d'interpréter les dépôts mis en place dans la vallée de la Gatineau au cours de la dernière déglaciation. Les deux principaux objectifs sont donc:

- a) de comprendre la morphogénèse de ces dépôts, et ainsi inférer le milieu de mise en place;
- b) et en dresser une nomenclature montrant ainsi leur évolution et les relations existant entre eux.

Lors de la déglaciation, la dynamique du milieu de mise en place évolue en fonction de la dynamique du retrait du front glaciaire. Ainsi, le régime du glacier nous est indiqué par les caractéristiques des sédiments. Cette étude nous permettra de déterminer, grâce aux propriétés sédimentologiques des dépôts, si la déglaciation a été progressive ou marquée par des arrêts.

CHAPITRE I

LA REGION D'ETUDE

SITUATION GENERALE

La région d'étude est située sur le Bouclier Canadien, à 40 kilomètres au nord d'Ottawa-Hull. Le territoire se localise entre les latitudes 45°35' N et 45°58' N et les longitudes 75°46' O et 76°01' O. Il s'étend entre Cantley et le village de Lac Ste-Marie, pour ainsi couvrir une superficie d'environ 840 km² (fig. 1.1).

La zone d'étude est couverte en totalité par les cartes topographiques au 1:50 000 de Wakefield (31G/12), Low (31G/13), Quyon (31F/9) et Kazabazua (31F/16) (fig. 1.2).

PHYSIOGRAPHIE

Le territoire étudié se divise en deux régions distinctes: le plateau laurentidien, formé de collines rocheuses, et la vallée de la Gatineau, occupée par une plaine argileuse.

Topographie

Le plateau laurentidien montre une topographie irrégulière, caractérisée par des collines arrondies, dont l'altitude moyenne varie entre 270 et 300 mètres. L'altitude maximale est de 560 mètres. Les hautes terres rocheuses sont généralement dépourvues de dépôts meubles ou recouvertes d'un très mince placage de matériel sablo-graveleux, surtout au-dessus de 185-190 mètres. Les collines sont séparées par de nombreuses dépressions et cuvettes. Celles-ci sont

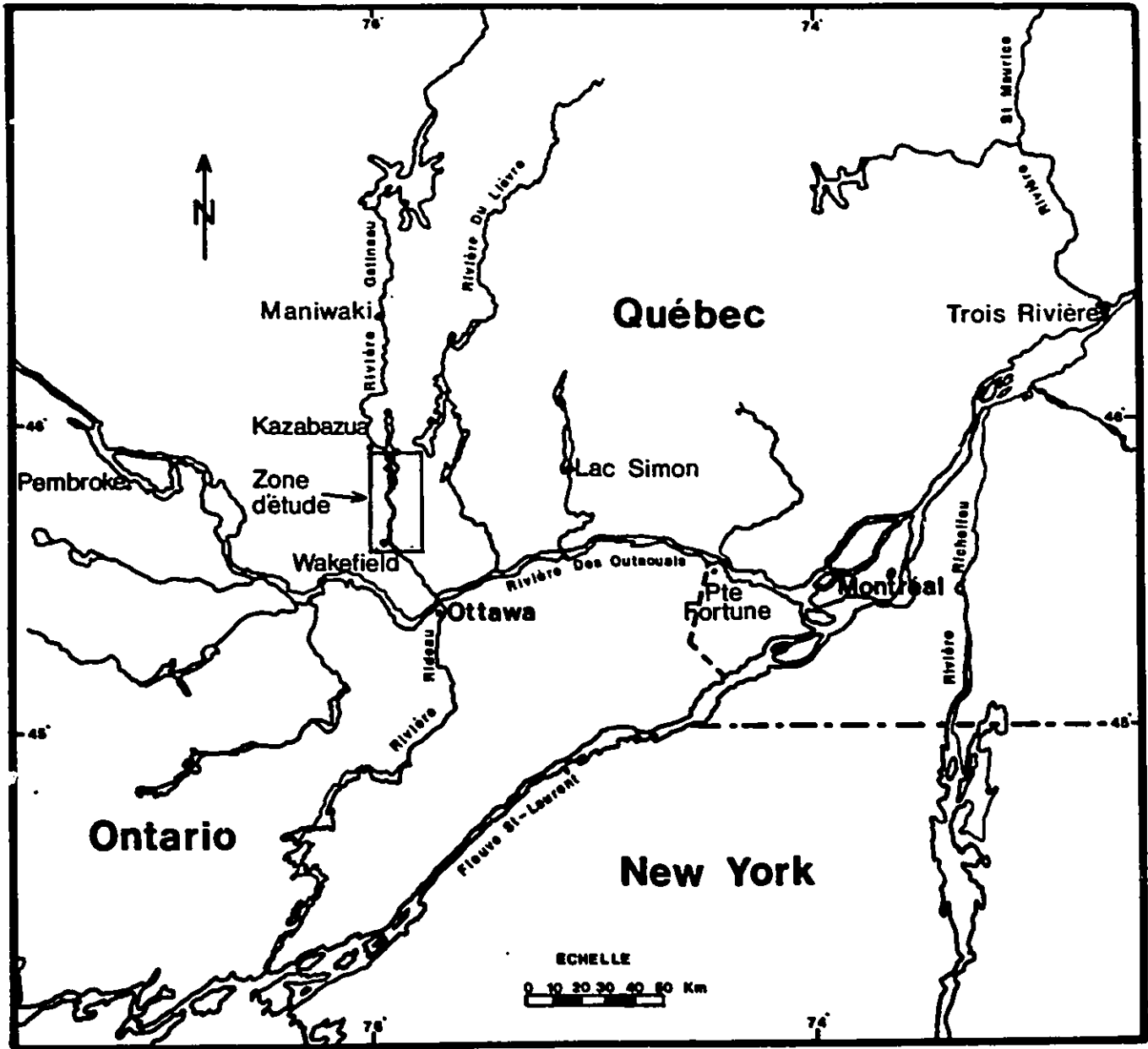


Figure 1.1: Carte de localisation

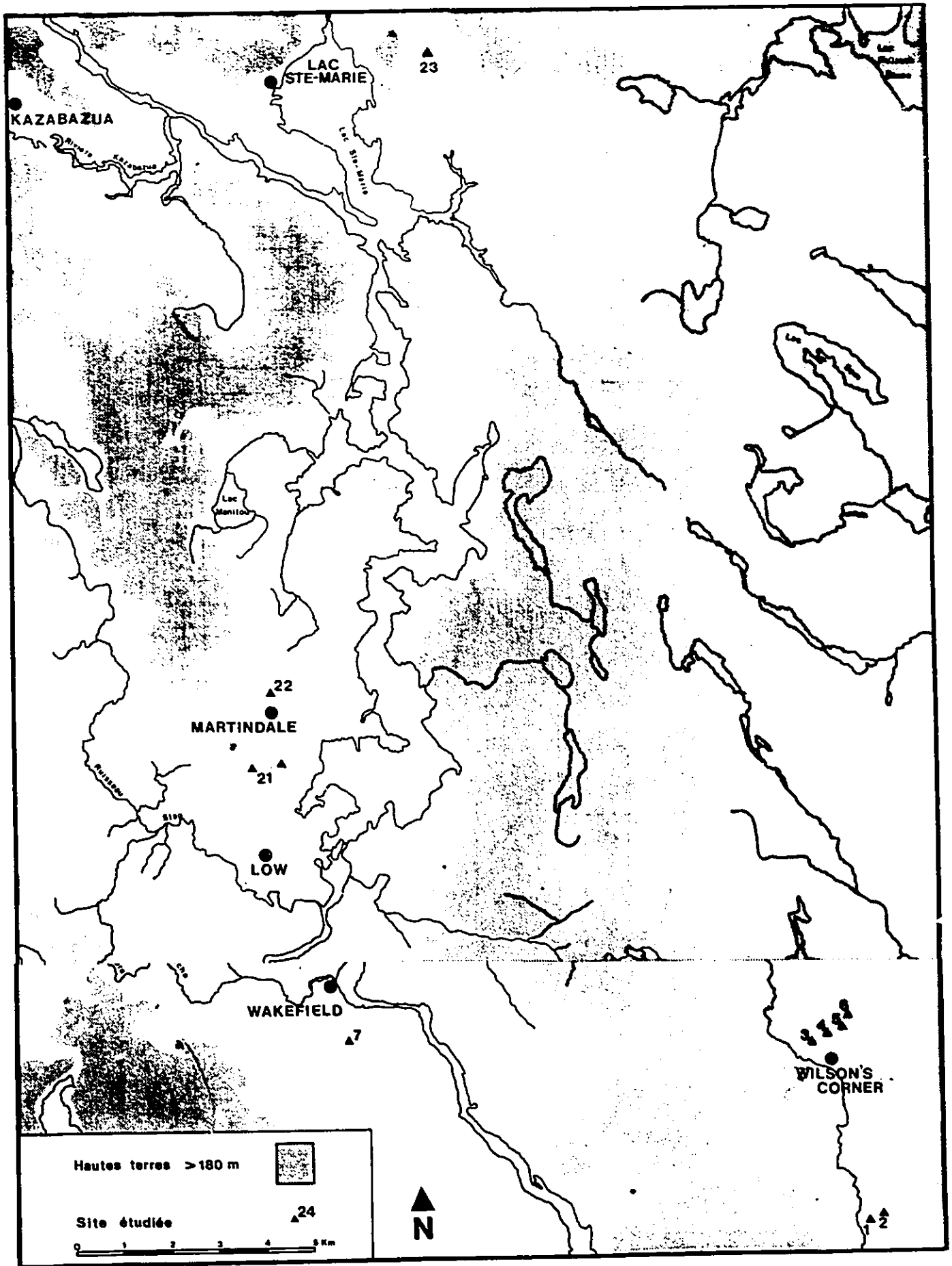


Figure 1.2: Région d'étude

parfois occupées par des petits lacs aux contours irréguliers, typiques du Bouclier Canadien. L'altitude moyenne de ces dépressions varie entre 190 et 220 mètres. Les dénivellations locales sont habituellement de l'ordre de 100 à 150 mètres (photo 1.1).

La plaine alluviale atteint une largeur maximale de 6 kilomètres au sud de Farrelton, puis, progressivement, se rétrécit dans la partie méridionale (sud de Wakefield). L'altitude moyenne de la vallée oscille entre 140 et 160 mètres. La plaine est percée par des affleurements rocheux et est formée en grande partie de dépôts de sable et d'argile, que l'on retrouve à peu près partout dans les basses terres à une altitude inférieure à 180 mètres (photo 1.2).

Le réseau hydrographique s'organise autour de la rivière Gatineau. Selon les secteurs, celle-ci incise la plaine argileuse ou encore s'inscrit entre des parois rocheuses. Ses principaux affluents sont les rivières Kazabazua et Lapêche, et les ruisseaux Wilson, Mullin, Indian, Stag et Killarney. La configuration et la densité de ces cours d'eau créent un réseau de drainage d'aspect dendritique, nous indiquant ainsi que les basses terres sont formées de matériel compact et très peu perméable.

Géologie

Le plateau laurentidien, partie intégrante du Bouclier Canadien, est formé de roches précambriennes de la province de Grenville, datant du Protérozoïque (Béland 1954, Hogarth 1962). Les roches de la série de Grenville sont des roches métamorphiques déformées, consistant principalement de couches de calcaire cristallin à très forte teneur en carbonates, de gneiss à grenat et de quartzite (Dresser et Denis 1944, Allard 1977a). Cet ensemble forme le substratum rocheux de la majeure partie de la région d'étude.

Des roches ignées, plus jeunes et plus résistantes, viennent percer cette surface à plusieurs endroits. Ce sont surtout des granites, des syénites et des gabbros, que l'on retrouve surtout dans les parties plus élevées de la région. De plus, au sud de la région, il

National Library
of Canada

Canadian Theses Service

Bibliothèque nationale
du Canada

Service des thèses canadiennes

NOTICE

AVIS

THE QUALITY OF THIS MICROFICHE
IS HEAVILY DEPENDENT UPON THE
QUALITY OF THE THESIS SUBMITTED
FOR MICROFILMING.

UNFORTUNATELY THE COLOURED
ILLUSTRATIONS OF THIS THESIS
CAN ONLY YIELD DIFFERENT TONES
OF GREY.

LA QUALITE DE CETTE MICROFICHE
DEPEND GRANDEMENT DE LA QUALITE DE LA
THESE SOUMISE AU MICROFILMAGE.

MALHEUREUSEMENT, LES DIFFERENTES
ILLUSTRATIONS EN COULEURS DE CETTE
THESE NE PEUVENT DONNER QUE DES
TEINTES DE GRIS.

Photo 1.1: Le Bouclier Canadien au nord du Mont Ste-Marie

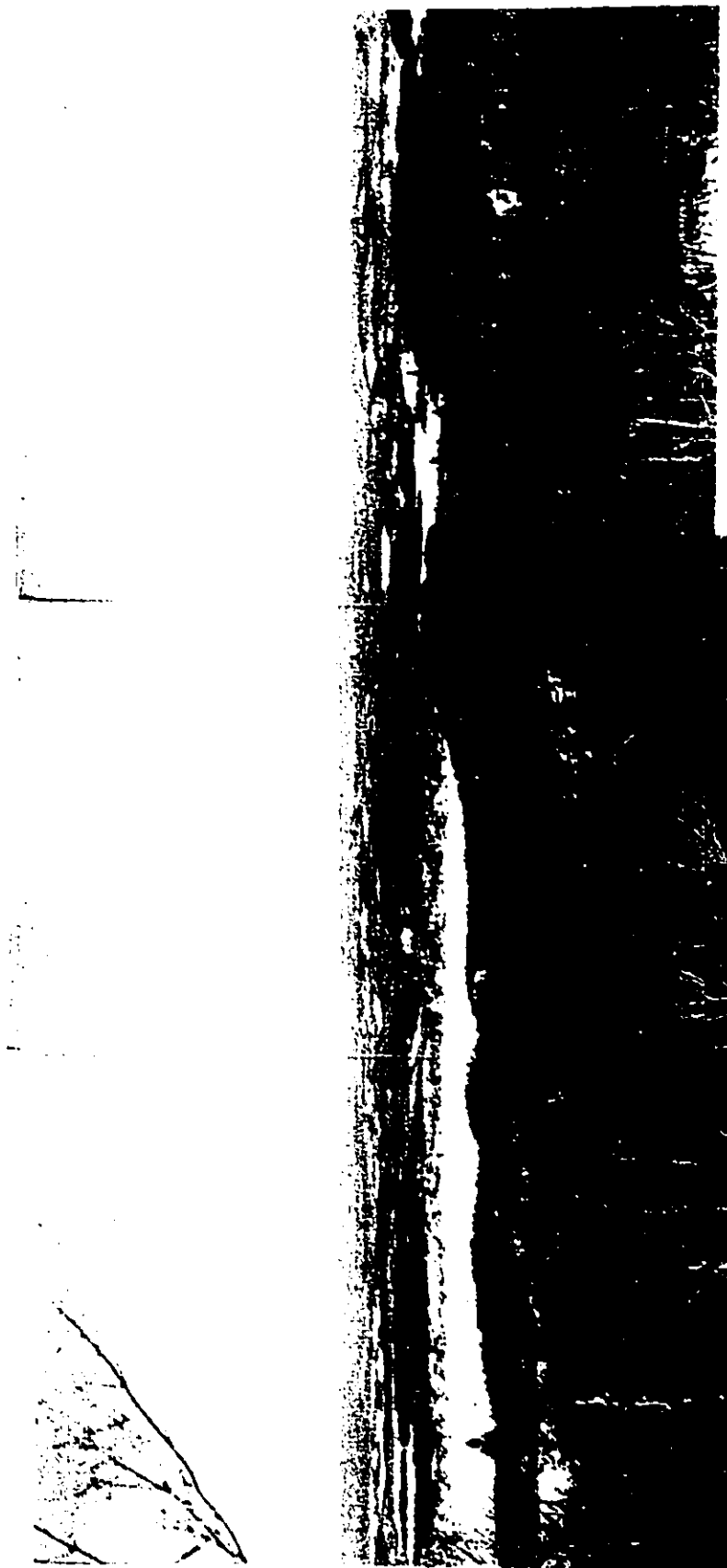


Photo 1.2: La vallée au sud de Farrellton



existe des intrusions plus importantes. En effet, entre les villages de Wakefield et de Cascade se trouve un important batholite de syénite qui s'étend jusqu'à Wilson's Corner, dix kilomètres plus à l'est.

CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

Etudes antérieures

Il existe peu d'études géomorphologiques d'importance consacrées à l'étude des dépôts sédimentaires de la vallée de la Gatineau. A notre connaissance, seules les études de Romanelli (1976), d'Allard (1977a), de Fauchon (1980) et la carte géomorphologique de Wakefield (O.P.D.Q. 1980) sont directement pertinentes à notre étude. En fait, ces études ne couvrent que partiellement la zone étudiée, ou encore n'abordent qu'en partie notre sujet.

L'étude de Romanelli (1976) couvre la section sud et centre de notre région d'étude. Grâce à l'étude comparative des dépôts quaternaires de la vallée de la Gatineau et de la région d'Ottawa, il conclut que l'environnement de mise en place était "plus énergétique" dans la Gatineau. L'étude des paléo-faunes (macro-fossiles) lui permet d'apporter certaines précisions vis-à-vis des conditions de vie de ces organismes et par rapport au relèvement isostatique. Il affirme que les mollusques de la Gatineau vivaient dans des conditions beaucoup plus froides et moins salines que les mollusques de la région d'Ottawa. Il poursuit en ajoutant que le relèvement du Bouclier s'est effectué de façon rapide et constante suite au retrait des glaces.

Allard (1977a) réalise un inventaire bio-physique de la vallée de la Gatineau et de la vallée de la Lièvre. Une courte partie de sa thèse est consacrée à l'analyse et à la photo-interprétation des dépôts quaternaires. Il affirme ainsi que les complexes fluvio-glaciaires de Wakefield-Wilson's Corner et morainiques de Farrellton correspondent à deux positions successives du front glaciaire lors de son retrait. Il ajoute aussi que l'altitude maximale atteinte par la mer de Champlain dans la vallée de la Gatineau est d'environ 221 mètres.

Le Quaternaire de la région du lac Ste-Marie, partie septentrionale de notre zone d'étude, est étudié dans un chapitre de la thèse de Fauchon (1980). La région du lac Ste-Marie aurait été recouverte par une nappe d'eau contiguë à la mer de Champlain, donc très peu saumâtre, où auraient régné des conditions estuariennes. La limite maximale atteinte par

cette étendue d'eau serait d'environ 215 mètres, permettant ainsi l'édification d'un important delta fluvio-glaciaire à 200 mètres d'altitude au sud-est du Lac à la Vase.

La carte géomorphologique de l'O.P.D.Q. (1980) couvre la moitié sud de notre région d'étude. L'analyse de cette carte nous montre la prépondérance des matériaux meubles dans la vallée de la Gatineau et dans les cuvettes environnantes, surtout sous l'altitude d'environ 170 mètres (550 pieds). On remarque aussi que les dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires sont habituellement surimposés aux flancs des montagnes et des falaises, en aval des verrous et des anfractuosités. Cette situation met en évidence le contrôle exercé par la topographie du Bouclier sur la localisation de ces accumulations. Quelques dépôts de tills (couverture morainique, moraines bordières) se retrouvent dans la partie nord de la carte, c'est-à-dire dans les environs de Farrellton.

Ces quelques études forment donc un premier canevas géomorphologique de la vallée de la Gatineau. D'autres études viennent compléter, de façon ponctuelle, nos connaissances vis-à-vis ces dépôts. Permettons-nous ici de résumer très brièvement les plus pertinentes.

Divers travaux de géologie font sommairement mention de la géologie du Quaternaire de notre zone d'étude. Parmi ceux-ci, soulignons les rapports sur la géologie du Québec de Dresser et Denis (1944), sur la géologie du comté de Denholm-Hincks (Maufette 1949b), et sur la carte géologique de Wakefield (Béland 1954). Suite à l'observation de faciès stratigraphiques et de terrasses marines dans la Gatineau, Ernst Antevs (1939) conclut que la mer de Champlain avait atteint, au minimum, le village de Venosta, dans la partie nord de la région. Plusieurs coupes étudiées dans notre thèse ont déjà été analysées de façon plus ou moins sommaire. Maufette (1949a, p. 101), décrit les gravières de Martindale et de Farrellton, qualifiant cette dernière comme étant "un dépôt de gravier impressionnant en épaisseur". Rust et Romanelli (1974) interprètent les dépôts de Farrellton comme étant un épandage sous-aquatique, formé dans une grande profondeur d'eau.

Un guide d'excursion ainsi qu'une synthèse du Quaternaire de la région d'Ottawa ont été publiés lors du douzième congrès de l'INQUA. Quelques unes de nos gravières sont étudiées dans le guide d'excursion. La gravière de Wakefield est décrite par R.J. Fulton et C.G. Rodrigues (1987, site C-2), et serait d'origine fluvio-glaciaire et glacio-marine. Cette gravière montre quelques déformations. Trois nouvelles datations au radio-carbone, effectuées sur des coquillages marins, sont publiées (10 800±110 ans GSC-4088, 11 100±120 ans GSC-4056, 11 760±120 ans TO-112). Sharpe (1987, site G-3) étudie les formes d'érosion glaciaire que l'on retrouve sur la roche en place de la gravière de Cantley, qu'il attribue à l'action érosive des eaux sous-glaciaires plutôt qu'au mouvement des glaces.

Le résumé du Quaternaire (Fulton *et al.*, 1987), fait mention de l'abondance des dépôts fluvio-glaciaires dans la région. On y souligne aussi la controverse qui existe vis-à-vis du style de déglaciation dans l'Outaouais et le problème des "vieilles eaux", qui contamineraient les fossiles, faussant ainsi les datations. La limite marine avait atteint environ 200 mètres près d'Ottawa (donc au sud de notre région) et plus de 274 mètres au nord. La limite marine n'est pas uniforme et le glacier se retire en demeurant au contact avec des eaux marines.

Quelques articles mentionnent sommairement certains aspects du Quaternaire de notre zone d'étude. Gadd (1987) note la présence de nombreux sédiments fluvio-glaciaires dans la vallée de la Gatineau. Ceux-ci se retrouvent surtout sur les flancs de montagnes ou encore au fond des vallées et des cuvettes. Ces sédiments prennent souvent la forme de crêtes, de kames et de terrasses de kames. Cet article est également accompagné d'une carte montrant les limites de la mer de Champlain. Selon cette carte, l'invasion marine post-glaciaire n'aurait jamais atteint la zone septentrionale de notre région d'étude. Cette zone aurait plutôt été occupée par un plan d'eau douce contigu à la mer de Champlain.

Fulton et Richard (1987) proposent une chronologie des événements de la fin du Quaternaire dans la région d'Ottawa. Ces auteurs soulignent encore une fois le peu de corrélation qui existe entre les différentes datations au radio-carbone, et ce, surtout dans la

vallée de la Gatineau. En effet, en assumant un taux de retrait glaciaire de 250 à 300 mètres par année (calculé par Stuiver et Borns, 1975, pour la région côtière du Maine), on devrait observer un décalage d'environ 500 à 600 ans entre les dates du sud et du nord de notre région d'étude. Pourtant, celles-ci sont à peu près équivalentes.

D'autres études, effectuées dans des régions plus ou moins lointaines (par exemple: région de Montréal, sud-est ontarien) viendront ajouter à nos connaissances. A la lumière des lignes précédentes, on peut constater que la dynamique de mise en place des dépôts associés à la déglaciation dans la vallée de la Gatineau n'est pas bien comprise. Par contre, les régions plus au sud (Ottawa-Hull) ont été étudiées de façon plus intensive et la synthèse de ces études nous permettent d'élaborer un très bref historique régional.

Contexte géomorphologique

Au cours du Wisconsinien (80 000 à 10 000 ans), le nord-est de l'Amérique du Nord a été recouvert par une calotte glaciaire. La région d'étude est située à plus de 600 kilomètres au nord de la limite maximale d'extension de la calotte laurentidienne et a donc été recouverte par ces glaces. Cette limite fut atteinte il y a environ 18 000 ans (Dyke & Prest, 1987). L'inlandsis laurentidien a ainsi effacé toutes traces des glaciations antérieures dans la région. Les seuls dépôts identifiés comme ayant été mis en place par une glaciation précédente se trouvent à Pointe-Fortune, à près de 100 kilomètres à l'est d'Ottawa. Suite à l'atteinte de ce maximum glaciaire, le front se retire vers le nord, pour atteindre la vallée de l'Outaouais vers 12 000 ans (Fulton & Richard, 1987)

La déglaciation de la vallée de l'Outaouais

La déglaciation de la vallée de l'Outaouais suscite de vives controverses, car présentement, deux schémas sont proposés. Le premier, plus classique, explique la déglaciation par le recul vers le nord d'un front rectiligne, orienté selon un axe à peu près est-

ouest. La vallée du St-Laurent aurait ainsi été bloquée par le glacier en retrait, alors que l'Outaouais était déjà libre de glace.

Ce schéma implique la formation d'un important lac glaciaire d'eau douce, coincé entre le front glaciaire et les hautes terres des Adirondacks et des Appalaches. L'idée d'un lac glaciaire, coalescent avec le lac Ontario, est soulevée pour la première fois par Johnston (1917) et Antevs (1925), suite à l'observation d'argiles stratifiées à la base de certaines coupes. Plusieurs auteurs appuient maintenant cette hypothèse, surtout depuis que de nombreuses opérations de forages ont permis de recueillir des échantillons montrant des argiles laminées et des fossiles d'eau douce sous les argiles marines (Terasmae 1965, Anderson *et al.* 1985, Fulton & Richard 1987, Rodrigues 1987, Naldrett 1988).

Rodrigues (1987, p. 21) affirme que "the Champlain sea did not occupy lower Ottawa and upper St-Lawrence valleys immediately following deglaciation. A conformable sequence of rhythmically laminated sediments (freshwater?) and marine clay is recognized in boreholes...". La présence de lacs proglaciaires accompagne presque toujours le retrait d'un glacier. Mais la superficie et la période d'occupation du lac proposé remet en question la chronologie actuelle. En effet, l'existence de cette phase lacustre dans la vallée de l'Outaouais, appelée lac Iroquois (Karrow *et al.* 1961, Dreimanis 1977, Anderson 1987), repousse l'invasion de la mer de Champlain. Selon Anderson *et al.* (1985, p. 244), "the Champlain Sea probably came into existence between about 11800 and 11400 Bp. This estimate is in conflict with the Champlain sea chronology based on marine molluscs shells...". Comme le souligne Anderson, la plupart des dates obtenues pour la mer de Champlain impliquent la présence de cette mer vers 12 000 ans, peut-être même 12 200 ans (12 200±160 GSC-1646, Romanelli 1976)

*. La chronologie actuelle semble donc suggérer que la mer de Champlain et le lac Iroquois

* Des dates plus anciennes (12 800±100 et 12 700±100 GSC-2151), obtenues sur des coquillages marins à Clayton, ont depuis été réévaluées à 12 180±90 ans (TO-245, Fulton *et al.*, p. 26, 1987).

auraient existés en même temps, ce qui est impossible selon ce schéma.

Face à cette situation, quelques chercheurs proposent un autre modèle pour expliquer la déglaciation. Thomas (1977), soumet un modèle mathématique démontrant qu'une baie de vèlage aurait pu se développer dans l'estuaire du St-Laurent, puis remonter le St-Laurent jusqu'au lac Ontario: "if massive calving of icebergs occurred at or near the grounding line, then retreat would continue up the St-Lawrence valley through to lake Ontario" (p. 355).

Borns et Hughes (1977) et Gadd (1980) endossent aussi cette hypothèse, ce dernier la modifiant quelque peu. Il soutient que la baie de vèlage aurait progressé dans la vallée de l'Outaouais plutôt que dans la vallée du St-Laurent, car cette dernière est moins profonde. Cette baie de vèlage permet donc l'invasion de la mer de Champlain dans la région d'Ottawa, tout en créant un barrage de glace au sud, préservant ainsi le lac Iroquois au sud et à l'ouest de la vallée de l'Outaouais. "It appears that at some point the ice mass in the Kingston-Trenton area became totally independent of Laurentide ice sources and became a residual ice mass wich still impounded Lake Iroquois" (Gadd, 1980, p. 1450). De plus, des datations effectuées dans des tourbières de la région présumément occupée par ce barrage de glace sont beaucoup plus récentes que les datations des régions environnantes (10000 ans, 10300 ans, 10500 ans, Terasmae, 1980, fig. 3). Selon Gadd (1980), ceci est une preuve additionnelle que cette zone ait été occupée plus longtemps par les glaces.

Ce modèle implique donc que la mer de Champlain et le lac Iroquois auraient été contemporains, comme le supposent les datations au radio-carbone. Par contre, certains auteurs affirment qu'il est impossible qu'une baie de vèlage ait progressé aussi loin à l'intérieur des terres car il existe de nombreuses formes morainiques associées au glacier laurentidien au sud de la ville de Québec (Chauvin *et al.*, 1985). D'autres encore expliquent qu'il est probable qu'un barrage de glace n'ait pu subsister bien longtemps dans un tel contexte: "such an ice-dam could be no more than 45 km wide. According to ice mechanics theory, a dam only 45 km wide is possible, but rapid deterioration by melting and calving

would follow. (...) The persistence of an ice dam described by Gadd (1980) is considered implausible in light of our reconstruction. We consequently dispute the concept of contemporaneous Champlain Sea and Iroquois events based on radio-carbon dates" (Clark & Karrow, 1984, p. 813).

L'explication de la déglaciation par une baie de vèlage n'est donc pas admise par tous, même si elle semble concilier les différentes datations au radio-carbone et les données géomorphologiques. Ainsi, malgré de nombreuses études, la déglaciation de la vallée de l'Outaouais soulève, encore aujourd'hui, de nombreuses questions.

La déglaciation de la vallée de la Gatineau

Le glacier laurentidien en retrait quitte la vallée de l'Outaouais et atteint bientôt notre région. La déglaciation de la Gatineau survient simultanément à l'invasion de la mer de Champlain dans la vallée de l'Outaouais. Ainsi, le retrait glaciaire de la vallée de la Gatineau est accompagné par la transgression marine. Allard (1977a, p. 164), affirme que "(...) la remontée eustatique du niveau marin suivit dans la région Gatineau-Lièvre le retrait du front glaciaire à l'intérieur des vallées et des cuvettes du bouclier". De plus, Fulton *et al.* (1987, p. 14) soutiennent, en se basant sur les altitudes atteintes par la mer de Champlain, qu'au moins "dans les parties nord et ouest de la région, la marge des glaces a reculé dans des eaux marines". Cette situation semble aussi prévaloir dans les Laurentides, au nord-ouest de Montréal (Hillaire-Marcel 1974, Prichonnet 1977).

La limite septentrionale de la mer de Champlain n'est pas encore bien définie. Cette limite est difficile à déterminer, car les eaux de la mer, alimentées par l'énorme quantité d'eau de fonte provenant des glaciers, étaient certainement très saumâtres, donc peu favorables au support d'une vie marine. Néanmoins, Antevs (1939, p. 715) découvre des coquillages marins

près de Venosta, dans la partie nord de notre région d'étude: "near Venosta shells occur at 570 feet altitude". Bickel (1970, p. 715) signale également la présence de foraminifères marins (*Elphidium* sp.) dans les argiles du Lac Manitou, soit 4 kilomètres au sud du lac Ste-Marie: "at some stage in the Champlain Sea invasion, Manitou Lake basin was submerged under an inlet of the marine arms that extended up the Gatineau Valley".

On ne retrouve plus de fossiles marins au nord de ces deux localités. Il n'existe pourtant pas d'obstacle naturel pouvant entraver la progression de la mer de Champlain vers le nord. On ne peut avancer qu'une hypothèse pour expliquer cette situation: la mer a bel et bien occupé cette région, mais ses eaux étaient devenues trop douces pour permettre l'implantation et la survie d'organismes marins.

Fauchon (1980, p.iii) écrit qu'il "... semble qu'une phase d'eau douce, comme en témoignent les varves, aurait précédé et suivi l'invasion de la mer de Champlain. La région du lac Sainte-Marie se situe dans une zone de transition et aurait connu des conditions d'estuaire plutôt que marine". Par ailleurs, Wilson (1924) remarque que les argiles des environs de Maniwaki sont, par leur structure et leur texture, très semblables aux argiles de la mer de Champlain. De plus, selon Antevs (1928, p. 138), " the clay at Maniwaki was surely formed in perfectly fresh waters, but it cannot be concluded from this fact that it was laid down in a separate lake, since a bay of the Champlain Sea so far inland would no doubt have had fresh water".

Certains auteurs affirment que les conditions marines de la mer de Champlain étaient généralement semblables aux conditions qui prévalent actuellement dans la baie de James, et que la mer s'étendait sur plus de 175 kilomètres au nord d'Ottawa (Harington et Occhietti, 1988, fig. 1).

L'altitude maximale atteinte par la mer est très variable. Au sud, entre Wilson's Corner et Edelweiss, cette limite est fixée à 213 mètres (O.P.D.Q., 1980). Au nord, Fauchon (1980)

indique que près du lac Sainte-Marie, la "mer" a atteint 215 mètres. Allard (1977a) mentionne l'altitude de 221 mètres pour la vallée de la Gatineau. Dans les régions avoisinantes, la limite marine est plus élevée. En effet, Prichonnet (1977, p. 337) écrit qu'au nord de Montréal: "l'altitude maximum atteinte fut au moins égale à 251 mètres au front du glacier". Au nord de notre zone d'étude, Fulton *et al.*, (1987) citent une altitude de 274 mètres. Cette altitude maximale doit être atteinte immédiatement après la déglaciation, car le relèvement isostatique du Bouclier cause la régression de la mer de Champlain .

Il est clair que le retrait glaciaire a permis l'incursion marine et les datations disponibles nous permettent de déterminer de façon approximative l'âge de cette invasion et, du même coup, l'âge du retrait glaciaire. A Cantley, tout juste au sud de la zone à l'étude, deux datations ont été effectuées sur des coquillages marins, soit $12\ 200 \pm 160$ ans (GSC-1646) et $11\ 800 \pm 170$ ans (GSC-3844). Un peu plus à l'ouest, à Wakefield, des fossiles marins ont fourni la date de $11\ 760 \pm 120$ ans (TO-112). A Farrelton, au centre de la zone d'étude, la gravière renferme des coquillages âgés d'environ $11\ 700 \pm 100$ ans (GSC-3862). Finalement, à Martindale, au nord, des coquillages ont été datées à $11\ 900 \pm 160$ ans (GSC-1772). Ces dates sont, en général, très similaires aux dates des régions environnantes.

Il existe une divergence à l'égard de la dynamique de la déglaciation dans la région à l'étude. Selon Romanelli (1976), étant donné que le relèvement isostatique du Bouclier est constant, le retrait se serait effectué de façon continue et progressive. Par contre, Antevs (1953, p. 208) affirme que la plaine d'épandage de Kazabazua marque une longue halte du front: "(at)... Kazabazua, located 40 miles north of Ottawa, there is a broad belt of vast outwash plains which record a long halt of the ice border...". Occhietti (1980) retrace la moraine de Saint-Narcisse jusqu'au lac Simon et il associe le complexe fluvio-glaciaire de Kazabazua à celle-ci.

Selon Allard (1977a), la déglaciation de la région s'effectue par le retrait d'un front d'aspect à peu près rectiligne, abandonnant des lambeaux et des culots de glace dans les

vallées et les cuvettes, permettant ainsi l'édification de crêtes morainiques près de Farrelton. De plus, Allard (1977a) et les auteurs de la carte géomorphologique de Wakefield (O.P.D.Q. 1980) suggèrent que ces crêtes marquent de courtes pauses du glacier laurentidien lors de son retrait. Pour certains auteurs, il pourrait exister à Farrelton une corrélation possible avec le complexe morainique de Saint-Narcisse (Prichonnet 1977, Dreimanis 1977).

CHAPITRE II

PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE

INTRODUCTION

La déglaciation est définie par Flint comme étant "the uncovering of an area as a result of glacier shrinkage" (1957, p.56). Le retrait d'une masse de glace permet l'édification d'assemblages de sédiments qui marquent ainsi le recul du glacier. Les moraines terminales sont souvent utilisées pour retracer les étapes de la déglaciation, et ce, surtout pour les régions à relief plat. Par contre, si le relief est plus élevé, la dénivellation rend l'édification de telles moraines plus difficile (Fulton, 1967). De plus, l'incursion de la mer de Champlain dans la vallée de la Gatineau ne favorise pas la présence de moraines terminales au front du glacier. Ainsi, des critères différents doivent être utilisés pour localiser le front glaciaire dans notre région d'étude.

DEFINITION DES HYPOTHESES

Dans la vallée de la Gatineau, deux facteurs conditionnent la présence de dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires:

- a) Un facteur d'ordre topographique, c'est-à-dire que la vallée, par sa forme en dépression, favorise l'accumulation des dépôts meubles.
- b) La mer de Champlain favorise la sédimentation rapide des matériaux, près du front glaciaire.

Les sédiments fluvio-glaciaires sont prépondérants dans la vallée de la Gatineau. Ils sont, pour la plupart, localisés le long des montagnes et des falaises. La morphologie de ces dépôts est donc très similaire et il peut être difficile de discerner les particularités de ces sites. On doit donc analyser d'autres propriétés sédimentologiques pour caractériser ces différents dépôts.

La vallée de la Gatineau montre une orientation approximativement nord-sud et le retrait glaciaire s'est effectué vers le nord dans cette région. Ainsi, les dépôts sédimentaires de la vallée sont mis en place à mesure que le front se retire. Une première question est alors soulevée: pourquoi semble-t-il y avoir certaines concentrations de dépôts importants sur de courtes distances?

Nous envisageons deux possibilités. Premièrement, ces concentrations marquent un arrêt du retrait glaciaire, ou tout au moins, un ralentissement. Deuxièmement, ces concentrations correspondent simplement à un ou plusieurs facteurs topographiques favorisant des accumulations locales.

Les dépôts meubles expriment le milieu de sédimentation par leurs propriétés morphogénétiques, c'est-à-dire par des paramètres structuraux, par leur faciès stratigraphique et par leur texture (Fulton 1967).

Deux types de classifications seront utilisées pour cette étude. En premier lieu, une classification purement descriptive, basée sur des observations descriptives et mesurables (granulométrie et stratigraphie). Deuxièmement, une classification "environnementale", c'est-à-dire que les ensembles définis par notre classification descriptive sont groupés en faciès selon des catégories d'environnement de sédimentation. Ces deux types de classification sont traités de façon individuelle pour éviter de confondre l'observation et l'interprétation.

L'objectif premier de ce travail est donc d'effectuer des regroupements entre les échantillons qui montrent des propriétés similaires. Ceci devrait nous permettre de montrer

l'évolution des caractéristiques morphologiques des différents sites tout au long de l'axe de la vallée et, par le fait même, l'évolution de la dynamique glaciaire pendant le retrait. Le deuxième objectif est d'établir une comparaison entre les nouvelles méthodes d'analyse statistique et les méthodes classiques d'interprétation.

METHODOLOGIE

Les méthodes utilisées pour réaliser ce travail peuvent être divisées en trois volets: le travail de terrain, l'analyse en laboratoire des échantillons prélevés et l'analyse des données.

Travail de terrain

Le travail de terrain se subdivise en deux parties. Premièrement, une partie exploratoire qui consiste à examiner les cartes topographiques, les cartes géomorphologiques et les photographies aériennes. Cette étape permet d'identifier les sites susceptibles d'être étudiés. En fait, tous les sites accessibles par route furent utilisés pour notre étude. En effet, la proximité d'une route permet l'exploitation des gravières et des sablières par le propriétaire. Cette exploitation régulière permet un constant renouvellement de coupes fraîches, ce qui facilite l'étude des faciès stratigraphiques et la cueillette d'échantillons.

La deuxième partie est constituée par le travail de terrain proprement dit. Celui-ci, essentiel à toute étude géomorphologique, permet l'observation directe des dépôts et la collecte d'échantillons pertinents à l'étude. Lui seul nous permet de déterminer précisément la structure et la texture des sédiments, complétant ainsi l'observation préliminaire des cartes et des photos. Dans cette optique, deux aspects ont été étudiés de façon plus précise:

- a) **Le calibre et l'évolution de la granulométrie:** le calibre des particules sédimentaires nous indique l'énergie de l'agent de transport. La variabilité de la granulométrie (verticalement

et horizontalement, à travers un dépôt et entre les dépôts) nous indique les changements de régime. Ainsi, pour chacun des sites visités, un échantillonnage systématique est effectué pour chaque unité stratigraphique. Les échantillons (environ 1 à 2 kilogrammes) sont prélevés à l'aide d'une large pelle pour ne pas biaiser l'échantillon en laissant de côté les éléments les plus grossiers.

- b) Caractère stratigraphique des dépôts: la description des structures sédimentaires des coupes permet de confirmer les hypothèses émises à partir des cartes et photographies. Elle permet aussi de déterminer l'agent de transport ainsi que l'environnement de mise en place par les déformations, par l'aspect des stratifications (ou leur absence) et par le type de contact entre les unités stratigraphiques. Les mesures effectuées sont le pendage, l'orientation, l'épaisseur des unités ainsi que l'élévation des coupes.

Au cours de l'été et de l'automne 1987, 23 sites dispersés dans la vallée de la Gatineau furent visités. Ces visites nous ont permis d'observer et de décrire 37 coupes stratigraphiques et de prélever 120 échantillons pour fins d'analyses granulométriques. L'importance des sites visités étaient très variable. En effet, certaines coupes pouvaient atteindre plus de 40 mètres d'épaisseur tandis que d'autres ne mesurait que 5 à 6 mètres.

Analyses en laboratoire

La taille des particules sédimentaires varie en fonction de plusieurs facteurs comme leur minéralogie, leur structure et les processus d'altérations. Cette combinaison a pour effet de produire des particules de dimension très variables. En plus, les processus de transport et de sédimentation effectuent un triage de ces particules. Ainsi, la distribution finale des sédiments varie en fonction de leurs taille et de l'énergie disponible pour effectuer le transport.

Le processus de transport des sédiments s'effectue en trois phases. Premièrement, une phase d'entraînement, lorsque la particule est arrachée et emportée. Le transport à

proprement dit s'effectue ensuite. Finalement, la particule est déposée lorsque la compétence de l'agent de transport diminue suffisamment pour permettre la sédimentation.

Le concept selon lequel le calibre des particules des sédiments détritiques varie en fonction des mécanismes de transport et de sédimentation est connu depuis plusieurs siècles (Dewez 1988). L'étude des granulométries comporte une phase d'étude en laboratoire et une phase d'interprétation des résultats visant à montrer les processus de transports.

Etudes granulométriques

L'étude en laboratoire consiste essentiellement en une analyse granulométrique des échantillons. Cette analyse est composée de quatre opérations distinctes:

- 1) L'échantillon prélevé sur le terrain ne peut pas être tamisé car sa masse est beaucoup trop importante. On doit donc extraire, à l'aide d'un séparateur, de 200 à 300 grammes de l'échantillon initial.
- 2) Cet échantillon est soumis à un lavage sous l'eau sur le tamis 44μ (4.5ϕ) pour séparer les fractions silts et argiles des fractions sables et graviers. Les silts et les argiles sont recueillies dans un bassin pour être ensuite décantés et séchés à l'étuve.
- 3) Les sables et les graviers lavés sont récupérés, séchés et soumis à un tamisage mécanique pour une période de quinze minutes. Une colonne de quatorze tamis, espacés au demi ϕ est utilisée pour effectuer ce tamisage (-2ϕ à 4.5ϕ , tableau 2.1). Chaque fraction est pesée jusqu'à une précision de 10^{-2} grammes.
- 4) La granulométrie de la fraction silt-argile est déterminée à l'aide d'un compteur de particules de type "Coulter Counter, model T". Le principe de fonctionnement de cet appareil est assez simple. L'appareil applique une tension électrique au travers d'une ouverture percée dans un tube de verre. Les particules fines, qui baignent dans un électrolyte, sont aspirées à l'intérieur du tube par cette ouverture, ce qui provoque des variations de la tension électrique. L'amplitude de ces pulsations varie en fonction du

Tableau 2.1: Fractions granulométriques et équivalences

LISTE DES FRACTIONS ET TAMIS		
Calibre (ϕ)	Calibre (μm)	Tamis #
-2.0	4000	5
-1.5	2830	7
-1.0	2000	10
-0.5	1410	14
0.0	1000	18
0.5	710	25
1.0	500	35
1.5	350	45
2.0	250	60
2.5	177	80
3.0	125	120
3.5	88	170
4.0	62.5	230
4.5	44	325

diamètre des particules (McCave & Jarvis, 1973, Stein 1985). Les résultats, sous forme de pourcentages, sont inscrits sur seize canaux correspondant au diamètre des particules. D'après McCave et Jarvis (1973), les résultats obtenus par cette méthode sont très similaires aux méthodes faisant appel aux principes de la loi de Stokes.

Tableau 2.2: Fractions granulométriques, Coulter Counter (100 μm)

LISTE DES FRACTIONS ET CANAUX		
Calibre (ϕ)	Calibre (μm)	Canaux #
4.5	44	16
5.0	31	13-14-15
6.0	15.6	10-11-12
7.0	7.8	7-8-9
8.0	3.9	4-5-6
9.0	2.0	1-2-3

Les résultats de l'analyse du compteur de particules sont pondérés en fonction du poids des particules fines par rapport à la masse de l'échantillon original. Les résultats de l'analyse granulométrique d'un échantillon se présente alors sous forme de 18 pourcentages qui

représentent les fractions granulométriques.

Analyse des données

Méthodes d'analyses bivariées

Les résultats d'analyses granulométriques peuvent être présentés de diverses façons. Traditionnellement, les méthodes graphiques sont les plus utilisées. Leur utilisation nécessite la construction de courbes représentant les pourcentages cumulatifs retenus sur la succession de tamis (en ordonnée) par rapport à la dimension des particules (en abscisse). Ces courbes nous permettent par leur aspect de comprendre aisément les processus de transport et de sédimentation. Cette méthode est efficace lorsqu'il y a peu d'échantillons, mais elle devient rapidement laborieuse lorsqu'il s'agit d'établir des comparaisons entre un grand nombre d'échantillons.

On peut simplifier ce problème en calculant, à partir des courbes déjà établies, des paramètres et indices qui expriment certaines propriétés des courbes. Selon Rivière (1977), les paramètres les plus couramment utilisés au cours des dernières décennies sont les "fractiles". "On appelle "fractiles" les dimensions de particules correspondant à des pourcentages cumulatifs déterminés" (Rivière, 1977, p.33). Par exemple, le fractile médiane correspond à 50% du pourcentage cumulatif. Les quartiles Q_{25} et Q_{75} correspondent respectivement à 25% et 75% de la courbe cumulative.

Ces fractiles expriment ainsi une ou des valeurs ponctuelles des courbes. Il est possible de calculer, en utilisant ces valeurs ponctuelles, des indices qui caractériseront l'allure générale d'une courbe. Un indice couramment utilisé est le $Qd\phi$ de Krumbein. Cet indice utilise les quartiles Q_{25} et Q_{75} pour exprimer le redressement de la partie centrale de la courbe. Il est facile à calculer $(Q_{75}-Q_{25})/2$ et à comprendre (plus la courbe est redressée, plus l'indice est petit, indiquant ainsi un triage plus intense). Nous utiliserons donc cet indice

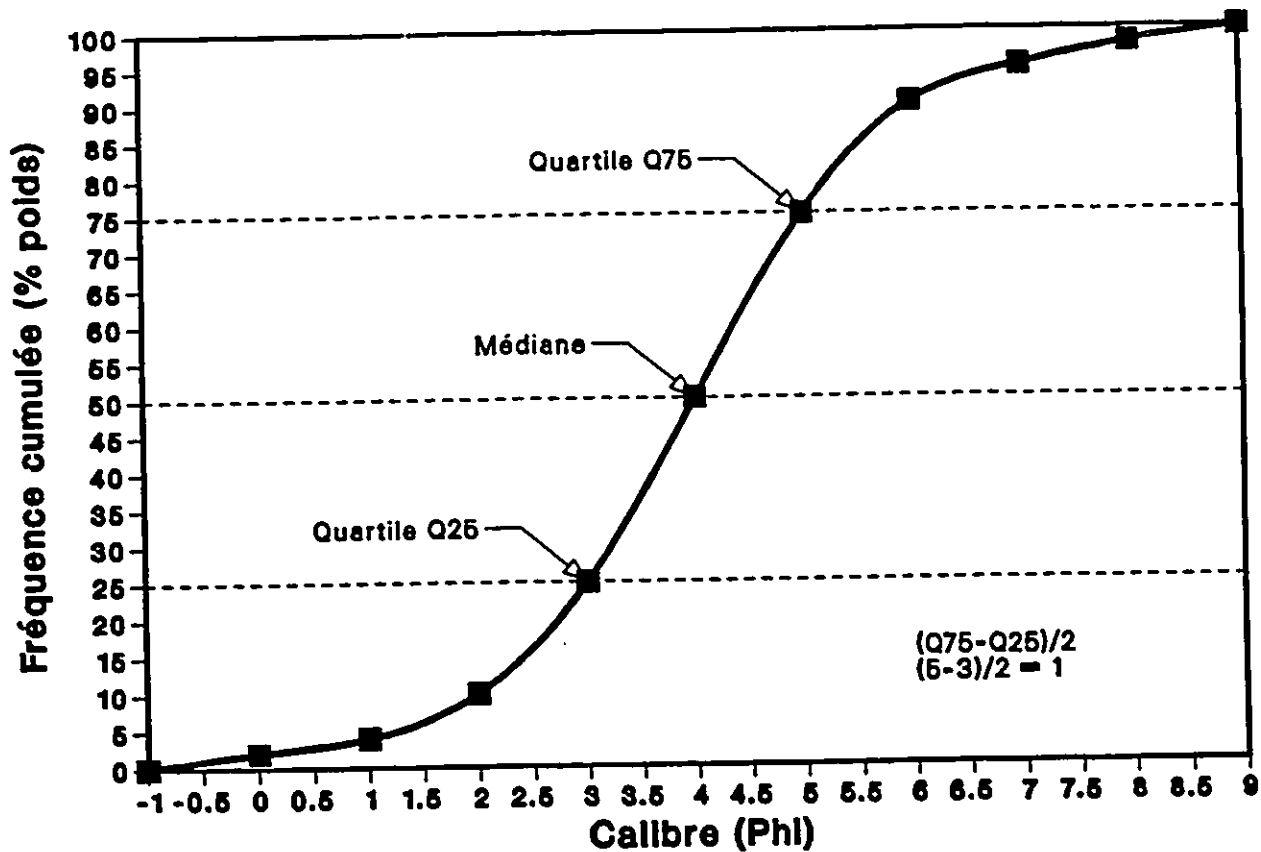


Figure 2.1: Exemple de courbe et de quartiles

lors de la description et de la comparaison des échantillons.

Ces méthodes bivariées tentent de résumer l'information d'un profil granulométrique à l'aide d'un seul chiffre, provoquant ainsi une perte d'information (Dewez 1988). Pour pallier à ces difficultés, les sédimentologues ont recours à des méthodes statistiques qui vont permettre l'étude d'un ensemble d'échantillons sans qu'il y ait besoin d'effectuer de calculs pour chacun d'eux.

Le choix de fractiles a souvent pour effet d'introduire certains biais car seulement une partie de la courbe est utilisée. Les méthodes multivariées vont permettre l'analyse des échantillons en réduisant la perte d'information et sans introduire de biais car la totalité du profil granulométrique est utilisée.

L'objectif de ces méthodes est d'extraire les tendances et les patrons cachés à l'intérieur d'un ensemble de données empiriques. En fait, "Les techniques d'analyses multivariées se proposent de tirer du tableau de données ainsi constitué une structure descriptive, qui ressort de l'image globale des ressemblances et des différences entre les distributions des variables et les profils des individus" (Brocard *et al*, 1977, p. 248).

L'étude de ces quelques tendances rend beaucoup plus aisée la compréhension de l'ensemble des échantillons. Ces méthodes multivariées sont utilisées depuis plus d'une vingtaine d'années en géologie et en géographie (Klovan 1966, Solohub et Klovan 1969). Ces derniers constatent d'ailleurs que dans une étude comparant plusieurs méthodes bivariées à une méthode multivariée (analyse factorielle), l'analyse factorielle demeure la plus efficace: "... several methods of treating grain-size distribution of sands were evaluated for their ability to discriminate between, or identify, depositional environments. Of the methods, only factor analysis produced mappable results consistent with known energy condition at the depositional sites" (Solohub et Klovan, 1969, p 81).

Nous avons choisi de combiner deux méthodes d'analyses multivariées: l'analyse factorielle des correspondances et la classification automatique. Les programmes de classifications (CEN&41) et d'analyses factorielles des correspondances (AFR&55) utilisés ont été écrit par le docteur Michel Phipps, du département géographie de l'Université d'Ottawa.

Analyse factorielle des correspondances

L'analyse factorielle des correspondances est une méthode d'analyse multivariée utilisée depuis plus de quarantes ans, notamment par Hirschfeld (1935) et Fischer (1940) (Davis, 1986). Mais elle ne connaît un essor que depuis 1970, lorsque le professeur J. P. Benzécri, de l'Université de Paris, en démontre l'intérêt. L'objectif de ce type d'analyse factorielle est de trouver des associations et des oppositions entre les variables d'un ensemble. Selon Dewez, l'analyse factorielle des correspondances "... constitue une aide à la synthèse en dégagant, à partir de l'analyse des relations entre variables d'origines ... un nombre réduit de variables nouvelles (= facteurs) très significatives car porteuses d'une information aussi peu redondante que possible" (1988, p. 117).

Un avantage de cette méthode est la projection simultanée des attributs et des variables sur le même diagramme (dans notre cas, les point-tamis et les point-échantillons), ce qui exprime rapidement l'analogie entre l'échantillon et la fraction granulométrique. Le calcul de la distance entre les éléments est basé sur le concept de distance du χ^2 (chi-carré), particulièrement bien adapté à traiter des tableaux de fréquences. De plus, l'analyse factorielle des correspondances met en évidence "... les écarts entre le profil des variables et le profil moyen, en opposant sur les parties négatives et positives des axes des profils symétriques par rapport à ce profil moyen" (Brocard *et al.*, 1977, p. 248).

Cette méthode d'analyse est rapidement adoptée et utilisée avec succès en géologie car elle facilite l'étude de la structure complexe de profils multidimensionnels (David *et al.*, 1974, Dagbert et David 1974, Teil 1975, Teil et Cheminée 1975, Dumitriu *et al.*, 1979, Valençon 1982). Dans le domaine d'étude des granulométries, mentionnons les travaux de Sourdat *et al.*, (1975), Blanck et Korosec (1979), et Dewez (1988).

Classification automatique

On a vu que l'AFC projette les éléments analysés sur des plans diagrammes. De même, la proximité des échantillons sur ces graphiques est le résultat de la similitude des distributions granulométriques. Il est donc intéressant de grouper les échantillons qui sont proches car ceux-ci ont fort probablement des processus de mise en place similaires. Mais étant donné que les échantillons sont projetés sur des graphiques en deux dimensions, il est difficile de les grouper car ils se situent en réalité dans un espace multi-dimensionnel. Ainsi, deux échantillons qui semblent très près sur un plan peuvent être en fait très éloignés. De plus, il est parfois difficile de délimiter visuellement certains groupes très denses. Pour éviter ces difficultés, nous avons recours à un programme de classification automatique.

La classification automatique nous permet de regrouper les échantillons de façon rationnelle, sans introduire de biais. L'utilisation de la classification automatique combinée à l'analyse factorielle des correspondances est conseillé par Pumain (1977), Benzécri (1980), et Dewez (1988). Selon Benzécri, " ... il peut être utile de considérer simultanément pour un même ensemble de données, une représentation spatiale et une hiérarchie de classe ..., particulièrement lorsque les deux méthodes de traitement des données reposent sur une même métrique: celle de χ^2 " (1980, p. 207).

La classification des échantillons est effectuée par un programme de classification ascendante hiérarchique, basé sur le principe de l'information mutuelle et la distance du χ^2 , selon le critère du centroïde (Pumain 1977, Dewez 1988). D'après Pumain (1977), on peut résumer la procédure en quelques lignes. On calcule à partir des données originales, des indices de dissemblance qui expriment les écarts entre les profils des échantillons. Les échantillons les plus ressemblants sont agrégés pour former une classe. On répète le processus en ajoutant à chaque fois un nouvel échantillon ou un ensemble déjà formé. Chaque classe formée est donc la plus homogène possible. Les regroupements sont le plus souvent schématisés par des dendrogrammes qui montrent la progression de l'agrégation. Le

chercheur doit alors déterminer à quel niveau le processus de classification doit être interrompu.

La combinaison de ces méthodes multivariées devrait permettre de montrer l'évolution des caractéristiques granulométriques le long d'un transect nord-sud. Ceci suggérerait des modifications de la dynamique glaciaire. Toutefois, l'absence d'une telle évolution viendrait appuyer l'hypothèse d'un contrôle topographique sur la localisation géographique des sédiments. Les méthodes classiques (courbes granulométriques et indices de tri) aideront le lecteur qui n'est pas familier avec les méthodes multivariées.

CHAPITRE III

PRESENTATION DES RESULTATS

INTRODUCTION

La présentation des résultats s'effectue en trois phases. Premièrement, la liste des échantillons et des sites de prélèvement est présentée. Ensuite, les résultats de la classification sont schématisés par un dendrogramme. Les groupes sont décrits à l'aide de courbes granulométriques (cinq par sous-groupe), des médianes et des indices de Krumbein ($Q_d\phi$), ceci pour permettre au lecteur de concevoir quelque peu le type d'échantillons qui composent ces groupes. Ces sous-groupes sont finalement utilisés pour l'interprétation des diagrammes d'analyse factorielle des correspondances.

La matrice utilisée pour ces analyses informatiques comporte les 120 échantillons écrit horizontalement (en ligne), et les 18 fractions granulométriques disposés verticalement (en colonne). Chaque fraction granulométrique est exprimée en pourcentage.

LISTE DES ECHANTILLONS

La liste des échantillons (tableau 3.1) permet au lecteur de reconnaître le lieu de provenance de l'échantillon grâce aux symboles trilitères. Les premières lettres indiquent généralement le village le plus près de la gravière. Mais s'il existe plusieurs gravières près d'un même village, la deuxième lettre identifie le nom du propriétaire. Par exemple, la carrière Pageau, à Cantley, est reconnue par le symbole CP.

Tableau 3.1: Identification des sites et échantillons

LISTE DES ECHANTILLONS		
SITE #	NOM DU SITE	ECHANTILLONS
1	Cantley, Pageau	CP1 à CP8
2	Cantley, Thom	CT1 à CT4
3	Wilson's Corner, ouest	WO1, WO2
4	Wilson's Corner, Field	WF1, WF2
5	Wilson's Corner, Gauvreau	WI1 à WI3
6	Wilson's Corner, est	WC1, WC2
7	Wakefield	K1A, K1B, WK2 à WK6
8	Edelweiss 1	EW1 à EW4
9	Golf	GOF
10	Edelweiss 2	EW5 à EW8
11	Masham, Deschênes	MD1 à MD3
12	Masham	MH4, MH5
13	Fleming	FL1 à FL4
14	Alcove	AL1 à AL3, A10 à A33
15	Lascelles, Spruyt	LS1 à LS9
16	Lascelles	LO1, L1A, L2A, L2B
17	Lascelles, chemin	LC1, LC2
18	Farrellton, est	FA1 à FA3
19	Farrellton	F1A à F16
20	Brennan Hills	BR1 à BR9, B10 à B16
21	Low	LW1 à LW6
22	Martindale	MA1 à MA6
23	Ste-Marie	SM1 à SM3

CLASSIFICATION ET COURBE D'INFORMATION MUTUELLE

Le regroupement de 120 échantillons en quelques familles ou groupes implique inévitablement une perte d'information. En effet, chaque palier de regroupement voit l'addition d'échantillons de plus en plus différents et le groupe original perd peu à peu son caractère distinctif. L'objectif de la classification est donc d'optimiser le rapport entre la perte d'information et le nombre de regroupements. Le rôle de la courbe d'information mutuelle est de nous indiquer ce rapport optimal. Ici, la classification doit être interrompue après le 116^{ième} palier, entraînant ainsi une perte d'information de 5.9% (voir fig. 3.1).

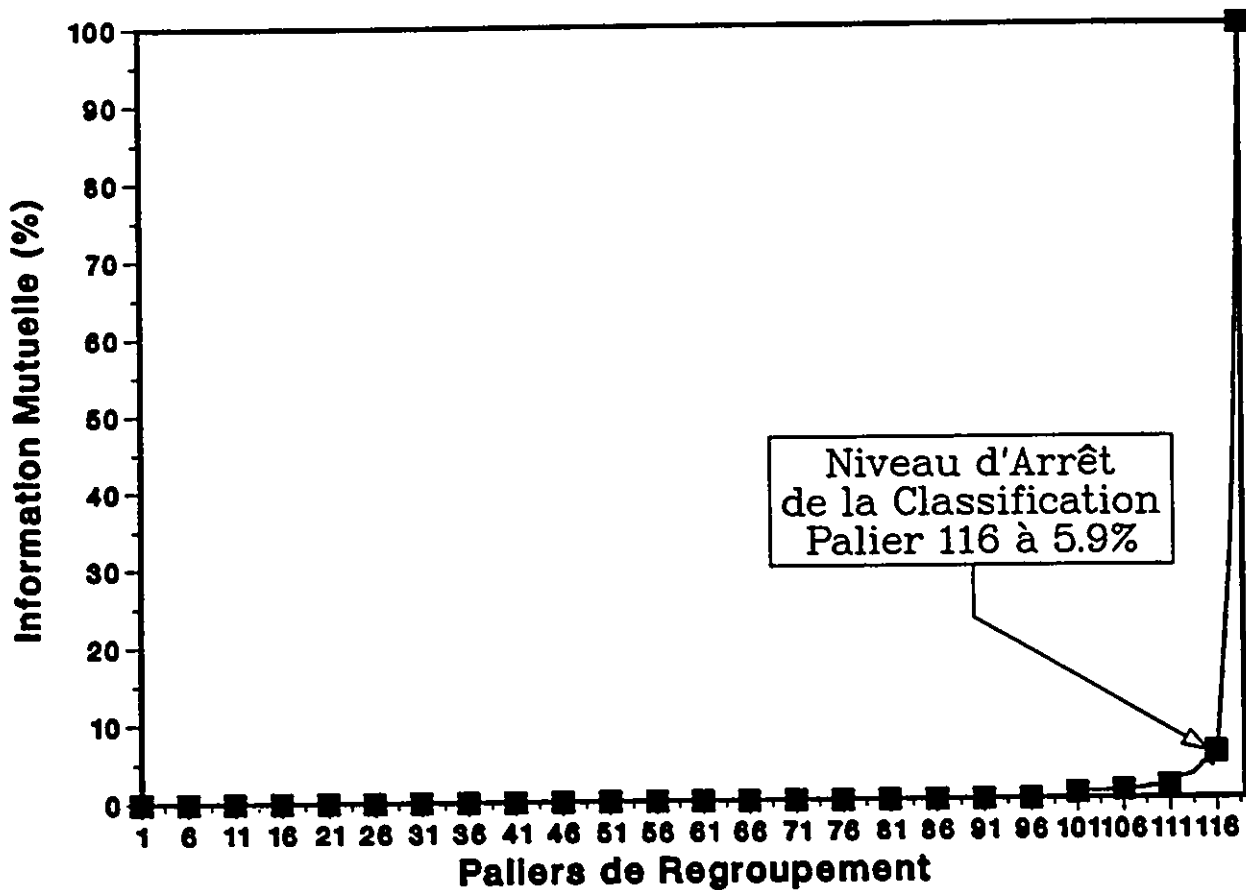
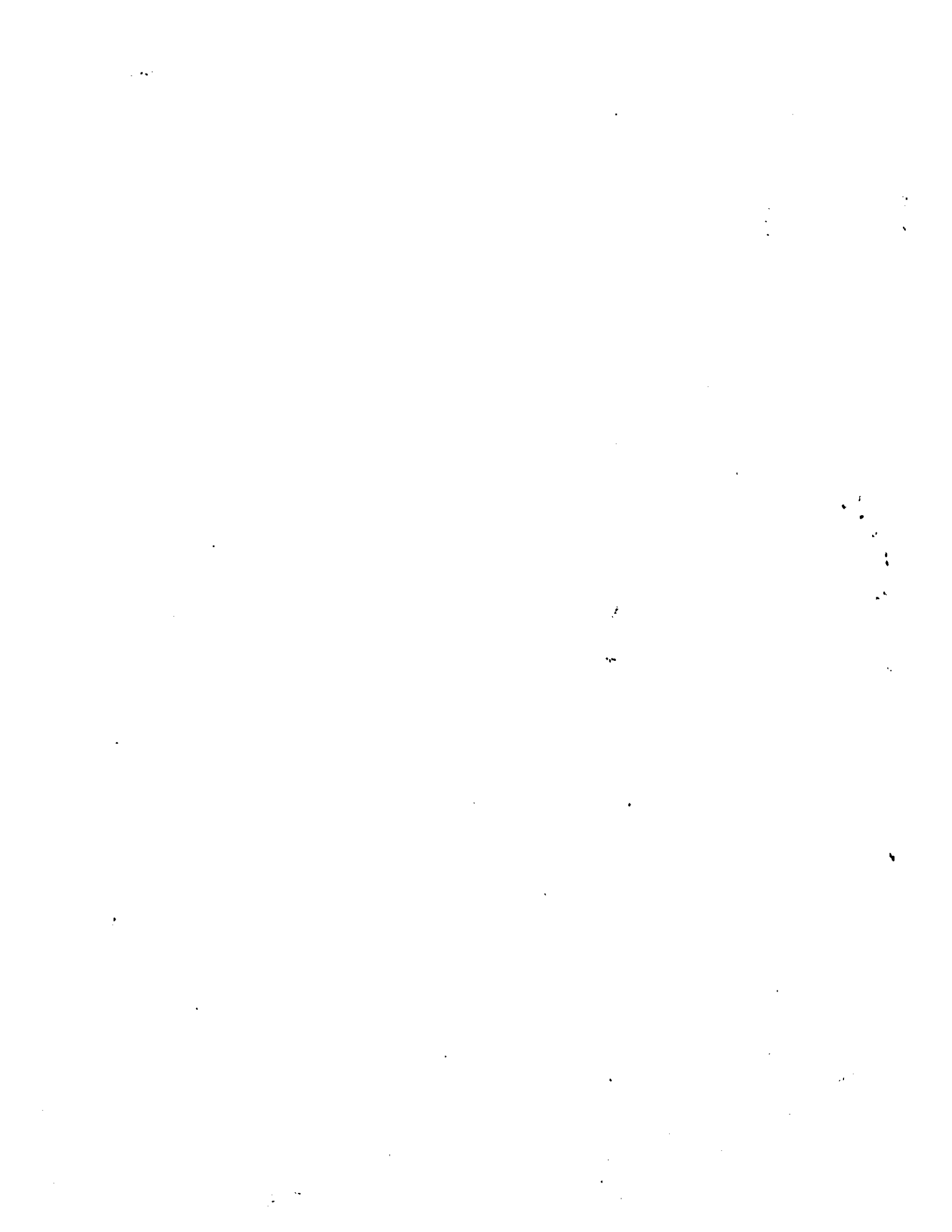


Figure 3.1: Courbe d'information mutuelle

La construction d'un dendrogramme permet de schématiser les groupes formés et d'identifier les échantillons qui composent ces groupes (voir fig. 3.2). Les 120 échantillons forment ainsi 4 groupes distincts, qui peuvent ensuite être subdivisés en 12 sous-groupes. De plus, un des avantages du dendrogramme est qu'il permet de bien visualiser l'analogie qui existe entre les échantillons, car plus le palier de regroupement est bas (en ordonnée), plus la similarité est grande.



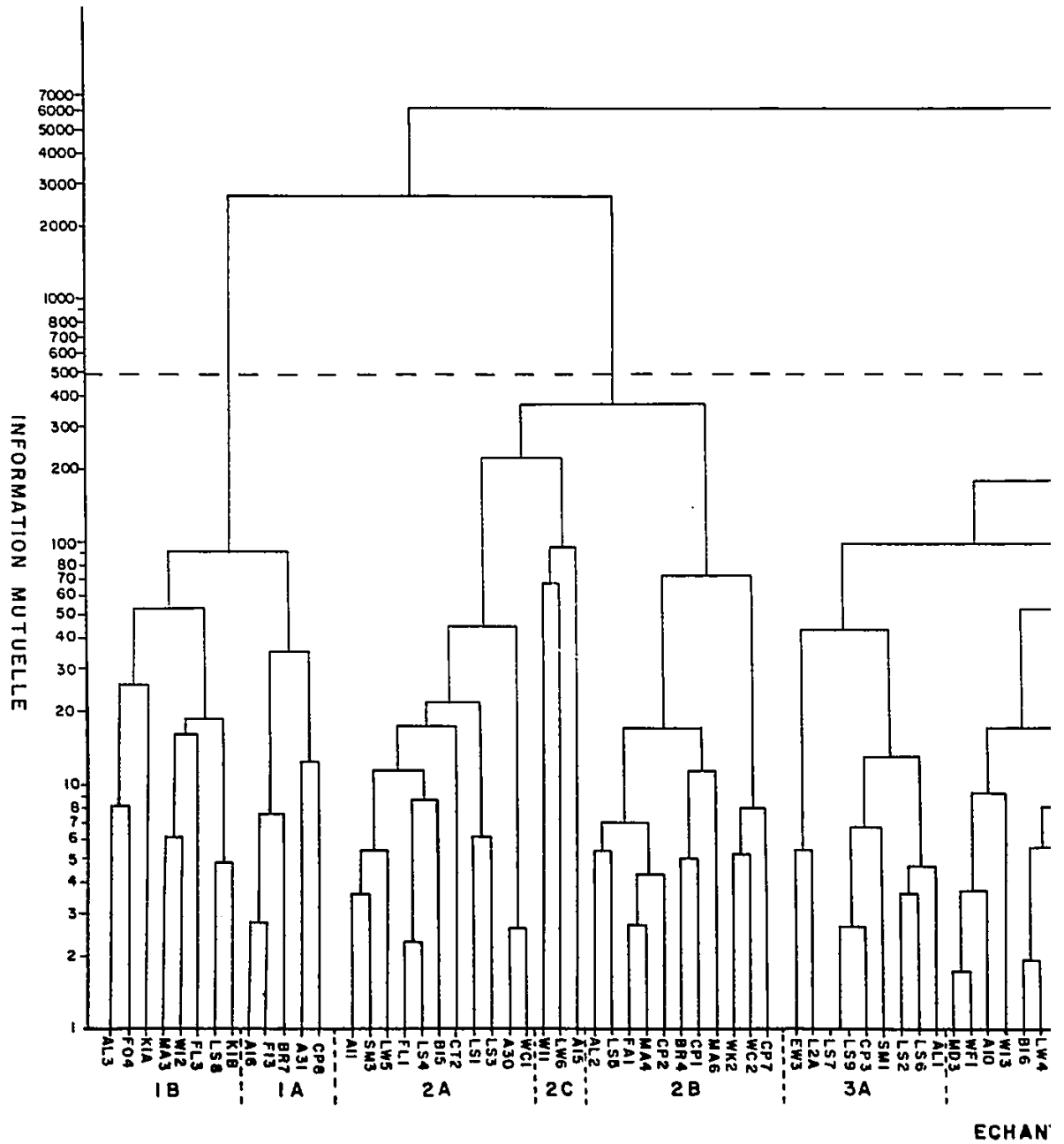
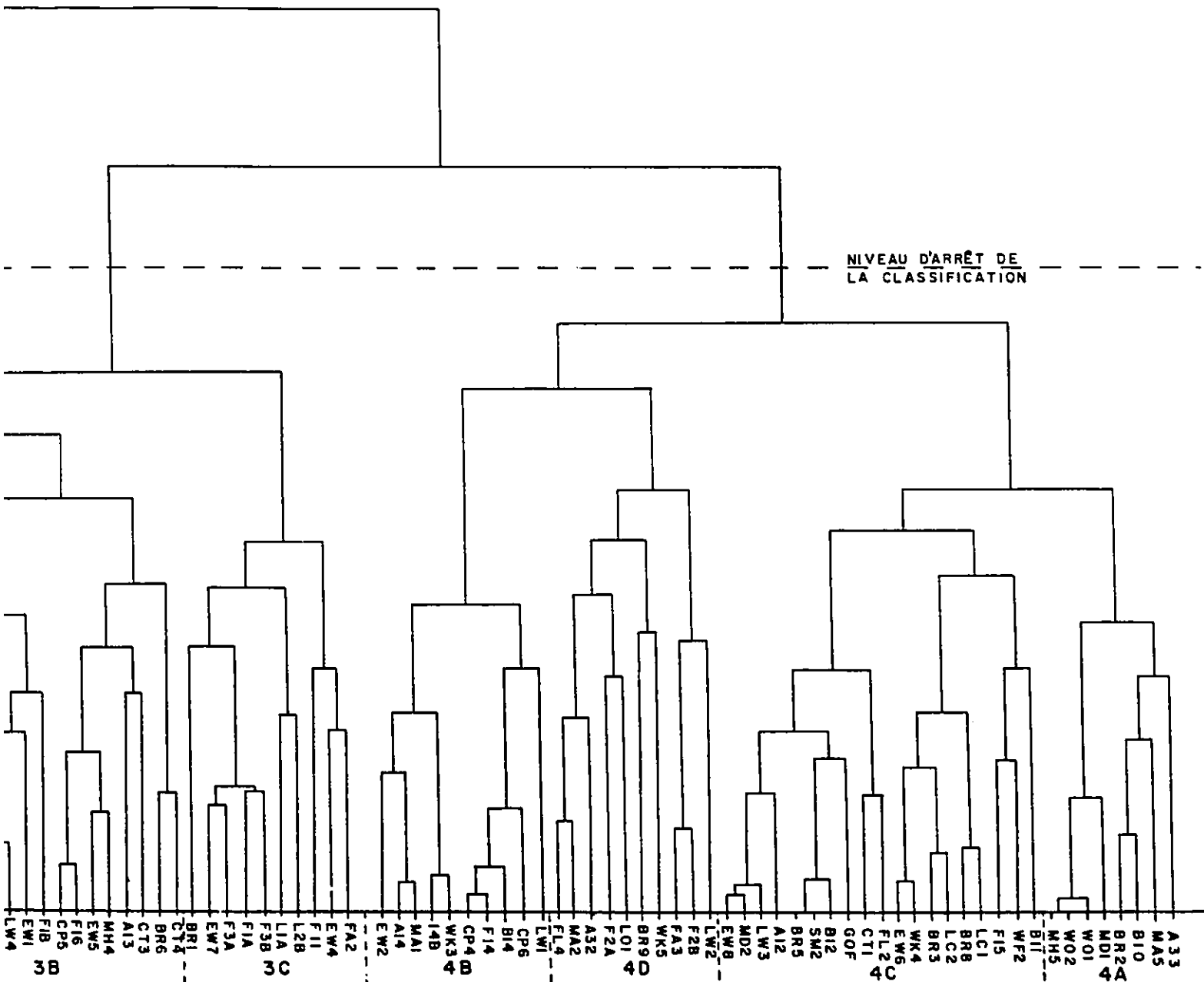


Figure 3.2: Dendrogramme de regroupement



NTILLONS ET SOUS-GROUPES

DESCRIPTION DES GROUPES

Les groupes et sous-groupes définis par le dendrogramme de regroupement montrent des qualités qui leur sont propres. Tâchons ici de distinguer quelles sont ces qualités déterminantes.

Le groupe I, constitué de treize échantillons, est caractérisé par la prépondérance des silts et des argiles (98% sous la limite des silts pour BR7, à 85% pour AL3).

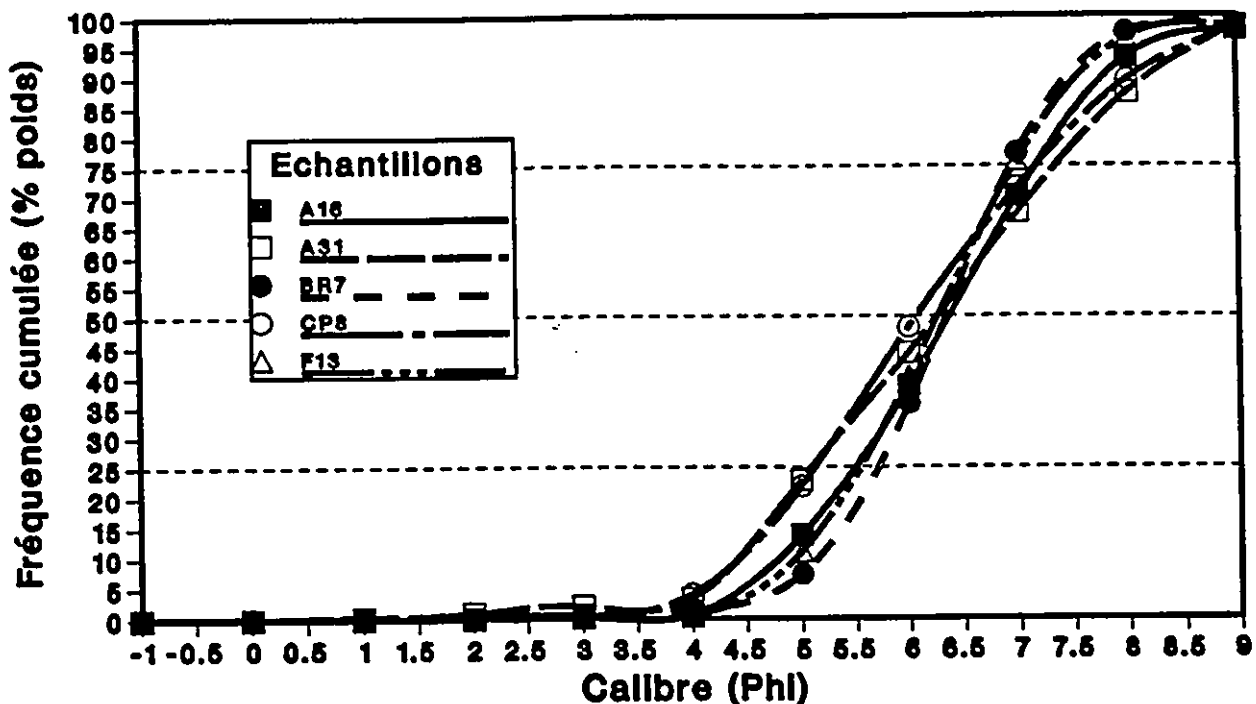
Le sous-groupe IA montre une médiane variant de 6.1ϕ à 6.4ϕ (14 à 11 microns) ainsi qu'un $Qd\phi$ de 0.7 à 1.15, donc un triage moyen. La médiane du sous-groupe IB varie de 5.2ϕ à 6.0ϕ . Ce sous-groupe est donc formé de silts légèrement plus grossiers, mais qui sont par contre mieux triés ($Qd\phi$, 0.65 à 0.95). On remarque aussi que quelques échantillons du groupe IB montrent un pourcentage plus élevé de sable fin, jusqu'à 15% pour AL3 et K1A.

Le groupe II comprend 25 échantillons, nettement plus grossiers que les échantillons du groupe I. Ils sont composés principalement de sables moyens à fins, et de sables silteux, rassemblés en trois sous-groupes distincts.

Les sous-groupes IIA et IIB montrent des courbes cumulatives d'aspect très similaire, et possèdent des tris variant de très bon à bon ($Qd\phi$ 0.3 à 0.8). Seule la médiane semble différencier ces deux sous-groupes, alors que le sous-groupe IIB tend vers les sables moyens à fins (médianes de 1.8ϕ à 2.3ϕ), et que IIA possède une médiane variant entre 2.5ϕ et 2.8ϕ (sables fins).

On remarque en observant le dendrogramme que le sous-groupe IIC est très différent de IIA auquel il se rattache, car le palier de regroupement est très élevé (114^{ième} palier). Les courbes granulométriques viennent ici nous montrer les différences marquées qui existent entre ces échantillons. La disparité montrée par les éléments de ce sous-groupe s'explique

Sous-groupe IA



Sous-groupe IB

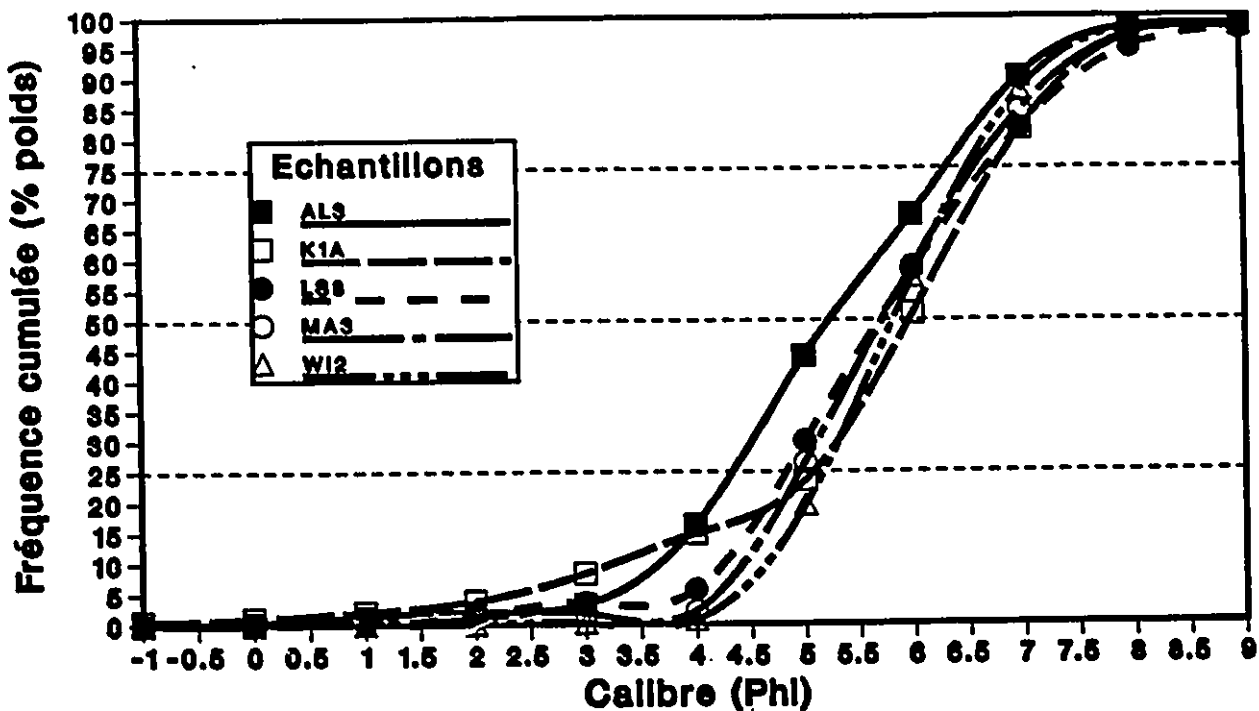
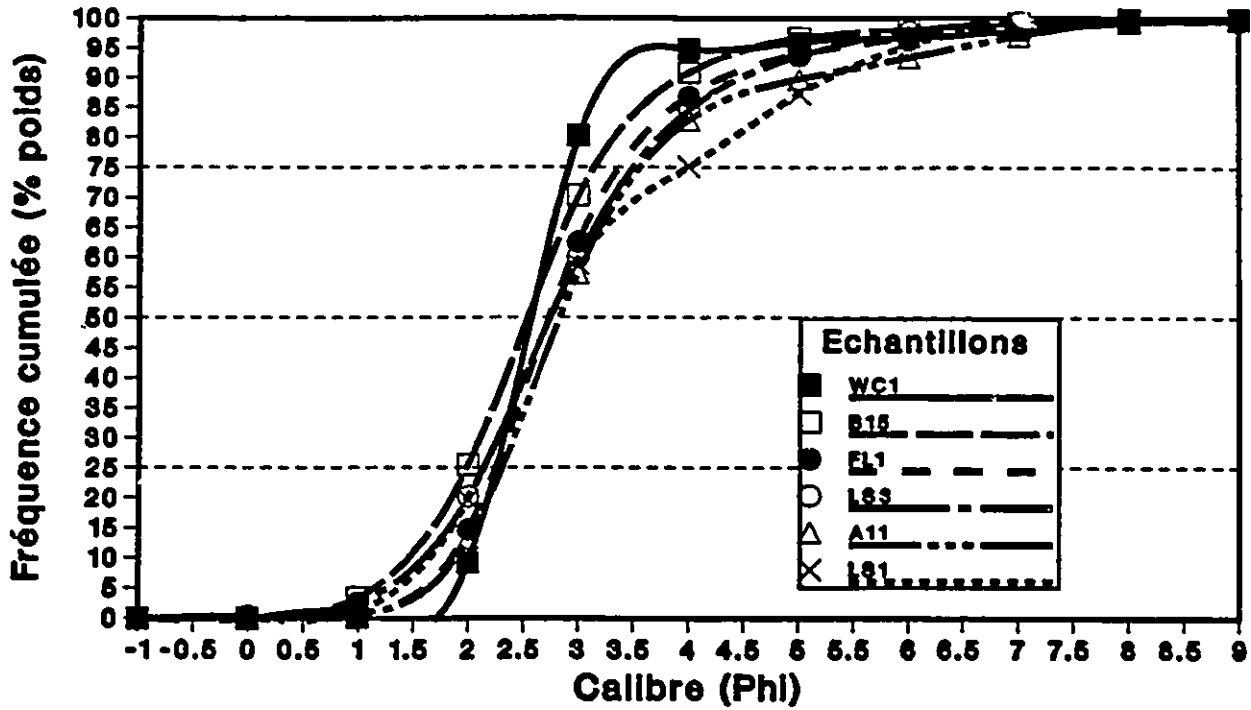


Figure 3.3: Courbes cumulatives, sous-groupes IA et IB

Sous-groupe IIA



Sous-groupe IIB

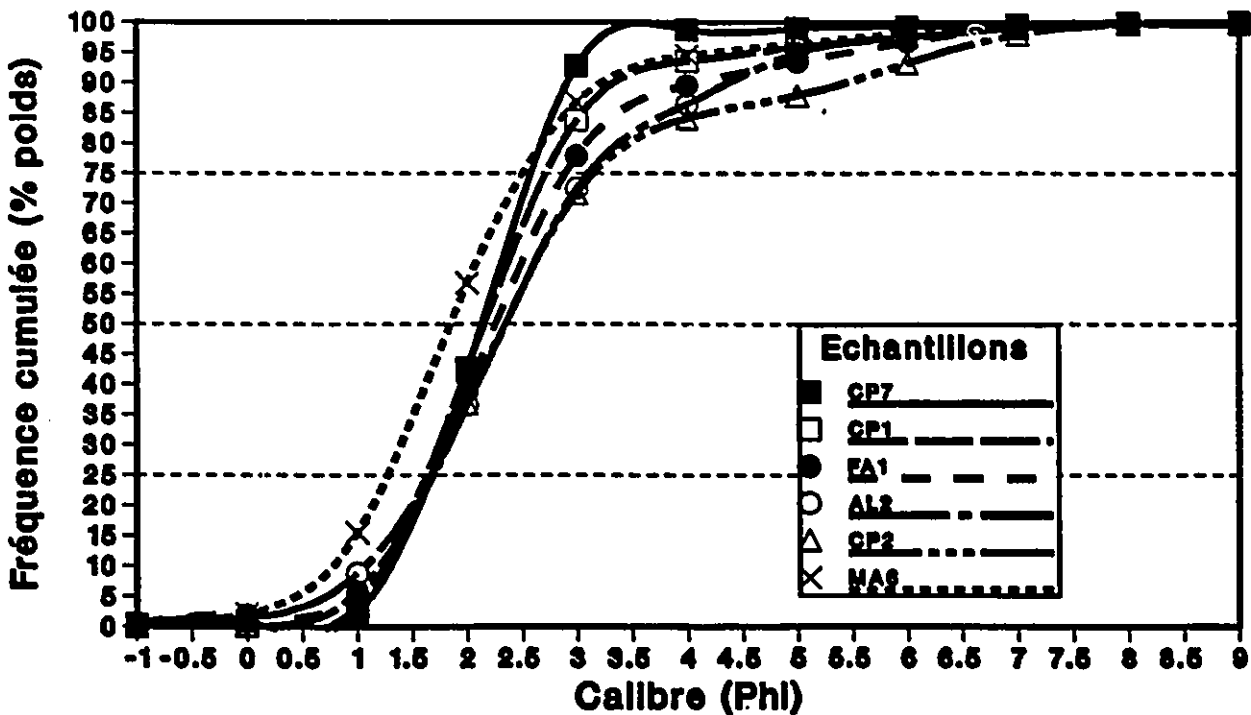


Figure 3.4: Courbes cumulatives, sous-groupes IIA et IIB

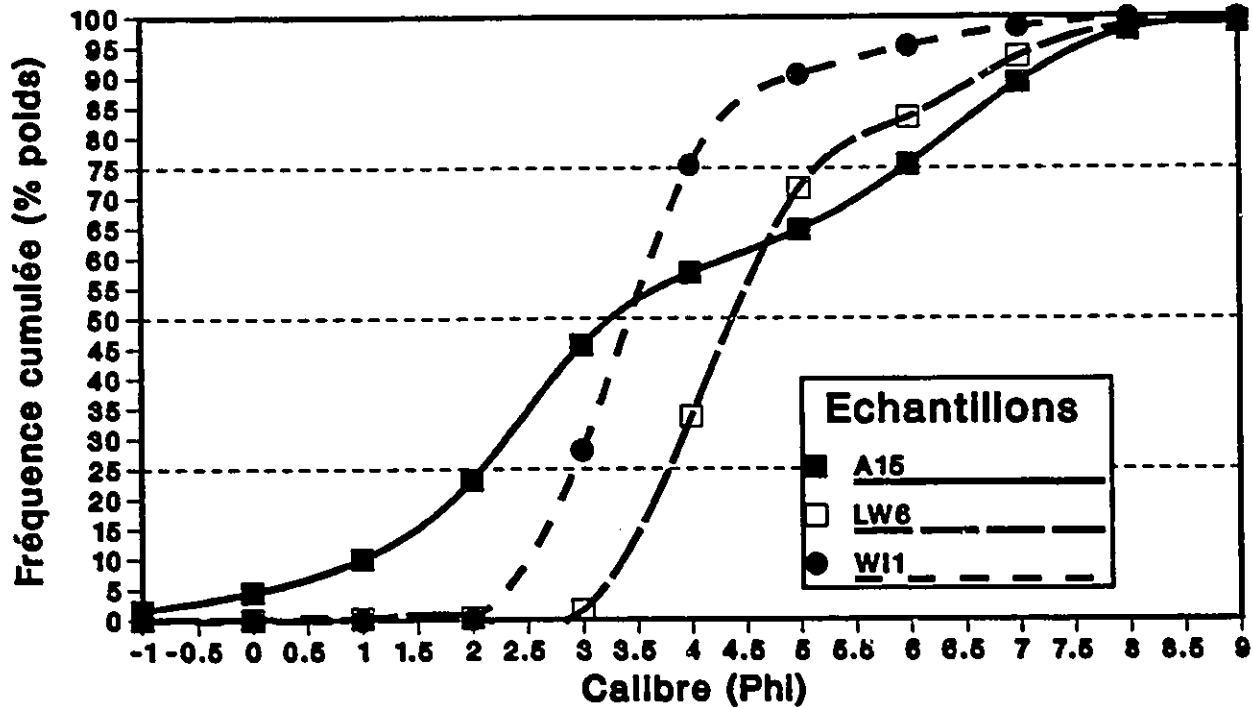
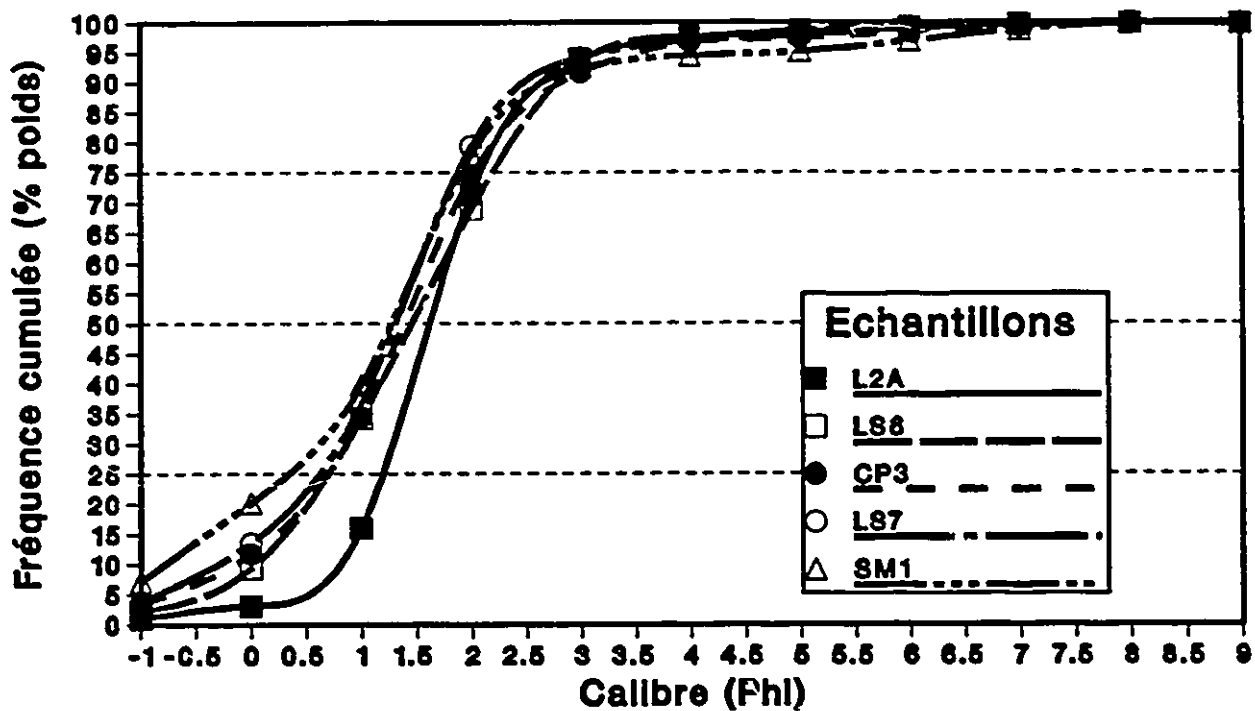


Figure 3.5: Courbes cumulatives, sous-groupe IIC

par le fait que ce sont probablement des échantillons qui ne pouvaient être inclus dans un des sous-groupes précédents. On obtient ainsi une famille de "résidus", un faux sous-groupe. La médiane varie de 3.3ϕ à 4.4ϕ et un $Qd\phi$ de 1 à 2 nous indique un triage moyen à mauvais.

Le groupe III est formé de 35 échantillons légèrement plus grossiers, ayant en commun une forte teneur en sable, soit environ 70% à 90%, selon les sous-groupes. On distingue à l'intérieur de cet ensemble trois sous-groupes d'échantillons ayant des particularités

Sous-groupe IIIA



Sous-groupe IIIB

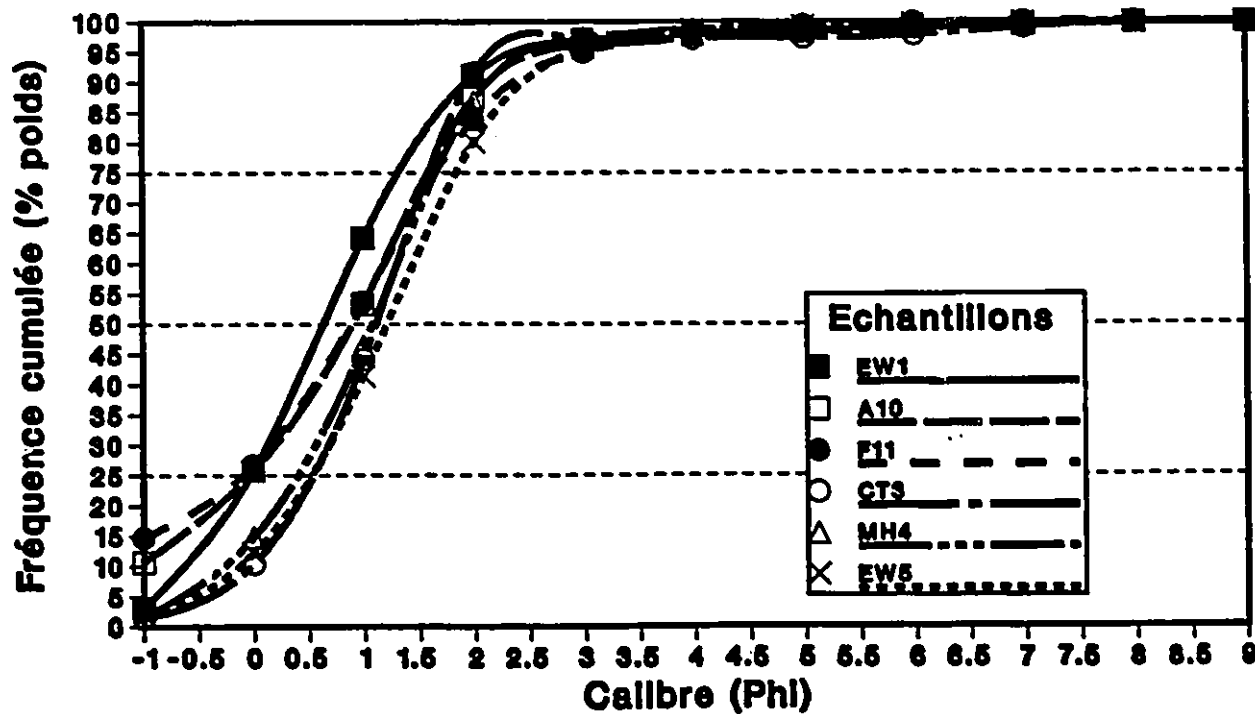


Figure 3.6: Courbes cumulatives, sous-groupes IIIA et IIIB

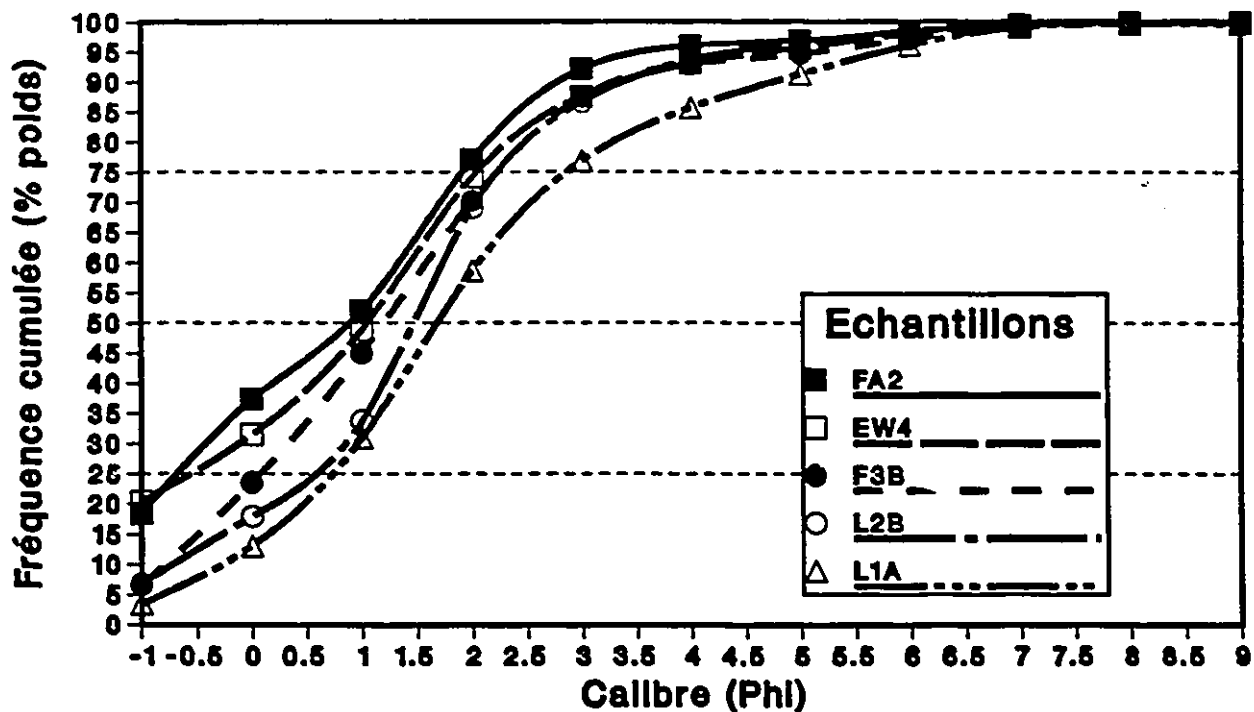


Figure 3.7: Courbes cumulatives, sous-groupes IIIC

communes.

Le sous-groupe IIIA est composé à 90% de sable, avec une médiane oscillant entre 1.2ϕ et 1.6ϕ , soit des sables moyens. Le triage est bon, avec un indice de tri de 0.5 à 0.8. Le sous-groupe IIIB est le plus important car il contient 17 échantillons constitués à environ 80% de sable, surtout de sable grossier (médiane 0.6ϕ à 1.2ϕ), moyennement trié ($Q_d\phi$ 0.6 à 0.9). Le sous-groupe IIIC est formé d'échantillons composés à 70% de sable, avec une médiane

très variable (0.8ϕ à 1.7ϕ) et un mauvais triage, soit un indice de 0.7 à 1.2.

Le groupe IV est, numériquement, le plus important car il compte 47 échantillons. Ce groupe marque une progression vers des sédiments plus grossiers, sans toutefois qu'il y ait une nette démarcation entre ces deux groupes.

Les sous-groupes IVA et IVC, composés respectivement de 8 et de 19 échantillons, ont des profils cumulatifs et des médianes très similaires. Mais IVC montre une teneur en sable fins et très fins plus élevée que IVA, soit 5% à 10%. De plus, l'indice de tri de IVC est légèrement moins bon, c'est-à-dire un $Qd\phi$ de 0.7 à 1.2).

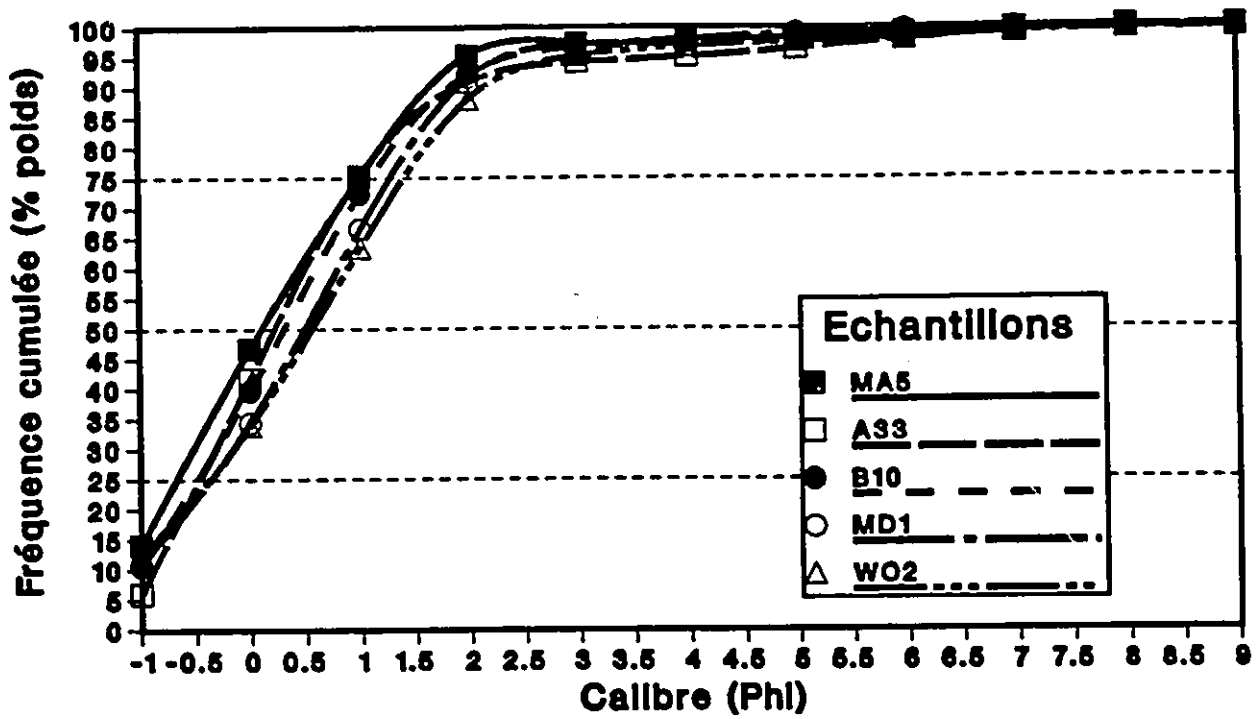
Le sous-groupe IVB est composé d'échantillons beaucoup plus grossiers que IVA et IVC (médiane -0.7ϕ à -0.5ϕ), donc des sables grossiers à très grossiers, tout en conservant un bon degré de triage ($Qd\phi$ 0.6 à 0.9).

Le dendrogramme de regroupement nous montre que les paliers du groupe IVD sont assez élevés, indiquant ainsi le peu d'analogie entre les éléments de ce groupe. Un coup d'oeil aux courbes granulométriques vient appuyer cette hypothèse. Les courbes sont dispersées, avec une médiane très variable (-0.7ϕ à 1.7ϕ), et un très mauvais triage ($Qd\phi$ 1.2 à 2).

On constate ainsi qu'en général, les échantillons qui sont groupés montrent des médianes très similaires. La notion de médiane est donc le facteur déterminant l'affinité de ces groupes, et, de ce fait, le regroupement. On peut visualiser la qualité des groupements en utilisant un diagramme exprimant le rapport entre la médiane et le $Qd\phi$ (fig. 3.10). Ce diagramme nous permet aussi de comprendre la distribution des échantillons et de montrer la relation qui existe entre les sous-groupes.

On remarque qu'il existe des chevauchements entre certains sous-groupes. Par exemple, les sous-groupes IIIA et IIIB, bien séparés par leurs médianes, recouvrent partiellement le

Sous-groupe IVA



Sous-groupe IVB

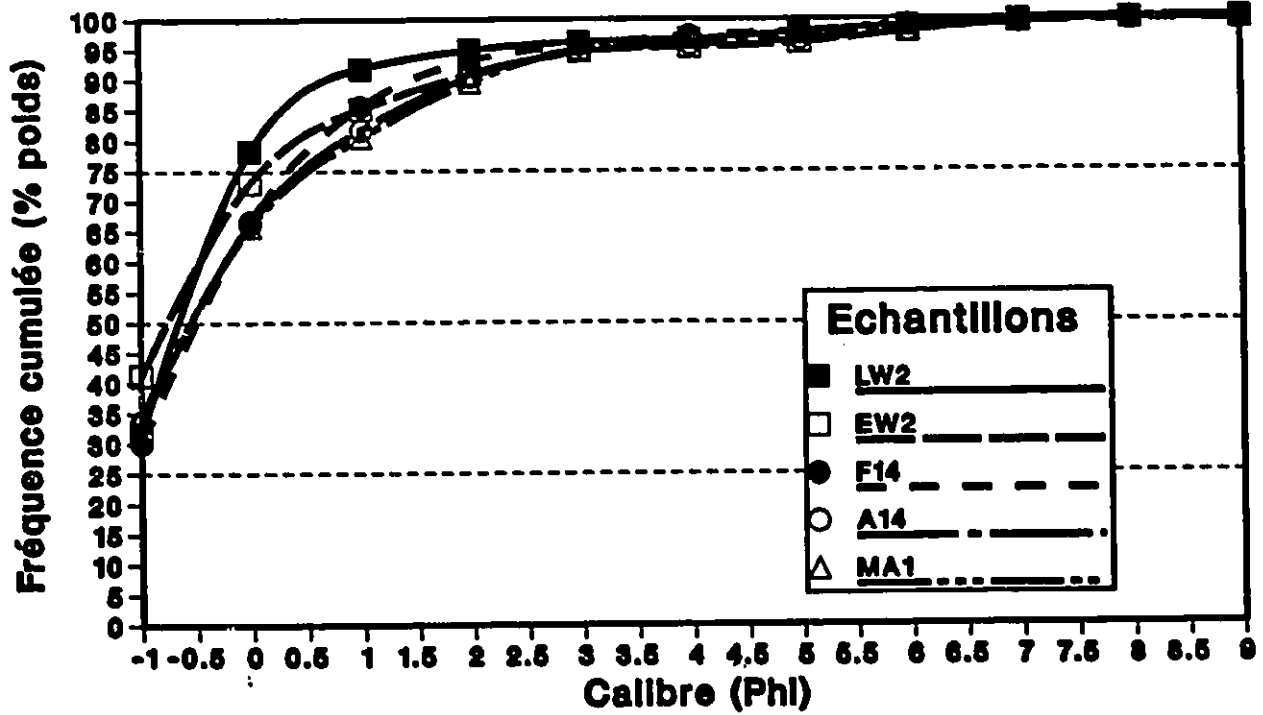
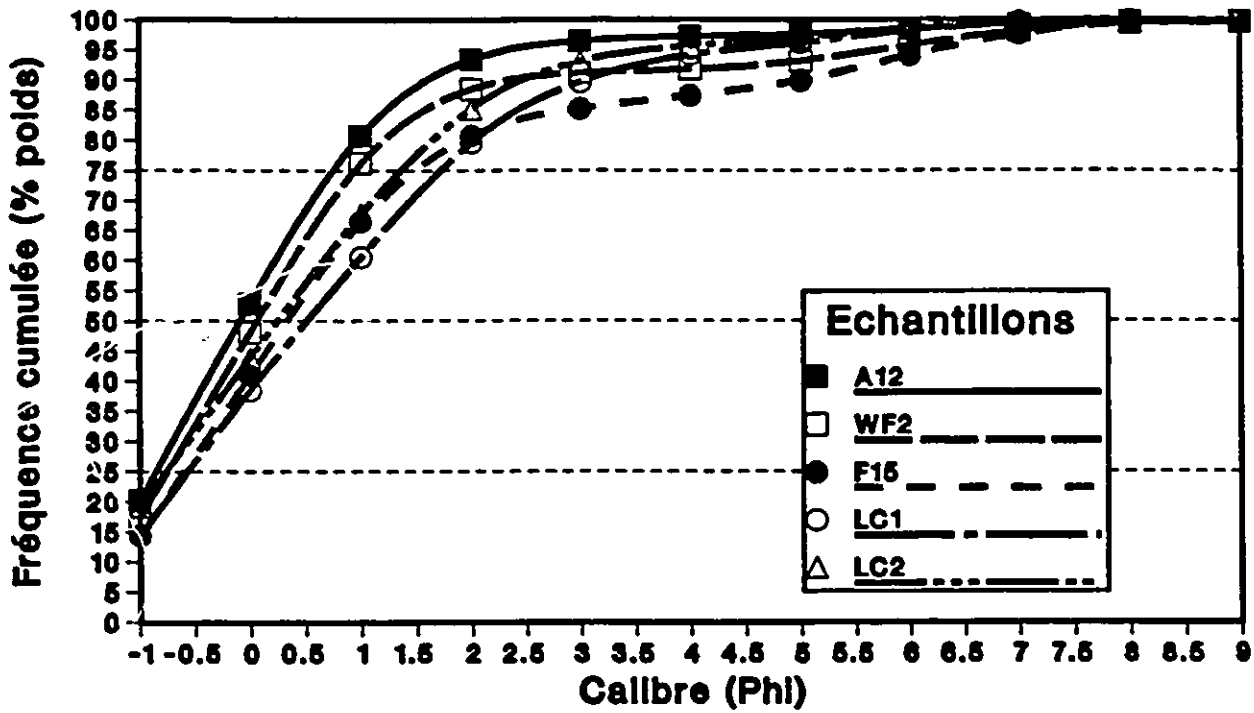


Figure 3.8: Courbes cumulatives, sous-groupes IVA et IVB

Sous-groupe IVC



Sous-groupe IVD

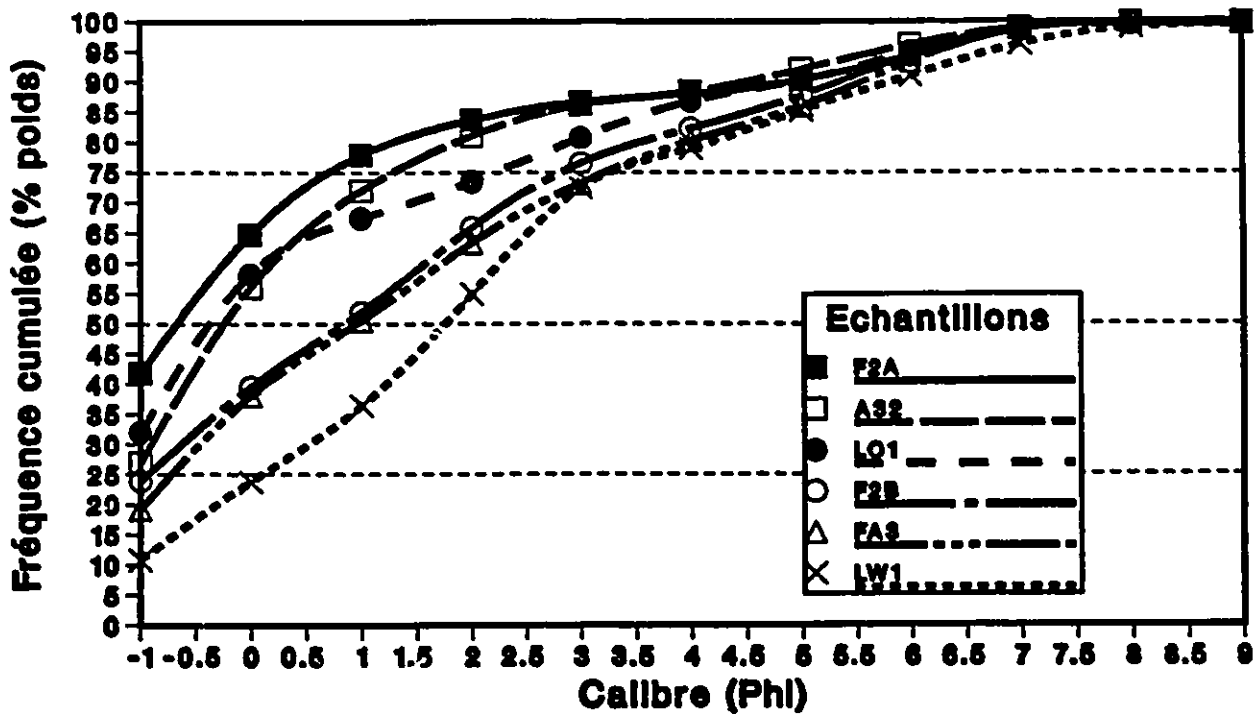


Figure 3.9: Courbes cumulatives, sous-groupes IVC et IVD

Rapport qualité du tri/médiane

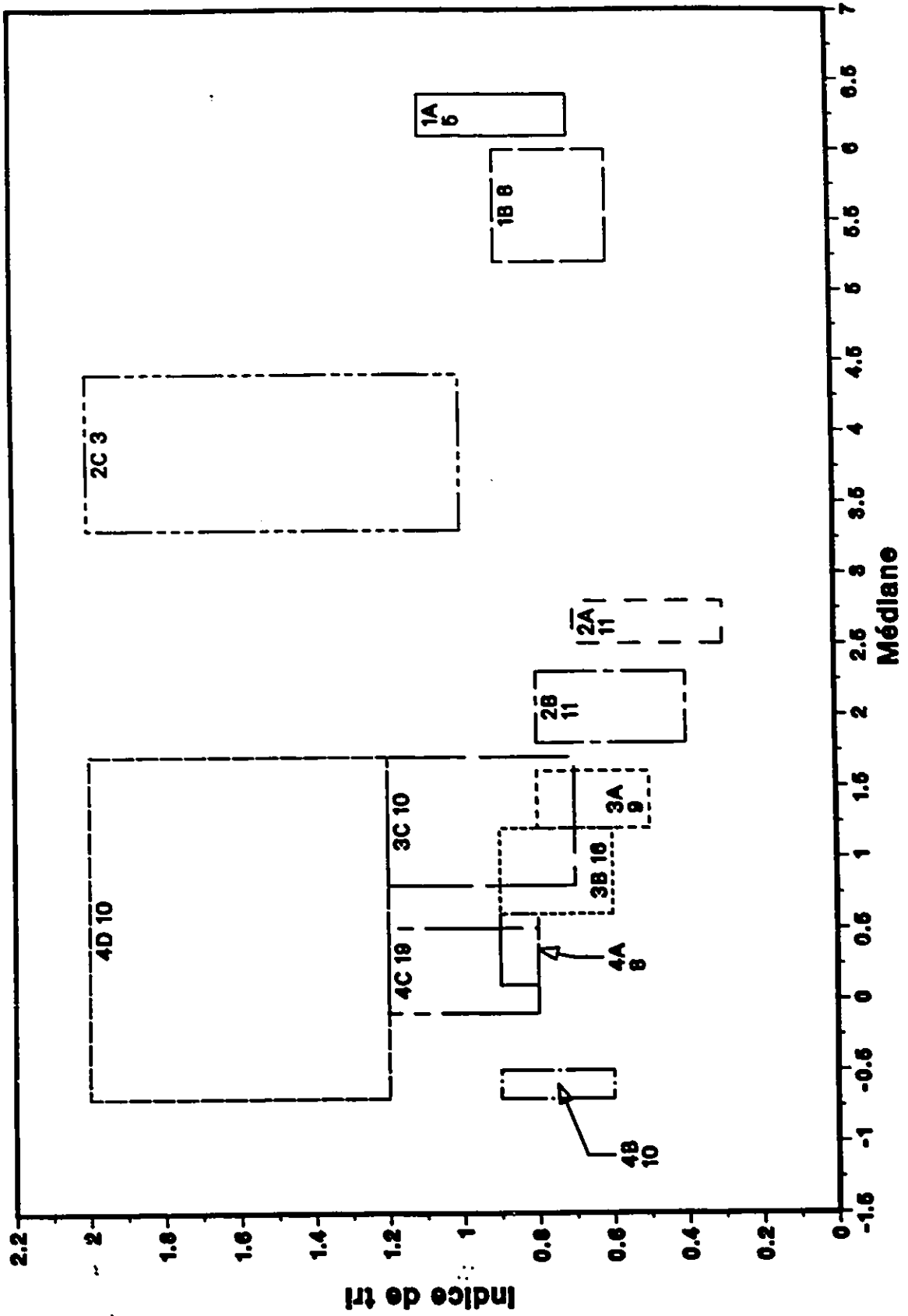


Figure 3.10: Diagramme médiane-Qdφ

sous-groupe IIIC. Ceci signifie que quelques échantillons de ces sous-groupes ont des médianes et des $Qd\phi$ similaires ou identiques. Il devient donc difficile de distinguer les échantillons en se basant seulement sur ces indices. Par contre, on constate que les courbes granulométriques du sous-groupe IIIC (fig. 3.7) sont très différentes des courbes des sous-groupes IIIA et IIIB. Le programme de classification parvient à distinguer ces sous-groupes en tenant compte du profil total des échantillons.

Les groupes obtenus par la classification sont utilisés lors de l'étude des plans diagramme de l'analyse factorielle des correspondances. Nous verrons alors comment l'AFC met en relation les échantillons (comme le diagramme-médiane $Qd\phi$), tout en parvenant à faire la distinction entre les sous-groupes.

ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES

Introduction

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) ajoute aux connaissances acquises lors de la classification car elle permet de visualiser la distribution spatiale des groupements, tout en exprimant le continuum qui existe entre ces groupes. De plus, la représentation graphique simultanée des points-tamis et des échantillons dans un même plan nous montre, par la distance séparant ces points, le degré d'affinité entre ces éléments.

Méthode d'interprétation pour l'A.F.C.

Le programme d'A.F.C. nous fournit, en plus des résultats graphiques mentionnés auparavant, de nombreux indices numériques qui facilitent la compréhension des diagrammes plans. Quelques auteurs ont déjà établi les étapes à suivre pour l'utilisation rationnelle de ces indices. Selon Teil (1975), Pumain (1976), Benzécri (1976) et Dewez (1988), l'interprétation

de nuages de points doit être effectuée en considérant certains aspects fondamentaux:

- 1-Si la différence relative entre deux facteurs (x,y) est grande, le facteur le plus important (x) est très significatif. Si la valeur relative de y est faible et l'intervalle entre x et y important, le facteur y est peu significatif. Si les facteurs x et y ont des valeurs relatives similaires, ces deux facteurs sont également significatifs, tout en étant indépendants.
- 2-Une valeur propre (λ) supérieure à 0.6 (proche de 1 pour Dewez, 1988) indique souvent une dichotomie, isolant possiblement quelques individus très distincts de l'ensemble des échantillons. Une valeur propre de 0.2 correspond généralement à un facteur intéressant.
- 3-Pour interpréter un axe (et donc le facteur), on doit considérer les éléments qui s'opposent sur cet axe. Selon Benzécri (1976, p.47), "... interpréter un axe, c'est trouver ce qu'il y a d'analogue d'une part entre tout ce qui est écrit à droite de l'origine, d'autre part entre tout ce qui s'écarte à gauche; et exprimer, avec concision et exactitude, l'opposition entre les deux extrêmes". De plus, l'interprétation d'un axe peut être facilitée par la considération des axes qui le suivent.
- 4-Chaque facteur est aussi étudié en considérant l'apport des contributions absolues et relatives. Si le nombre d'échantillons est élevé, il est de mise d'interpréter un axe avec seulement les quelques éléments (5, 10 ou 20) qui apportent les plus fortes contributions absolues. Par contre, si un individu a une contribution absolue supérieure à 25% sur un axe, il est possible que cet axe n'existe qu'à cause de cet individu. Il est donc prudent de refaire l'analyse en éliminant cet élément, à moins que l'on arrête l'interprétation des axes avant ce facteur.

Valeurs propres, inertie et trace

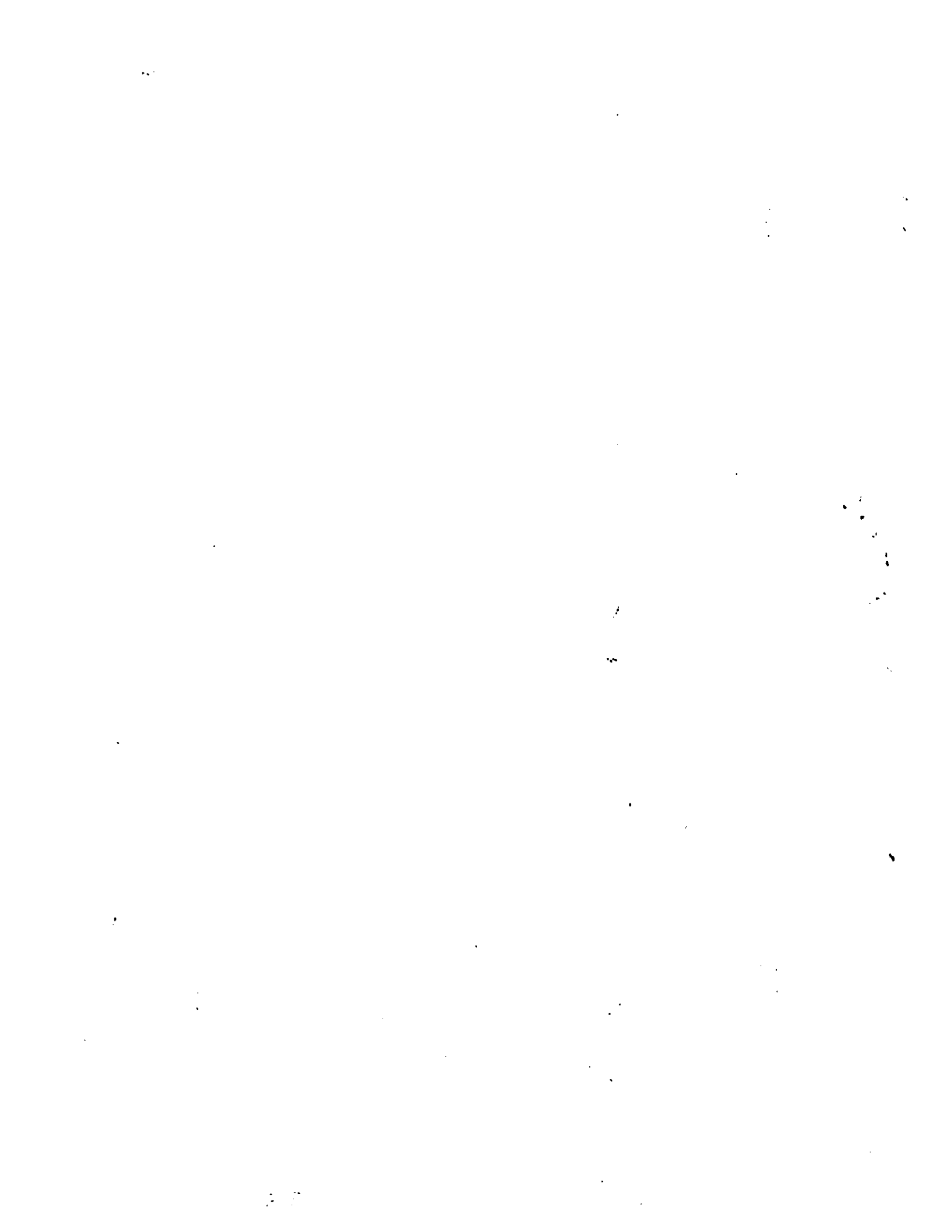
Les points-échantillons et les points-tamis sont représentés spatialement par les diagrammes-plans, et cette distribution est déterminée par les axes de ces plans. La compréhension de cette distribution spatiale doit donc faire suite à l'interprétation préalable des axes.

Chaque axe représente un facteur qui explique partiellement la distribution des points et l'aspect du nuage (l'inertie du nuage ou la trace). Au besoin, le chercheur peut extraire plusieurs facteurs de la matrice originale. Dans notre cas, l'A.F.C. fut interrompue après le cinquième facteur.

Le premier facteur est par définition le plus important, celui qui explique le plus. Ce degré d'explication est exprimé par la "valeur propre" de chaque axe, calculée par le programme d'A.F.C.. On obtient ainsi pour ces cinq facteurs des valeurs propres de 0.61, 0.39, 0.17, 0.08, 0.04. Ces données représentent donc des fractions de l'inertie totale du nuage (la trace), qui est ici de 1.4042. Ceci signifie que ces cinq facteurs expliquent près de 93% de l'inertie du nuage (respectivement 43.5%, 27.9%, 12.2%, 5.8%, 3.2%).

On s'aperçoit que la valeur explicative des facteurs diminue progressivement. Benzécri (1976) affirme par ailleurs que l'on doit procéder avec précaution lors de l'interprétation de facteur ayant des valeurs propres inférieures à 10^{-3} . L'interprétation des facteurs 4 et 5 peut donc être contestable étant donné des valeurs propres faibles comparativement aux trois premiers facteurs.

Les figures 3.11 et 3.12 représentent la distribution de ces éléments dans l'espace selon les facteurs 1 et 2, puis 1 et 3. Une analyse sommaire nous permet de faire quelques constatations très générales à propos de ces diagrammes (les diagrammes sources avec les sigles trilitères, obtenus lors de l'AFC, sont présentés en annexe).



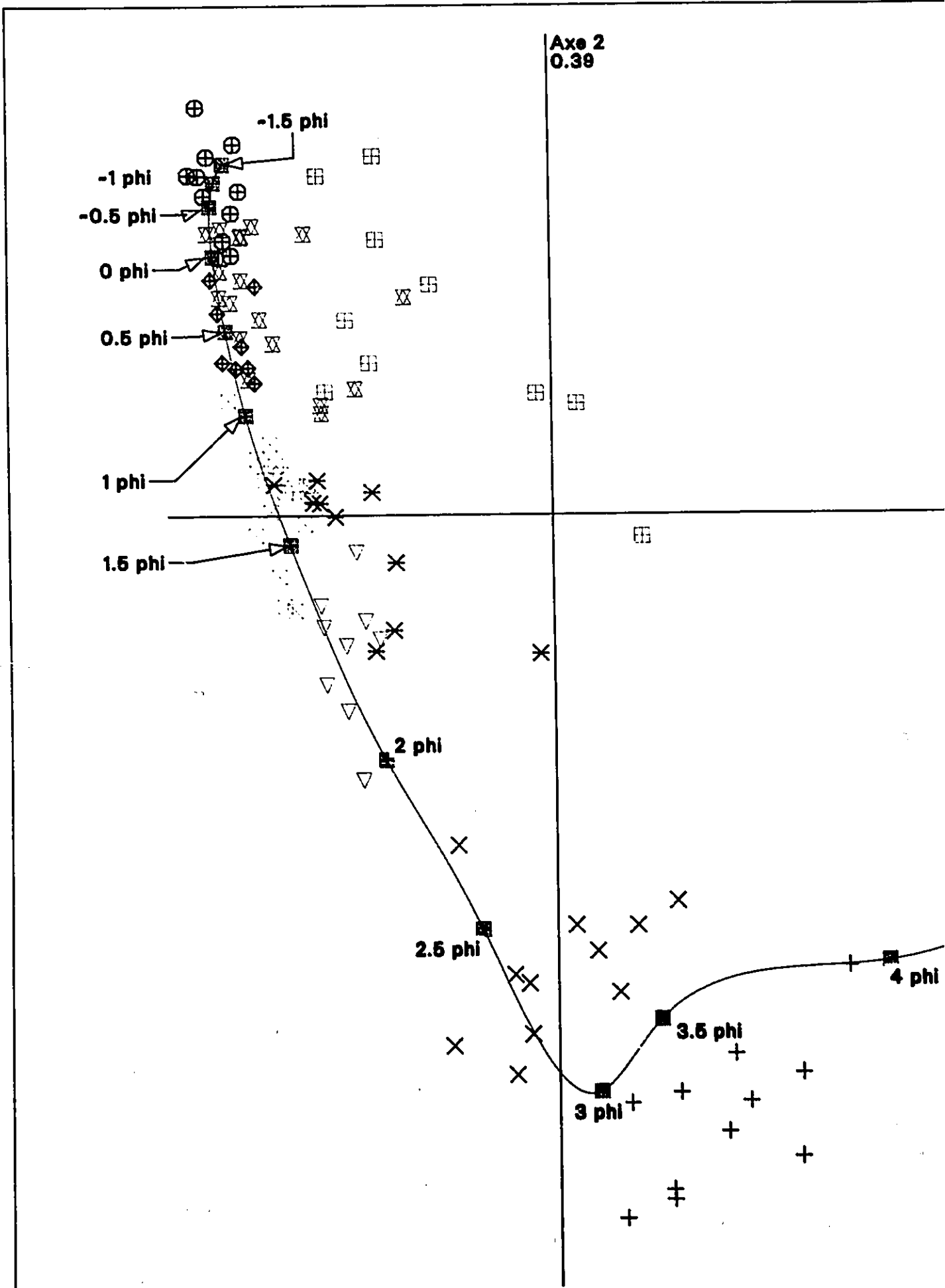
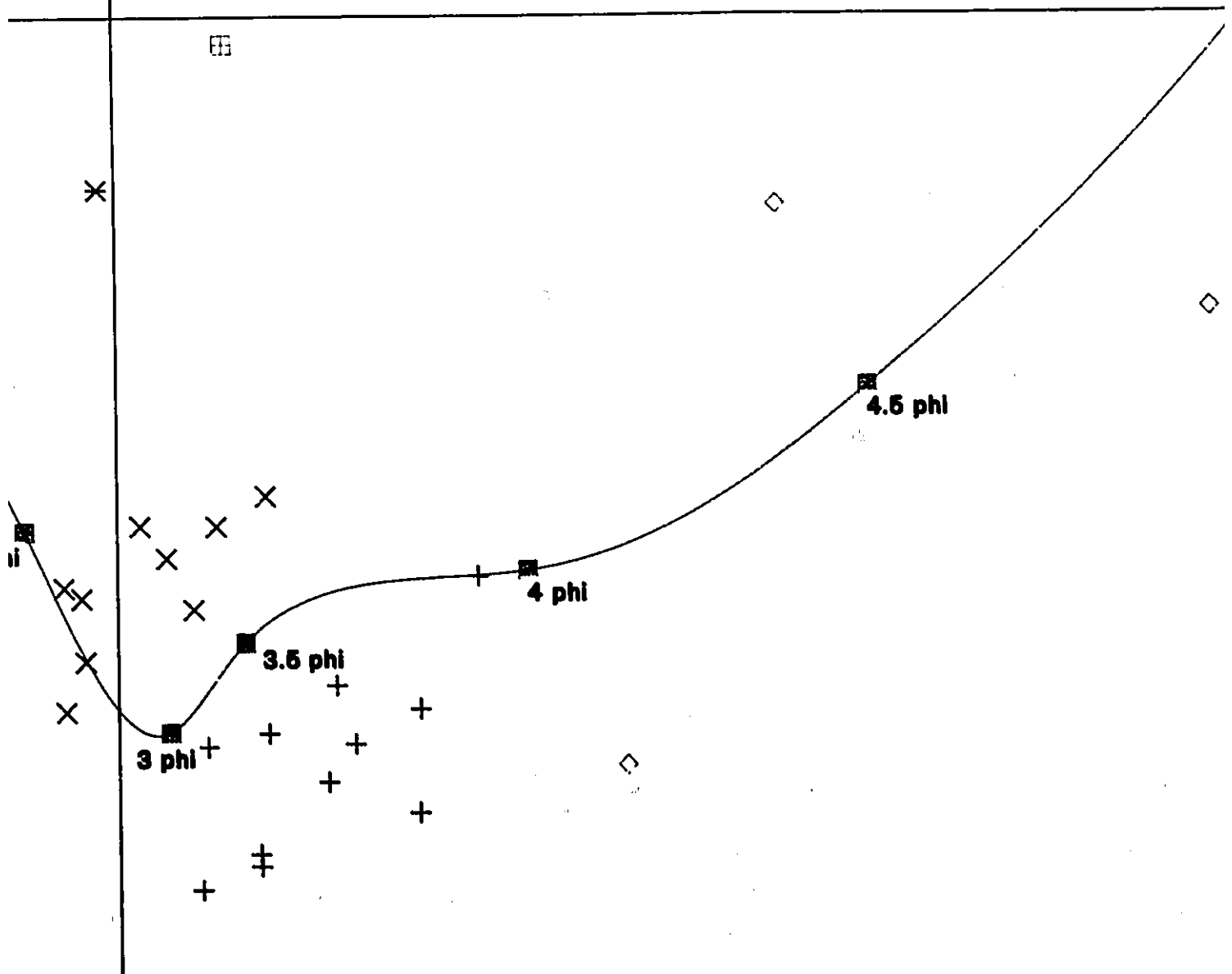
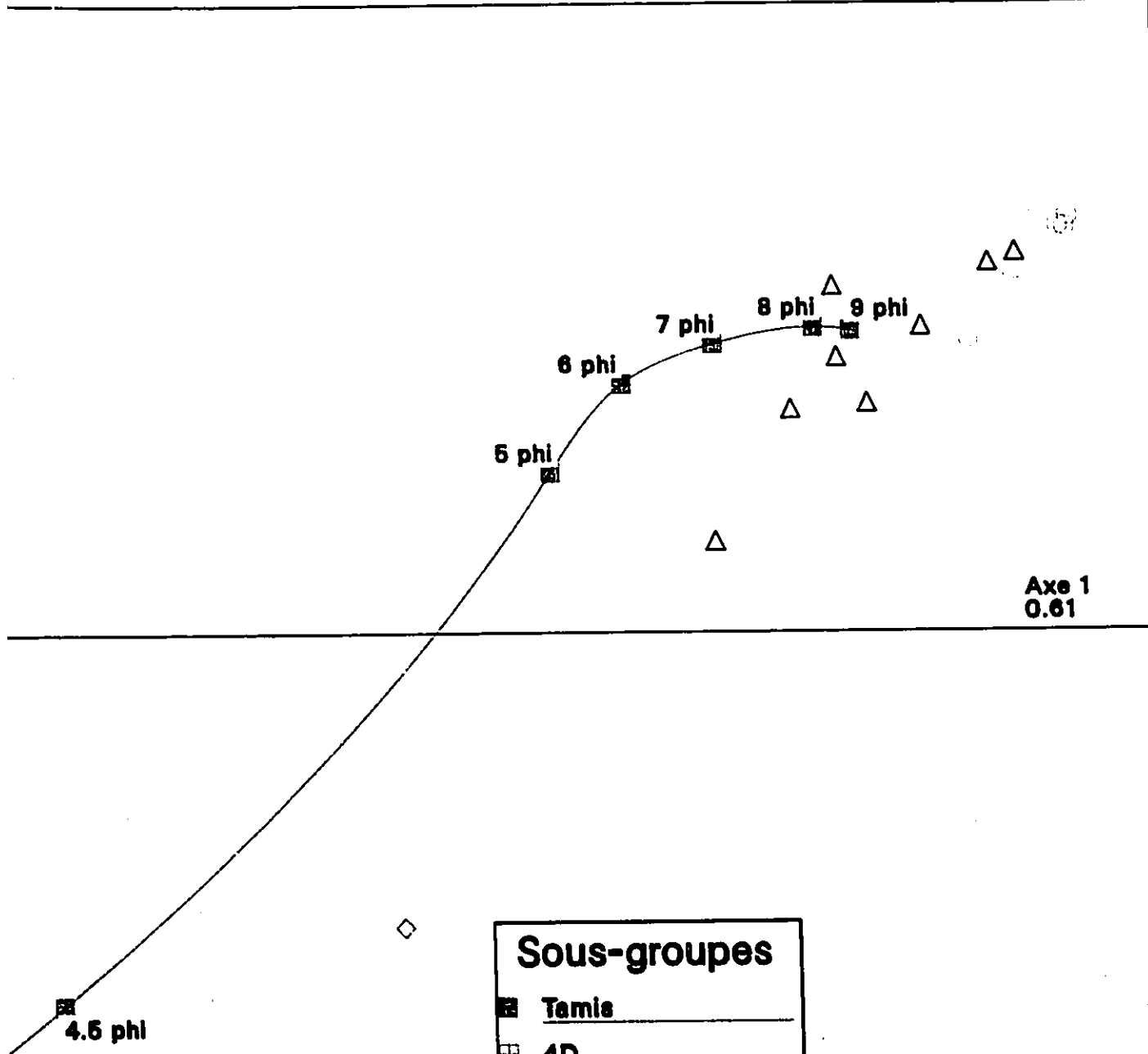


Figure 3.11: Analyse factorielle des correspondances, plan 1-2

Axe 2
0.39



orielle des correspondances, plan 1-2



Sous-groupes

■	Tamis
▣	4D
▤	4C
⊕	4B
⬠	4A
⊗	3C
▥	3B
▽	3A
◇	2C
⊗	2B
+	2A
△	1B
○	1A

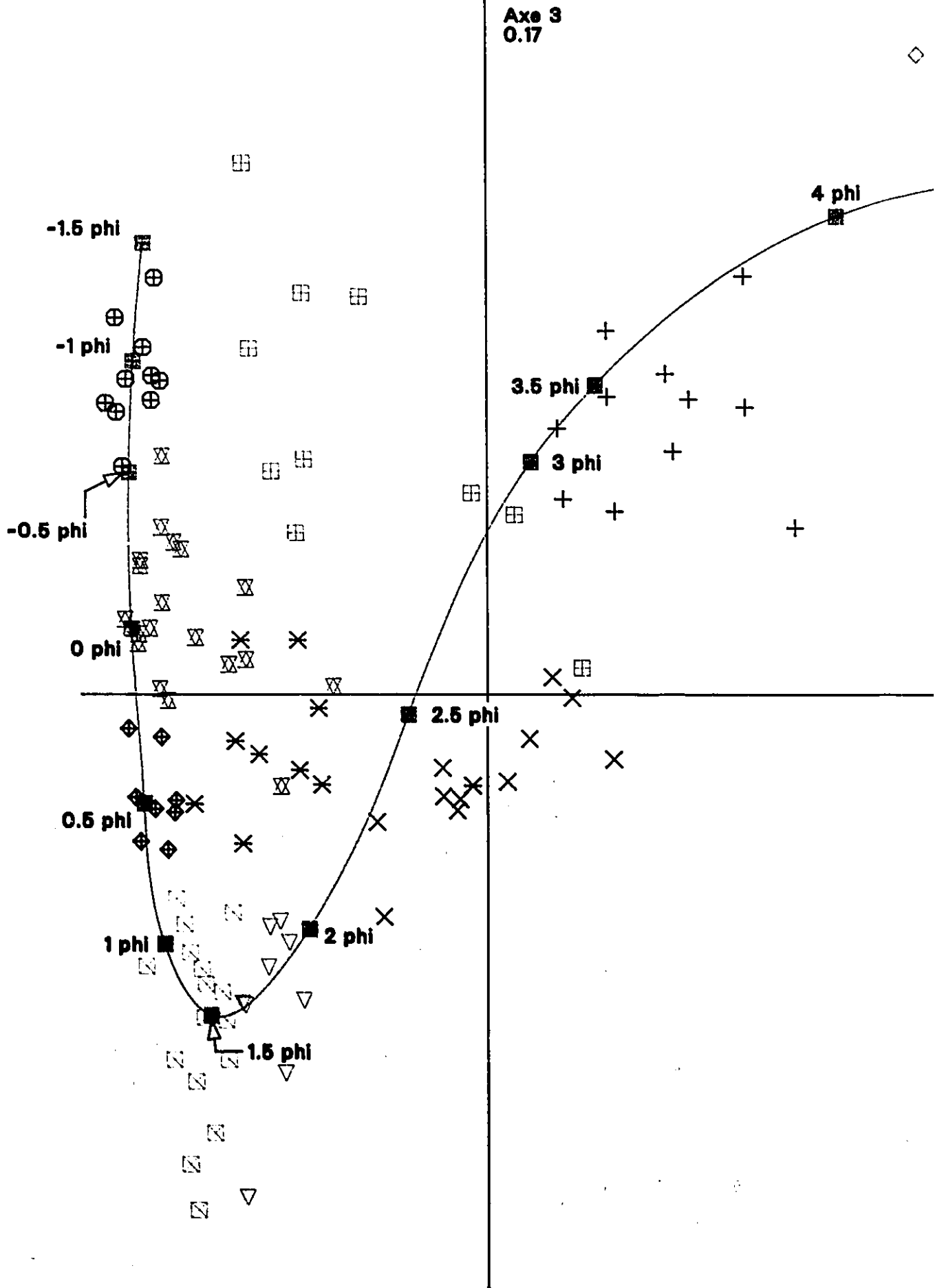
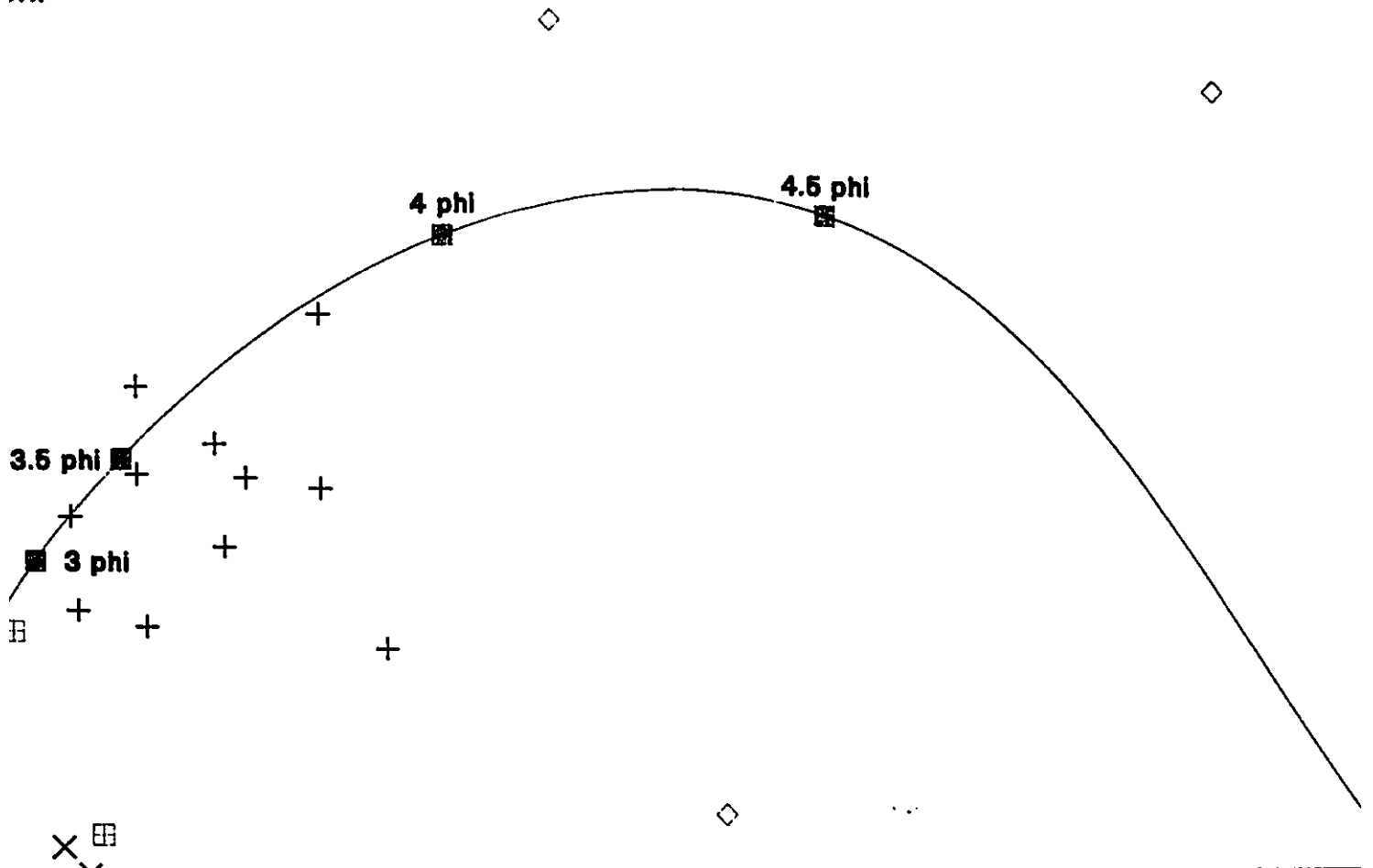


Figure 3.12: Analyse factorielle des correspondances, plan 1-3

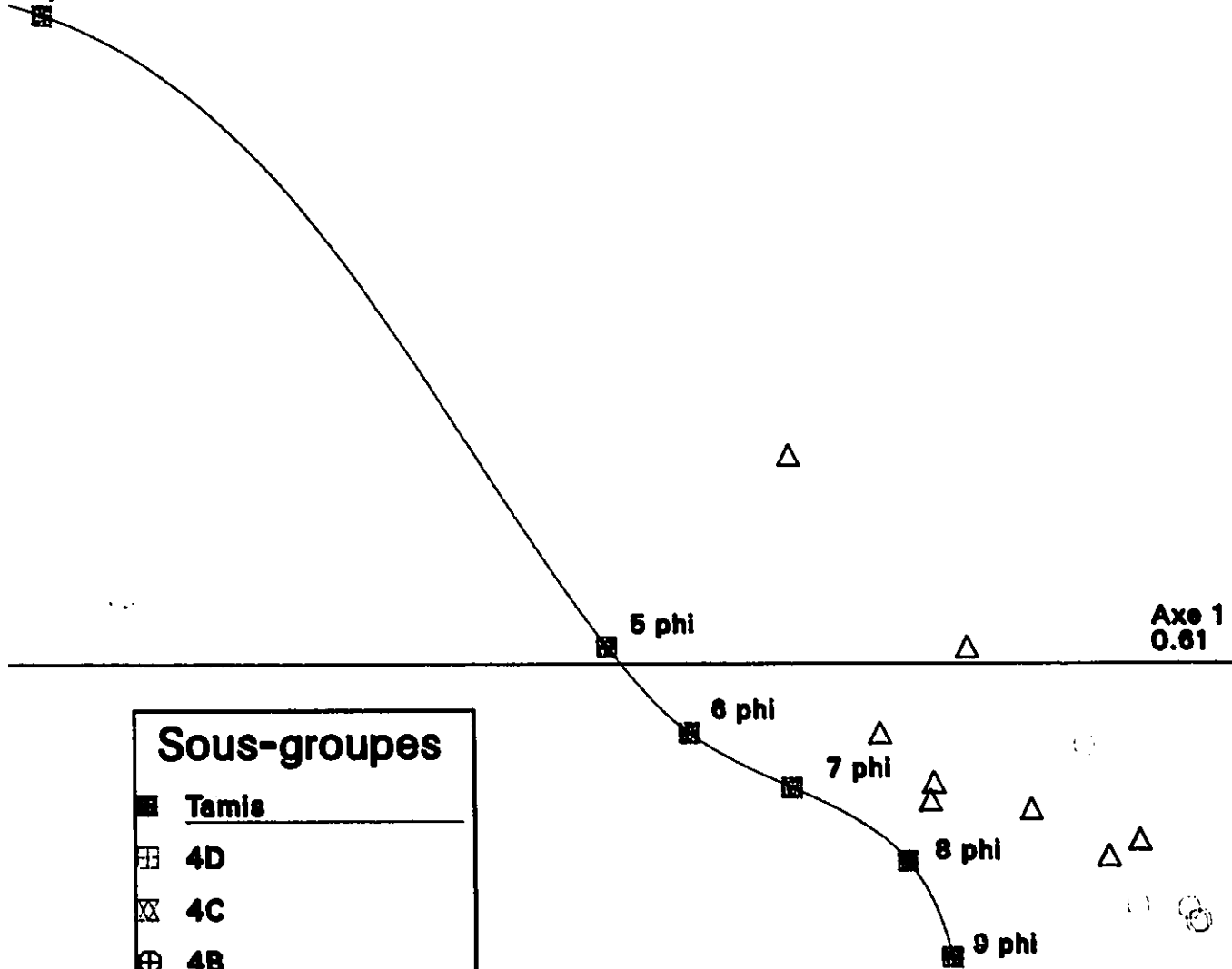
Axe 3
).17



Sous-groupes	
■	Tamis
⊞	4D
⊗	4C
⊕	4B
⊠	4A
⊗	3C
⊞	3B
▽	3A
◇	2C
⊗	2B
+	2A
△	1B
○	1A

correspondences, plan 1-3

1.5 phi



Sous-groupes

Tamis

▣ 4D

▤ 4C

⊕ 4B

◊ 4A

⊗ 3C

▨ 3B

▽ 3A

◇ 2C

⊗ 2B

⊕ 2A

△ 1B

○ 1A

La figure 3.11 (axe 1 et 2), obtenue lors de notre AFC, forme un nuage qui a l'aspect général d'un "V" évasé, les deux "bras" du V étant projetés vers le haut de part et d'autre de l'ordonnée. L'apex du V se situe sous l'abscisse.

Cette forme en V est déterminée par la courbe des points-tamis, c'est-à-dire la courbe qui relie les fractions granulométriques entre elles. L'extrémité supérieure gauche du V est définie par les fractions granulométriques grossières. Les tamis moyens se trouvent à l'apex du V, en bas et à droite des fractions grossières. Les fractions les plus fines se retrouvent à l'extrémité supérieure droite du V.

Etant donné qu'il existe une affinité entre les fractions granulométriques et les échantillons, il est normal que l'on retrouve les échantillons plus grossiers (groupe IV) en haut et à gauche du plan. Ensuite, en suivant la courbe des points-tamis, les échantillons deviennent légèrement plus fins (groupe III). De la même façon, l'apex du V localise le groupe II. On s'aperçoit aussi que les trois échantillons du groupe IIC sont très éloignés les uns des autres, exprimant ainsi leur grande disparité, déjà constatée d'ailleurs par le dendrogramme de regroupement. Remarquez qu'il existe jusqu'à l'apex une certaine progression, un continuum entre les échantillons, sans qu'il y ait de limite marquée entre les groupes. Par contre, il existe à la droite du groupe II un grand vide jusqu'au groupe I qui se situe en haut à droite. Il y a donc une démarcation entre ce groupe et les trois groupes précédents.

La figure 3.12 représente la distribution des échantillons et des fractions granulométriques sur le plan 1-3. La courbe des points-tamis montre approximativement l'aspect d'un "S" couché et étiré. Encore ici, les échantillons grossiers (IVB) se trouvent en haut et à gauche du plan, et ceux-ci deviennent progressivement plus fins tout au long de la courbe des points-tamis.

La démarcation entre les premiers groupes est moins distincte que sur le plan 1-2, car il

semble y exister un certain chevauchement. Par contre, les sous-groupes sont mieux définis à l'intérieur de chacun des groupes et on remarque que le groupe IV, très compact sur les axes 1 et 2, est plus dispersé sur le plan 1-3. Par exemple, la progression d'échantillons grossiers à fins, à l'intérieur du groupe IV est très évidente (IVB, IVD, IVC, IVA, de haut en bas en suivant la courbe des point-tamis). Le groupe III se trouve au premier point d'inflexion de la courbe (en bas à gauche) et la progression des sous-groupes du plus grossier au plus fin est apparente (IIIB, IIIA, IIIC). Les groupes IIB et IIA sont localisés de part et d'autre de l'intersection des axes 1 et 3, et on remarque qu'ils sont très distincts les uns des autres. Encore une fois, le sous-groupe IIC démontre le peu d'affinité existant entre ses échantillons car ils sont très dispersés. Le groupe I se retrouve à la droite du diagramme et conserve à peu près le même aspect que sur le plan 1-2.

En résumé, ces deux diagrammes montrent la progression des échantillons grossiers (à gauche) vers les échantillons fins (à droite). Le plan 1-2 distingue les groupes entre eux, alors que le plan 1-3 nous aide à mieux discerner les sous-groupes.

De plus, il est intéressant de constater que l'aspect général du plan 1-2 s'apparente assez bien au diagramme médiane-Qd ϕ présenté plus tôt (fig 3.10). En effet, la position relative des sous-groupes ainsi que la progression vers la droite des échantillons grossiers et fins est très similaire.

Pour conclure, mentionnons que le lecteur doit tenir compte du fait que les diagrammes-plans ne sont qu'une représentation en deux dimensions d'une réalité multi-dimensionnelle. Ainsi, des groupes ou sous-groupes qui semblent se superposer sur un plan peuvent être assez éloignés. Par ailleurs, le regroupement des échantillons en quatre groupes et douze sous-groupes (effectué par la classification) et utilisé lors de l'analyse factorielle des correspondances semble donc valide ici car il n'existe pas de chevauchement entre ceux-ci.

Contributions absolues et relatives

Le calcul des contributions nous permet d'expliquer rapidement les axes et la forme du nuage. Dewez (1988, p.135) définit les contributions absolues ainsi: "une contribution absolue exprime la part prise par une fraction granulométrique (ou un échantillon) dans l'inertie dont un facteur rend compte. En d'autres mots, elle mesure le poids d'une fraction granulométrique (ou d'un échantillon) dans un facteur". Elle affirme par ailleurs que la contribution relative "... exprime la part prise par un facteur dans la reconstitution de la dispersion d'une fraction (ou d'un échantillon). Elle mesure donc le poids d'un facteur dans une fraction (ou un échantillon)". On peut ainsi déduire qu'en fait, les contributions quantifient l'influence et l'apport d'un certain élément dans la forme du nuage.

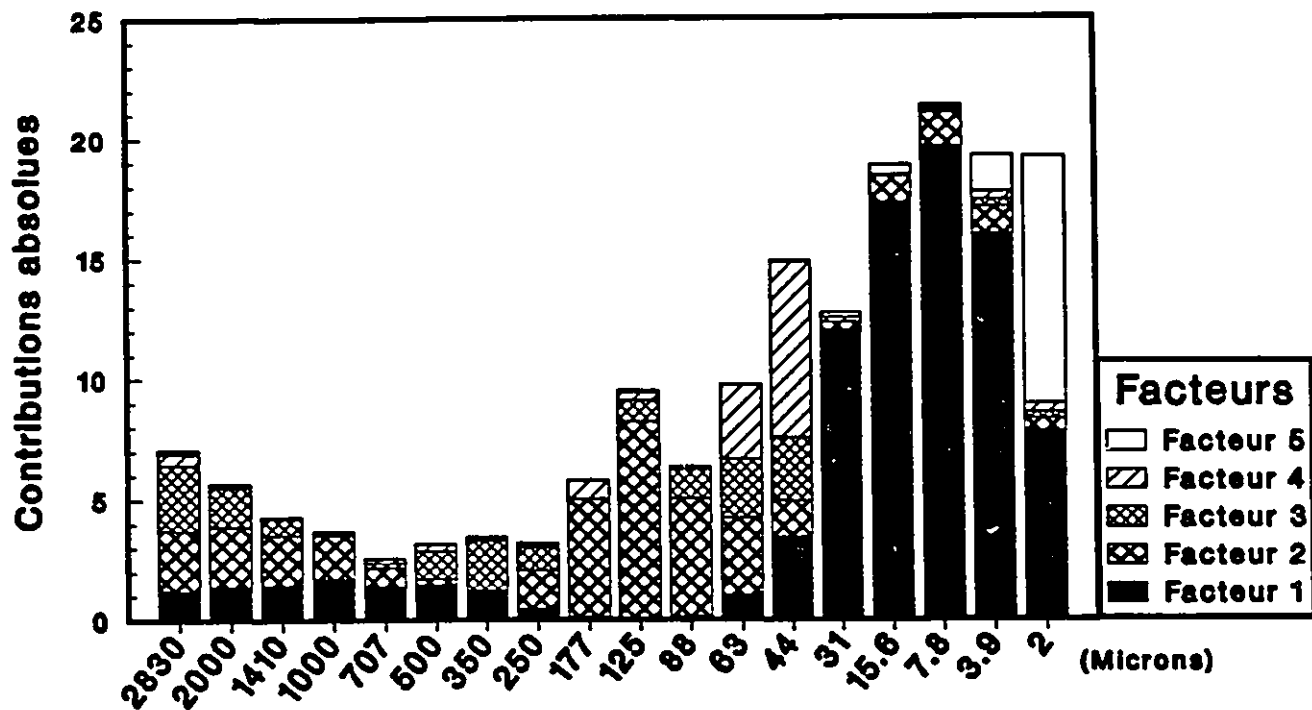
De plus, Teil (1975, p.10) recommande d'utiliser les contributions ainsi: "each factor is studied using the absolute contribution for all the elements, unless its characteristic value is high, in which case the relative contributions are used". La valeur propre du facteur 1 est de 0.61 et on peut considérer celle-ci comme étant à la limite inférieure des valeurs "élevées". Il est donc prudent de considérer les contributions absolues et relatives lors de l'interprétation du facteur 1. Pour les facteurs suivants, seule l'analyse des contributions absolues peut être effectuée.

Contributions des fractions granulométriques

Les fractions granulométriques ont une influence sur l'aspect du nuage de points et cette influence est exprimée par les contributions absolues (et relatives pour le facteur 1). Les histogrammes de la figure 3.13 nous montrent l'apport de chaque fraction granulométrique et l'influence de cette fraction sur chacun des axes (facteurs).

L'histogramme des contributions absolues (fig 3.13a) nous montre clairement que les fractions granulométriques fines (3.9 microns à 15.6 microns) contribuent fortement à l'aspect

Contributions absolues



Contributions relatives

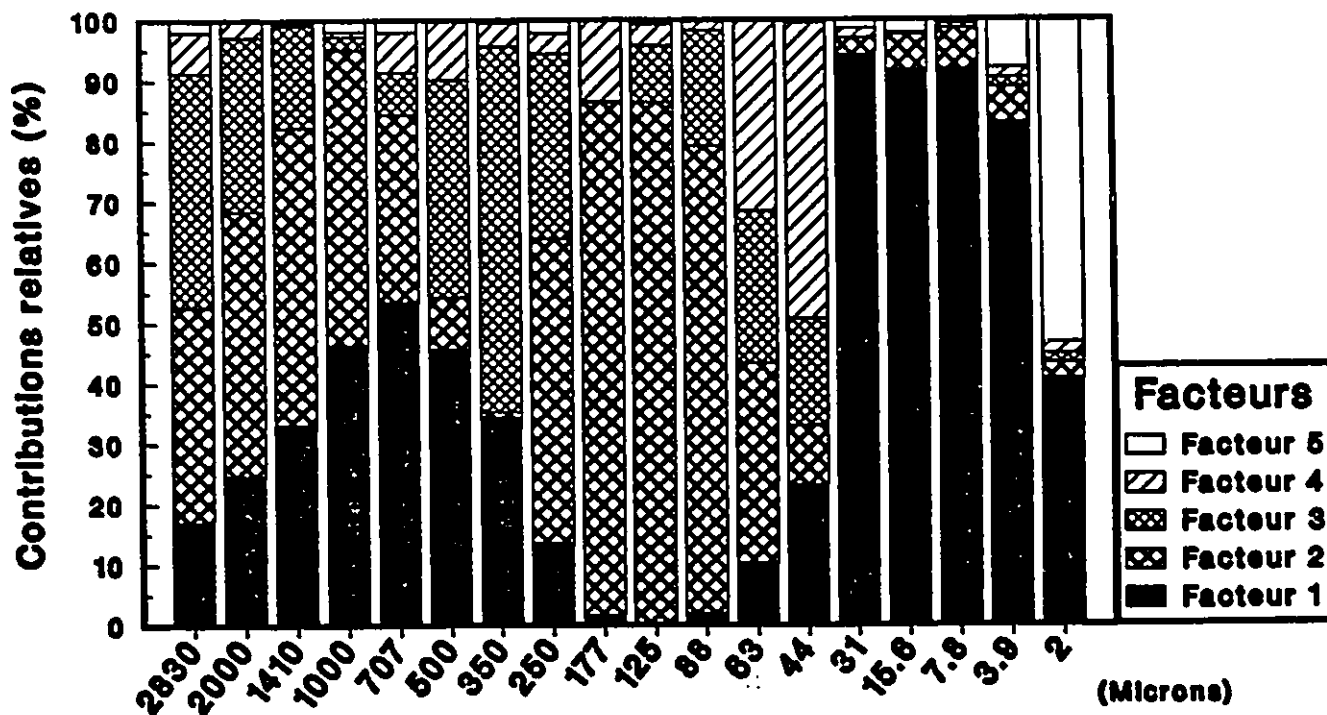


Figure 3.13: Contributions, fractions granulométriques

général du nuage. De plus, cette contribution est concentrée presque exclusivement sur le facteur 1. Les fractions 88 microns à 177 microns contribuent moyennement à l'aspect du nuage et cette contribution est déterminée principalement par le facteur 2. Les fractions plus grossières influencent peu la forme du nuage, et on remarque que cette influence est partagée à peu près également sur les trois premiers facteurs.

Bien que l'interprétation des facteurs 4 et 5 soit contestable (valeur propre faible), il est intéressant de constater que les fractions 44 et 63 microns représentent près de 74% du facteur 4, et que la fraction 2 microns représente, à elle seule, 73% du facteur 5. Les facteurs 4 et 5 n'existent donc qu'en raison de ces fractions, ce qui diminue leur validité.

Nous devons aussi considérer les contributions relatives des fractions granulométriques pour le facteur 1 en raison de sa valeur propre "élevée". La figure 3.13b nous montre l'apport de chaque facteur à l'intérieur de chacune des fractions granulométriques et il est évident, ici aussi, que le facteur 1 est important pour les fractions fines (2 microns à 31 microns). Par contre, on s'aperçoit que le facteur 1 est aussi important dans la définition des fractions plus grossières (350 microns à 2000 microns). Ainsi, le facteur 1 explique en grande partie les fractions qui s'opposent sur cet axe.

Contributions absolues des sous-groupes

Comme pour les fractions granulométriques, la contribution absolue des sous-groupes mesure la part prise par chaque sous-groupes dans l'inertie de chaque facteur. Teil (1975) recommande d'utiliser les quelques échantillons (5, 10 ou 20) qui apportent les plus fortes contributions absolues lors de l'interprétation des facteurs. Après une analyse préliminaire, il appert que pour chaque facteur, ces quelques échantillons correspondent essentiellement aux sous-groupes existants, d'où la décision d'utiliser les sous-groupes pour l'analyse des contributions.

L'histogramme des contributions absolues (fig 3.14) montre que les sous-groupes IA et IB sont ceux qui contribuent le plus à l'inertie du nuage (et ce, surtout sur le facteur 1). Par ailleurs, l'inertie du facteur 2 est surtout déterminée par les sous-groupes IIA et IIB, et de façon moindre, par les sous-groupes IVB et IVC. L'inertie du facteur 3 n'est pas expliquée par quelques sous-groupes particuliers, mais par l'ensemble IIA, IIC, IIIA, IIIB, IVB et IVD. Tous contribuent à définir à peu près également ce facteur, bien que le sous-groupe IIIB soit plus influent.

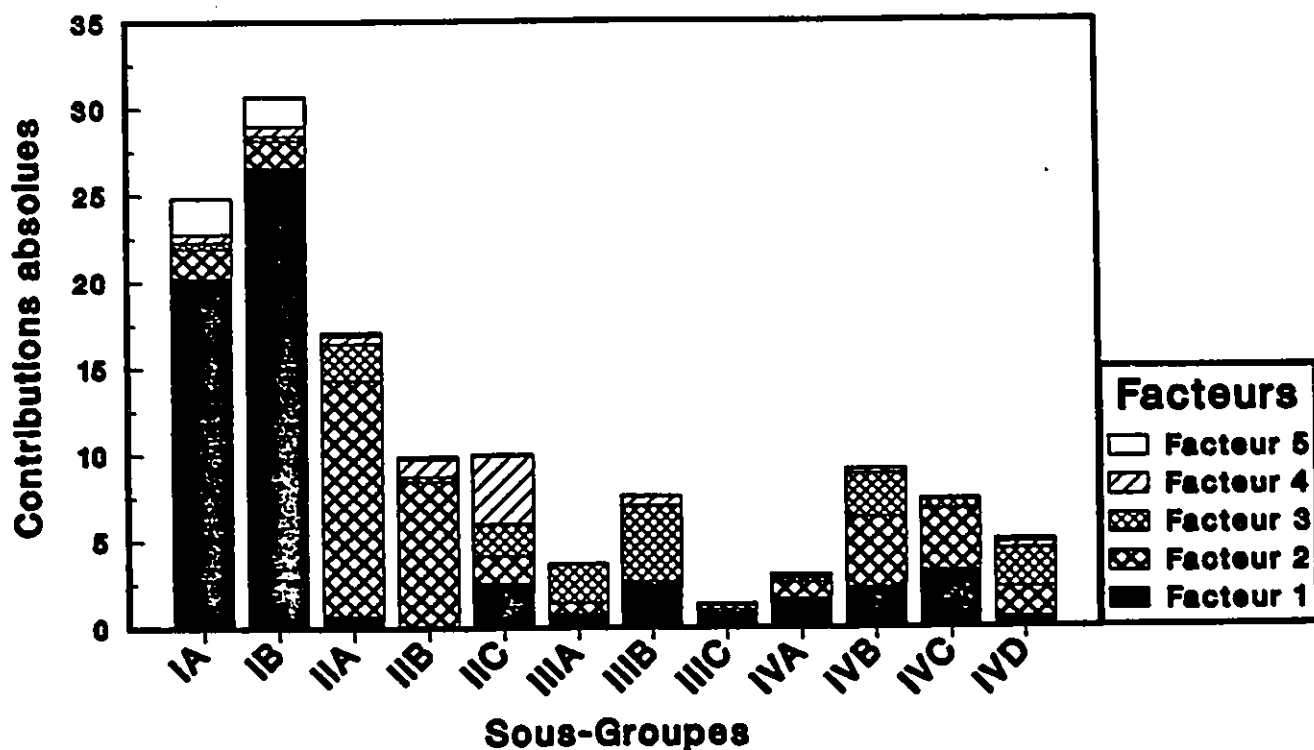


Figure 3.14: Contributions absolues, sous-groupes

Au contraire, le facteur 4 n'existe qu'en raison du sous-groupe IIC. En fait, c'est l'échantillon LW6 de ce sous-groupe qui contribue pour près de 46% à ce facteur, ce qui est largement au-dessus du 25% prescrit par Teil (1975). Le facteur 5 est défini par les sous-groupes IA et IB, et parmi ceux-ci quelques échantillons se distinguent nettement par leurs contributions élevées, soit A31 (23%), CP8 (17%), FL3 (16%). En comparaison, les échantillons qui contribuent le plus pour les facteurs 1, 2 et 3 sont respectivement F13 (6.9%), WC1 (4.7%) et W13 (5.7%). On constate l'apport démesuré de quelques échantillons et fractions granulométriques. Cet apport démesuré, combiné aux valeurs propres faibles de ces facteurs, a pour effet d'enlever toute validité aux facteurs 4 et 5. Il semble donc pertinent de ne pas retenir ces deux facteurs lors d'analyses futures.

Contributions relatives des sous-groupes

L'histogramme des contributions relatives des sous-groupes (fig 3.15) nous montre l'apport du facteur 1 pour chaque sous-groupe. L'influence du facteur 1 est prépondérante sur les sous-groupes IA, IB, IIB, IIC et IVC, et de façon moindre sur IVA et IVB. Seuls les sous-groupes IIA et IIB ne sont pas influencés par ce dernier. On s'aperçoit ainsi que l'histogramme des contributions relatives des sous-groupes présente un aspect similaire à l'histogramme des contributions relatives des fractions granulométriques (fig 3.13b). En effet, le facteur 1 joue un rôle déterminant pour les échantillons et les fractions granulométriques qui s'opposent sur celui-ci.

Interprétation des facteurs

En connaissant ces indices, il est maintenant possible d'interpréter les axes et d'expliquer de façon plus approfondie l'aspect du nuage de points.

La valeur propre des trois premiers facteurs diminue progressivement (0.61, 0.39, 0.17) et la différence relative est moyenne (0.22). Selon Teil (1975), si le premier facteur a une

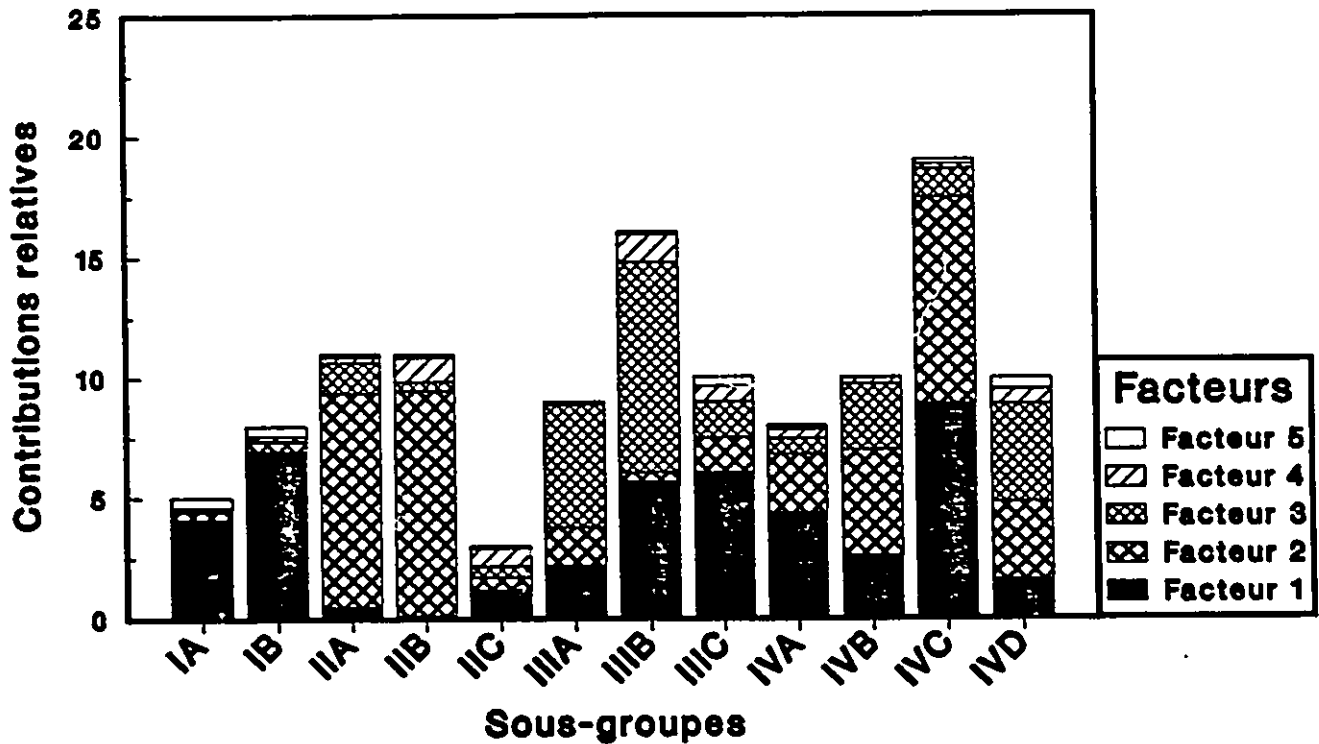


Figure 3.15: Contributions relatives, sous-groupes

valeur propre nettement supérieure, il est possible que les facteurs suivants ne soient pas significatifs. On peut donc considérer que les trois premiers facteurs sont significatifs. De plus, les valeurs relatives n'étant pas similaires, il est fort probable que les facteurs 2 et 3 dépendent du premier facteur, c'est-à-dire que ceux-ci soient des dérivés du premier.

La valeur propre du facteur 1 est légèrement supérieure à 0.6, ce qui suggère une dichotomie. Un coup d'oeil au plan 1-2 nous montre que les fractions grossières s'opposent

aux fractions fines sur l'axe 1. Les histogrammes des contributions confirment que les fractions grossières et fines influencent beaucoup ce facteur, même si la contribution des particules fines est plus importante. Cette domination des particules fines s'explique par le fait que les échantillons fins sont peu nombreux (treize échantillons pour le groupe I) et doivent être très éloignés vers la droite pour "contrebalancer" les échantillons grossiers. Ce phénomène explique en partie le grand vide qui existe entre les groupes I et II. De plus, le fait qu'il n'existe pas parmi nos échantillons de sédiments ayant une médiane d'environ 3.5 ϕ vient ajouter à l'impression de vide.

Selon Benzécri (1976, p.45), un nuage en forme de croissant parabolique (comme le plan 1-2) est une forme typique correspondant aux ensembles qui sont ordonnés *a priori*. Dans notre cas, cet ordre *a priori* est le résultat de la progression logarithmique des tamis. Ainsi, le facteur 1 marque la suite des tamis grossiers (à gauche) à fins (à droite) et met ainsi en évidence l'opposition qui existe entre les particules grossières et fines.

Il est plus difficile d'interpréter l'axe 2. La partie supérieure de l'axe est occupée par les graviers, les sables très grossiers et les silts. L'extrémité négative de l'axe localise les sous-groupes IIA et IIB, c'est-à-dire des sables fins. La qualité du triage des échantillons est plus ou moins constante tout au long de l'axe. Les échantillons qui s'opposent sur cet axe sont donc d'un côté les "extrêmes" de l'ensemble, c'est-à-dire les échantillons qui s'éloignent de la moyenne (grossiers et fins), et de l'autre les échantillons moyens (les sables). Par ailleurs, Benzécri affirme que, pour les nuages en croissant parabolique, "le deuxième facteur contribue à exprimer la même gradation générale que le premier, mais il apporte des nuances interprétables: ainsi, à un point situé à l'intérieur du croissant correspond (un échantillon) dont le profil est assez plat..." (1976, p. 45).

Un regard sur la figure 3.11 nous montre que l'intersection des axes 1 et 2 localise quelques échantillons du sous-groupe IVD et les courbes granulométriques de ces échantillons (F2B, FA3, LW1) montrent un profil assez plat, ce qui indique que ceux-ci possèdent des

particules grossières et fines. D'ailleurs, l'histogramme des contributions absolues (fig. 3.14) nous avait déjà montré que le groupe II contribuait le plus sur le facteur 2. Ainsi, ce facteur exprime lui aussi la progression des tamis et met en évidence les échantillons de calibre moyen par rapport aux "extrêmes" de l'ensemble.

La granulométrie des échantillons distribués sur l'axe 3 n'évolue pas de façon évidente, puisque des échantillons grossiers, moyens et fins sont projetés à la même hauteur sur cet axe. La qualité du tri des échantillons ne varie pas non plus de façon claire. Par contre, on soupçonne qu'il est fort possible que l'axe 3 soit lui aussi dérivé de l'axe 1 (étant donné l'évolution de la valeur propre). D'ailleurs, Benzécri suggère que pour les suites ordonnées *a priori* "il se peut même que le troisième facteur soit également lié fonctionnellement au premier" (1976, p. 45).

On a déjà remarqué que les groupes sont beaucoup plus dispersés sur le plan 1-3 que sur le plan 1-2. Ceci nous permet de mieux distinguer les sous-groupes, ceux-ci étant organisés en fonction de leur granulométrie moyenne à l'intérieur du groupe. De plus, cette plus grande dispersion nous permet de mieux évaluer l'affinité qui existe entre les sous-groupes. Par exemple, le palier de regroupement est très élevé pour les sous-groupes IIA et IIB (fig 3.2). Cette disparité est bien exprimée par la distance qui sépare ces sous-groupes sur le plan 1-3. De la même façon, l'affinité entre deux sous-groupes est exprimée par la proximité de ces derniers sur le plan 1-3: par exemple, le groupe IV est formé par les couples IVB-IVD et IVA-IVC sur le dendrogramme (fig. 3.2). Si on examine le diagramme plan 1-3 attentivement, on voit que ces sous-groupes sont en effet placés côte-à-côte. Etant donné que le programme de classification groupe les échantillons en fonction de leur médiane, il est logique de conclure que le facteur 3 correspond lui aussi à une progression "nuancée" des fractions granulométriques.

Cette dépendance constatée entre les facteurs s'appelle "effet Guttman". On dit qu'il y a effet Guttman, "lorsque de l'analyse de correspondance à laquelle est sous-jacent un

phénomène fondamentalement unidimensionnel, il résulte une suite de facteurs qui bien que non corrélés entre eux n'en sont pas moins tous liés fonctionnellement..." (Benzécri, 1976, p. 192). On peut conclure en affirmant que les trois facteurs retenus correspondent, à différents degrés, à la progression des tamis et donc à la médiane des échantillons. Si on admet que la médiane d'un échantillon varie en fonction de l'énergie de l'agent de transport, on peut affirmer que la distribution des sédiments de la vallée de la Gatineau est essentiellement expliquée par les variations d'énergie de l'environnement de sédimentation. De plus, l'allure générale des courbes granulométriques nous permet d'ajouter que l'agent de transport, responsable de la mise en place de ces sédiments, est en grande partie l'eau.

La position des échantillons dans le nuage est également importante. Si ceux-ci s'inscrivent à l'intérieur de la courbe des tamis, ils sont généralement moins bien triés. Par exemple, les sous-groupes IIIC, IVC et IVD, situés à l'intérieur de la courbe, semblent attirés vers l'intersection des axes sur le diagramme plan 1-2. Un coup d'oeil vers les courbes granulométriques confirme que les échantillons ne sont pas bien triés. Par ailleurs, les sous-groupes qui s'inscrivent sur ou à l'extérieur de la courbe sont bien à très bien triés. Ainsi, la position des échantillons par rapport à la courbe exprime l'influence de l'eau dans le transport du sédiment. Les données stratigraphiques recueillies lors de la prise d'échantillons viendront compléter ces résultats statistiques et vont nous permettre de mieux définir l'environnement de mise en place de ces sédiments.

CHAPITRE IV

STRATIGRAPHIE ET ENVIRONNEMENT DE SEDIMENTATION

INTRODUCTION

On constate la grande diversité granulométrique des échantillons prélevés dans la vallée de la Gatineau. La classification et l'analyse factorielle des correspondances nous ont permis de grouper les échantillons qui montrent des propriétés granulométriques similaires. Mais on ne peut se limiter seulement à l'étude des granulométries si on cherche à bien comprendre le milieu de sédimentation: on doit aussi considérer l'aspect physique des unités stratigraphiques. Ainsi, les faciès stratigraphiques apporteront une aide précieuse lors de l'interprétation des milieux de sédimentation.

La première partie du chapitre est consacrée à la présentation et à la description sommaire des faciès stratigraphiques de chaque groupe et sous-groupe. Il sera intéressant de constater si les sous-groupes qui montraient de très fortes ressemblances granulométriques présenteront aussi de telles similarités au niveau de la stratigraphie. De plus, la position des sous-groupes sur les plans de l'analyse factorielle des correspondances est décrite en fonction de cet aspect stratigraphique. La combinaison des données granulométriques et stratigraphiques devrait nous permettre d'interpréter le milieu de mise en place. En deuxième partie, la cartographie des différents types d'environnement nous aide à distinguer certains patrons dans la distribution des sédiments dans la vallée de la Gatineau et de montrer les relations qui existent entre les différents sites.

STRATIGRAPHIE

Le travail effectué par l'eau dans un environnement proglaciaire est susceptible de nous informer sur le milieu de mise en place des sédiments. En effet, les sédiments sont libérés de l'emprise de la glace lors de la fonte. L'eau est donc toujours présente. Ainsi, plus les sédiments sont déposés loin du glacier (position distale), plus ils sont fins et homogènes. Au contraire, les sédiments mis en place à proximité du glacier (position proximale) sont généralement plus hétérogènes et plus grossiers. Mais il est difficile de placer les échantillons dans l'une ou l'autre classe car il existe un continuum entre les différents types d'environnements. C'est ainsi que l'on trouve à chaque extrémité du spectre, d'une part les sédiments déposés par la glace, et d'autre part les sédiments déposés par l'eau ou dans l'eau.

Il existe donc une gradation entre ces deux extrêmes, l'eau jouant un rôle de plus en plus important: à mesure que l'on s'éloigne du front glaciaire. De plus, le glacier en recul s'éloigne du dépôt et il est parfois possible d'observer l'évolution temporelle (verticalement) de l'environnement de sédimentation. Ainsi, la relation entre la taille des particules, l'homogénéité du dépôt et la distance ne varie pas de façon directement proportionnelle, l'exception confirmant la règle.

Interprétation

L'aspect stratigraphique des unités est présenté à l'aide de tableaux. Dans le but d'alléger la présentation, des abréviations ont été utilisées. Par exemple, une unité stratifiée horizontalement est décrite par l'abréviation "str. hor.". L'absence de stratification est indiquée par "non str.". Les unités qui présentent une quelconque stratification inclinée à pendage mesurable sont désignées par l'angle et la direction de ce pendage. Par exemple, un pendage de 22° vers 180° est indiqué par 22°→180°. Les stratifications entrecroisées sont représentées par "str. ent.". La présence de failles et de déformations est aussi signalée. La

stratigraphie complète de chaque coupe étudiée est présentée en annexe sous forme de schéma et s'accompagne de la courbe granulométrique de chaque échantillon.

Groupe I

Les échantillons du groupe I sont composés de silts moyens à fins, les échantillons du sous-groupe IB étant légèrement plus grossiers que ceux du sous-groupe IA. La stratigraphie des unités représentées par ces échantillons apparaît dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1: Aspect stratigraphique, groupe I

Stratigraphie des échantillons du groupe I	
Sous-groupe IA	Sous-groupe IB
CP8, str. hor. A31, non str. BR7, non str. F13, 18°→280° A16, 12°→120°	K1B, non str. LS8, non str. FL3, non str. W12, non str. MA3, non str. K1A, non str. FO4, 21°→270° AL3, 24°→220°

On constate qu'il n'existe pas vraiment de distinction entre les sous-groupes IA et IB selon cet aspect. Mais on peut diviser les échantillons du groupe I en fonction de leur position stratigraphique. On obtient ainsi un groupe d'unités qui se situe au sommet des coupes et un deuxième, composé d'échantillons se retrouvant en position intermédiaire, c'est-à-dire à l'intérieur des coupes. Selon leur position stratigraphique, ces deux groupes présentent des faciès différents.

Les unités du groupe I ont un aspect stratifié lorsqu'elles se trouvent au sommet des coupes, prenant parfois l'allure de rythmites (photo 4.1). Ces unités peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, notamment au sommet des coupes d'Alcove et de Farrellton

(sites 14 et 19), nous indiquant ainsi une plus longue sédimentation. Cette situation apparaît surtout lorsque ces sites sont formés de sédiments plus grossiers que la moyenne. Ces échantillons marquent la fin du cycle de sédimentation lorsqu'ils occupent le sommet d'une coupe. En effet, les sédiments sous-jacents étant plus grossiers, il doit donc y avoir une diminution d'énergie pour permettre la sédimentation des silts.

On retrouve aussi des unités de silt au milieu ou à la base de certaines coupes. Leur aspect est alors beaucoup plus massif, sans stratification. Ceci suggère une sédimentation rapide dans un milieu relativement calme et profond. L'épaisseur de ces unités varie de dix à cinquante centimètres. Elles sont toujours intercalées ou associées avec des unités de sable fin à très fin. La transition entre les silts et les couches sus et sous-jacentes est toujours bien définie. Ils expriment ainsi un environnement calme, distant du glacier et évoluant de façon progressive, sans changement brusque.

Groupe II

Le groupe II est formé de sables moyens à très fins, toujours bien stratifiés et homogènes. L'aspect physique de ces sables est présenté par le tableau 4.2. Les sables très fins, qui se retrouvent au sein du sous-groupe IIC, montrent tous une stratification horizontale. Deux des trois échantillons sont situés sous des silts du groupe I (A15, sous A16, et WI1, sous WI2), tandis que LW⁶ est intercalé dans des sables fins. Les échantillons du sous-groupe IIA (sable fin) sont tous stratifiés horizontalement, à l'exception de l'échantillon B15, qui provient d'une unité située au-dessus d'une faille. Le pendage de 40° qui a été mesuré ne correspond probablement pas au pendage existant lors de la mise en place car l'affaissement des sédiments a certainement provoqué des modifications.

Les sables plus grossiers du sous-groupe IIB montrent un mélange de stratifications

Tableau 4.2: Aspect stratigraphique, groupe II

Stratigraphie des échantillons du groupe II		
Sous-groupe IIA	Sous-groupe IIB	Sous-groupe IIC
WC1, str. hor. A30, str. hor. LS3, str. hor. LS1, str. hor. CT2, str. hor. B15 40°→350° fail LS4, str. hor. FL1, str. hor. LW5, str. hor. SM3, str. hor. A11, str. ent.	CP7, non str. WC2, 28°→200° WK2, str. hor. MA6, 9°→200° CP1, str. hor. BR4, 14°→250° CP2, str. hor. MA4, str. hor. FA1, 8°→210° LS5, str. hor. AL2, str. hor.	A15, str. hor. WI1, str. hor. LW6, str. hor.

horizontales et de stratifications accusant des pendages variant de 8° à 28°. On s'aperçoit ainsi que l'aspect stratigraphique des unités est légèrement plus diversifié que pour le sous-groupe IIA.

On remarque aussi que la progression des sables très fins à moyens (IIC, IIA, IIB), correspond à l'évolution de l'aspect stratigraphique des unités, c'est-à-dire que les sables fins sont stratifiés horizontalement et que les sables plus grossiers ont tendance à être déposés avec des pendages. La classification des échantillons en sous-groupes, effectuée en fonction de la taille des particules, permet donc de séparer les unités selon leur aspect stratigraphique.

On constate aussi que la qualité du tri diminue lorsque les particules deviennent plus grossières. Cette progression, bien que peu perceptible à l'aide d'indices de tri, est bien exprimée par la position des sous-groupes par rapport à la courbe des points-tamis de l'analyse factorielle des correspondances. Sur le plan 1-2, le sous-groupe IIB occupe l'intérieur de la courbe, ce qui dénote un moins bon tri. Le sous-groupe IIA se situe par contre à l'extérieur de la courbe, démontrant ainsi un triage plus efficace. D'ailleurs, cette distinction s'avère encore plus évidente sur le diagramme-plan 1-3.

Le groupe II correspond ainsi à l'évolution d'un milieu de sédimentation très calme (stratigraphie de type basal, sous-groupe IIC) vers un milieu certainement plus dynamique, qui montre des tendances vers une stratigraphie de type presque frontal (sous-groupe IIB). Considéré dans son ensemble, le groupe II correspond à un milieu de sédimentation de type distal, contrôlé par l'action morpho-génétique de l'eau.

Groupe III

Le groupe III est formé de sables moyens à grossiers. L'aspect stratigraphique des unités est présenté dans le tableau 4.3. On s'aperçoit qu'il existe des différences évidentes entre les sous-groupes.

Tableau 4.3: Aspect stratigraphique, groupe III

Stratigraphie des échantillons du groupe III		
Sous-groupe IIIA	Sous-groupe IIIB	Sous-groupe IIIC
AL1, str. hor. LS6, 25°→45° LS2, 25°→145° SM1, 22°→140° CP3, fond barque LS9, non str. LS7, 16°→145° L2A, 24°→95° EW3, str. ent.	CT4, str. hor. BR6, str. hor. CT3, str. hor. A13, 20°→230° MH4, str. ent. EW5, 22°→240° F16, 21°→25° CP5, 42°→80° fail F1B, 22°→280° EW1, 38°→180° fail LW4, 26°→185° B16, s déformée WI3, 20°→150° A10, non str. WF1, 22°→110° MD3, fond barque	FA2, non str. EW4, s faible F11, non str. L2B, non str. L1A, s faible F3B, s varia. F1A, non str. F3A, s varia. EW7, non str. BR1, s faible

Le sous-groupe IIIA est composé d'échantillons très bien stratifiés et montrant des pendages qui varient entre 16° et 25°. On sait que la pente d'équilibre dans un milieu aquatique est de 22°. Il est donc évident que ces pendages correspondent essentiellement à

des strates frontales deltaïques et qu'ils témoignent d'une brusque rupture de compétence. Leur mise en place s'effectue par l'eau dans un milieu aquatique.

Le sous-groupe IIIB montre un mélange de stratifications horizontales, de pendages divers et de structures déformées. Ces structures de déformations (échantillons CP5, EW1 et B16) indiquent la présence de glace. Par exemple, le pendage mesuré de CP5 est de 42°. Il est difficile de concevoir un processus qui permettrait la mise en place de stratifications si inclinées. Par ailleurs, l'unité sus-jacente à EW1 (EW2) montre un décrochement d'environ 2 mètres (photo 4.2). La fonte de glace enfouie est certainement la cause de ces déformations. Ainsi, la glace ne contrôle pas la mise en place des sédiments, elle ne fait que modifier leur aspect physique. Le milieu de sédimentation semble donc plus énergétique et variable que pour le sous-groupe IIIA, bien qu'ici, l'eau joue encore le rôle principal dans la genèse des formes.

Par contre, le sous-groupe IIIC diffère de IIIA et IIIB par l'absence de stratification. La taille des particules est sensiblement la même et ceci est un indice que l'agent de transport possède à peu près la même énergie. Mais le matériel est plus hétérogène. La présence de sédiments fins et grossiers nous indique que le transport s'est effectué sur un laps de temps plus court et dans un environnement variable, car aucune classe granulométrique n'est favorisée. L'influence de l'eau semble donc diminuer quelque peu.

On voit ici l'aide que la stratigraphie apporte à l'étude des granulométries. Il serait difficile de distinguer entre ces sous groupes en se basant seulement sur les notions de médianes et de $Qd\phi$ (à preuve, les sous-groupes IIIA et IIIB se superposent à IIIC sur la figure 3.11). Mais l'analyse factorielle des correspondances réussit à faire la distinction entre ces sous-groupes. En effet, les sous-groupes IIIA et IIIB chevauchent la courbe des point-tamis tandis que le sous-groupe IIIC s'inscrit nettement à l'intérieur de la courbe et semble attiré vers l'intersection des axes. On sait que les échantillons qui se trouvent près de l'intersection des axes ont généralement un profil granulométrique plus plat, ce qui indique un

Photo 4.1: Echantillon FO4, sommet de Farrellton

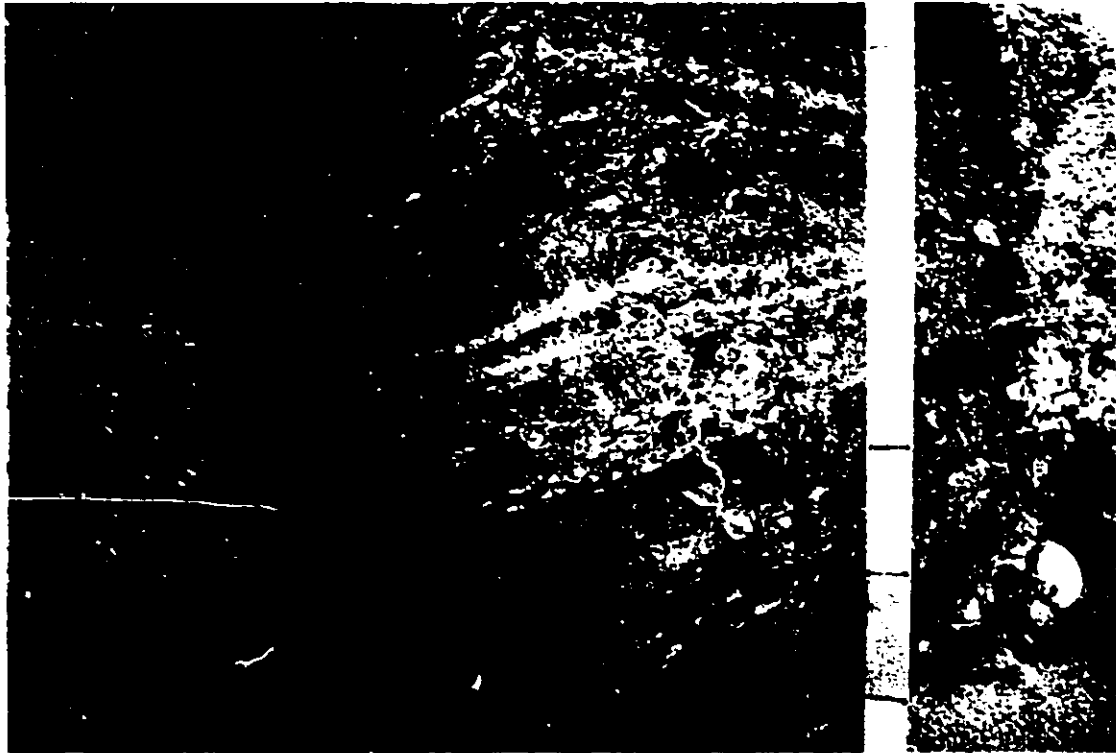


Photo 4.2: Edelweiss 1, site 8. Notez le décrochement



tri moins intense. Mais on s'aperçoit qu'en plus d'un profil moins redressé, ces échantillons sont caractérisés par une absence de stratification. On doit donc conclure que la glace joue un rôle plus important pour ces quelques échantillons.

Le groupe III continue l'évolution amorcée par le groupe II, alors que le sous-groupe IIIA semble être en quelque sorte le prolongement du sous-groupe IIB. Les échantillons du groupe III montrent des faciès de type distal intermédiaire, c'est-à-dire situés entre un type distal à proprement dit, et un type proximal.

Groupe IV

Les unités du groupe IV montre sensiblement la même évolution que les unités du groupe III alors que les échantillons sont plus grossiers. Le tableau 4.4 présente l'aspect des faciès stratigraphiques du groupe IV.

Le sous-groupe IVA est formé d'échantillons très bien stratifiés et qui ont des pendages variant de 18° à 28°, soit des pendages de types deltaïques frontaux. La ressemblance entre l'angle des pendages du sous-groupe IVA est remarquable.

Le sous-groupe IVB est composé d'échantillons qui sont pour la plupart stratifiés avec des pendages variables (14° à 29°), et ou montrant des déformations et des failles. Les échantillons du sous-groupe IVB sont les plus grossiers. La mise en place de ces sédiments nécessite donc un agent de transport très puissant. Les stratifications et les pendages nous indiquent que ce transport s'effectue par l'eau.

On sait aussi que la présence de pendages frontaux témoignent d'un transport par traction (bed-load). En effet, selon Axelsson "For a river to be able to form a delta with real foreset beds, the most important condition is ... that there should be bed-load transportation right up to the mouth" (1967, p18). Ce type de stratification implique donc l'existence d'un

Tableau 4.4: Aspect stratigraphique, groupe IV

Stratigraphie des échantillons du groupe IV			
S.-groupe IVA	S.-groupe IVB	S.-groupe IVC	S.-groupe IVD
A33, str. ent MA5, 18°→120° B10, 22°→320° BR2, 18°→320° MD1, 22°→240° WO1, 28°→200° WO2, 28°→200° MH5, non str.	LW2, 29°→140° CP6, 42°→80° B14, déforma. F14, 21°→25° CP4, s faible faille WK3, 18°→90° 14B, 27°→240° MA1, non str. A14, 22°→240° EW2, non str. faille	B11, 22°→320° WF2, 25°→110° F15, non str. LC1, s faible BR8, non str. LC2, non str. BR3, non str. WK4, non str. EW6, non str. FL2, str. hor. CT1, non str. GOF, str. hor. B12, non str. SM2, 22°→180° BR5, s faible A12, str. ent. LW3, str. hor. MD2, non str. EW8, non str.	LW1, s faible F2B, non str. FA3, non str. WK5, non str. BR9, non str. LO1, non str. F2A, non str. A32, non str. MA2, non str. FL4, non str.

cours d'eau qui prend en charge les sédiments près du glacier, pour les transporter et les abandonner subitement dans un plan d'eau.

Mais des particules si grossières ne peuvent être transportées sur de longues distances. La sédimentation doit s'effectuer non loin de la source de matériel (soit le glacier). De plus, certaines unités montrent des structures de déformations (CP4, CP6, B14 et EW2), confirmant ainsi la proximité de la glace.

Le sous-groupe IVC est formé d'échantillons qui, en majorité, ne sont pas stratifiés. Les quelques échantillons stratifiés montrent des pendages d'environ 22°. Pourtant, la taille des particules est à peu près la même que pour le sous-groupe IVA et le degré de triage est moins bon. L'agent de transport est encore l'eau mais la distance parcourue est plus courte. L'eau joue donc un rôle de moins en moins important dans la mise en place de ces sédiments.

Les échantillons du sous-groupe IVD ne sont pas stratifiés et le matériel est très hétérogène. L'aspect des courbes granulométriques et l'absence de stratification nous porte à croire que l'eau n'est plus le principal agent de transport. En effet, la stratigraphie et la présence de blocs anguleux dans certaines unités du sous-groupe nous indiquent que la glace est le principal agent morphogénétique de la majorité de ces sédiments et que l'eau, bien que présente, ne vient que modifier l'aspect des sédiments.

Les échantillons qui forme le groupe IV s'organisent en suivant sensiblement le même patron que les échantillons du groupe III, à l'exception du sous-groupe IVD qui est bien distinct, tant par son aspect stratigraphique que granulométrique. Cette organisation similaire des groupes et sous-groupes peut s'observer à partir des diagrammes-plans de l'analyse factorielle des correspondances (plan 1-2 et plan 1-3). Comme pour les sous-groupes IIIA et IIIB, les sous-groupes IVA et IVB chevauchent la courbe des points-tamis du plan 1-2, démontrant ainsi un bon tri. De la même façon, le sous-groupe IVC s'inscrit à l'intérieur de la courbe. Mais le sous-groupe IVD se situe franchement à l'intérieur de la courbe et certains échantillons se situent de part et d'autre de l'intersection des axes. Ceci met en évidence un profil granulométrique très plat.

En général, les échantillons du groupe IV sont mis en place dans un milieu plus proximal que les échantillons du groupe III car le milieu de sédimentation est plus énergétique. Néanmoins, l'eau joue encore un rôle prédominant dans le transport et la mise en place de ces sédiments (à l'exception de IVD). Mais la glace viens parfois modifier l'aspect physique de certaines unités, notamment dans le sous-groupe IVB, où on constate la présence de quelques failles. Quand au sous-groupe IVD, il se distingue nettement par son aspect très proximal.

Définition des environnements

Chaque groupe et sous-groupe se voit ainsi attribuer un environnement de sédimentation. Cet exercice suppose que chaque environnement est bien défini alors qu'en réalité il existe un continuum entre ceux-ci. De plus, on ne peut assigner un type d'environnement aux douze sous-groupes. Nous avons divisé ces sous-groupes selon cinq types d'environnement qui expriment la distance entre le lieu de sédimentation et le glacier: contact de glace (IVD), proximal (IVC, IIIC), proximal intermédiaire (IVB), distal intermédiaire (IVA, IIIB, IIIA) et distal (les groupes II et I).

A prime abord, le regroupement d'échantillons provenant de groupes différents peut sembler suspect. Mais l'affinité démontrée par certains sous-groupes nous force à les assembler. Considérons par exemple les sous-groupes IVC et IIIC (le groupe proximal). L'absence de stratification caractérise leur aspect physique et la qualité du tri des échantillons est similaire. On sait aussi que même si le rôle de l'eau est prédominant, l'influence de la glace est un peu plus importante. Par ailleurs, ces deux sous-groupes occupent des positions similaires par rapport à leur groupe respectif sur le plan 1-2 de l'analyse factorielle des correspondances. Et cette situation est encore plus évidente lorsqu'on considère le plan 1-3, car ces deux sous-groupes se superposent. Il nous semble donc pertinent de conclure que le milieu de mise en place des sous-groupes IVC et IIIC est identique.

Le rassemblement des sous-groupes IVA, IIIB et IIIA pour former le groupe distal intermédiaire mérite aussi des explications. Encore ici, l'aspect stratigraphique des échantillons (pendages de type deltaïque frontal) est presque identique. De plus, la taille des particules et la qualité du tri sont très similaires. Un regard sur le diagramme médiane-Qd ϕ le confirme, ces trois sous-groupes étant situés côte-à-côte (fig. 3.11). Cette situation se répète si on considère les plans de l'analyse factorielle des correspondances, car ces sous-groupes sont encore très près les uns des autres, surtout sur le plan 1-3. Selon toute évidence, les

échantillons des sous-groupes IVA, IIIB et IIIA sont mis en place dans des milieux semblables. Il semble approprié de les grouper ensemble.

Les groupes I et II sont formés de sédiments de taille très diverse (sable et silt). Néanmoins, l'environnement de sédimentation semble assez calme. De plus, les échantillons de ces groupes sont souvent associés stratigraphiquement à l'intérieur des mêmes coupes. Il est donc opportun de les grouper en un seul type.

La cartographie et la localisation de ces cinq types d'environnement devrait nous permettre de montrer l'existence de certains patrons dans la distribution des sédiments dans la vallée de la Gatineau.

LOCALISATION STRATIGRAPHIQUE ET GEOGRAPHIQUE

La figure 4.1 localise les sites étudiés dans la vallée de la Gatineau. Ceux-ci sont projetés en fonction de leur altitude sur un transect orienté parallèlement à la vallée. L'ordonnée représente l'altitude et l'épaisseur des couches. Les unités stratigraphiques de chaque coupe sont représentées selon les 5 types d'environnement définis dans les pages précédentes. Ce graphique permet de comprendre, d'un seul coup d'oeil, la variabilité des élévations et les différences existant au niveau de l'épaisseur des coupes. On doit aussi tenir compte que lorsqu'on fait face à une coupe d'une épaisseur considérable, on devrait s'attendre à retrouver une plus grande diversité de sédiments. On note aussi que la distribution des sites est, en fonction des latitudes, à peu près constante tout au long de la vallée, à l'exception des trois derniers qui sont plus dispersés (Low 21, Martindale 22 et Ste-Marie 23).

On retrouve des échantillons de type distal à peu près partout dans la vallée (en bleu sur la fig. 4.1). En effet, presque tous les sites ou groupes de sites renferment ces sédiments.

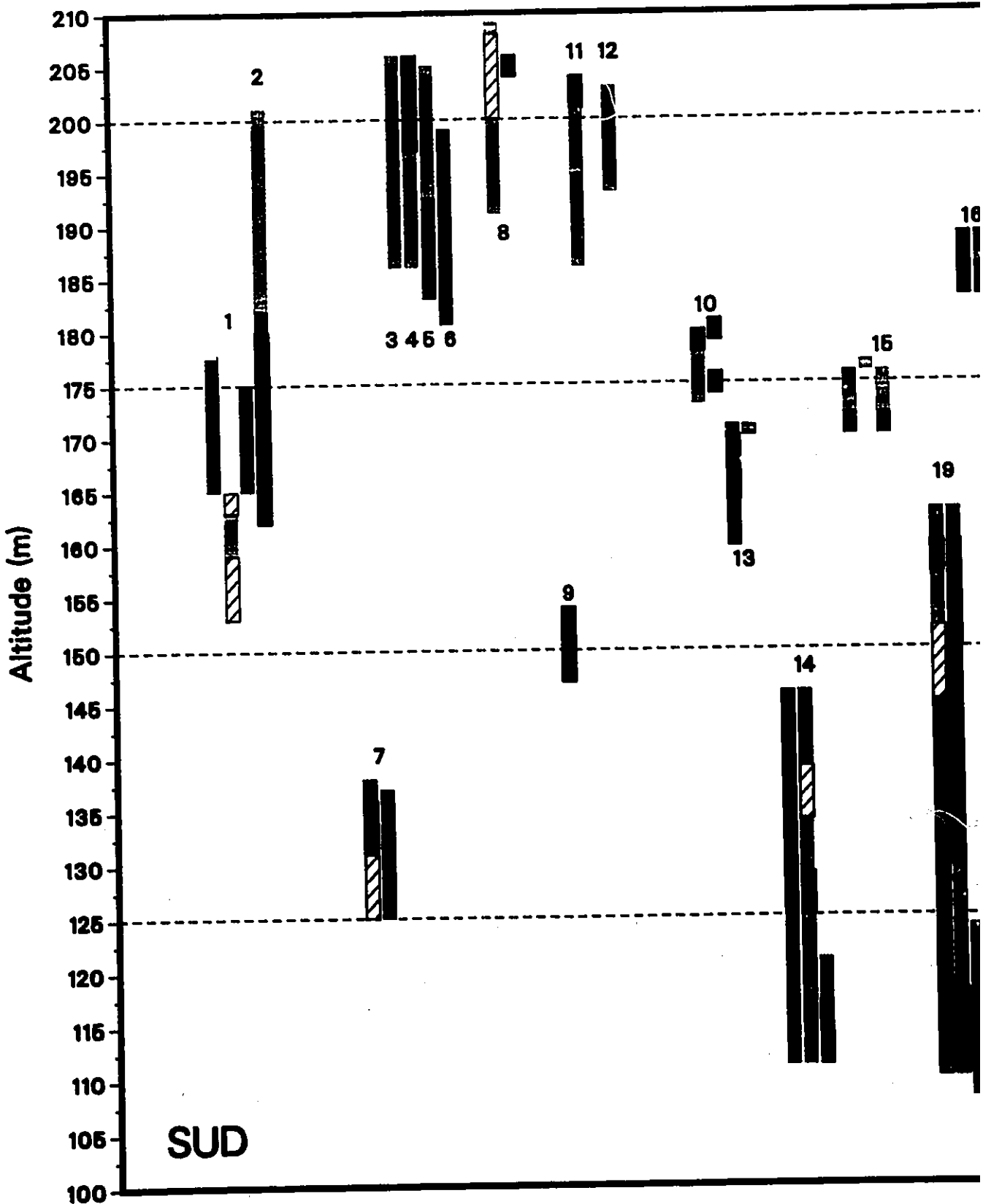
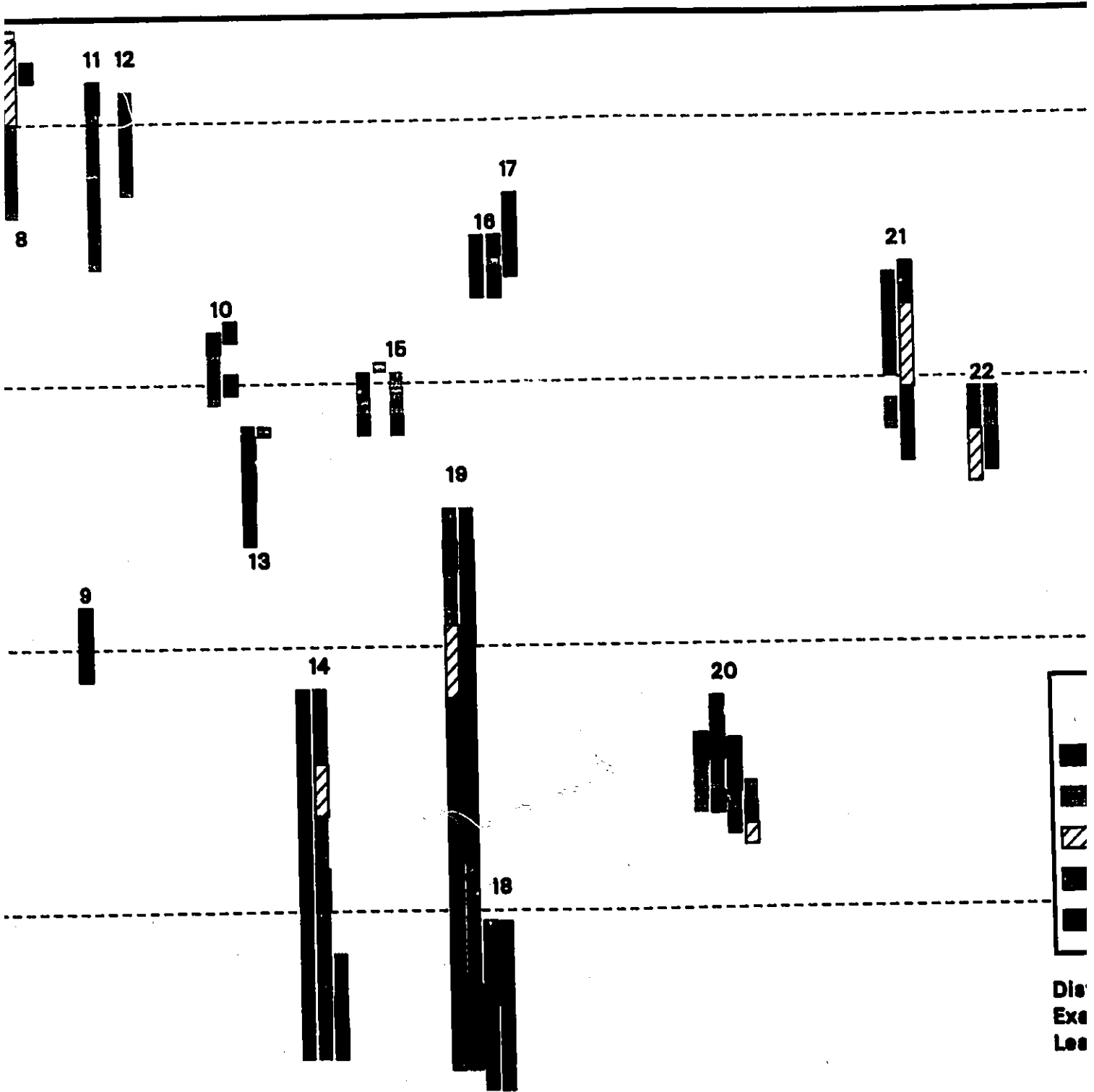


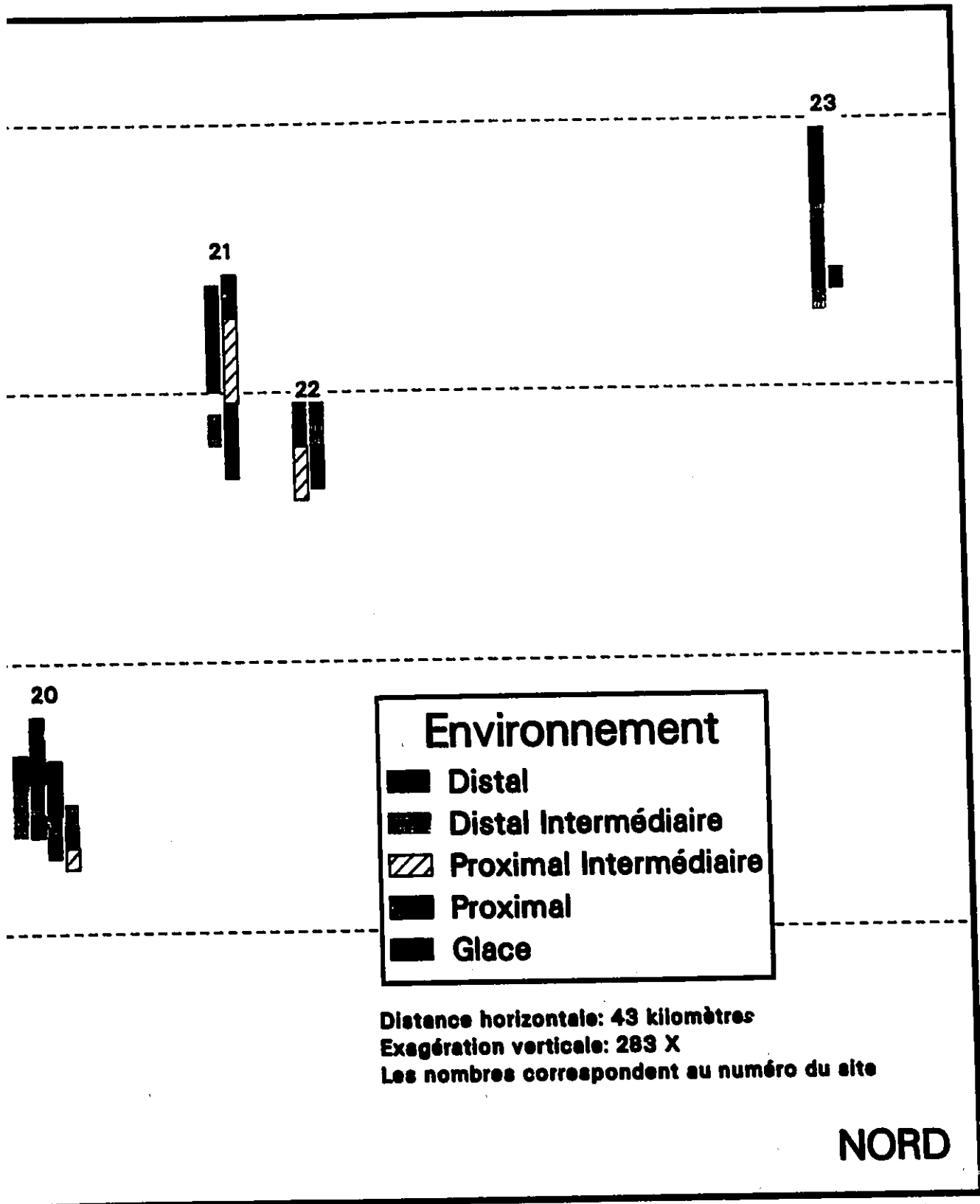
Figure 4.1: Localisation des unités

Transect Nord-Sud



unités

d-Sud



Mais c'est surtout dans les régions de Cantley et de Wilson's Corner que ceux-ci composent la majeure partie des coupes, notamment aux sites 1, 5 et 6. On remarque ici que ces sites se situent à une altitude supérieure à la moyenne. A basse altitude, seule la gravière d'Alcove (site 14) montre une telle importance en sédiments distaux, et ce, à l'extrémité aval (sud) du site.

Les sédiments appartenant au type distal intermédiaire sont prépondérants dans les régions d'Edelweiss-Wilson's Corner (sites 3,4,5,6 et 8) et de Masham (sites 11 et 12). A l'instar des sédiments distaux, ces sites se retrouvent à de hautes altitudes, sur les flancs des hautes terres et à l'extérieur de l'axe principal de la vallée. Les quelques sites de la vallée qui renferment des sédiments de type distal intermédiaire montrent des unités qui ont tout au plus une épaisseur de quelques mètres.

Les unités qui composent le groupe proximal intermédiaire sont dispersées également le long de la vallée. Celles-ci occupent généralement une position stratigraphique basse (sites 1, 7, 20 et 21). Elles s'associent avec des sédiments de type distal et distal intermédiaire.

La distribution des sédiments de type proximal diffère légèrement des précédents. En effet, bien qu'on les retrouve partout dans la vallée, ceux-ci semblent un peu plus fréquents à des altitudes plus basses. On note en particulier l'unité F11 (site 19, coté sud) qui atteint une épaisseur de 35 mètres. Egalement, quatre sites situés approximativement à la même latitude renferment une grande quantité de sédiments de type proximal (sites 16, 17, 18 et 19). Dans cette situation, ils s'associent avec des faciès du type glace. Par contre, les sédiments proximaux sont généralement associés aux faciès distal et distal intermédiaire lorsqu'ils se situent de part et d'autre de cet axe (sites 2, 4, 10, 11, 14, 20 et 23).

Les sédiments de type glace montrent la distribution la plus intéressante. En effet, les unités les plus importantes en terme d'épaisseur se regroupent presque exclusivement sur l'axe Farrelton-Lascelles, soient les sites 16, 18 et 19 (le site 18, Farrelton-Est, est indiqué sur la

Photo 4.3: Gravière d'Alcove, site 14



Photo 4.4: Gravière Lascelle, site 16

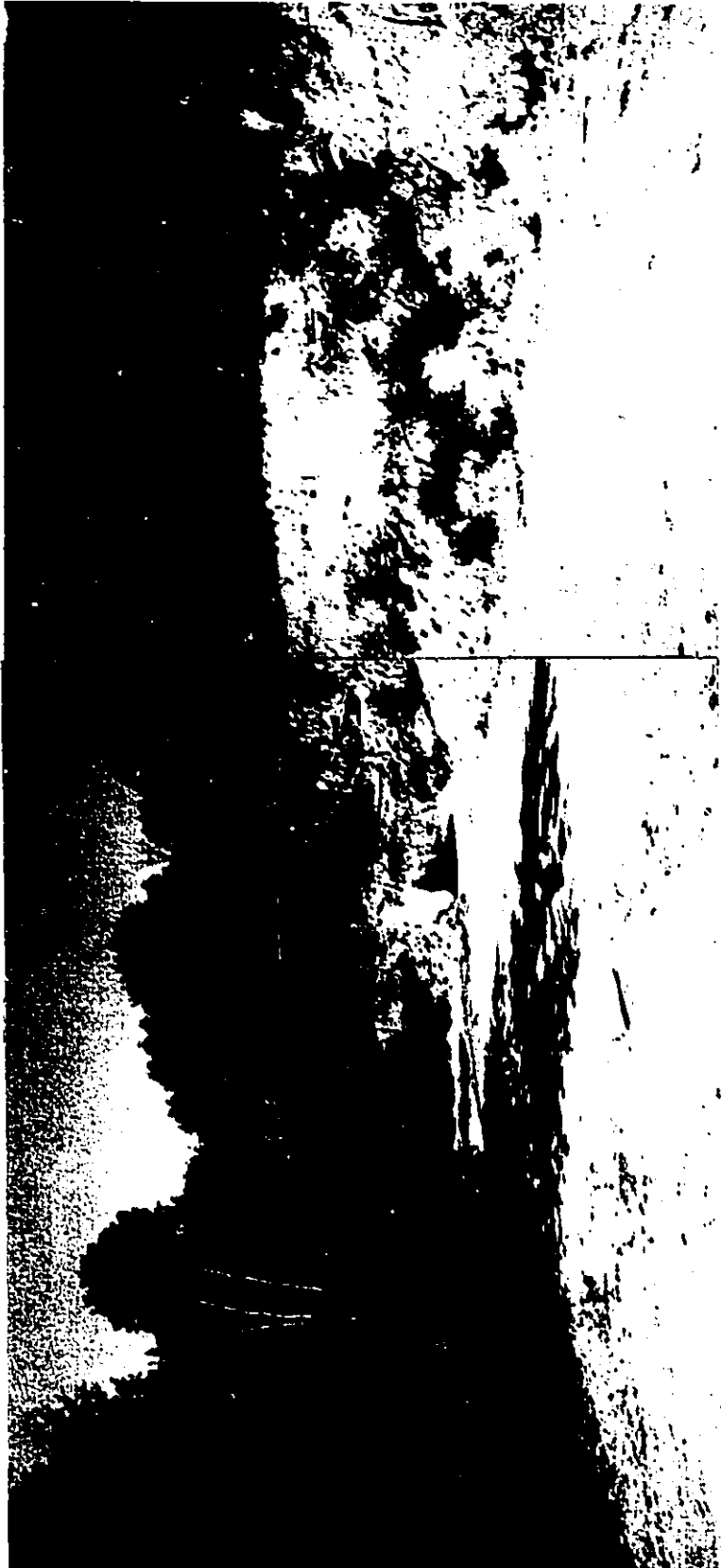


Photo 4.5: Wilson's Corner, site 4

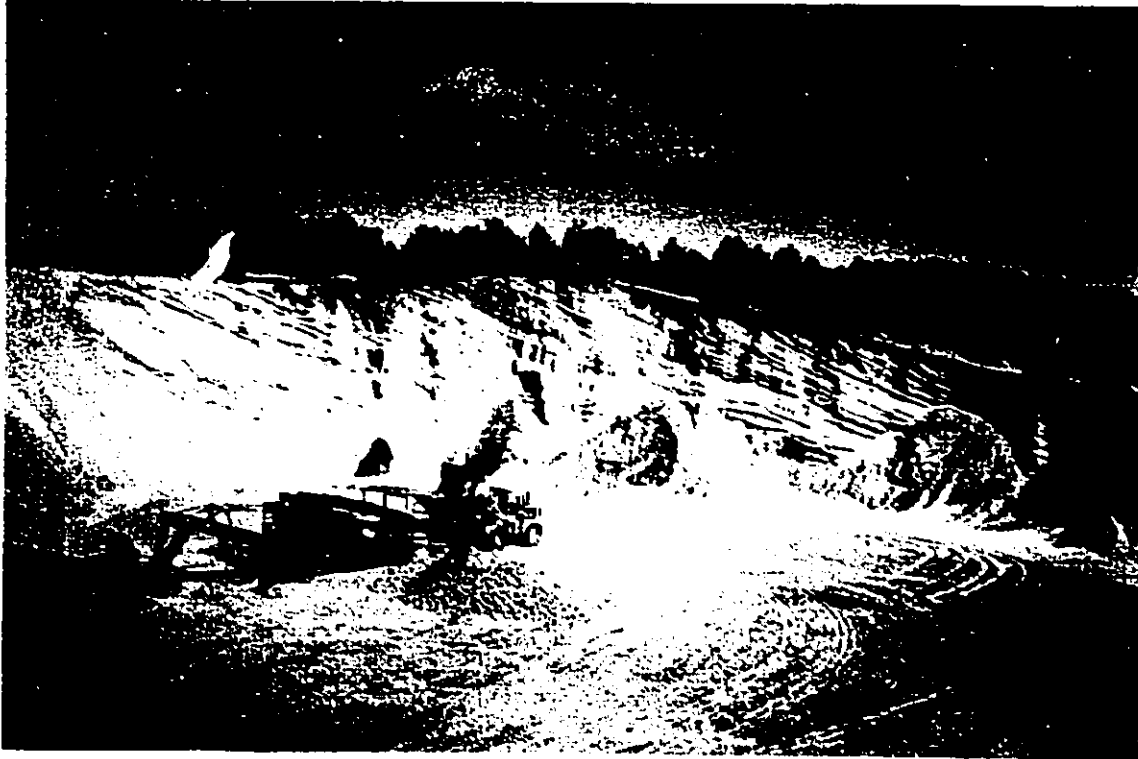


Photo 4.6: Wilson's Corner, site 5

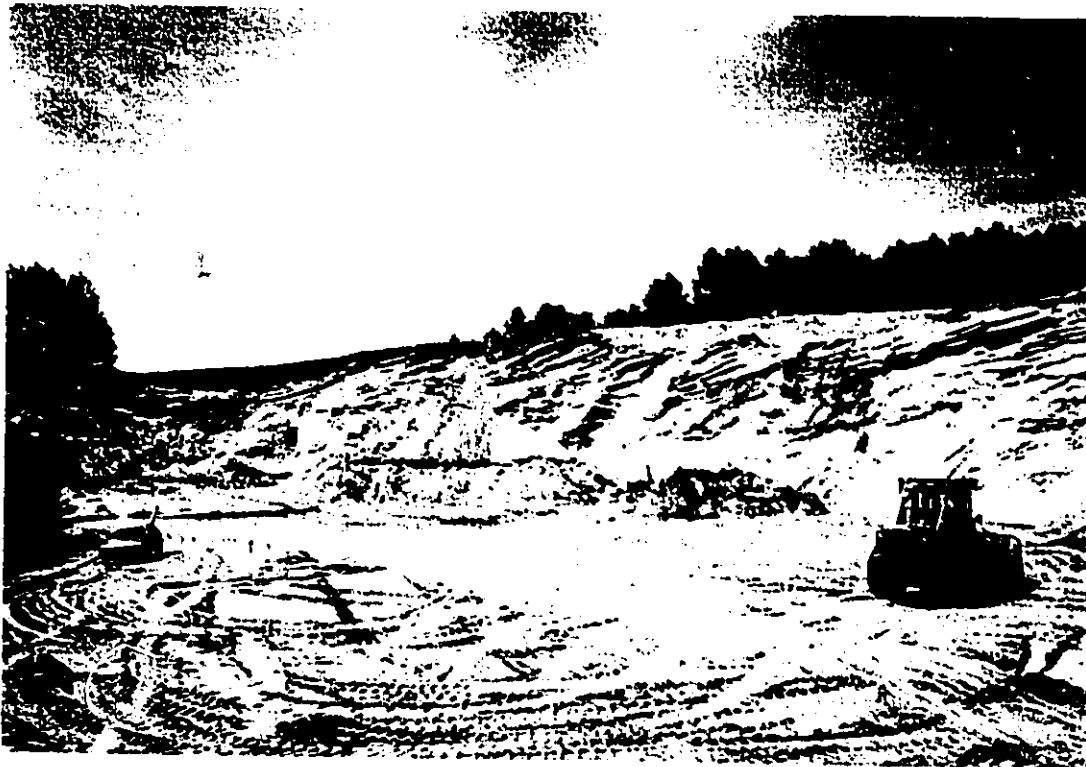


Photo 4.7: Farrellton est, site 18



Photo 4.8: Farrellton, site 19



figure 4.1 comme étant légèrement plus au nord de Farrellton 19, alors qu'en réalité il se situe à la même latitude). A l'extérieur de cet axe, seule la gravière de Low (site 21) montre une unité d'épaisseur importante. Le groupe glace est vraiment le seul groupe montrant une distribution si concentrée.

Généralement, les sédiments de ce type se trouvent à des altitudes plus basses. Ceci est naturel car c'est au fond des vallées que les glaces parviennent à subsister. C'est pourquoi la présence de l'unité LO1 (site 16) à une altitude de 188 mètres (et sur l'axe de Farrellton) est surprenante et certainement significative, car elle indique la présence de glace à haute altitude. De plus, l'association de sédiments de type proximal et glace sur cet axe manifeste de façon éloquente la proximité du glacier lors de la mise en place des dépôts 16, 17, 18 et 19.

Discussion

L'analyse de la figure 4.1 nous permet de déceler quelques particularités. Premièrement, la localisation est différente selon le type de sédiment. Par exemple, ceux de types distaux se situent à plus hautes altitudes, sur les flancs de la vallée. Au contraire, les sédiments de types proximaux et de glace se retrouvent généralement à basse altitude, au fond de la vallée. Mais quelques sites ne suivent pas ces tendances. Par exemple, la gravière d'Alcove (site 14), située à basse altitude, renferme presque exclusivement des sédiments distaux. Au contraire, le site 16 présente des caractéristiques de mise en place au contact de la glace bien qu'il soit situé à une altitude élevée. L'existence de ces sites qui vont à l'encontre des tendances établies témoigne d'une dynamique de mise en place différente.

La répartition et la densité des coupes stratigraphiques situées de part et d'autres de l'axe de Farrellton est différente. En effet, on retrouve quinze gravières au sud de Farrellton, tandis qu'il n'existe que quatre sites au nord de cet axe, et ce, sur une distance à peu près équivalente. Ainsi, la densité des coupes en aval de Farrellton est beaucoup plus élevée.

La diversité stratigraphique des sites étudiés semble aussi varier en fonction de leur latitude. Dans la partie sud de la zone d'étude, les coupes présentent peu de variations stratigraphiques. Dans la plupart des cas, elles ne renferment qu'une ou deux unités différentes, parfois trois. Ces unités appartiennent toujours à des environnements similaires. Ces coupes sont pourtant assez imposantes, avec des épaisseurs de l'ordre d'une vingtaine de mètres. Cette régularité témoigne certainement d'un environnement très constant, peu changeant, au sud de la zone à l'étude.

Par contre, les sites situés dans la partie nord de la zone d'étude montrent une grande variabilité stratigraphique. Certaines petites coupes (dix mètres ou moins) renferment jusqu'à quatre ou cinq unités différentes. Et celles-ci sont souvent de types totalement différents. Par exemple, les quatre coupes du site 20 présentent des faciès proximaux (ou de glace) interstratifiés avec des sédiments distaux. Cette grande diversité sur une si petite hauteur nous indique que le milieu de mise en place était plus variable, depuis Farrellton jusqu'à l'extrémité nord de la région d'étude.

La figure 4.1 illustre assez clairement la concentration de dépôts du type glace sur l'axe de Farrellton. Ce phénomène est, en soit, très significatif. Mais la présence des gravières d'Alcove et de Lascelles-Spruyt (sites 14 et 15) tout juste à l'aval de Farrellton est toute aussi significative. En effet, partout dans la vallée, les sites situés dans une même région montrent des sédiments de types similaires. Par exemple, les coupes de la région de Wilson's Corner et de Cantley sont formées de sédiments de type distaux. Et la région de Brennans Hill, Low et Martindale montre aussi des sites d'aspect stratigraphique semblable. Mais cette situation ne se répète pas dans la région de Farrellton. Les sites 18 et 19 (Farrellton-Est et Farrellton) témoignent d'un environnement très dynamique et très proximal. Par contre, la gravière d'Alcove indique un environnement tout aussi dynamique mais beaucoup plus distal. Ce phénomène existe aussi un peu plus à l'ouest, avec les sites 16 et 17 (environnement proximal) et le site 15 (environnement distal).

La proximité de ces gravières, qui traduisent des milieux de sédimentation différents, marque l'existence d'un fort gradient glace-proximal-distal vis-à-vis de l'axe de Farrellton.

Conclusion

Pour mieux illustrer ces tendances, l'ensemble des remarques soulevées précédemment peuvent se résumer en quelques lignes:

- 1-Les sédiments des sites 14 et 16 ne suivent pas les normes établies pour le reste de la vallée.
- 2-Les gravières sont beaucoup moins nombreuses au nord de Farrellton qu'au sud.
- 3-A partir de Farrellton, les coupes renferment un grand nombre d'unités d'environnement variable.
- 4-Les sédiments de type glace sont concentrés sur l'axe de Farrellton, sur toute la largeur de la vallée.
- 5-Les gravières d'Alcove et de Farrellton marquent le passage rapide d'un environnement distal à proximal.

De plus, l'édification d'une gravière de la taille de Farrellton (plus de cinquante mètres d'épaisseur) nécessite certainement un laps de temps relativement important. La combinaison de tous ces facteurs nous permet d'affirmer que la gravière de Farrellton marque bel et bien un arrêt du retrait glaciaire. L'hypothèse d'un contrôle topographique du Bouclier sur la localisation des sédiments doit donc être rejetée en faveur d'un contrôle glaciologique.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail était de décrire et d'interpréter les dépôts mis en place lors de la déglaciation, de montrer les relations existant entre ces sites, et de déterminer si la déglaciation fut progressive ou marquée par des arrêts. La méthodologie employée fait abstraction des sites et traite chaque échantillon individuellement, ce qui permet de les classer selon leurs propriétés granulométriques et non selon les propriétés des gravières où ils sont prélevés. Cette démarche nous évite de confondre l'observation et l'interprétation.

Ainsi, 23 sites furent visités et 120 échantillons prélevés pour fins d'analyses granulométriques. Ces échantillons sont ensuite regroupés en fonction de leur distribution granulométrique à l'aide d'un programme de classification hiérarchique. On obtient tout d'abord douze sous-groupes, qu'on peut ensuite assembler en quatre grands groupes. Ces sous-groupes sont utilisés lors de l'analyse factorielle des correspondances. Les diagrammes-plans de cette analyse illustrent le continuum granulométrique qui existe entre les sous-groupes adjacents, ainsi que leur grande affinité stratigraphique.

La combinaison de ces techniques d'analyse multivariées, des granulométries et de la stratigraphie nous permet de déterminer cinq types d'environnement de sédimentation. On constate rapidement que l'eau joue un grand rôle dans cette mise en place, et l'on parvient à discerner certains patrons dans la distribution des sédiments. L'existence de ces patrons soulève quelques questions par rapport au modèle de déglaciation présentement admis.

La déglaciation de la vallée de la Gatineau est généralement expliquée par le retrait progressif vers le nord du glacier, accompagné par l'avancée simultanée de la mer de Champlain à son niveau maximum. Les datations au ^{14}C disponibles dans la région (Fulton & Richard, 1987) n'apportent pas d'information additionnelle. Elles proviennent pour la plupart de fossiles marins trouvés entre 140 et 195 mètres dont l'âge apparent se situe entre

11500 et 12000 ans. De plus, ces mêmes auteurs mettent en doute la validité de ces dates, car ils pensent qu'il peut y avoir contamination par des eaux anciennes.

Dans l'état actuel des connaissances, on peut seulement avancer que la déglaciation de la région se serait produite entre 12000 et 11000 BP (Dyke et Prest, 1987). Jusqu'à maintenant, seul Allard (1977a) propose un modèle de déglaciation complet pour la vallée de la Gatineau.

Il affirme que le front glaciaire conservait dans son ensemble une allure presque rectiligne. Le retrait s'effectue vers le nord et est marqué par deux arrêts successifs. Le premier se situe à la latitude de Wakefield et permet la mise en place des deltas de Wilson's Corner (200 à 205 mètres d'altitude) et du dépôt fluvio-glaciaire de Wakefield (137 mètres). Le glacier se retire ensuite et s'immobilise vers Farrellton, favorisant ainsi la mise en place de crêtes morainiques et, tout juste en aval, d'un complexe fluvio-glaciaire sub-aquatique (168 mètres). Ce scénario est plausible dans son ensemble mais nous y voyons quelques problèmes.

Le premier problème est que les deltas de Wilson's Corner et de Masham sont formés de sédiments de type plutôt distal. Si on considère que la mise en place s'effectue à proximité du glacier, on devrait pouvoir retrouver un plus grand nombre d'unités de type proximal. Par ailleurs, les sites situés sur les flancs de la vallée renferment des sédiments qui affichent des pendages de direction très variable, certains assemblages pointant même vers le centre de la vallée (sites 3, 6, 9, 15, 16). Les cours d'eau qui les ont mis en place ne proviennent donc pas toujours du nord, mais aussi des hautes terres bordant la vallée.

Deuxièmement, la mise en place de la gravière d'Alcove (site 14) située entre Wakefield et Farrellton soulève un problème. Cette gravière exploite un delta (photo 4.3) dont l'apex a une altitude de 146 mètres. Il est impossible qu'un delta se forme à cette altitude dans une mer qui, selon Allard, atteint déjà plus de 200 mètres; il doit être mis en place dans un plan d'eau qui atteignait tout au plus 150 mètres. En effet, même un taux de relèvement

isostasique différent ne saurait expliquer une telle dénivellation. De plus, la partie sommitale est constituée d'au moins cinq mètres de matériel fin stratifié provenant de la décantation dans une masse d'eau dont la surface était plus élevée de plusieurs mètres. Il apparaît donc que le delta d'Alcove ne s'est pas formé dans le même plan d'eau que les deltas de Wilson's Corner, car il est peu plausible que le niveau de la Mer de Champlain s'abaisse de plus de cinquantes mètres sur une distance de quelques kilomètres pour ensuite remonter rapidement au nord de Farrelton.

On avait déjà remarqué qu'il existait une différence d'élévation entre les gravières situées au centre et sur les côtés de la vallée. Mais on constate aussi que l'altitude des gravières du centre de la vallée a tendance à augmenter à mesure que l'on se dirige vers le nord. Cette situation n'est pas unique à la vallée de la Gatineau. En effet, les vallées de la Blanche et du ruisseau Pelissier, situées quelques kilomètres à l'est de la zone d'étude, montrent exactement la même progression des altitudes. Allard (1977a) identifie cinq deltas, depuis Perkins jusqu'à Val-Paquin (ceci correspond respectivement aux latitudes de Canley et de Farrelton). Du sud au nord, ces cinq sites affichent des altitudes de 140, 145, 168, 160 et 195 mètres. De plus, Allard (1977a, p. 157), affirme à propos du deuxième delta (145 mètres) "Puisque ce petit delta se situe à une altitude très inférieure à la limite marine, on ne peut que conclure à une transgression marine postérieure à sa formation. Or cette stratigraphie se retrouve à la grandeur de la région, partout où des dépôts fluvio-glaciaires sont à une altitude inférieure à la limite marine".

Il est donc fort probable que la Mer de Champlain n'avait pas encore atteint son altitude maximale immédiatement après la déglaciation, lorsqu'elle envahit ces deux vallées. Cette constatation nous permet d'avancer une nouvelle hypothèse pour expliquer la déglaciation de la vallée de la Gatineau.

Nous croyons que le glacier se retire rapidement vers le nord, accompagné par la mer dont le niveau s'élève progressivement. Cette situation permet la mise en place de dépôts

fluvio-glaciaires successivement plus élevés au centre de la vallée. Le glacier s'immobilise lorsqu'il atteint la région de Farrelton. Cet arrêt est démontré par la prépondérance de sédiments de type glaciaire et proximal dans l'axe de Farrelton. La montée des eaux marines se poursuit pendant cette halte. Les eaux de fonte s'écoulant sur les hautes terres se déversent dans la vallée par les versants, permettant ainsi la mise en place de dépôts fluvio-glaciaires sur les flancs de la vallée. Après l'arrêt, le front glaciaire continue son recul vers le nord. La Mer de Champlain atteint alors son niveau maximal et d'épaisses couches de silt, témoins d'une sédimentation en eau plus profonde, viennent couvrir les sommets des gravières d'Alcove et de Farrelton (sites 14 et 19).

Bien entendu, ce modèle assume que la Mer de Champlain envahit la région à un niveau inférieur à ce qui est généralement admis (environ 200 mètres). Mais des études récentes démontrent que ce phénomène est possible. Par exemple, Fulton & Richard (1987) soumettent deux courbes d'émergences pour la région d'Ottawa. Ils affirment ainsi que: "If the uplift curve for this area is shaped like curve B then it suggests that following initial uplift the area underwent subsidence" (1987, p. 29). Cette subsidence du Bouclier favoriserait donc une transgression de la Mer de Champlain. Ainsi, notre modèle de déglaciation, bien que rudimentaire, est certainement plausible car il permet de concilier les altitudes mesurées et les données géomorphologiques.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLARD, M. 1977a. *Le rôle de la géomorphologie dans les inventaires bio-physiques: l'exemple de la région Gatineau-Lièvre*. Thèse de doctorat, non-puùliée, Université McGill, Montréal, 270 pages.
- ALLARD, M. 1977b. La déglaciation et la mer de Champlain dans la région des basses vallées des rivières Gatineau et du Lièvre. *Annales de l'A.C.F.A.S.*, p. 93.
- ANDERSON, T.W., MOTT, R.J., et DELORME, L.D. 1985. Evidence of a pre-Champlain Sea glacial lake phase in Ottawa Valley, Ontario, and its implications. In: *Geological Survey of Canada, Current Research, Part A, Paper 85-1A*, p. 239-245
- ANTEVS, E. 1925. *Retreat of the last ice-sheet in Eastern Canada*. Geological Survey of Canada, Memoir 146, 138 pages.
- ANTEVS, E. 1928. The last glaciation. *American Geological Society, Research Series 17*.
- ANTEVS, E. 1939. Late Quaternary upwarping of Northeastern North America. *Journal of Geology*, volume 47, p. 707-720.
- ANTEVS, E. 1953. Geochronology of the deglacial and neothermal ages. *The Journal of Geology*, volume 61, numéro 3, p. 195-230.
- AXELSSON, V. 1967. The Laitaure Delta. *Geografiska Annaler*, 49a, p. 6-127
- BALLANTYNE, C.K. 1978. Variations in the size of coarse plastic particles over the surface of a small sandur, Ellesmere Island, N.W.T., Canada. *Sedimentology*, volume 25, p. 141-147.
- BELAND, R. 1954. Preliminary report on Wakefield area, Gatineau County. *Québec department of mines, preliminary report 298*, 7 pages.
- BELANGER, J.R et HARRISON, J.E. 1980. Regional geoscience information: Ottawa-Hull. *Geological Survey of Canada, paper 77-11*, 18 pages.
- BENZECRI, J.P. 1976. *L'analyse des données. Tome 2, L'analyse des correspondances*. Editions Dunod, Paris, 616 pages.
- BENZECRI, J.P. 1980. *L'analyse des données. Tome 1, La Taxinomie*, Editions Dunod, Paris, 623 pages.
- BICKEL, E.D. 1970. *Pleistocene non-marine mollusca of the Gatineau Valley and Ottawa areas of Québec and Ontario, Canada*. Sterkiana, volume 38, 42 pages.
- BLANCK, J.P. et KOROSEC, B.P. 1979. Etude des courbes granulométriques globale (0,0002-2MM) par l'analyse factorielle des correspondances. Application aux formations superficielles des "Llanos Centrales" du Vénézuéla. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, volume 28, p. 1-13.
- BLUCK, B.J. 1974. Structural and directional properties of some valley sandur deposits in

- southern Iceland. *Sedimentology*, volume 21, p. 533-554.
- BOOTHROYD, J.C., and ASHLEY, G.M. 1975. Processes, bar morphology and sedimentary structures on braided outwash fans, northeastern Gulf of Alaska. In: *Glacio-fluvial and glacio-lacustrine sedimentation*, eds; Jopling, A.V. and McDonald, B.C., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 23, p. 193-222.
- BORNS, H.W. et HUGHES, T.J. 1977. The implications of the Pineo Ridge readvance in Maine. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XXXI, numéro 3-4, p. 203-206.
- BRADLEY, W.C., FAHNESTOCK, R.K. and ROWEKAMP, E.T. 1972. Coarse sediment transport by flood flows on Knick River, Alaska. *Geological Society of America Bulletin*, volume 83, p. 1261-1284.
- BRIGGS, D. 1977. *Sediments. Sources and Methods in Geography*, Editions Butterworth, Fakenham, 192 pages.
- BRIGGS, L.I. and MIDDLETON, G.V. 1965. Hydromechanical principles of sediment structure formation. In: *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 12, p. 5-16.
- BROCARD, M., PUMAIN, D. et REY, V. 1977. Analyse de données: Traitements visuels et mathématiques. *L'Espace Géographique*, numéro 4, p. 247-260.
- BRUSH, L.M. 1965. Sediment sorting in alluvial channels. In: *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 12, p. 25-33.
- BUDD, W.F. et SMITH, I.N. 1987. Conditions for growth and retreat of the Laurentide ice sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XLI, numéro 2, p. 279-290.
- CHAUVIN, L., MARTINEAU, G., et LASALLE, P. Deglaciation of the lower St-Lawrence Region, Québec. *Geological Society of America, Special Paper* 197, p. 111-123.
- CHURCH, M.A. 1972. *Baffin Island sandurs: a study of Arctic fluvial processes*. Geological survey of Canada, Bulletin 216, 208 pages.
- CHURCH, M. and GILBERT, R. 1975. Proglacial fluvial and lacustrine environments. In: *Glacio-fluvial and glacio-lacustrine sedimentation*, eds; Jopling, A.V. and McDonald, B.C., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 23, p. 22-100.
- CLARK, P. et KARROW, P.F. 1984. Late Pleistocene water bodies in the St. Lawrence Lowland, New York, and regional correlations. *Geological Society of America Bulletin*, volume 95, p. 805-813.
- CRONIN, M. 1977. Champlain Sea foraminifera and ostracoda: A systematic and paleoecological synthesis. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XXXI, numéro 1-2, p. 107-122.
- DAVID, M., CAMPIGLIO, C. and DARLING, R. 1974. Progresses in R- and Q-Mode

- analysis: Correspondence analysis and its application to the study of geological processes. *Canadian Journal of Earth Sciences*, volume 11, p. 131-146.
- DAGBERT, M. and DAVID, M. 1974. Pattern recognition and geochemical data: An application to Monteregian Hills. *Canadian Journal of Earth Science*, volume 11, p. 1577-1585.
- DEWEZ, V. 1988. *Sources, limites d'extension et fusion des glaciers au Wisconsinien supérieur dans la chaîne Ruby et la bassin d'Aishihik, Territoire du Yukon. Volume 1 et 2.* Thèse de doctorat, Département de géographie, Université d'Ottawa, Ottawa, 321 et 287 pages.
- DREIMANIS, A. 1977. Correlation of Wisconsin glacial events between the eastern Great Lakes and the St-Lawrence Lowlands. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XXXI, numéro 1-2, p. 37-51.
- DRESSER, J.A. et DENIS, T.C. 1944. Géologie du Québec. *Québec departement of mines, geological report number 20*, p. 193-217.
- DUMITRIU, C., WEBBER, R. and DAVID, M. 1979. Correspondance analysis applied to a comparison of some rhyolitic zones in the Noranda area (Québec, Canada). *Mathematical Geology*, volume 11, numéro 3, 1979.
- DUMITRIU, M., DUMUTRIU, C. and DAVID, M. 1980. Typological factor analysis: A new classification method applied to geology. *Mathematical Geology*, volume 12, numéro 1, p. 69-77.
- DYKE, A.S., DREDGE, L.A. and VINCENT, J.S. 1982. Configuration and dynamics of the Laurentide ice sheet during the late Wisconsin maximum. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XXXVI, numéro 1-2, p. 5-14.
- DYKE, A.S. and PREST, V.K. 1987. Late Wisconsinan and Holocene history of the Laurentide ice sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XLI, numéro 2, p. 237-263.
- ELSON, J.A. 1969. Late Quaternary marine submergence of Québec. *Revue de Géographie de Montréal*, volume XXIII, numéro 3, p. 247-258.
- EYNON, G. and WALKER, R.G. 1974. Facies relationship in Pleistocene outwash gravel, southern Ontario: a model for bar growth in braided rivers. *Sedimentology*, volume 21, p. 43-70.
- FAHNESTOCK, R.K. 1963. *Morphology and hydrology of a glacial stream, White river, Mount Rainier, Washington.* U.S. Geological Survey, Paper 422a, 70 pages.
- FAUCHON, A. 1980. *La géomorphologie des environs du Lac Sainte-Marie, Gatineau, Québec.* Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec, 85 pages.
- FOLK, R.L. and WARD, W.C. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, volume 27, numéro 1, p. 3-26.
- FRASER, G.S. and COBB, J.C. 1982. Late Wisconsinan proglacial sedimentation along the west Chicago moraine in northeastern Illinois. *Journal of Sedimentary Petrology*, volume 52, numéro 2, p. 473-491.

- FULTON, R.J. 1967. *Deglaciation studies in Kamloops Region, an area of moderate relief, British Columbia*. Geological Survey of Canada, Bulletin 154, 36 pages.
- FULTON *et al.* 1987. Résumé du Quaternaire de la région de l'Outaouais. *XII^{ème} congrès INQUA*, Ottawa, Canada, guide d'excursion, Conseil national de recherche, p. 9-23.
- FULTON, R.J. and PREST, V.K. 1987. The Laurentide Ice Sheet and its significance. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XLI, numéro 2, p. 181-186.
- FULTON, R.J. and RICHARD, S.H. 1987. Chronology of late Quaternary events in the Ottawa region. In: *Quaternary Geology of the Ottawa Region, Ontario and Québec*. ed. R.J. Fulton. Geological Survey of Canada, Paper 86-23, p. 24-30.
- FULTON, R.J., RODRIGUES, C.G. 1987. Glacial and glaciomarine deposits and deglaciation of the area northwest of Ottawa, excursion C. *XII^{ème} congrès INQUA*, Ottawa, Canada, guide d'excursion, Conseil national de recherche, p. 37-43.
- GADD, N.R. 1977. Off-lap sedimentary sequence in Champlain Sea, Ontario and Québec.; in Report of Activities, Part A, *Geological Survey of Canada, Paper 77-1A*, p.379-380.
- GADD, N.R. 1980. Late-glacial regional ice-flow patterns in eastern Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, volume 17, p. 1439-1453.
- GADD, N.R. 1986. Lithofacies of Leda clay in the Ottawa basin of the Champlain Sea. *Geological Survey of Canada, Paper 85-21*, 44 pages.
- GADD, N.R. 1987. Geological setting and Quaternary deposits of the Ottawa region. In: *Quaternary Geology of the Ottawa Region, Ontario and Québec*. ed. R.J. Fulton, Geological Survey of Canada, Paper 86-23, p. 3-9.
- HARINGTON, C.R. et OCCHIETTI, S. 1988. Inventaire systématique et paléocéologique des mammifères marins de la Mer de Champlain (fin du Wisconsinien) et de ses voies d'accès. *Géographie physique et Quaternaire*, volume 42, numéro 1, p.45-64.
- HARMS, J.C. and FAHNESTOCK, R.K. 1965. Stratification, bed forms, and flow phenomena (with an example from the Rio Grande). In: *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 12, p. 84-115.
- HILLAIRE-MARCEL, C. 1974. La déglaciation au nord-ouest de Montréal: Données radiochronologiques et faits stratigraphiques. *Revue de Géographie de Montréal*, volume XXXVIII, numéro 4, p.407-417.
- HILLAIRE-MARCEL, C., OCCHIETTI, S., VINCENT, J.S. 1977. Sakami moraine, Québec: A 500-km-long moraine without climatic control. *Geology*, volume 9, p. 210-214.
- JOHNSTON, W.A. 1917. *Pleistocene and recent deposits in the vicinity of Ottawa, with a description of the soils*. Geological Survey of Canada, Memoir 101, 69 pages.
- JOPLING, A.V. 1965. Laboratory studies of the distribution of grain sizes in cross-bedded deposits. In: *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 12, p. 53-65.

- KARROW, P.F., CLARK, J.R. and TERASMAE, J. 1961. The age of Lake Iroquois and Lake Ontario. *Journal of Geology*, volume 69, p. 659-667.
- KLOVAN, J.E. 1966. The use of factor analysis in determining depositional environments from grain size distribution. *Journal of Sedimentary Petrology*, volume 36, numéro 1, p. 115-125.
- LASALLE, P. and ELSON, J.A. 1975. Emplacement of the St-Narcisse Moraine as a climatic event in Eastern Canada. *Quaternary Research*, volume 5, p. 621-625.
- LUNDQVIST, J. 1978. *Morphogenetic classification of glacio-fluvial deposits*. Sveriges Geologiska Undersökning; ser. cnr 767, avhandlingar och uppsatser, arsbok 73 nr 8, 72 pages.
- MARTINI, I.P. and ACTON, C.J. 1975. Use of factor analysis in interpreting genetic processes in lacustrine soils of Ontario, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, volume 12, p. 1794-1804.
- MAUFFETTE, P. 1949. Notes sur la découvertes de sédiments fossilifères de la mer de Champlain dans les régions de Val-des-Bois, de Martindale et de Farrelton, P.Q. *Annales de l'ACFAS* volume 16, p. 100-103.
- MAUFFETTE, P. 1950. Preliminary report on Denholm-Hincks area, Gatineau county. *Québec department of mines, preliminary report 235*, 5 pages.
- McCAVE, I.N. and JARVIS, J. 1973. Use of the Model T Coulter Counter in size analysis of coarse to fine sand. *Sedimentology*, volume 20, p. 305-315.
- MOTT, R.J. 1968. A radiocarbon-dated marine algal bed of the Champlain Sea episode near Ottawa, Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, volume 5, p. 320-323.
- NALDRETT, D.L. 1988. The late glacial-early glaciomarine transition in the Ottawa valley: Evidence for a glacial lake? *Géographie physique et Quaternaire*, volume 42, numéro 2, p. 171-179.
- OCCHIETTI, S. 1980. *Le Quaternaire de la région de Trois-Rivières, Shawinigan, Québec. Contribution à la paléogéographie de la vallée moyenne du Saint-Laurent et corrélations stratigraphiques*. Paléo-Québec, volume 10, 227 pages.
- O.P.D.Q., Direction des études bio-physiques, 1980. *Géomorphologie, Wakefield 31G/12 O*, carte géomorphologique 1:50000 et notes explicatives.
- OSTREM, G. 1975. Sediment transport in glacial meltwater streams. In: *Glacio-fluvial and glacio-lacustrine sedimentation*, eds; Jopling, A.V. and McDonald, B.C., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 23, p. 22-100.
- PARRY, J.T. and MACPHERSON, J.C. 1964. The St. Faustin-St. Narcisse Moraine and the Champlain Sea. *Revue de Géographie de Montréal*, volume 18, p. 235-248.
- PRICHONNET, G. 1977. La déglaciation de la vallée du St-Laurent et l'invasion marine contemporaine. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XXXI, numéro 3-4, p. 323-345.
- PRICHONNET, G. DOIRON, A. et CLOUTIER, M. 1982. Le mode de retrait glaciaire

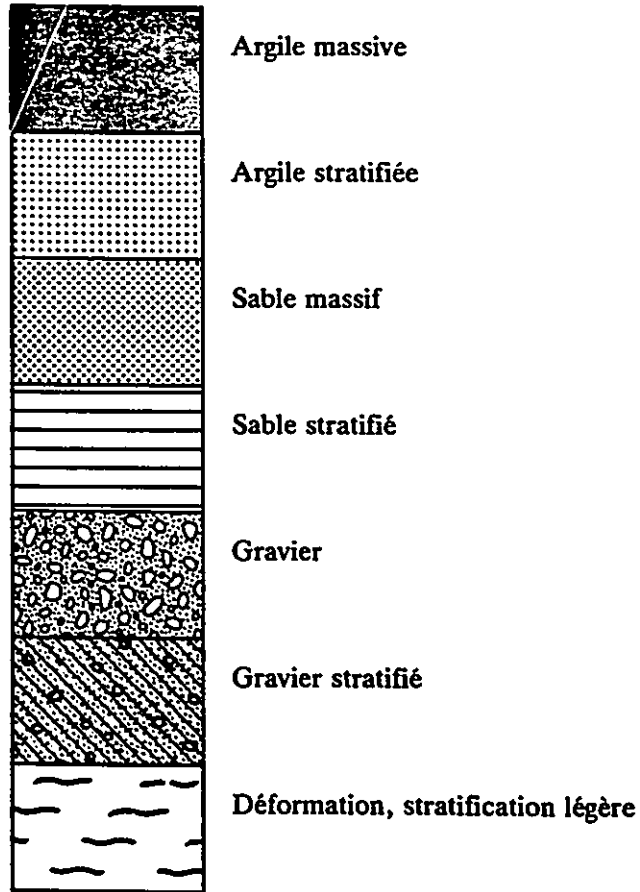
- tardiwisconsinien sur la bordure Appalachienne au sud du Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XXXVI, numéro 1-2, p. 125-137.
- PUMAIN, D. 1976. La composition socio-professionnelle des villes françaises: essai de typologie par analyse des correspondances et classification automatique. *L'Espace Géographique*, numéro 4, p. 227-238.
- RICHARD, S.H. 1978. Age of Champlain Sea and "Lampsilis Lake" episode in the Ottawa - St-Lawrence Lowlands. in Current Research, part C, *Geological Survey of Canada, Paper 78-1C*, p. 23-28.
- RIVIERE, A. 1977. *Méthode granulométrique, techniques et interprétations*. Editions Masson, Paris, 170 pages.
- ROMANELLI, R. 1976. *Enviromental history of sand and gravel deposits of the Champlain Sea in the Gatineau Valley, Québec*. Thèse de Maîtrise es Science, Université d'Ottawa, Ottawa, 120 pages.
- RONDOT, J. 1974. L'épisode glaciaire de St-Narcisse dans Charlevoix, Québec. *Revue de Géographie de Montréal*, volume XXVIII, numéro 4, p. 375-388.
- RUST, B.R. and ROMANELLI, R. 1975. Late Quaternary subaqueous outwash deposits near Ottawa, Canada. In: *Glacio-fluvial and glacio-lacustrine sedimentation*, eds; Jopling, A.V. and McDonald, B.C., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 23, p. 177-192.
- RUST, B.R. 1975. Fabric and structure in glaciofluvial gravels. In: *Glacio-fluvial and glacio-lacustrine sedimentation*, eds; Jopling, A.V. and McDonald, B.C., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 23, p. 238-248.
- St-ONGE, D.A. et GEURTS, M.A. 1982. Les formes d'effondrement et le mode de déglaciation de la région du lac Qingaluk, Territoires du Nord-Ouest, Canada. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XXXVI, numéro 1-2, p. 233-240.
- SHAW, J. 1972. Sedimentation in the ice contact environment, with example from Shropshire (England). *Sedimentology*, volume 18, p. 23-62.
- SHEPPS, V.C. 1958. Size factors, a means of analysis of data from textural studies of till. *Journal of Sedimentary Petrology*, volume 28, p. 482-485.
- SMITH, N.D. 1985. Proglacial fluvial environment. In: *Glacial sedimentary environments*, eds; Ashley, G.M., SHAW, J. and Smith, N.; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, short course 16, p. 85-111.
- SOLOHUB, J.T. and KLOVAN, J.E. 1970. Evaluation of grain size parameters in lacustrine environments. *Journal of Sedimentary Petrology*, volume 40, p. 81-121.
- SOURDAT, M., MAHE, J. et DELAUNE-MAYERE, M. 1975. Etudes granulométriques par les méthodes classiques et par l'analyse factorielle des correspondances. Application aux formations superficielles du sud-ouest de Madagascar. *Cahiers ORSTOM, série géologie*, volume 7, numéro 2, p. 125-143.
- STEIN, R. 1985. Rapid grain-size analyses of clay and silt fraction by sedigraph 5000D: Comparison with Coulter Counter and Atterberg methods. *Journal of Sedimentary*

- Petrology*, volume 55, numéro 4, p. 590-615.
- SWIFT, D.J., SCHUBEL, J.R. and SHELDON, R.W. 1972. Size analysis of fine-grained suspended sediments: A review. *Journal of Sedimentary Petrology*, volume 42, numéro 1, p. 135-140.
- TEIL, H. 1975. Correspondence factor analysis: An outline of its method. *Mathematical Geology*, volume 7, numéro 1.
- TEIL, H. and CHEMINEE, J.L. 1975. Application of correspondence factor analysis to the study of major and trace elements in the Erta Ale Chain (Afar, Ethiopia). *Mathematical Geology*, volume 7, numéro 1, p. 13-30.
- TEMPLE, J.T. 1978. The use of factor analysis in geology. *Mathematical Geology*, volume 10, numéro 4, p. 379-387.
- TERASMAE, J. 1965. *Surficial geology of the Cornwall and the St. Lawrence seaway project areas, Ontario*. Geological Survey of Canada, Bulletin 121, 54 pages.
- TERASMAE, J. 1980. Some problems of Late Wisconsin history and geochronology in southeastern Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences*, volume 17, p. 361-381.
- THOMAS, R.H. 1977. Calving bay dynamics and ice sheet retreat up the St. Lawrence valley system. *Géographie physique et Quaternaire*, volume XXXI, numéro 3-4, p. 347-356.
- TREMBLAY, G. 1968. Note sur les crêtes morainiques de Saint-François-de-Sales. *Cahier de géographie de Québec*, numéro 27, p. 429-442.
- VISHER, G.S. 1975. Fluvial processes as interpreted from ancient and recent fluvial deposits. In: *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 12, p. 116-132.
- WARD, J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, volume 58, p. 236-244.
- WRIGHT, H.E. 1971. Retreat of the Laurentide ice sheet from 14,000 to 9000 years ago. *Quaternary Research*, volume 1, p. 316-330.

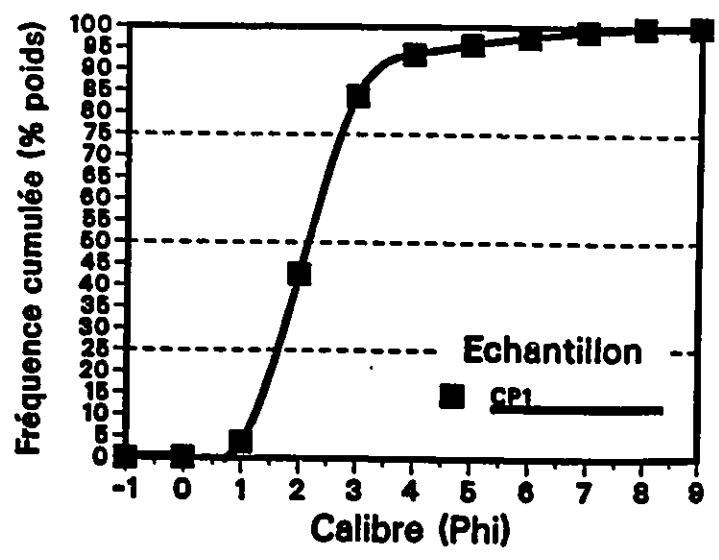
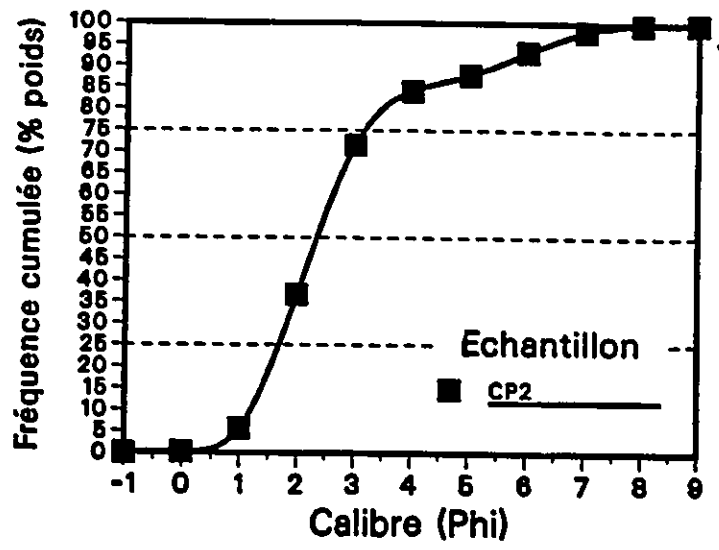
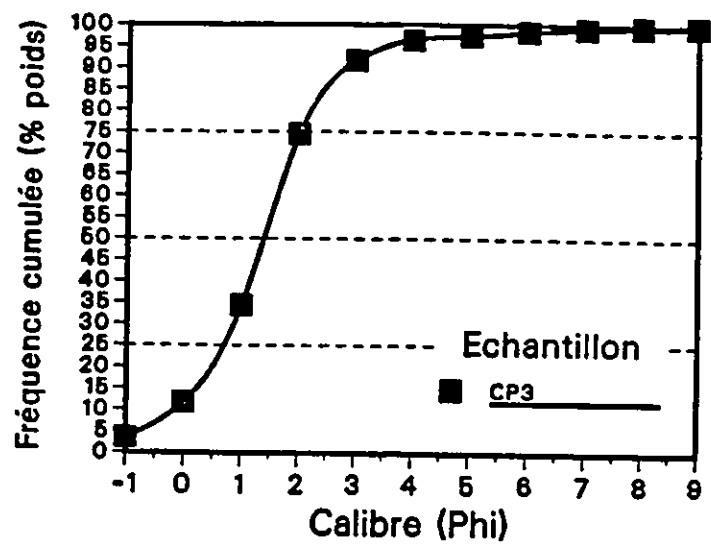
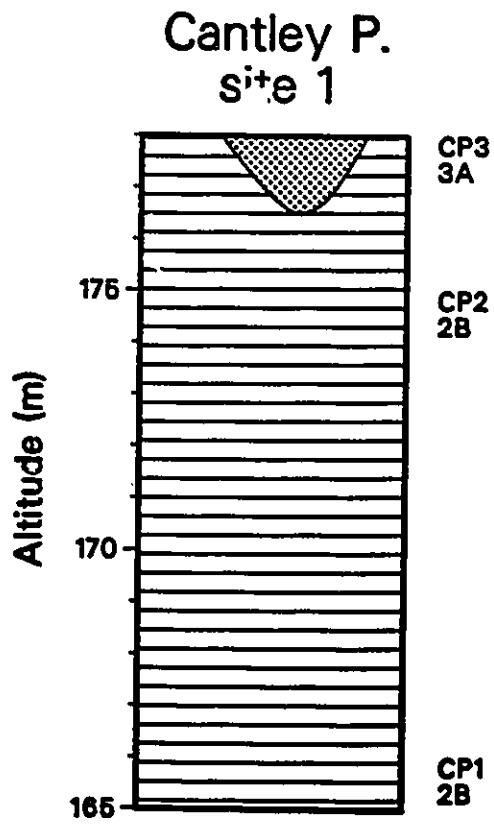
ANNEXE A

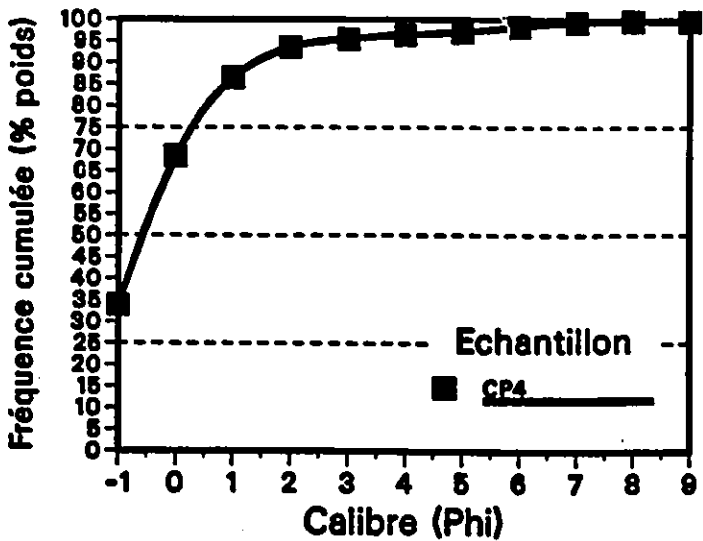
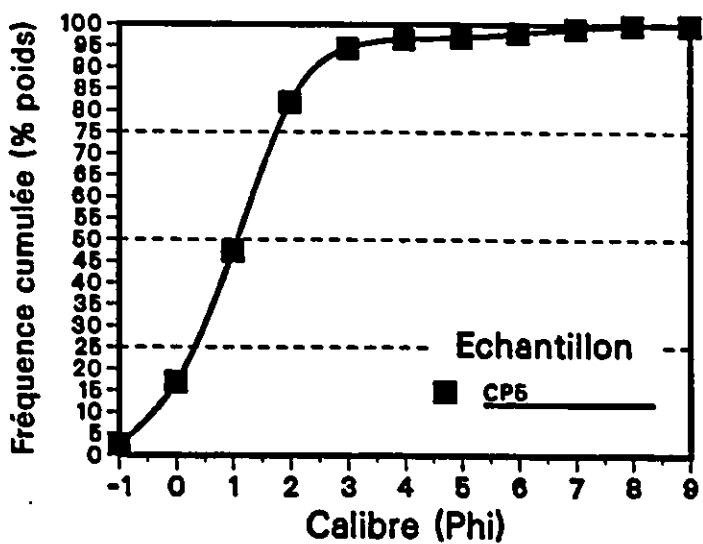
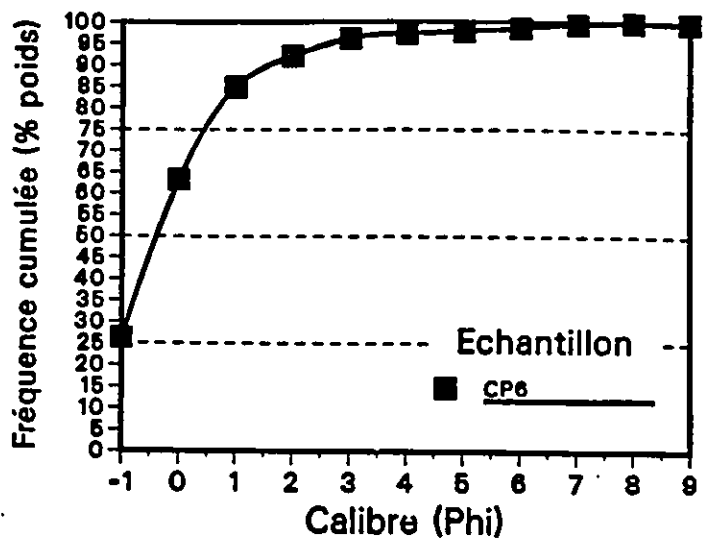
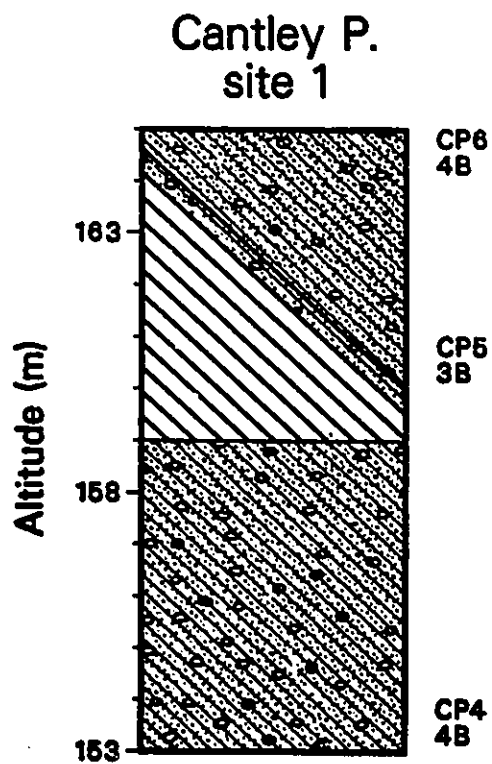
STRATIGRAPHIE

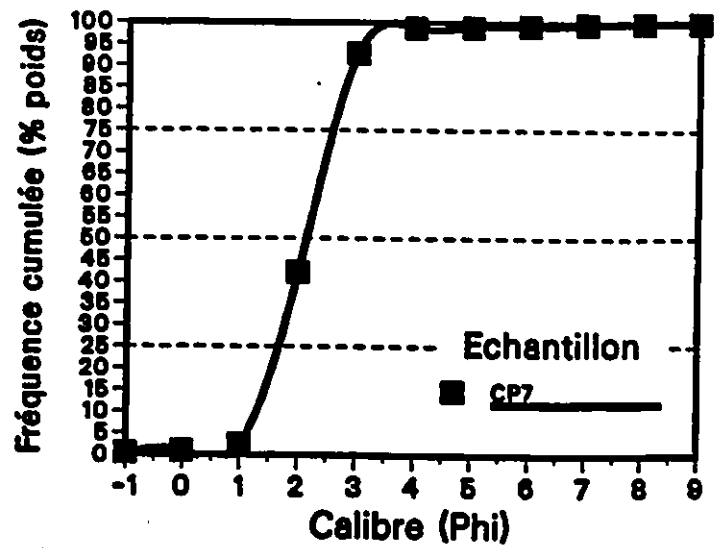
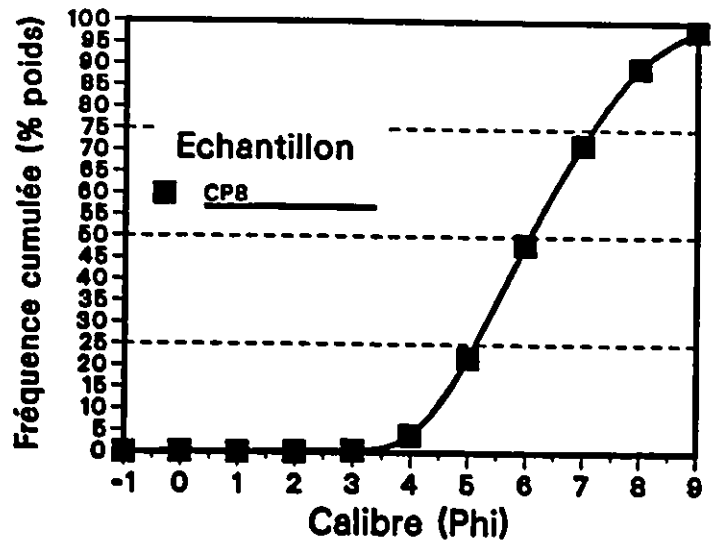
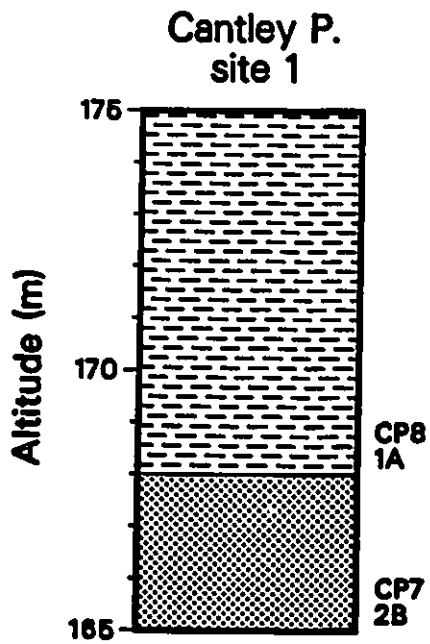
Légende

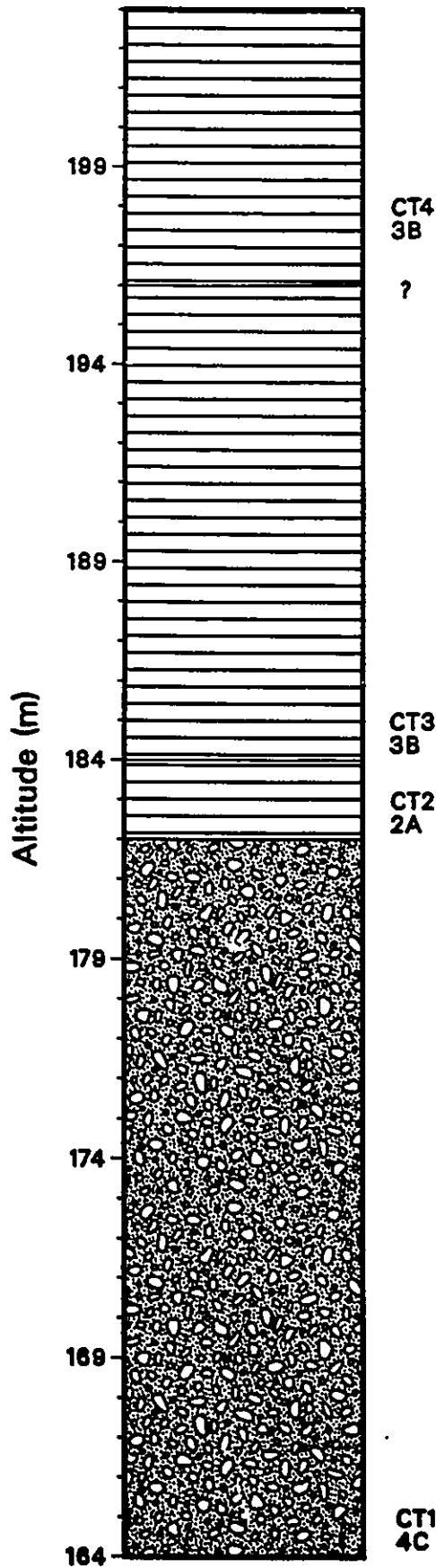


N.B. Pour tous les faciès stratigraphiques, l'échelle verticale est 2.5 cm = 3 mètres, à l'exception du site de Farrelton où 2.5 cm = 6 mètres, et Alcove où 2.5 cm = 4 mètres. De plus, l'inclinaison des stratifications correspond aux pendages mesurés.

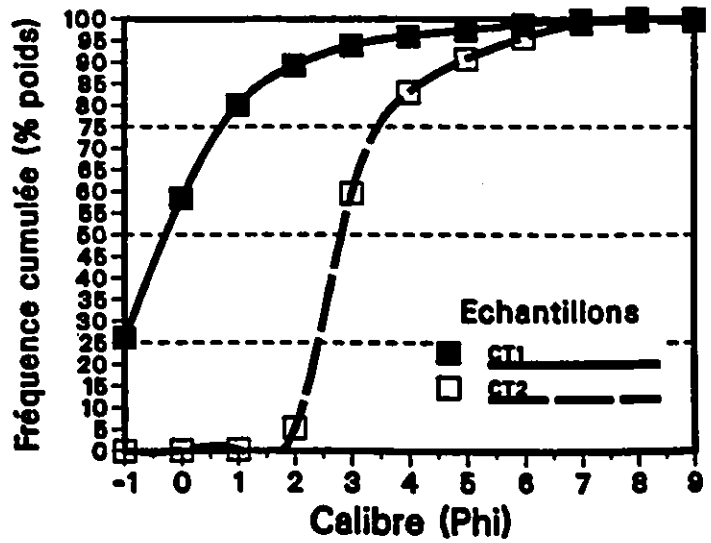
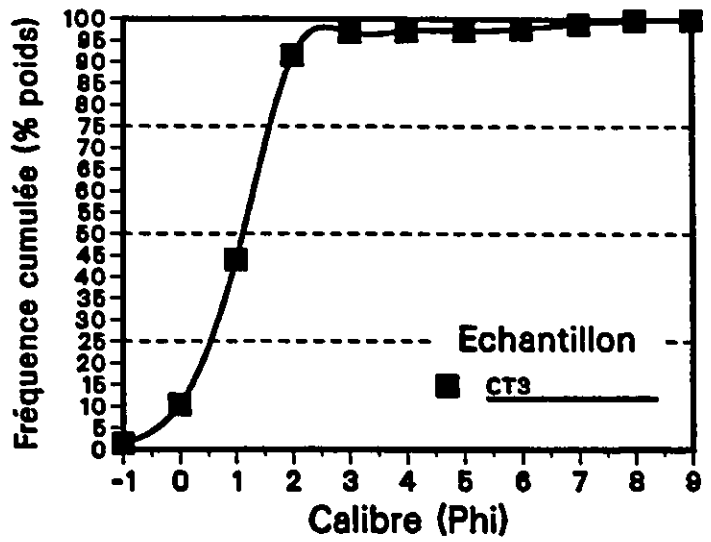
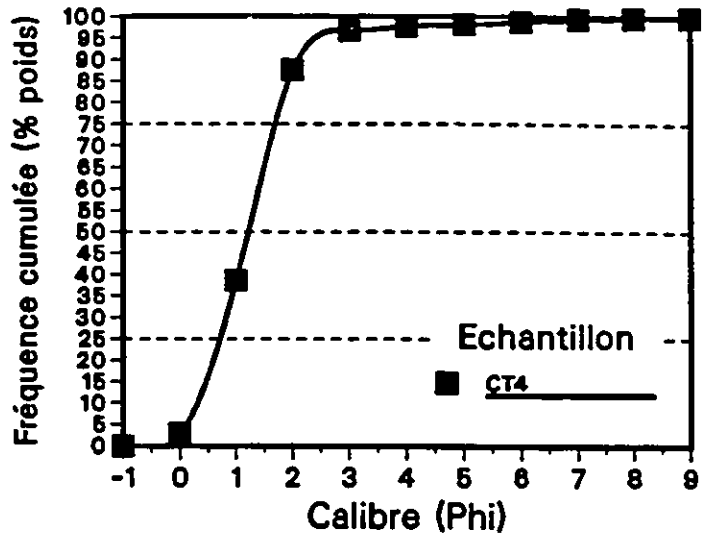




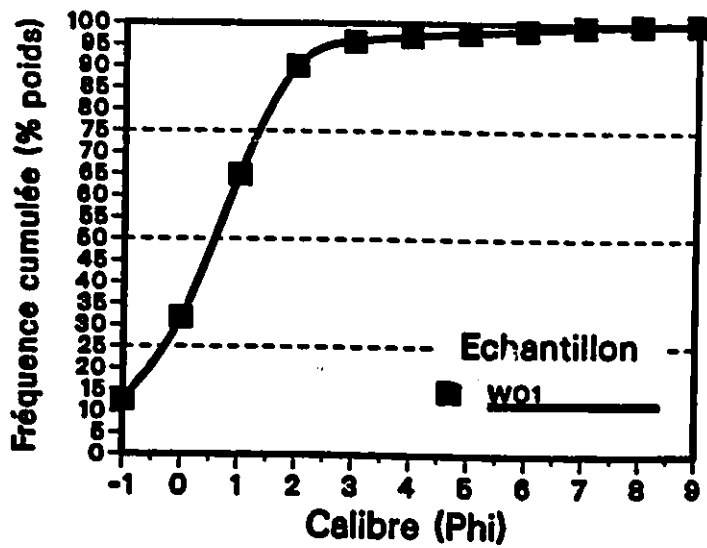
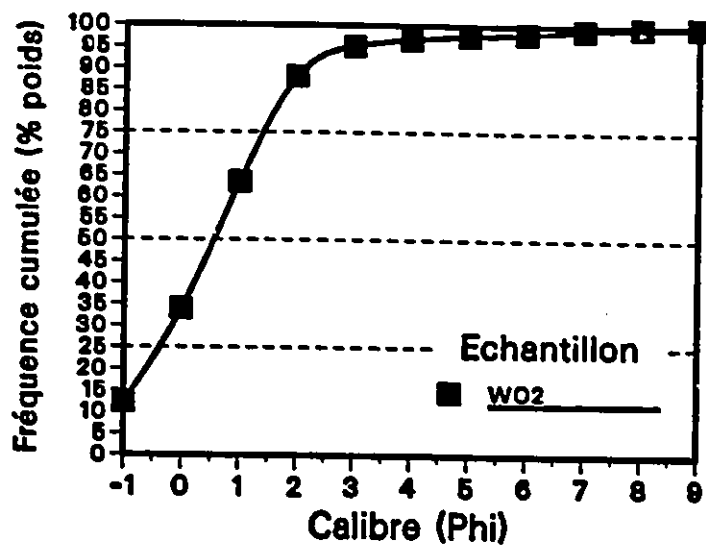
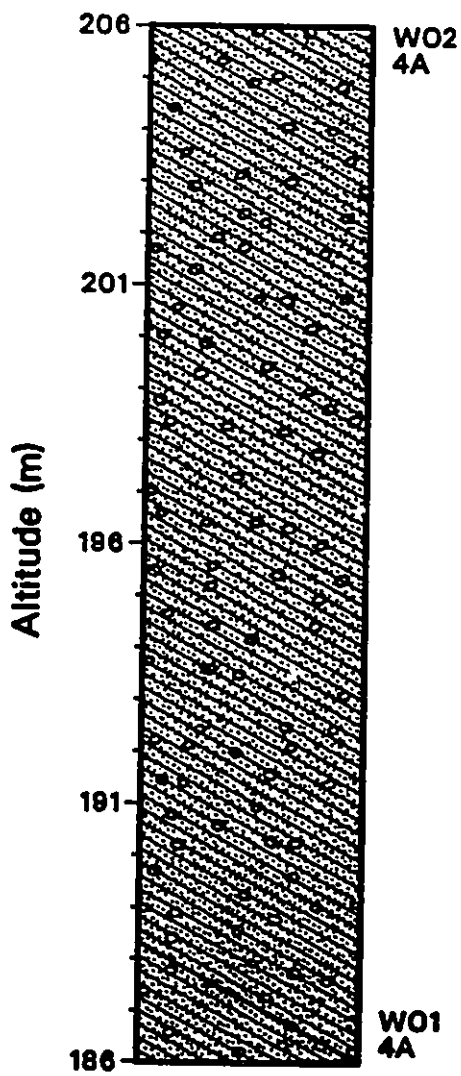




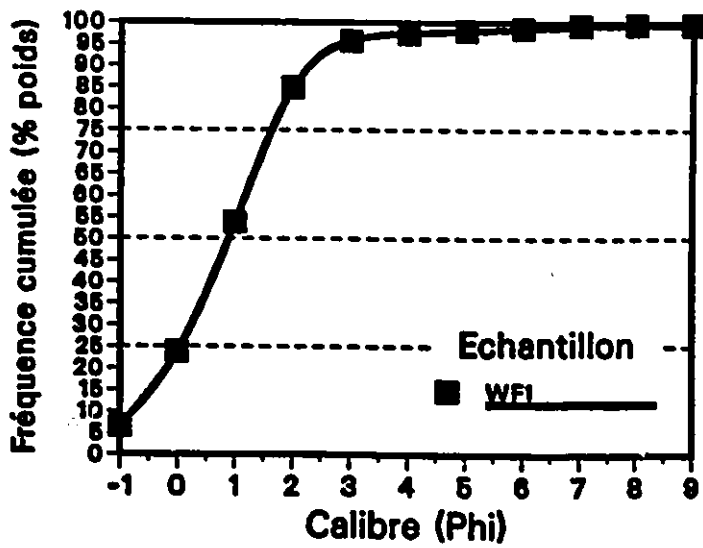
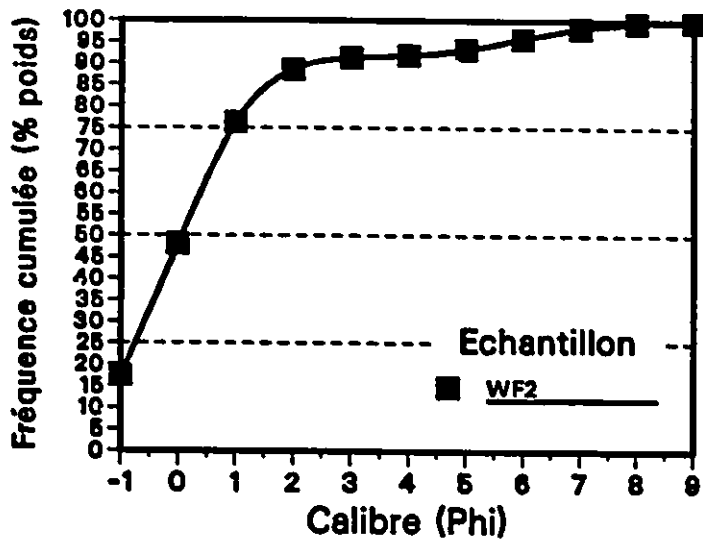
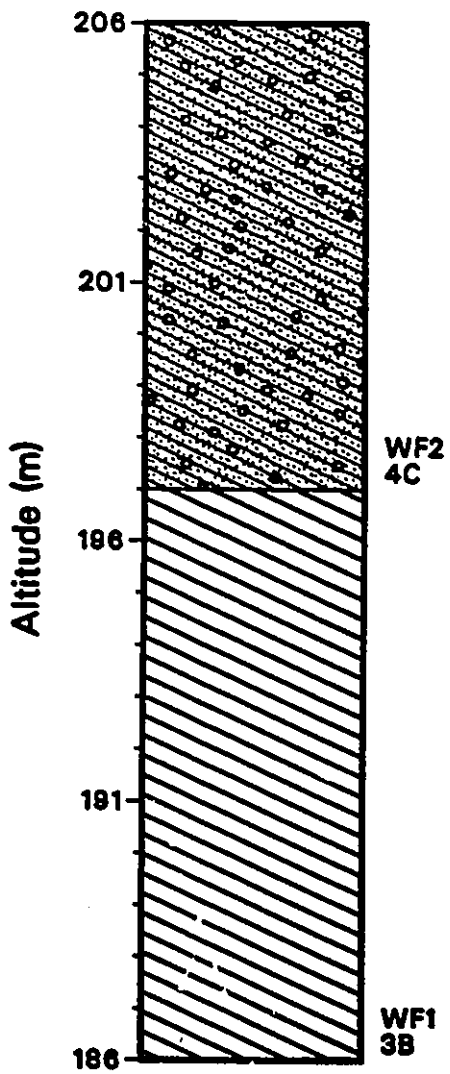
Cantley T., site 2



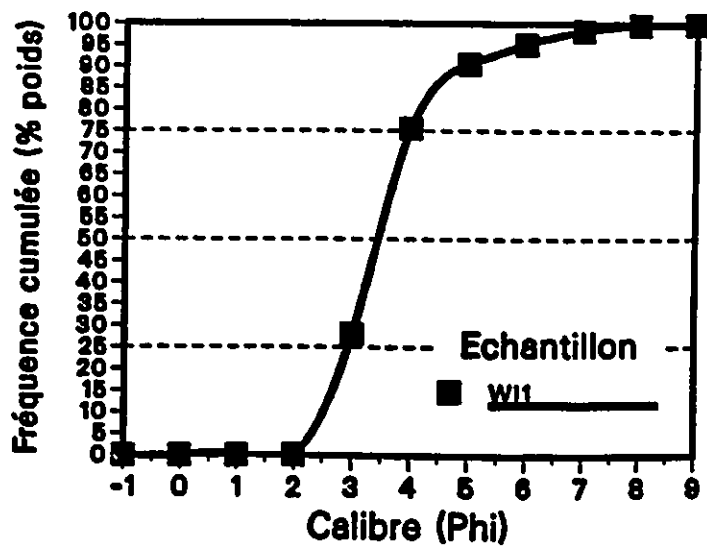
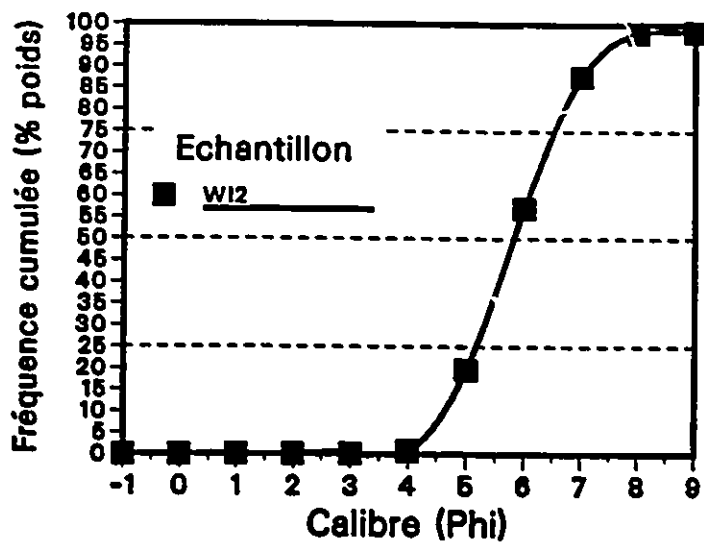
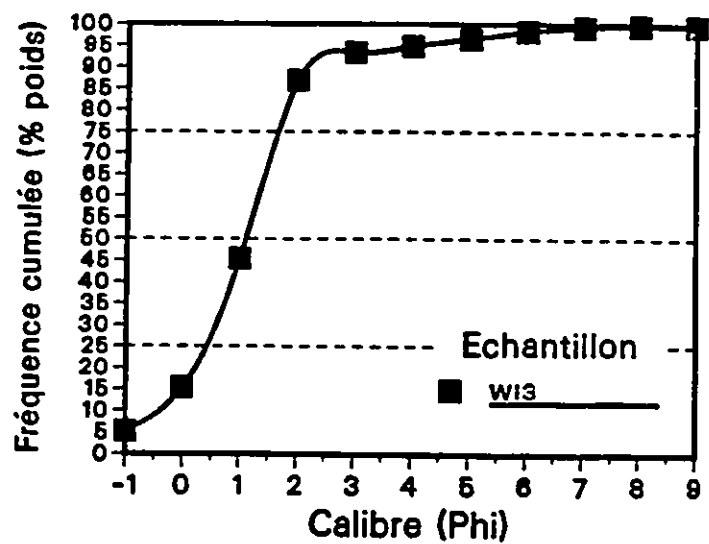
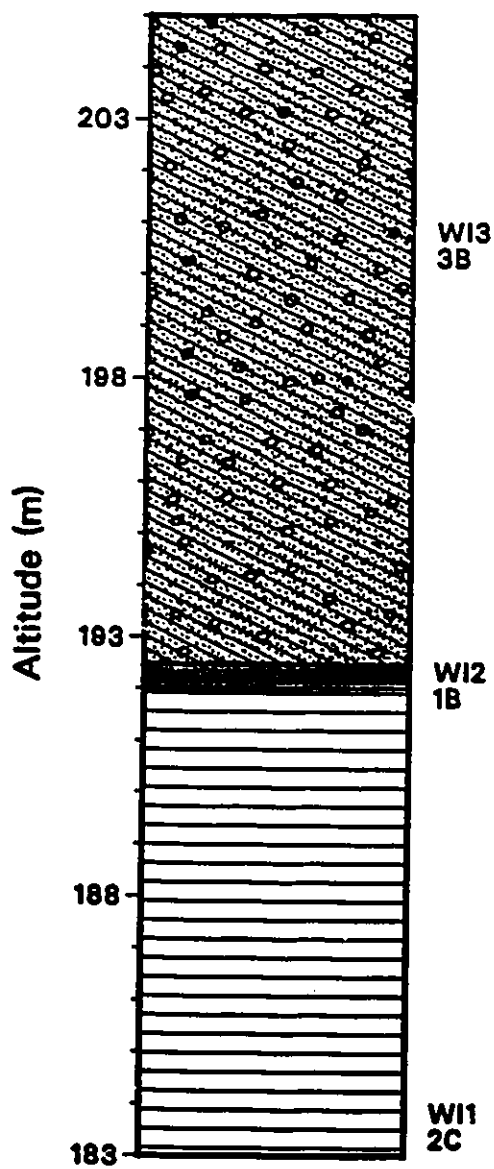
Wils. Cor. site 3



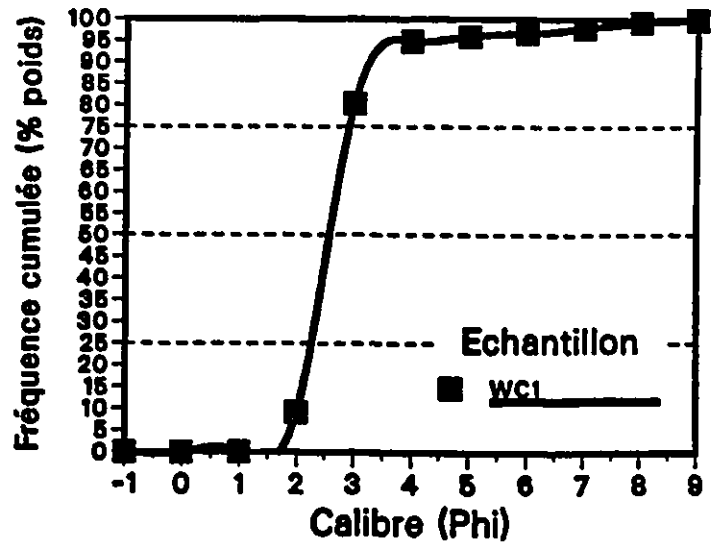
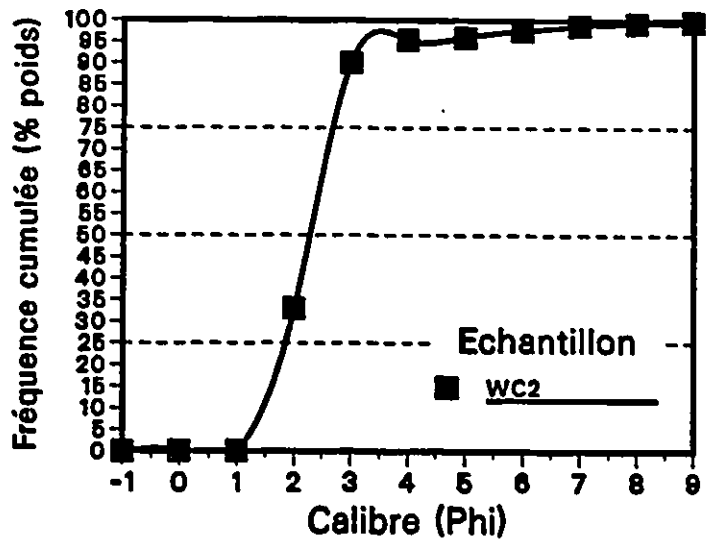
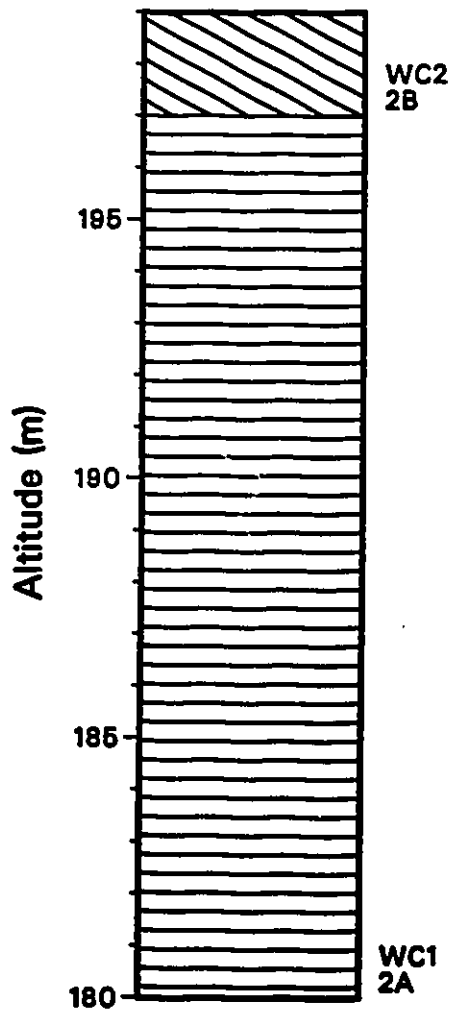
Wils. Cor. site 4

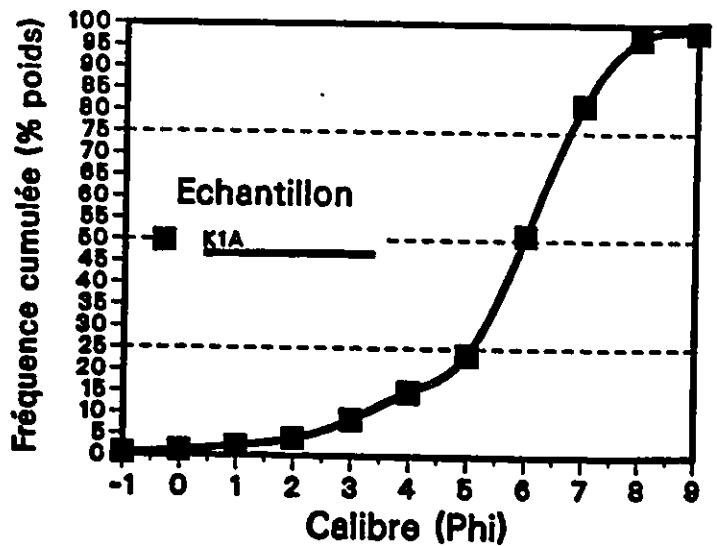
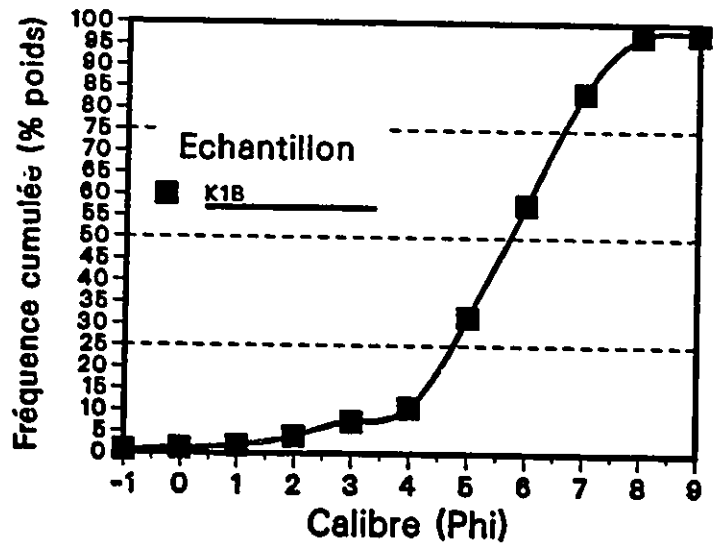
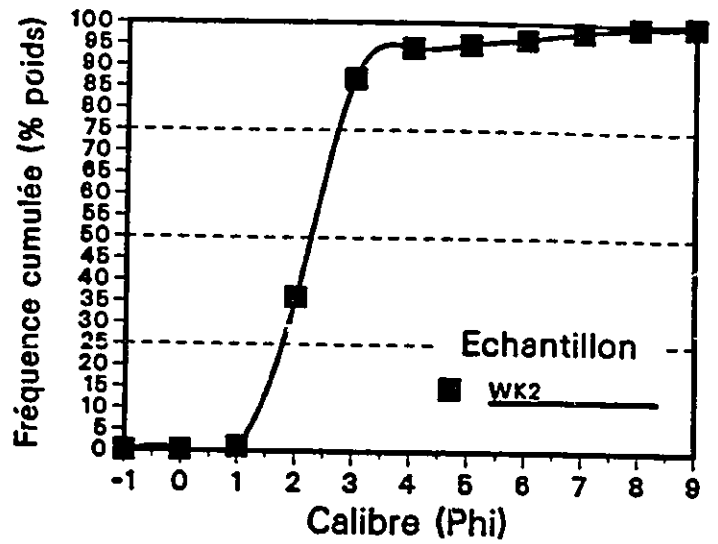
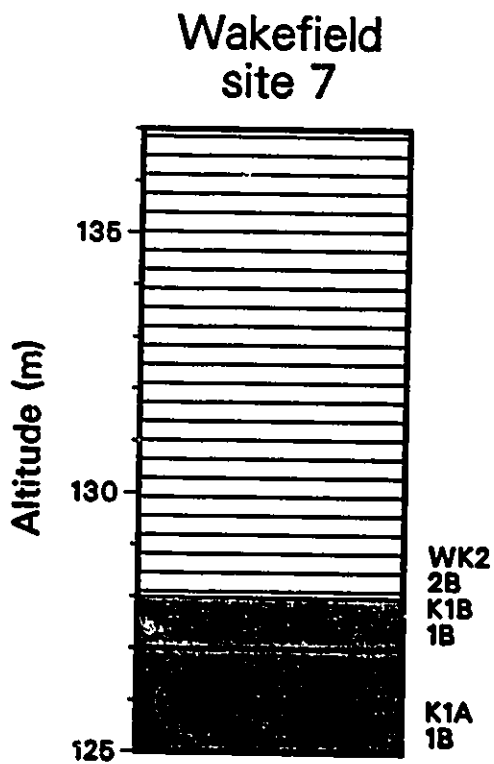


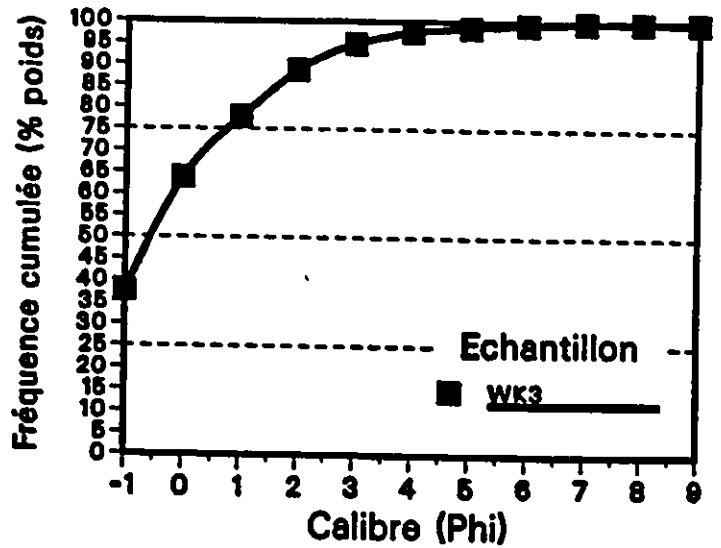
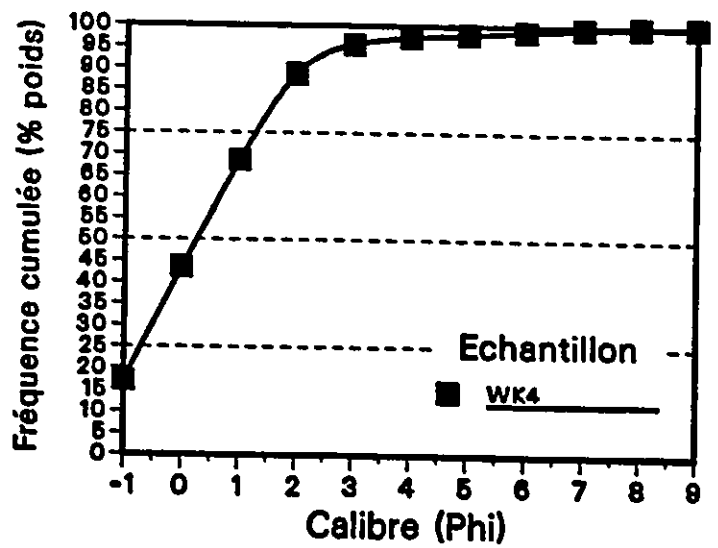
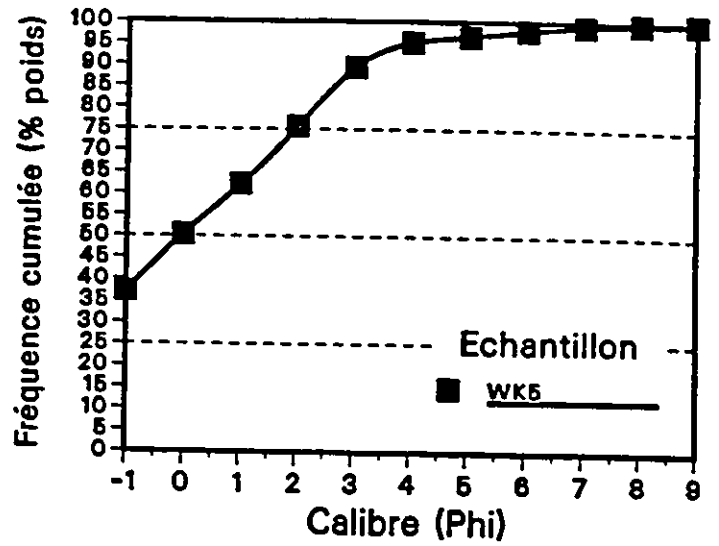
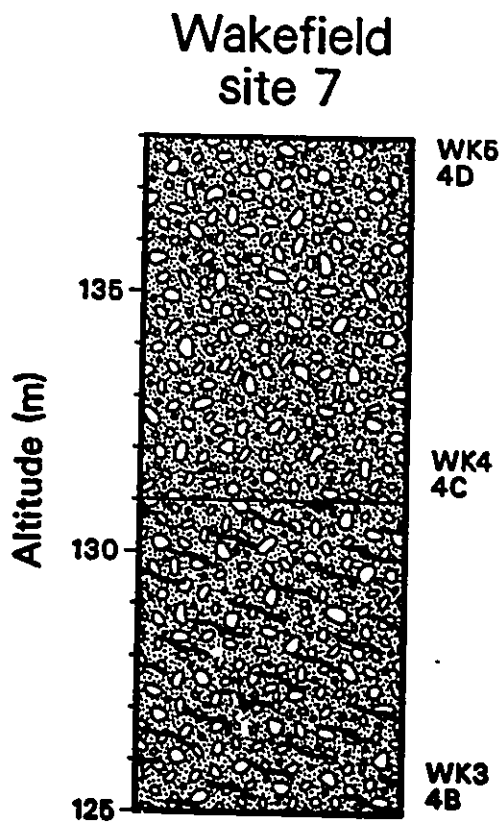
Wils. Cor.
site 5

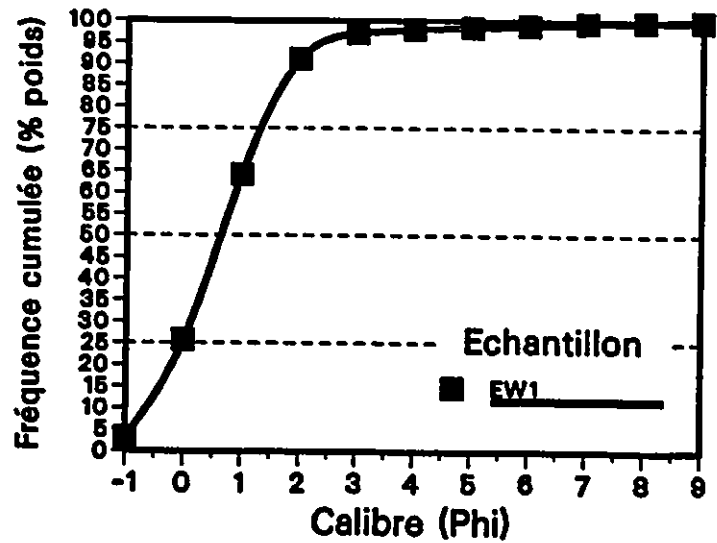
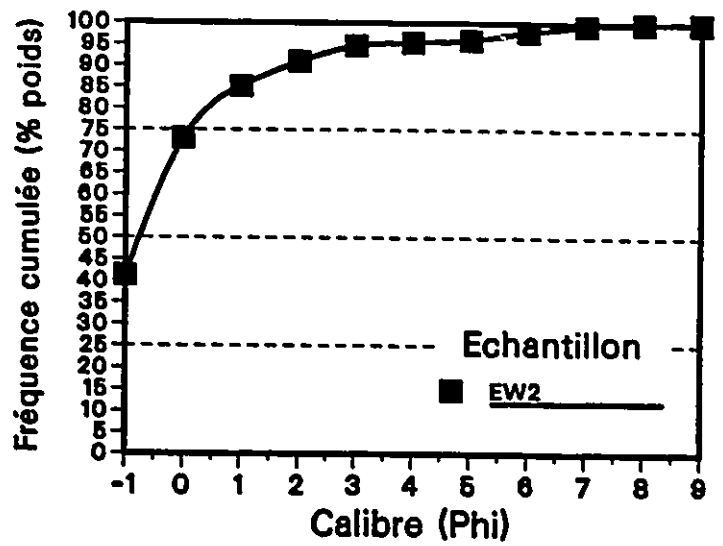
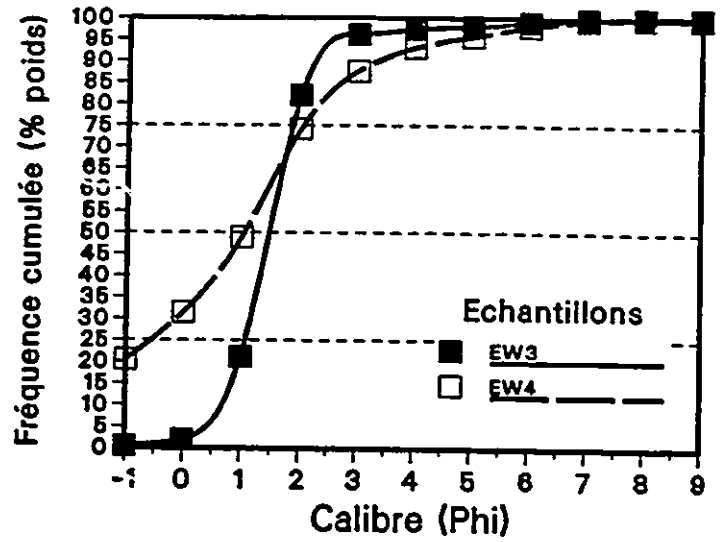
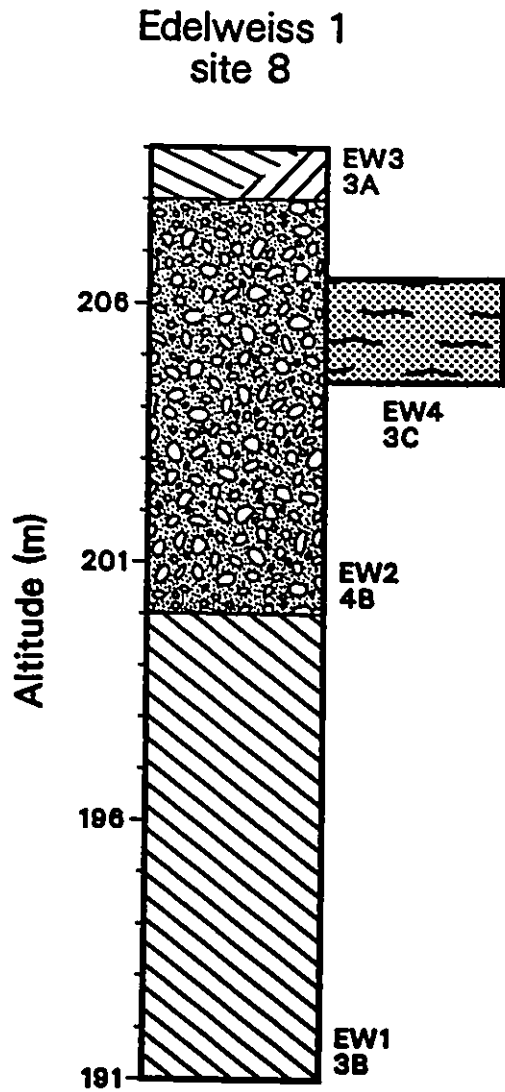


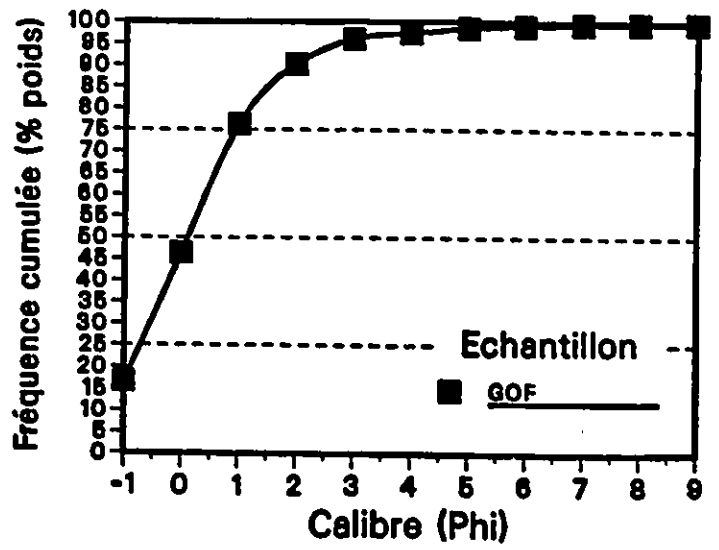
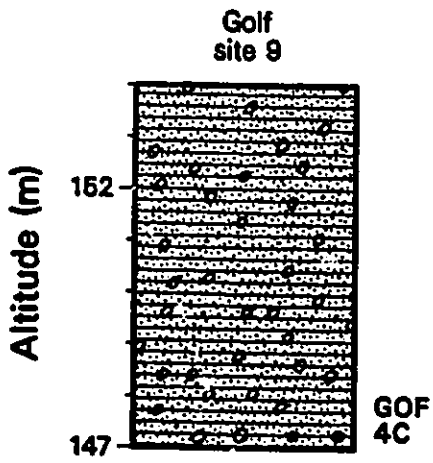
Wils. Cor. site 6

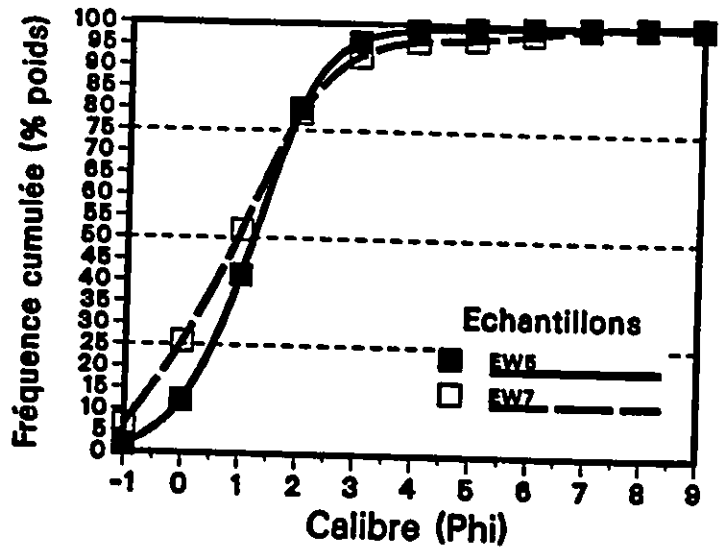
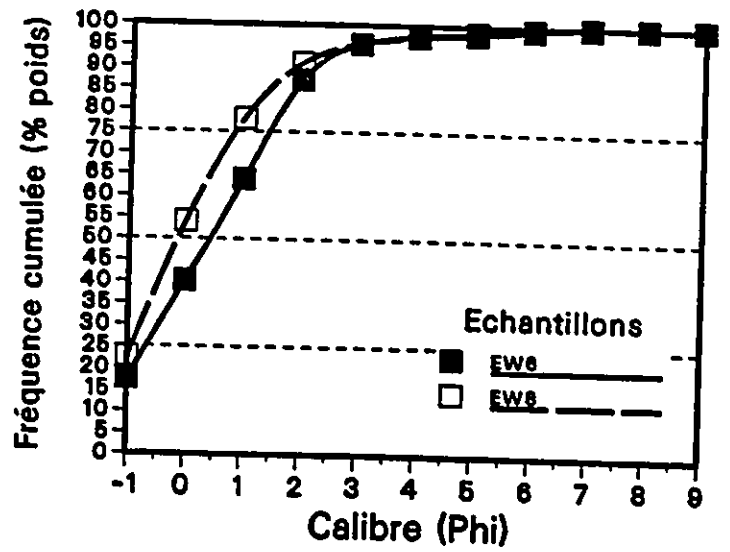
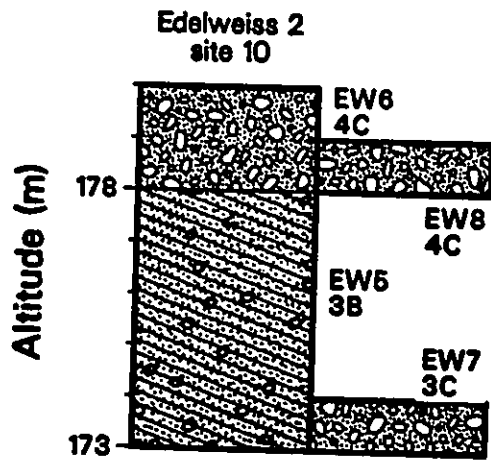




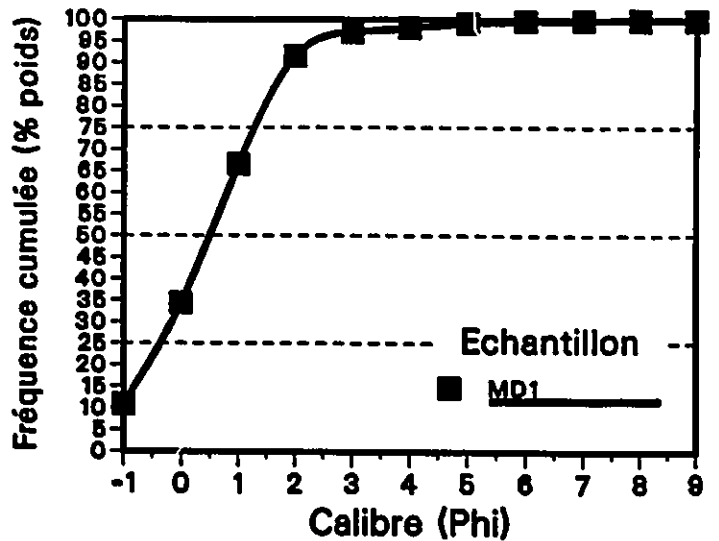
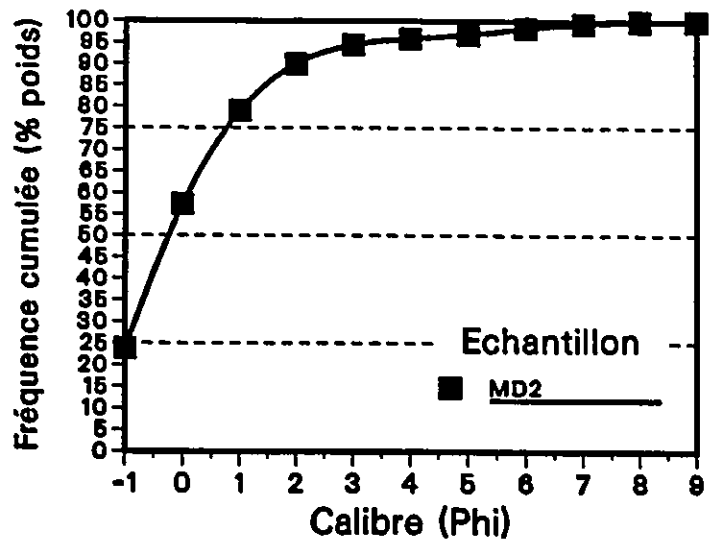
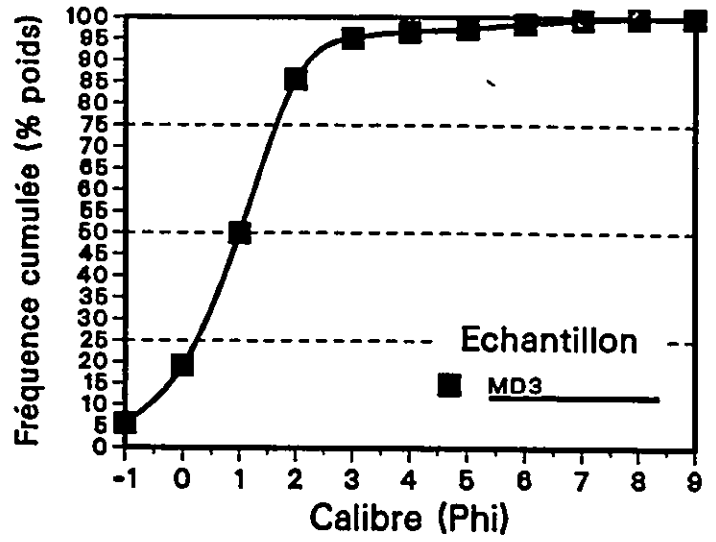
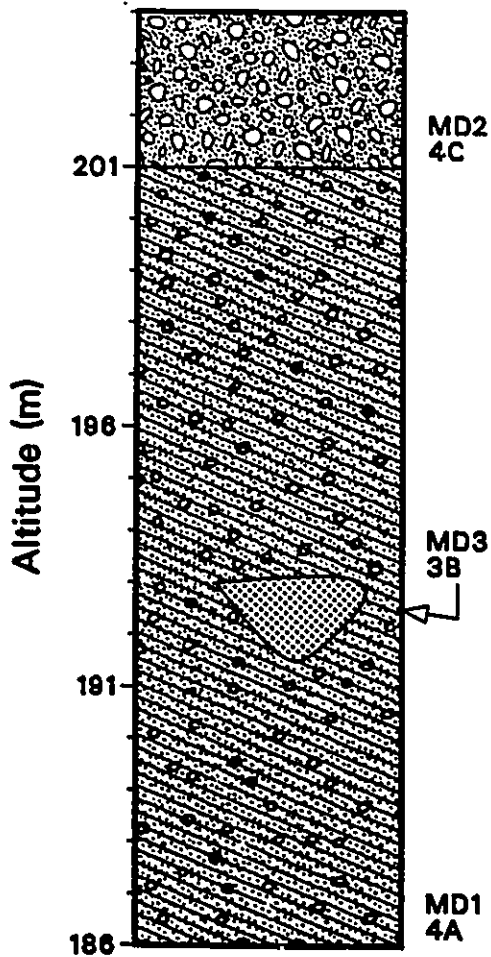


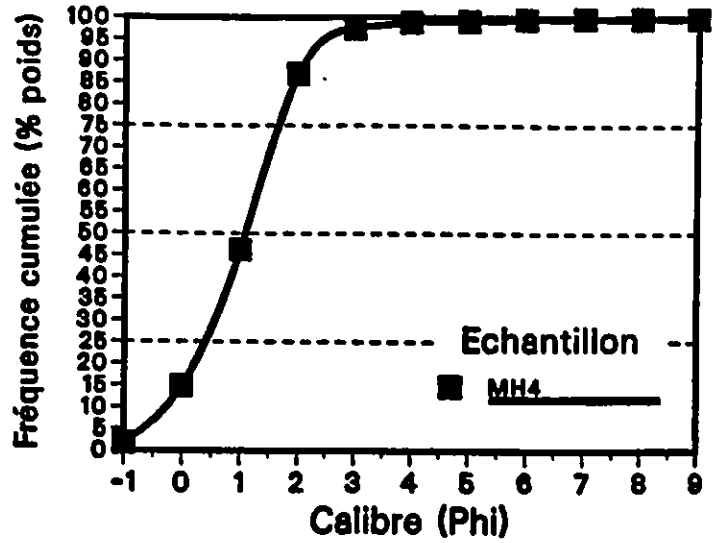
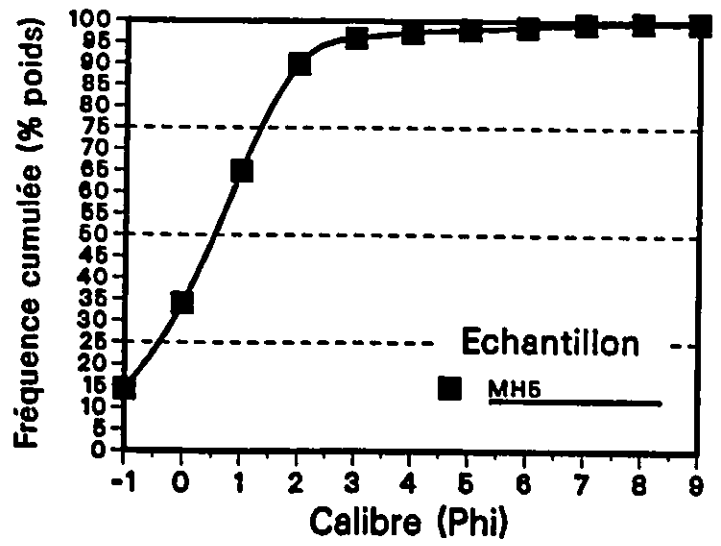
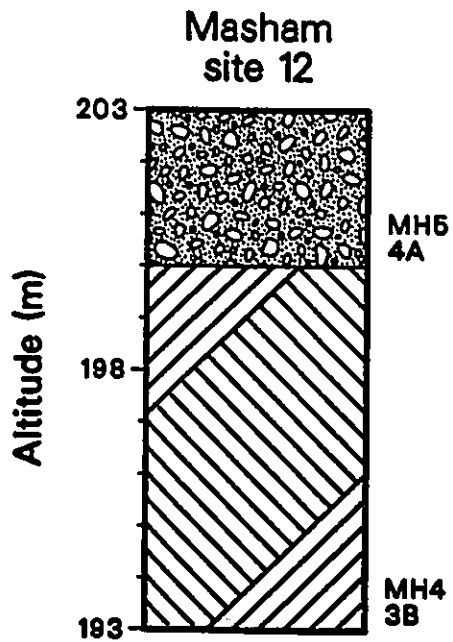


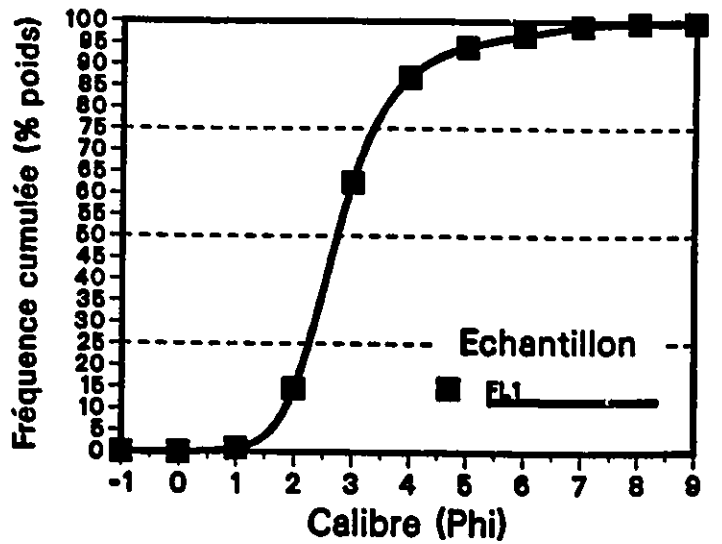
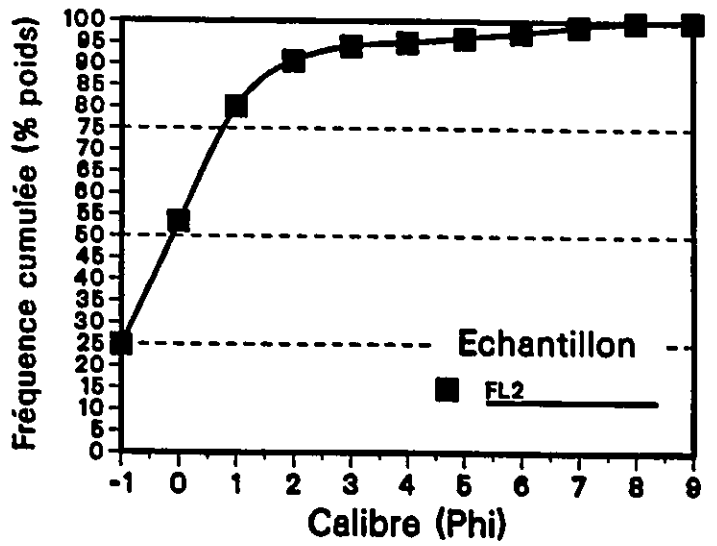
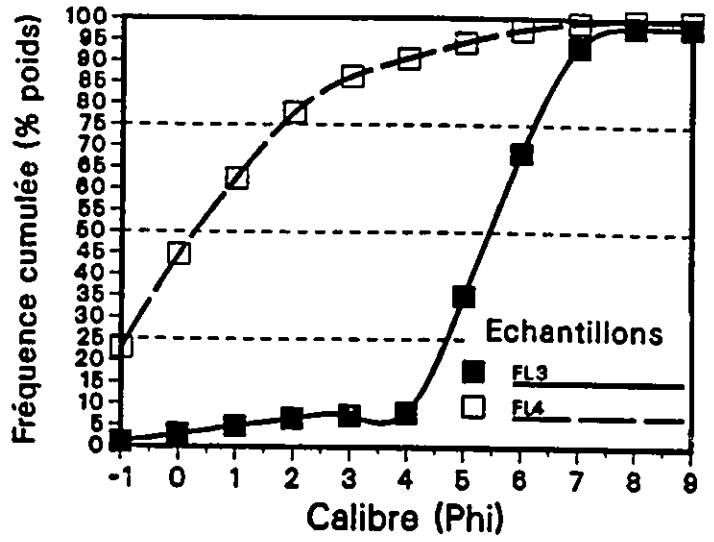
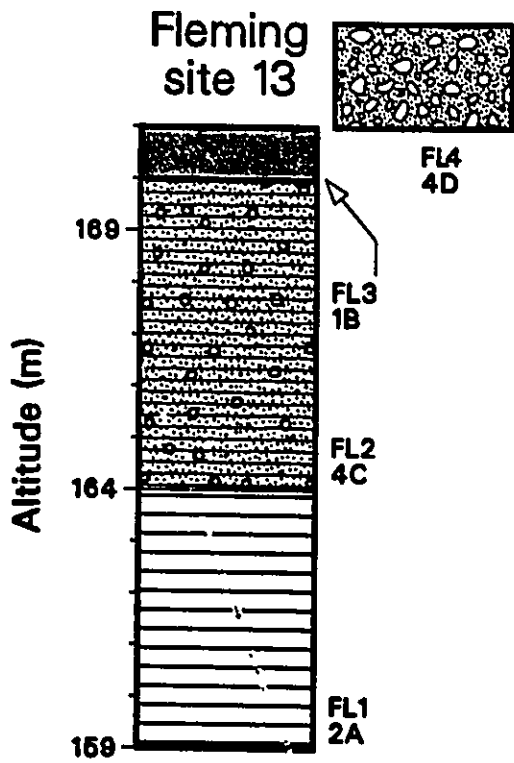


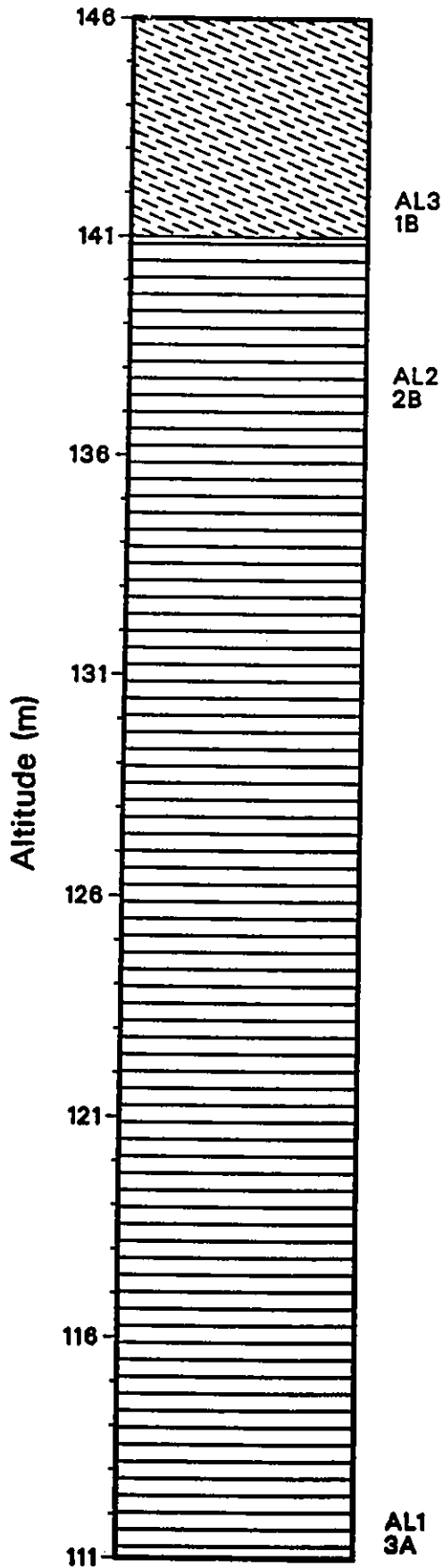


Mash Desch. site 11

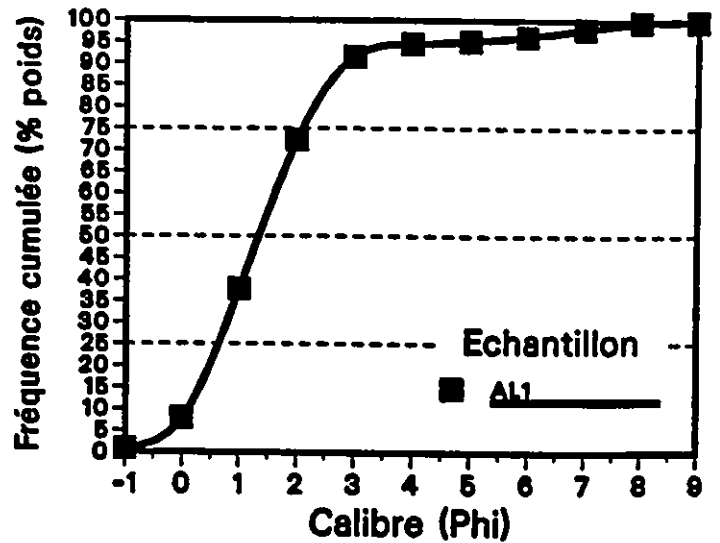
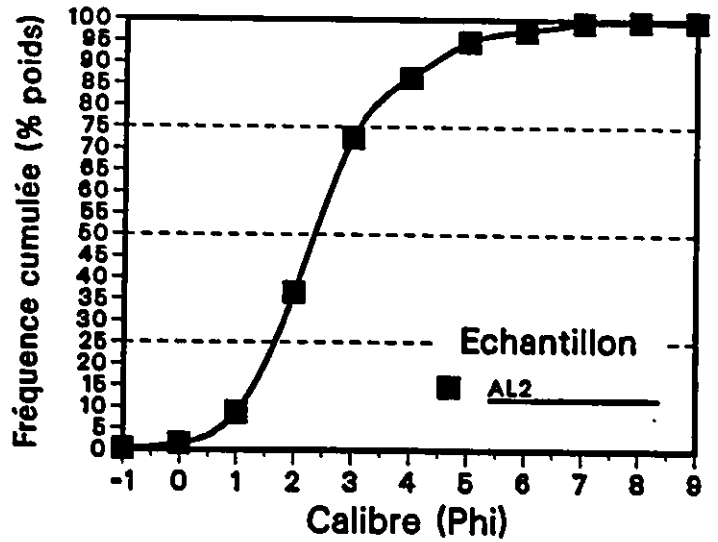
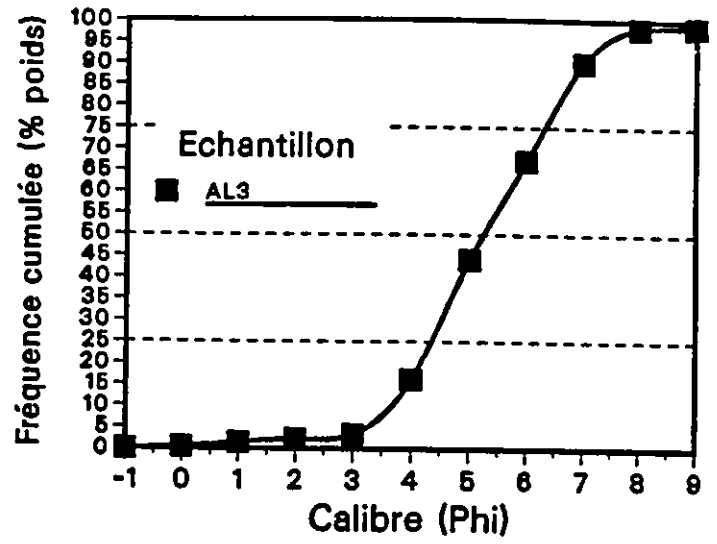


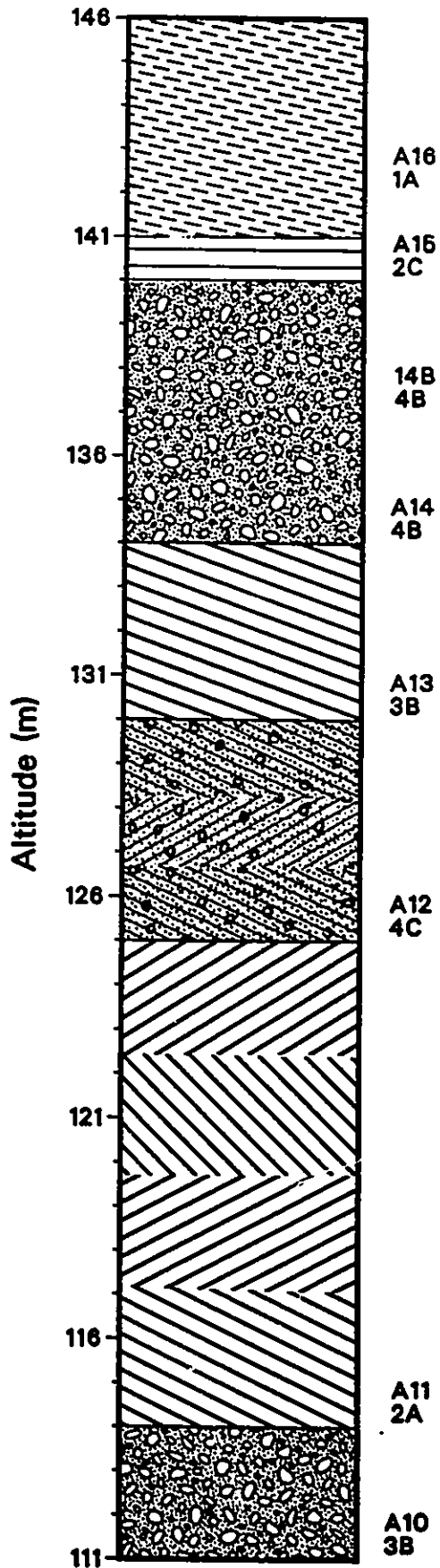




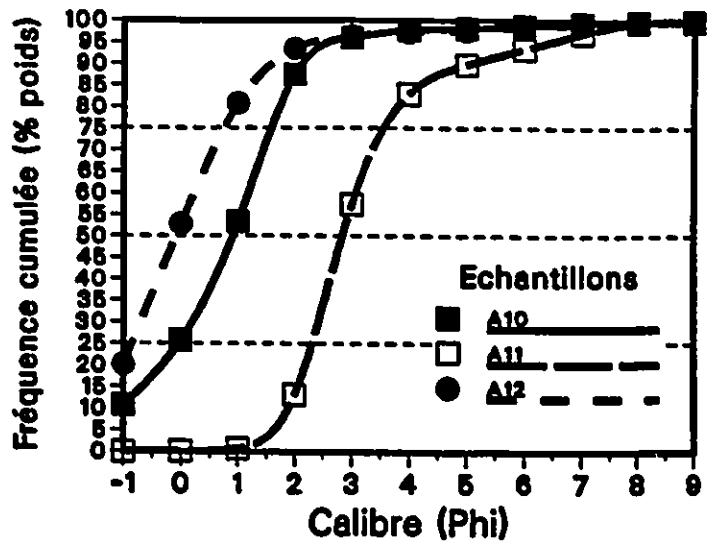
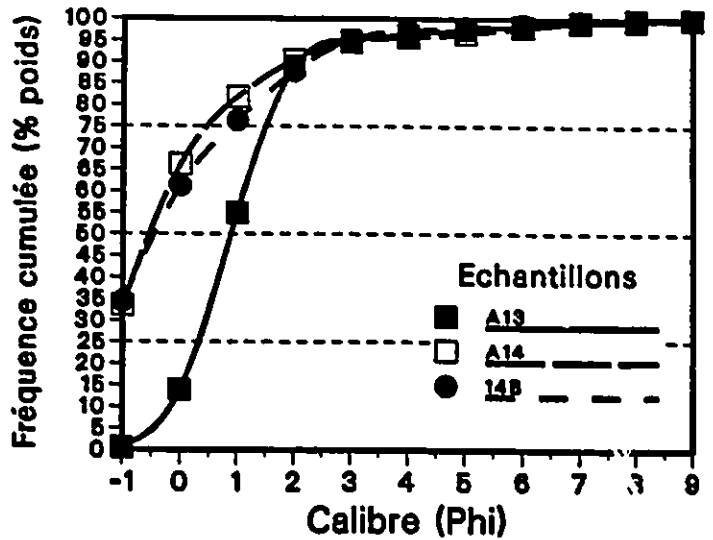
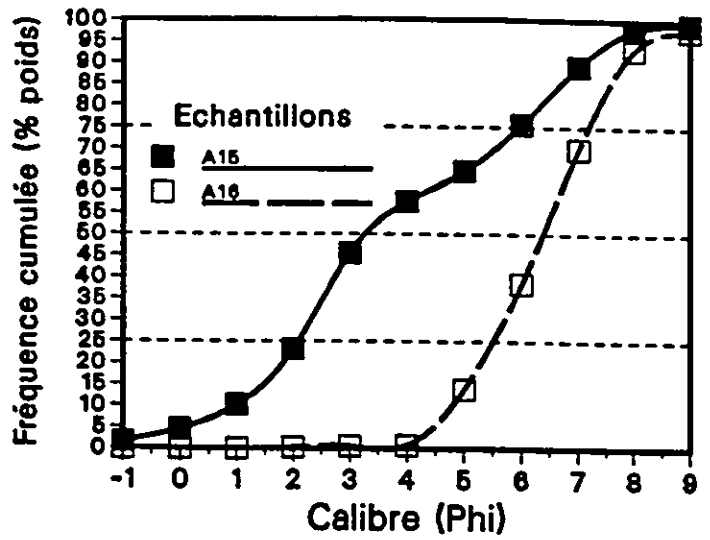


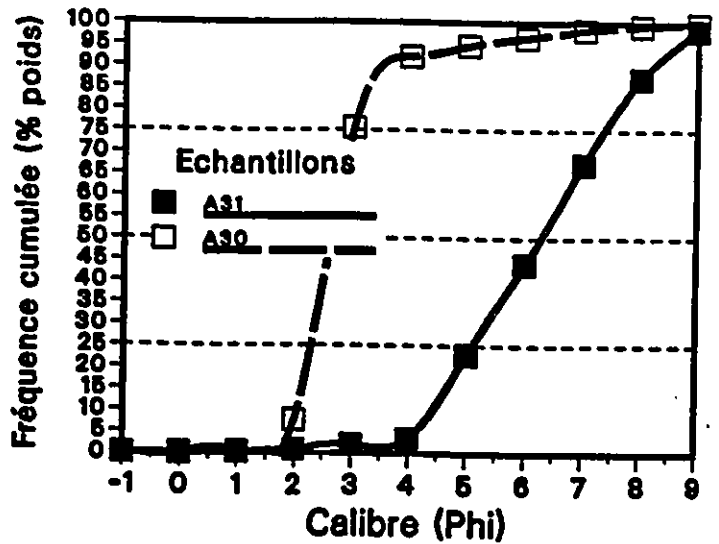
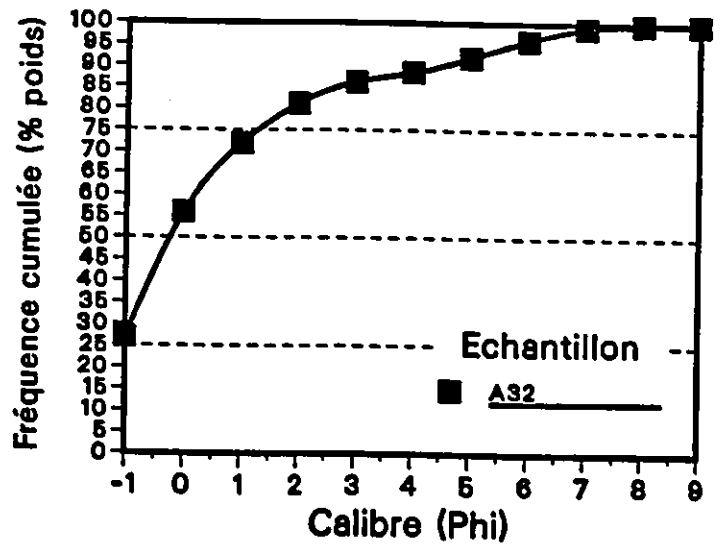
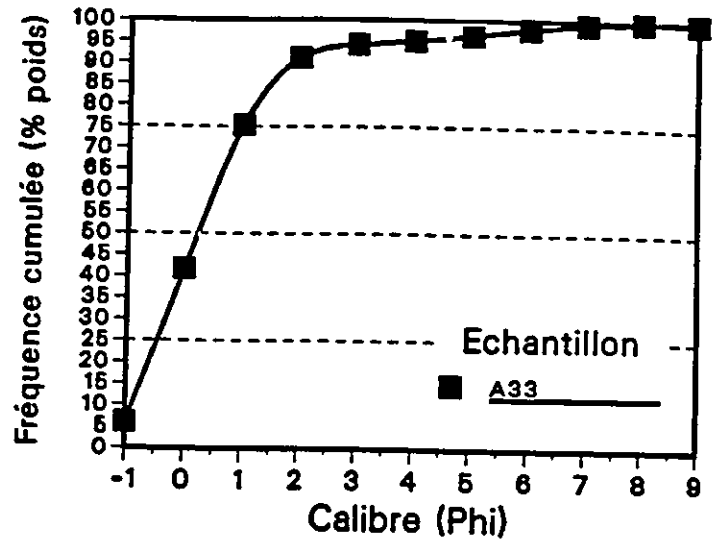
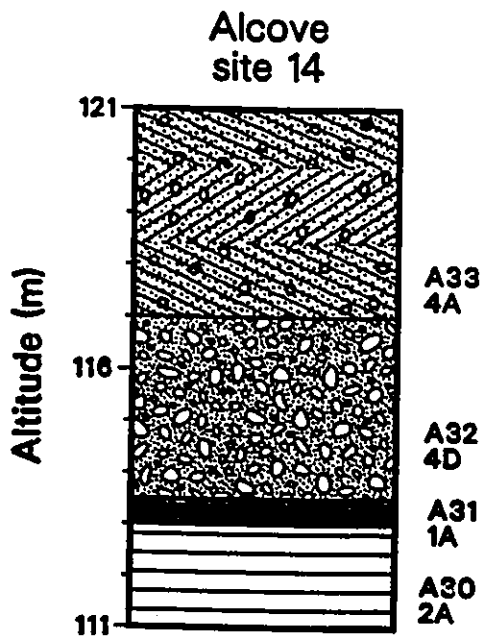
Alcove, site 14

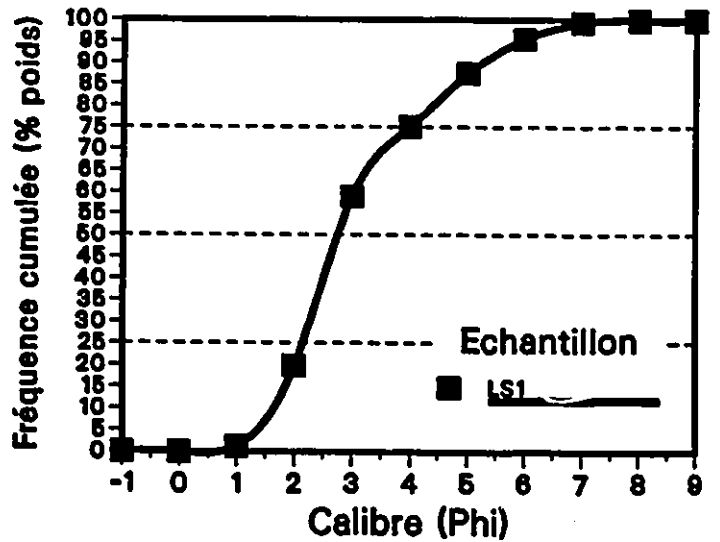
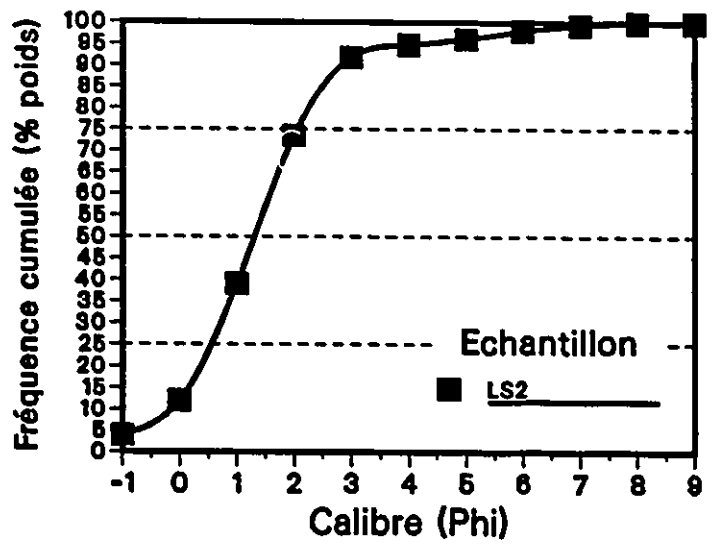
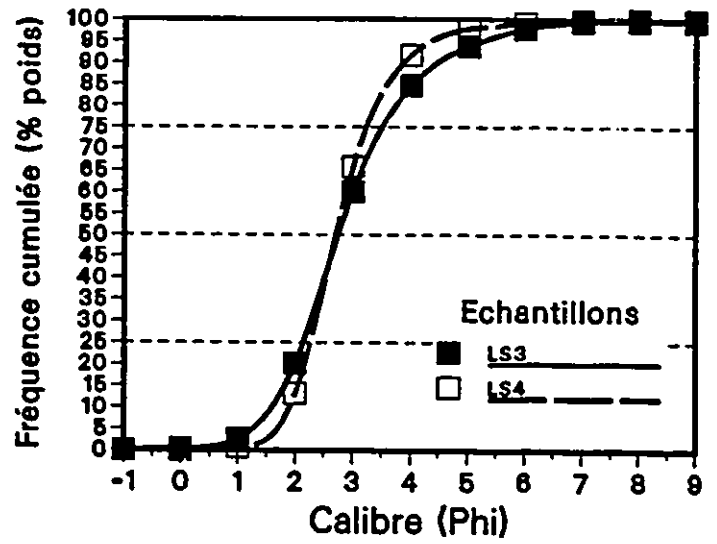
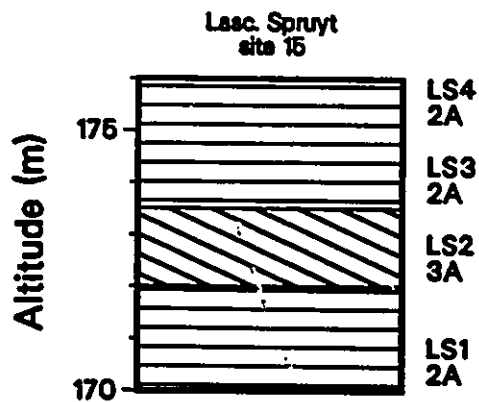


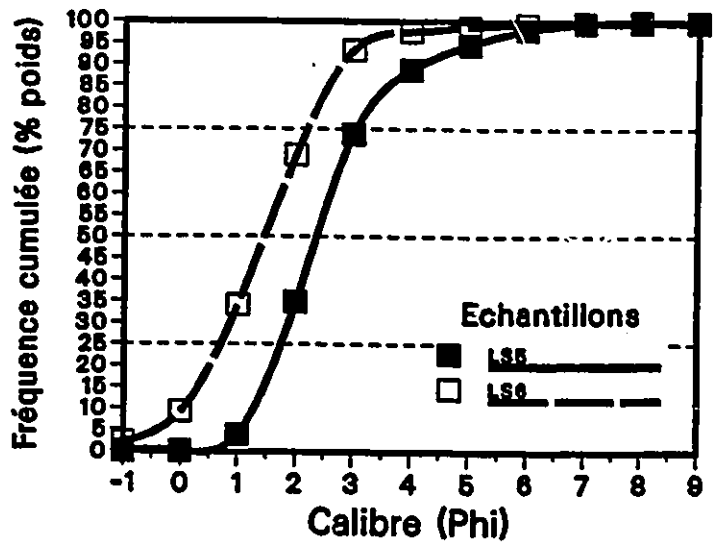
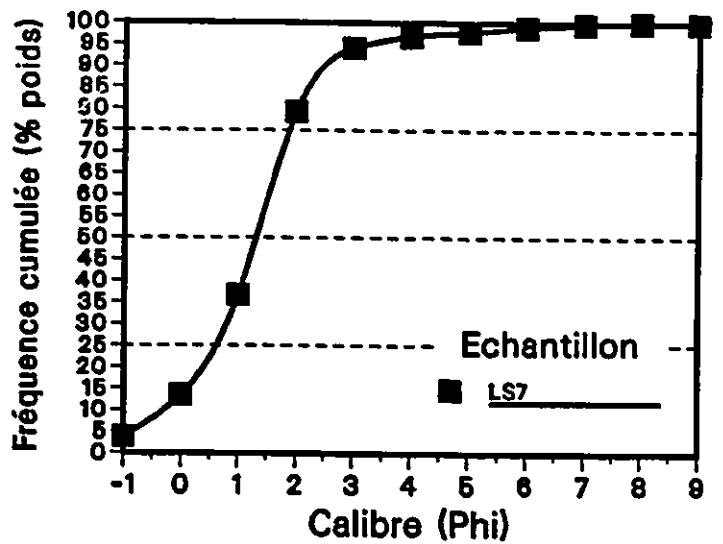
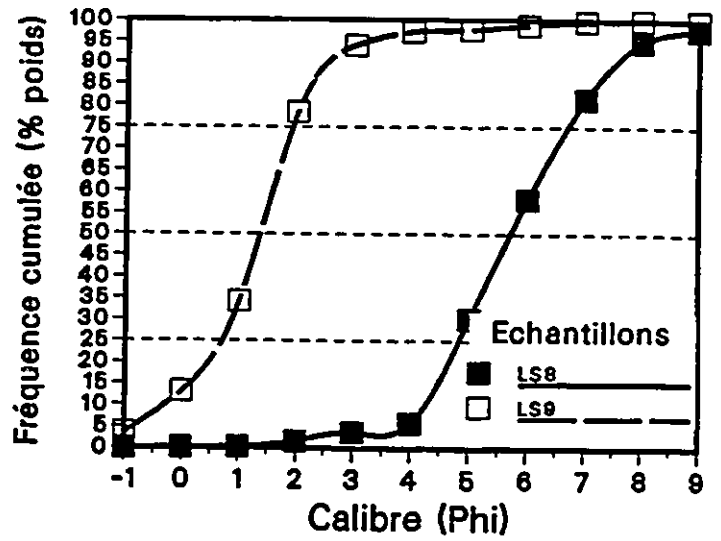
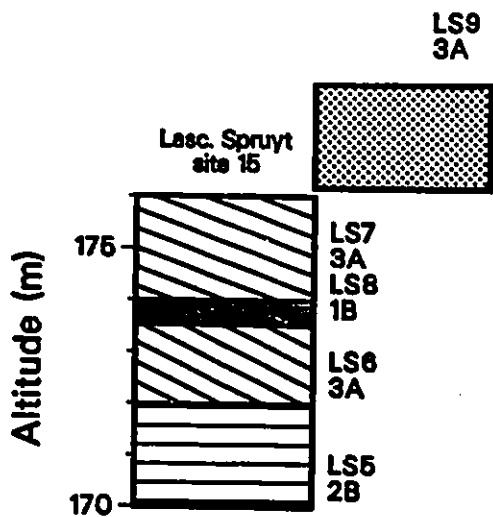


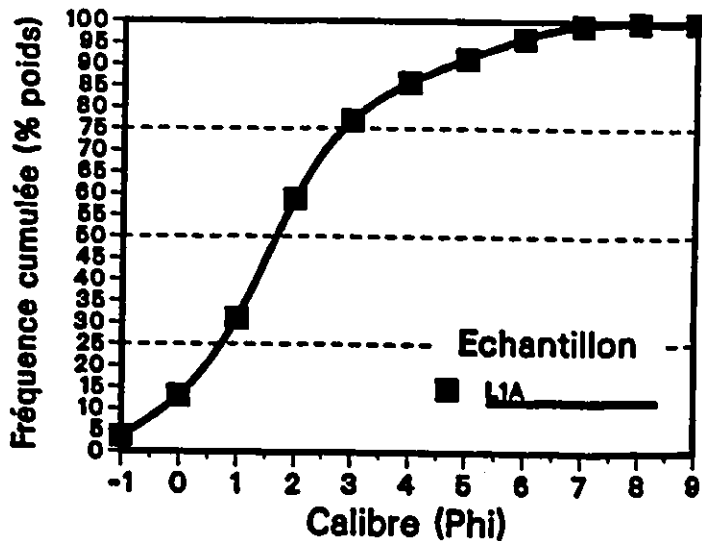
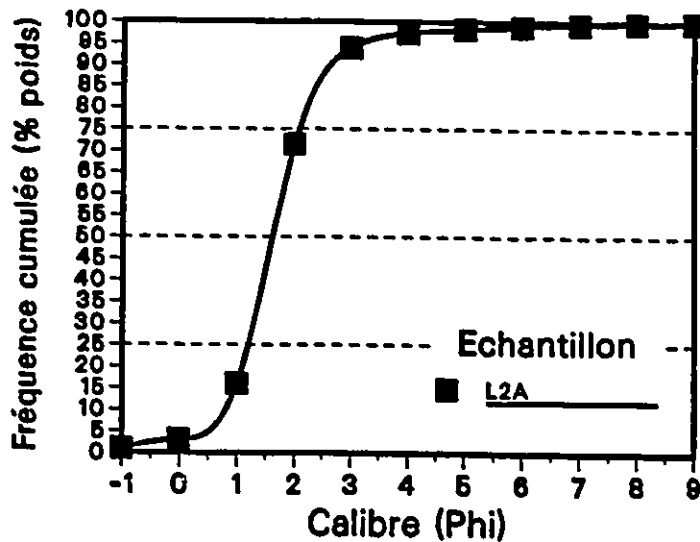
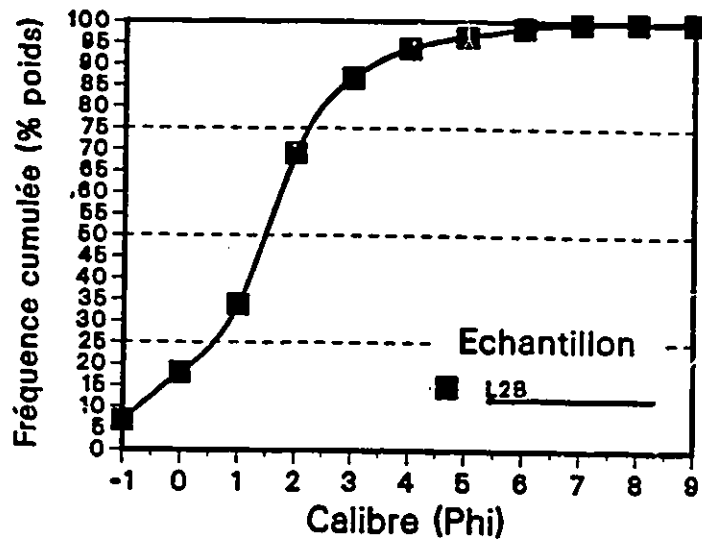
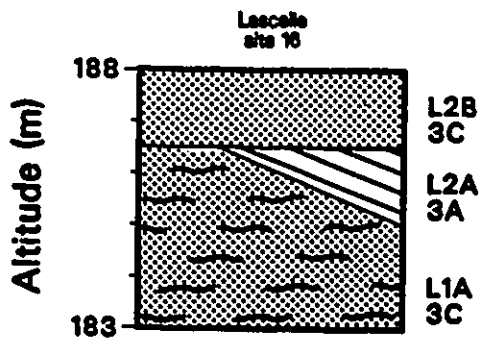
Alcove, site 14

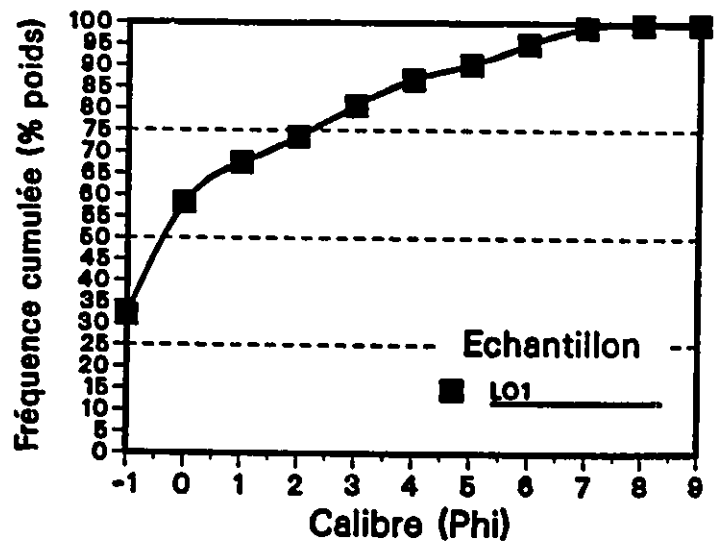
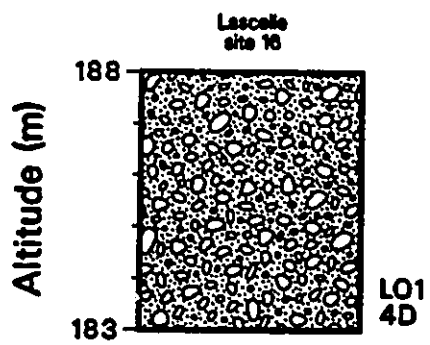


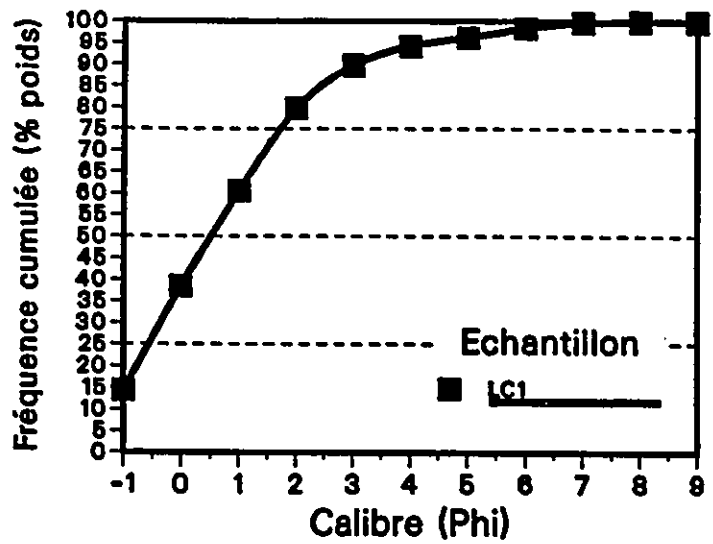
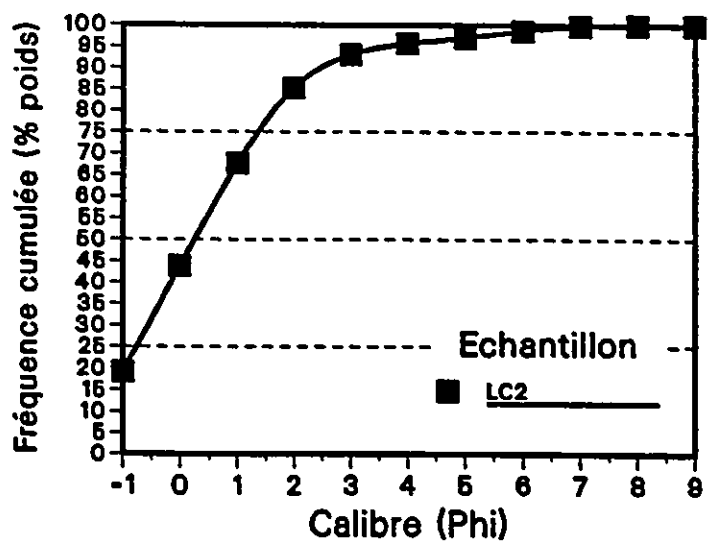
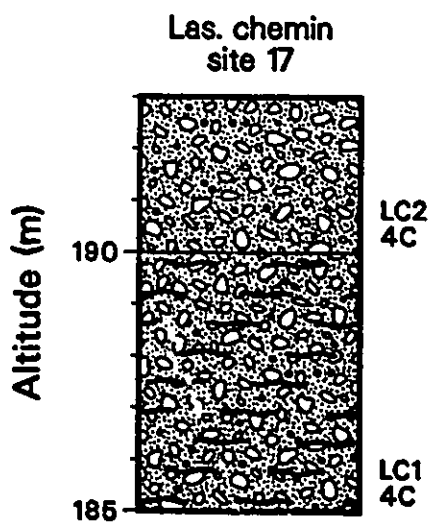




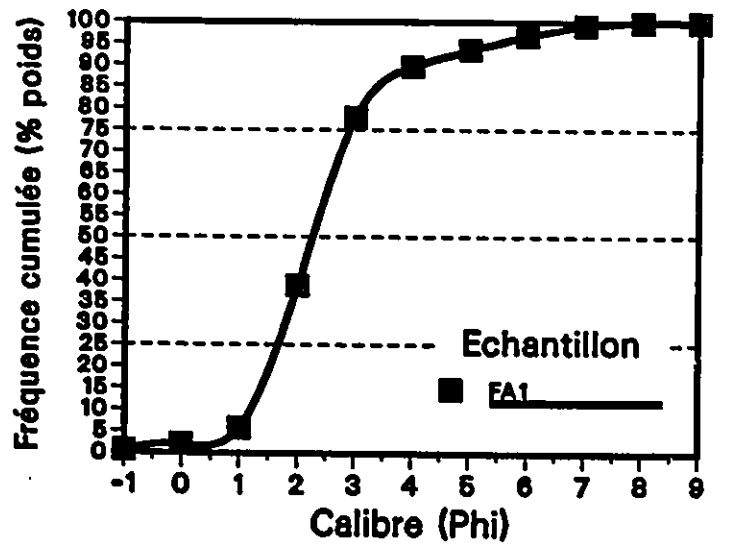
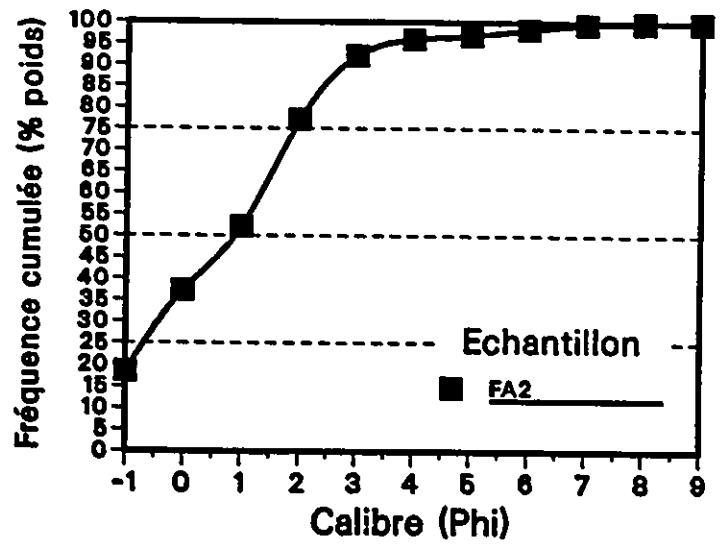
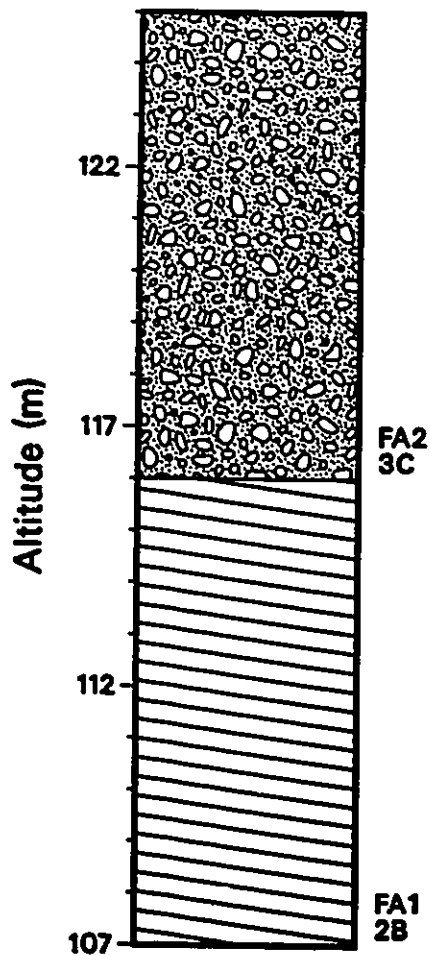




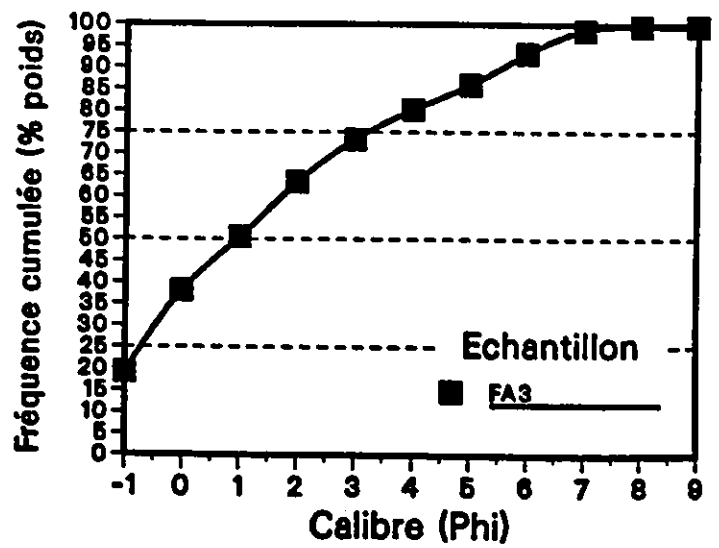
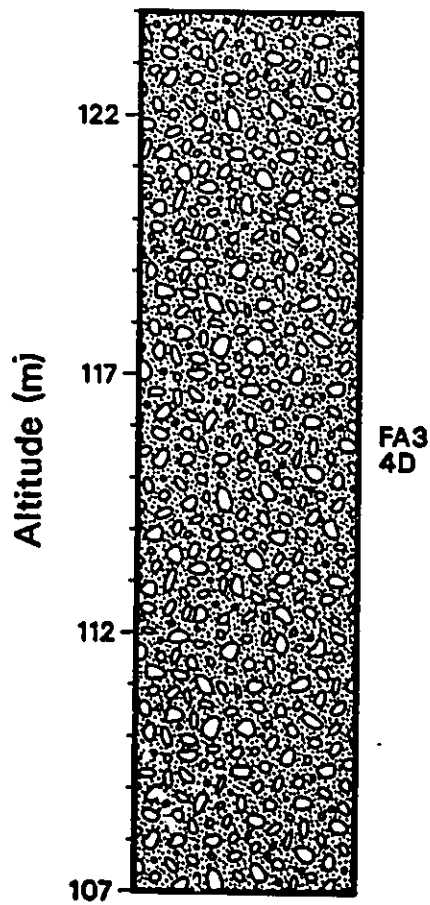


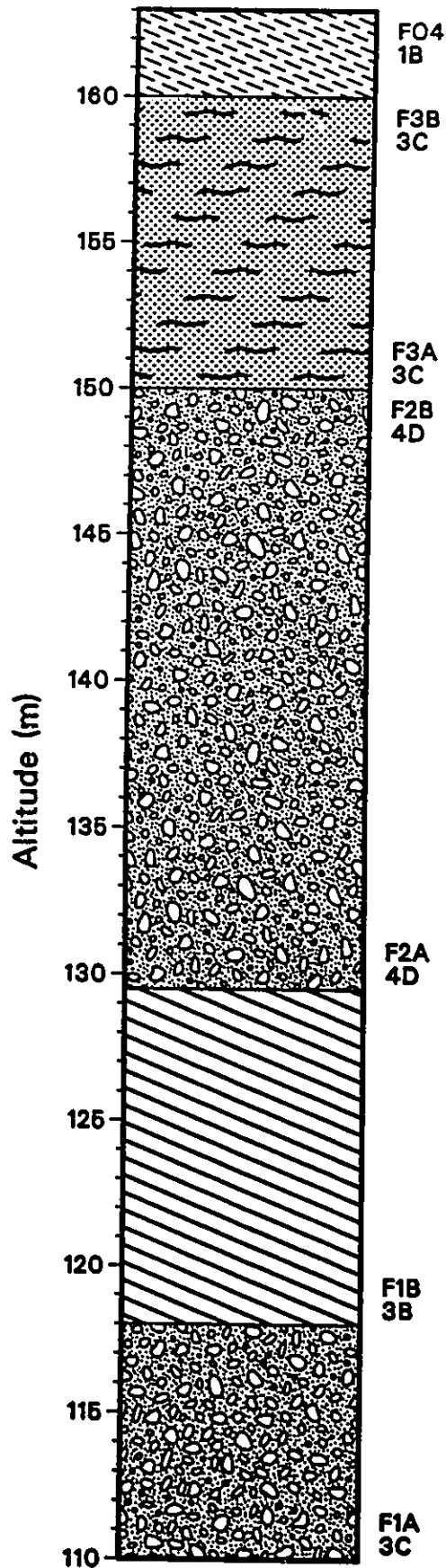


Farrel. est
site 18

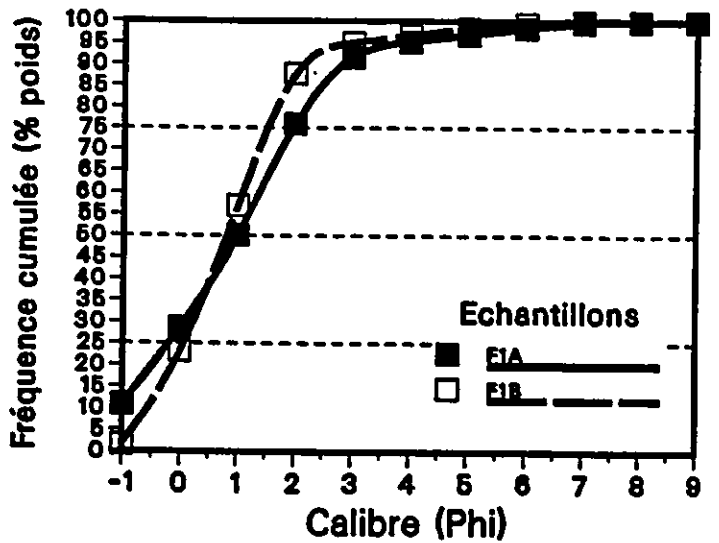
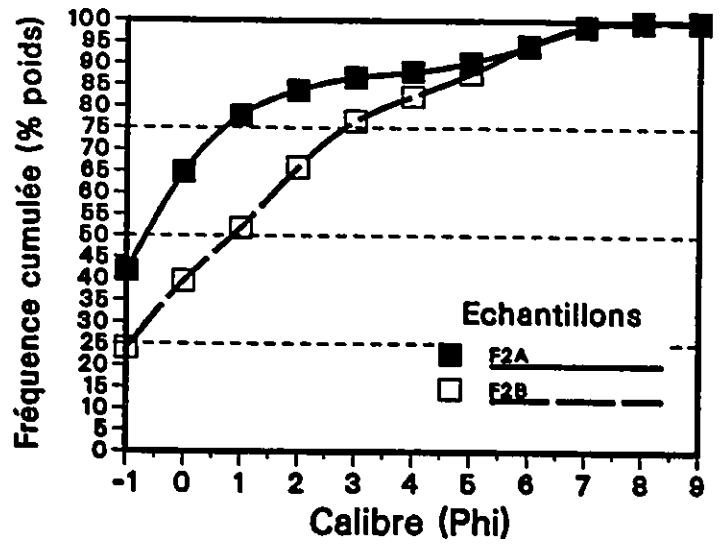
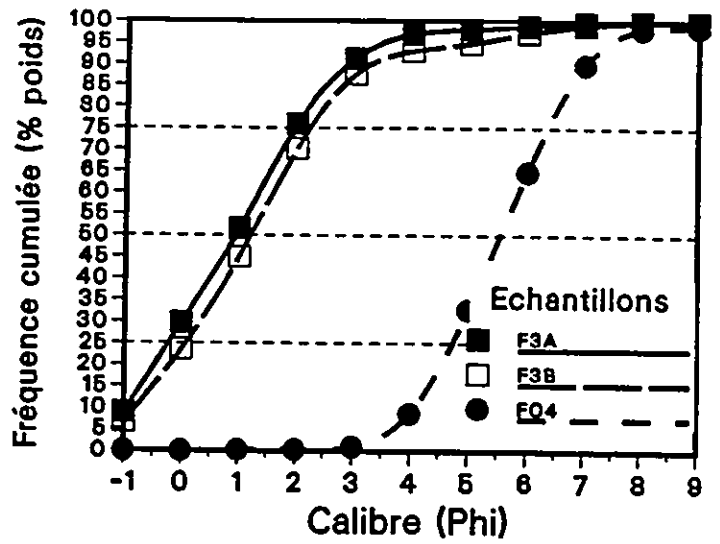


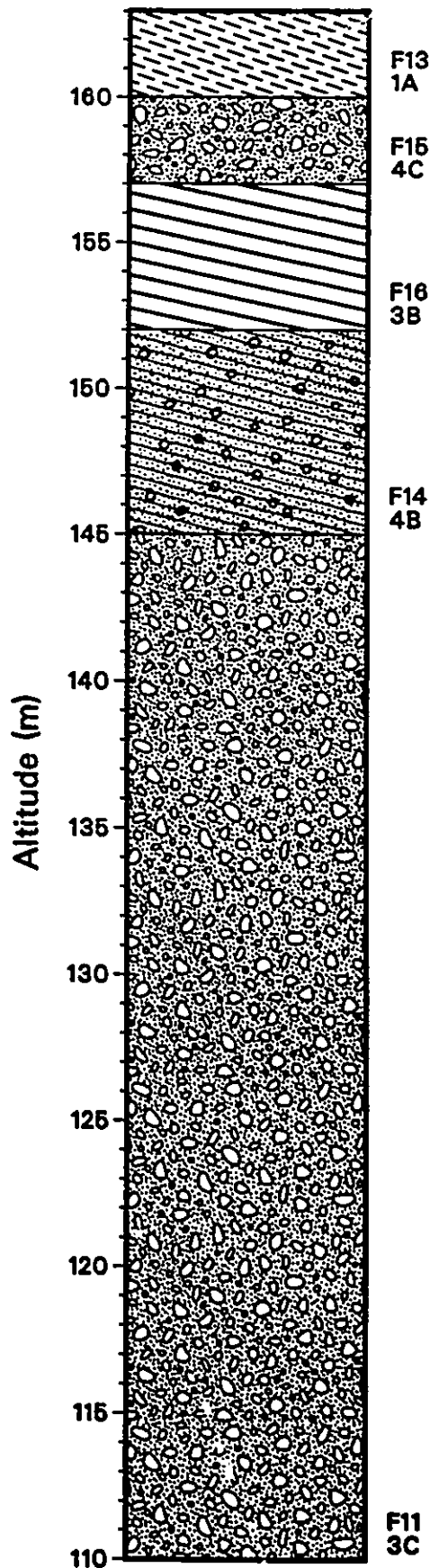
Farrel. est
site 18



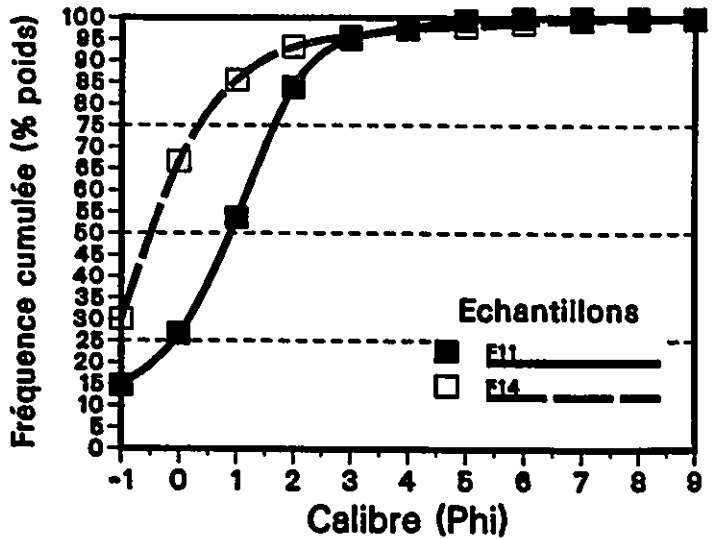
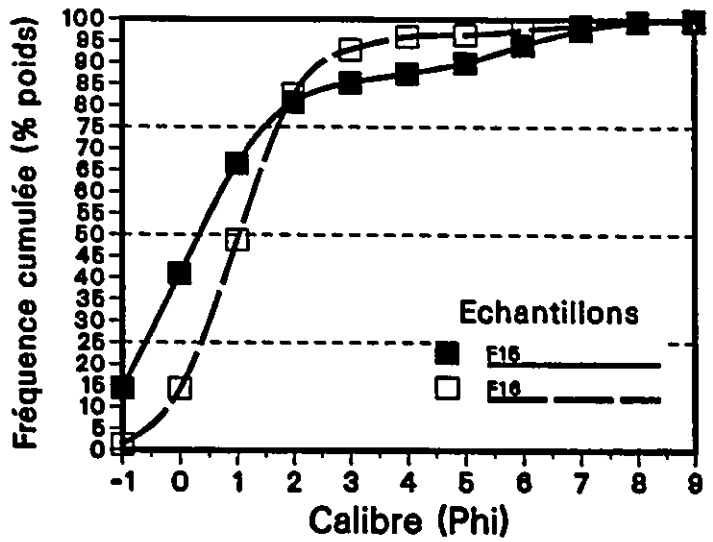
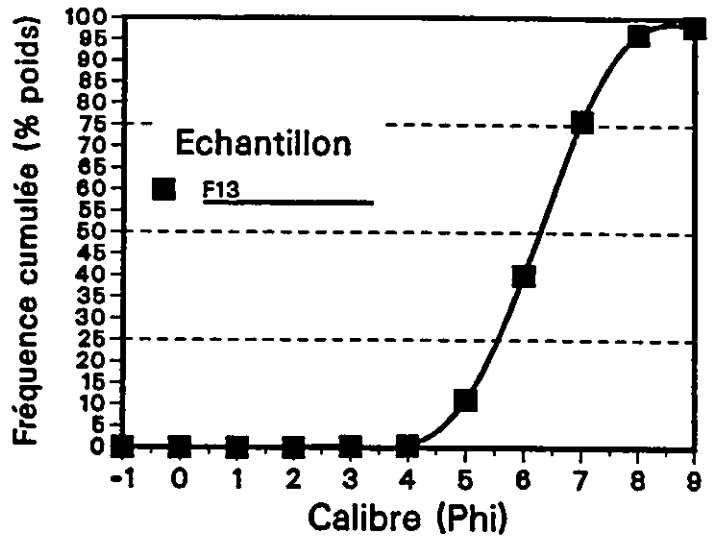


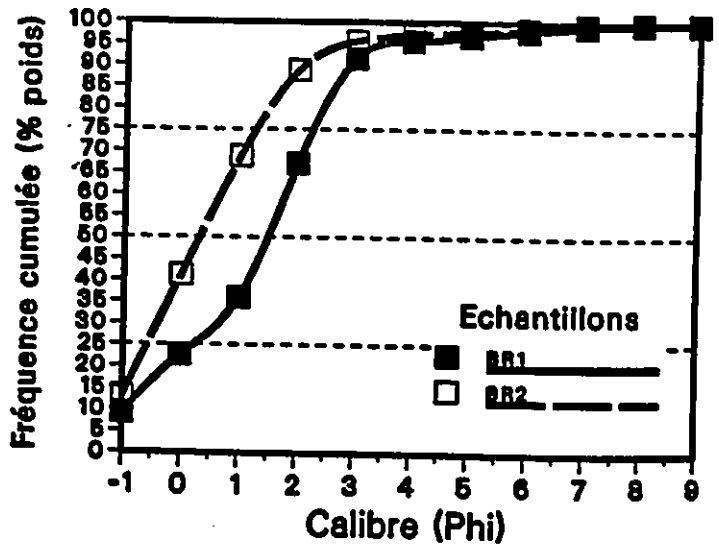
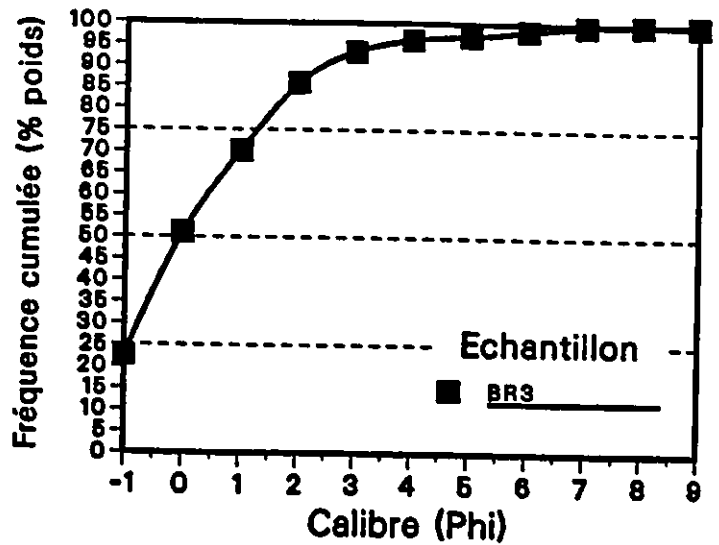
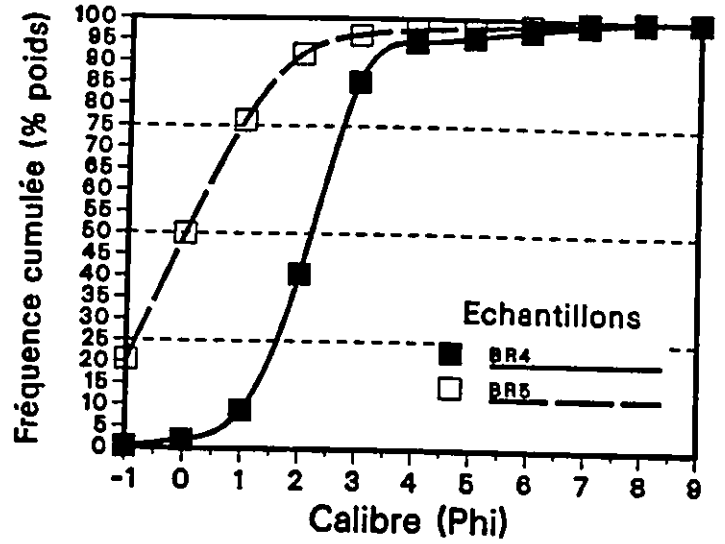
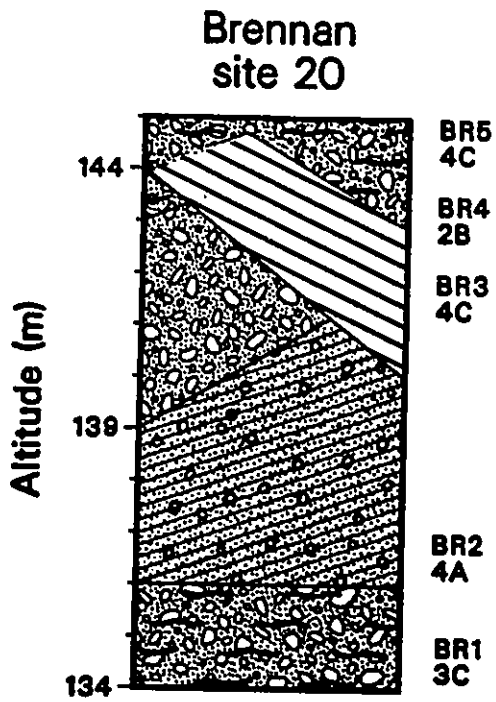
Farrelton, site 19

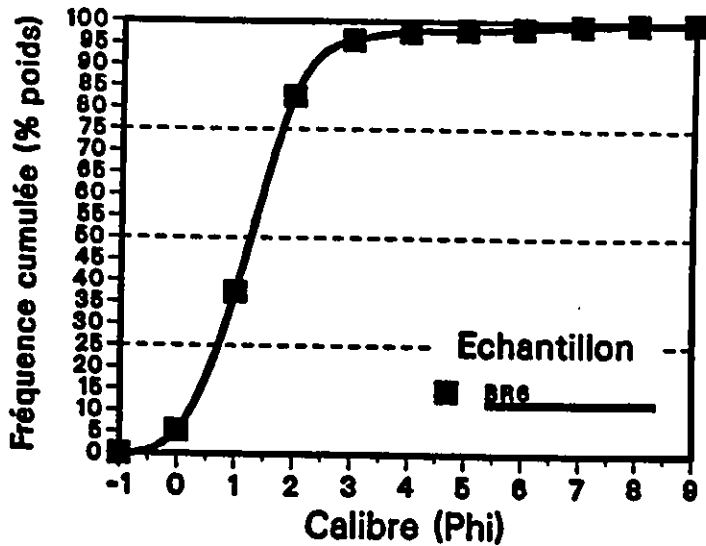
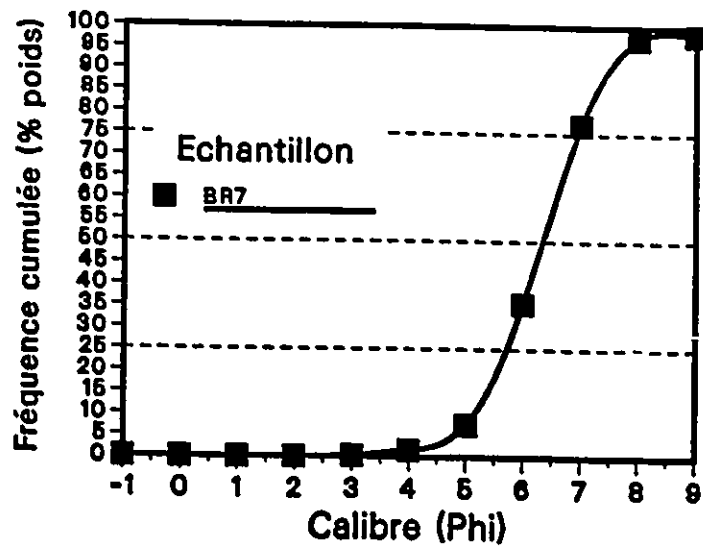
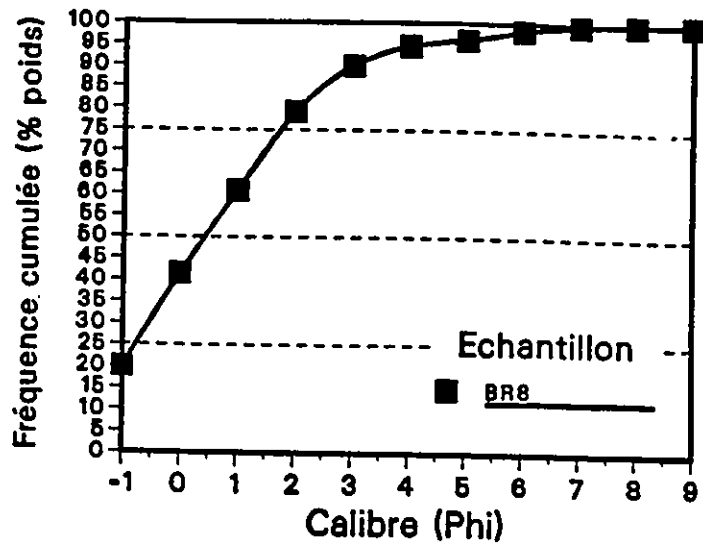
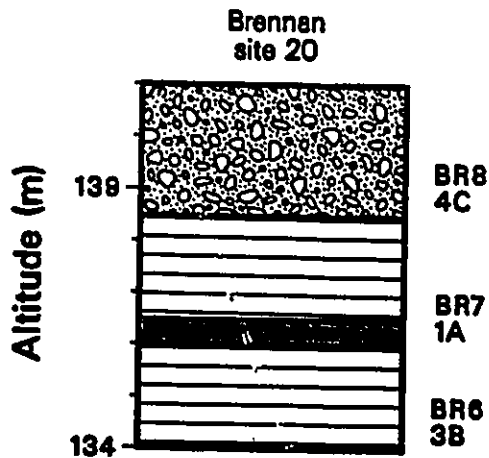




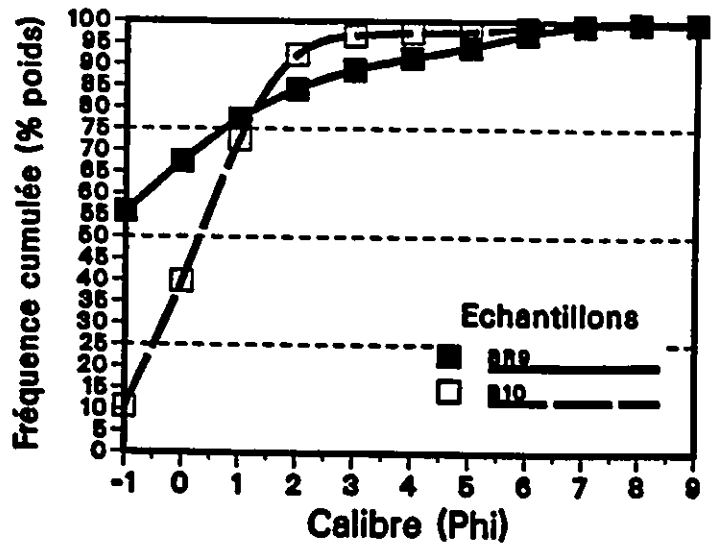
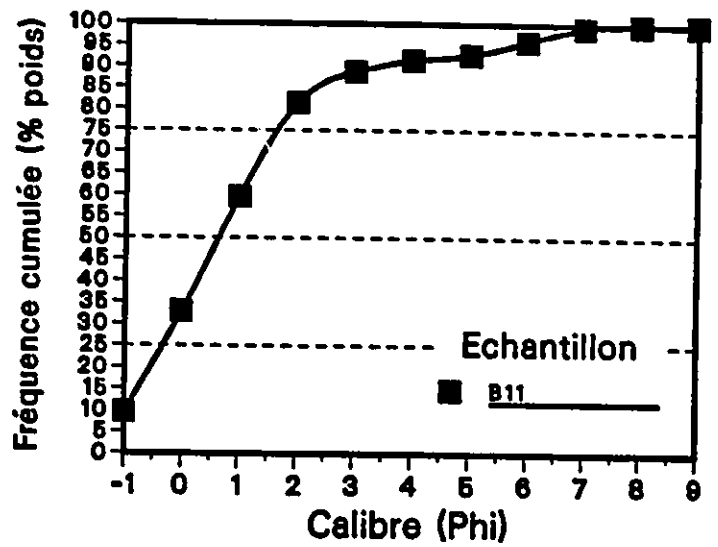
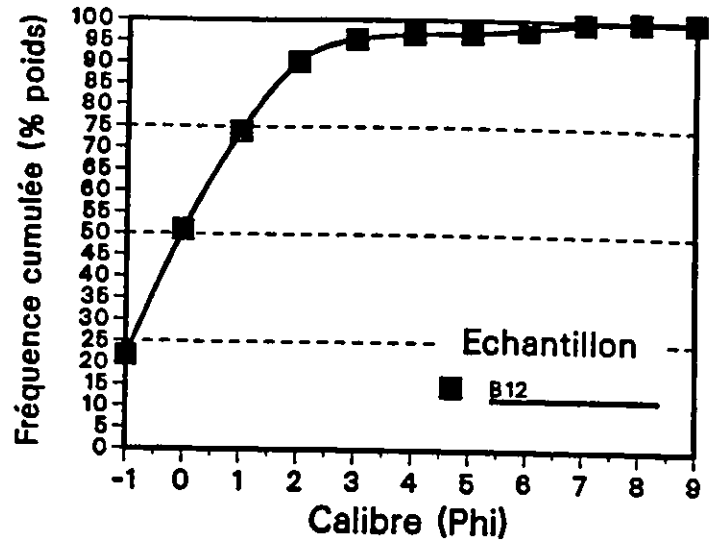
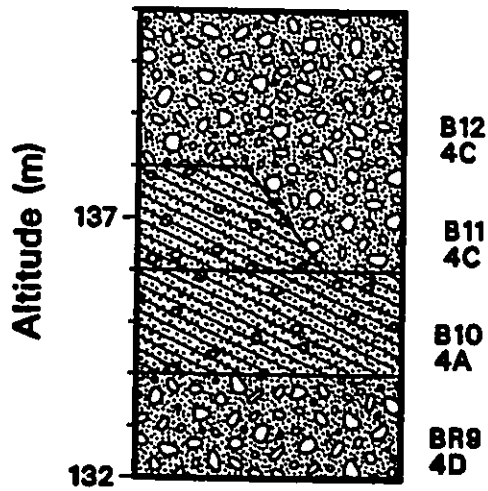
Farrelton, site 19

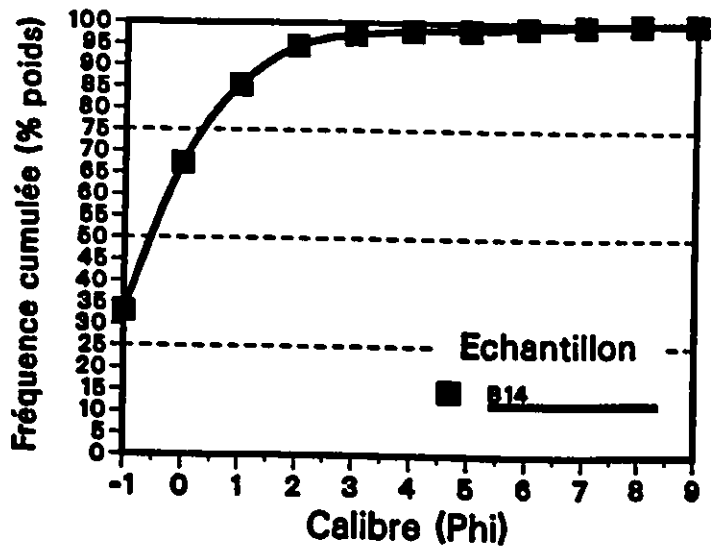
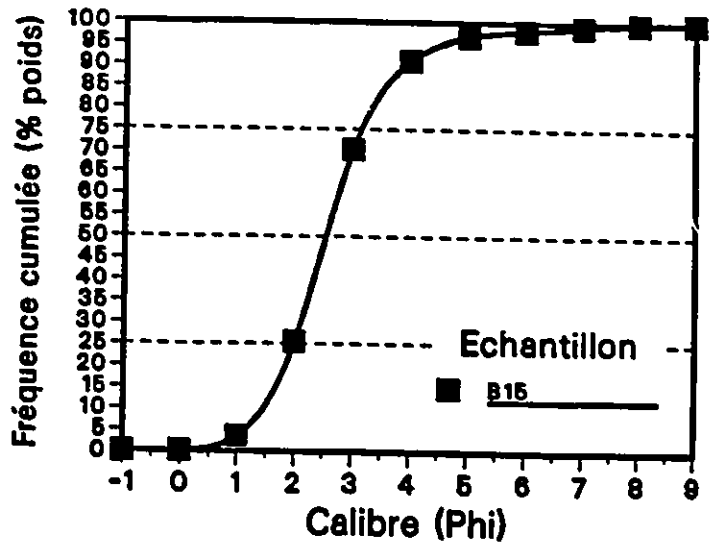
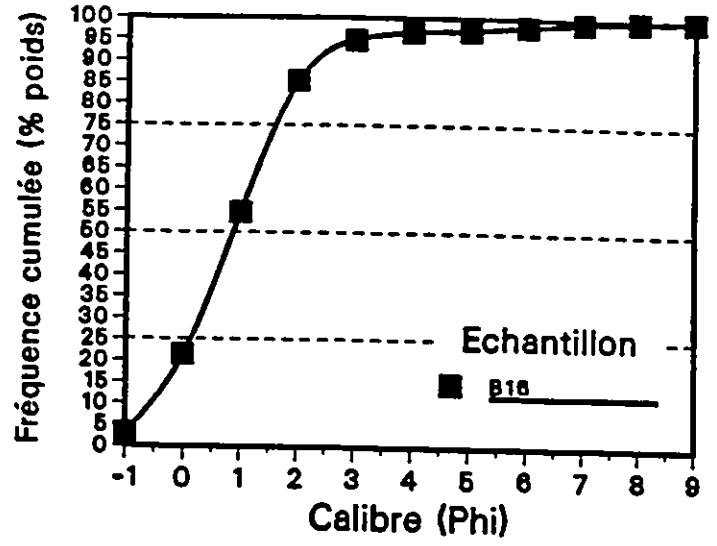
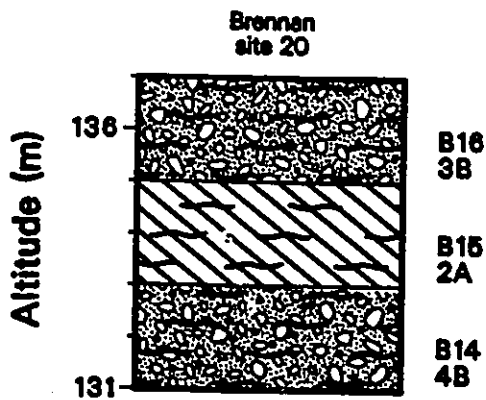




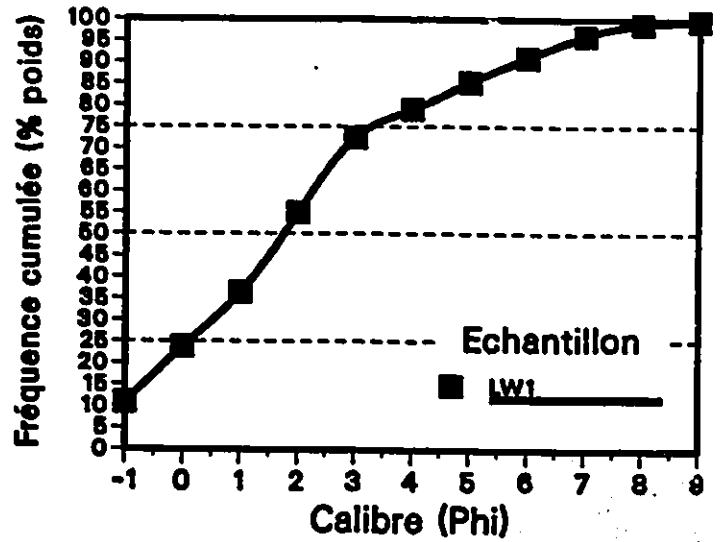
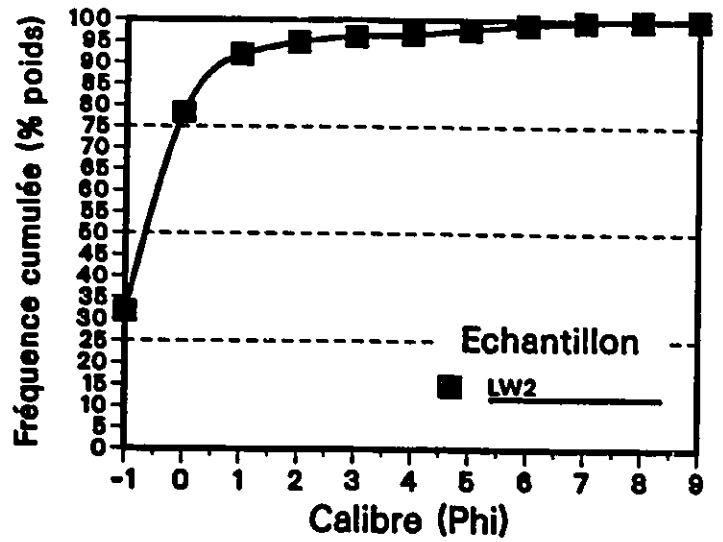
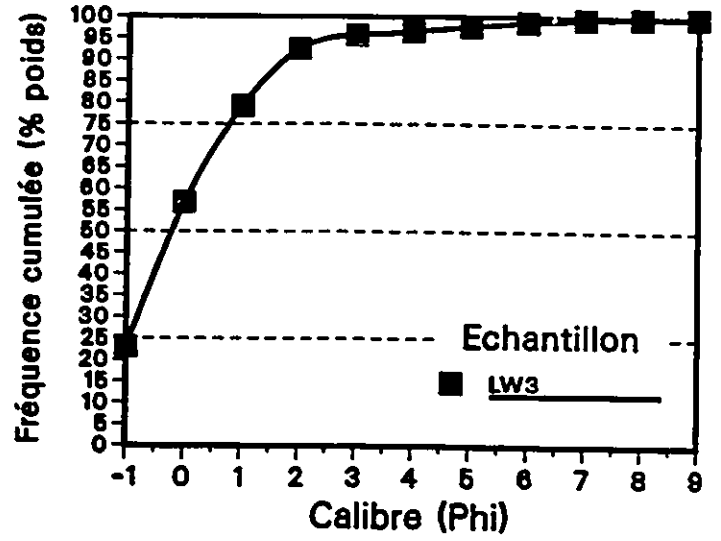
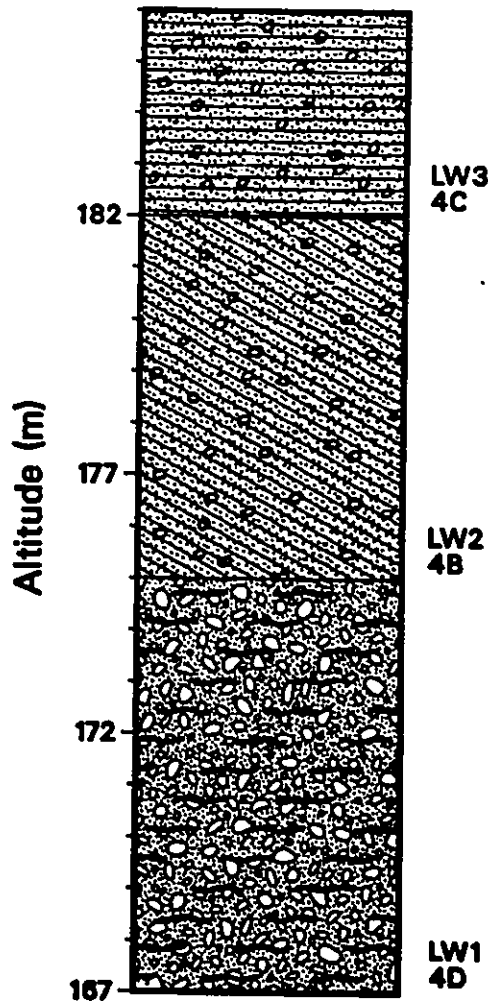


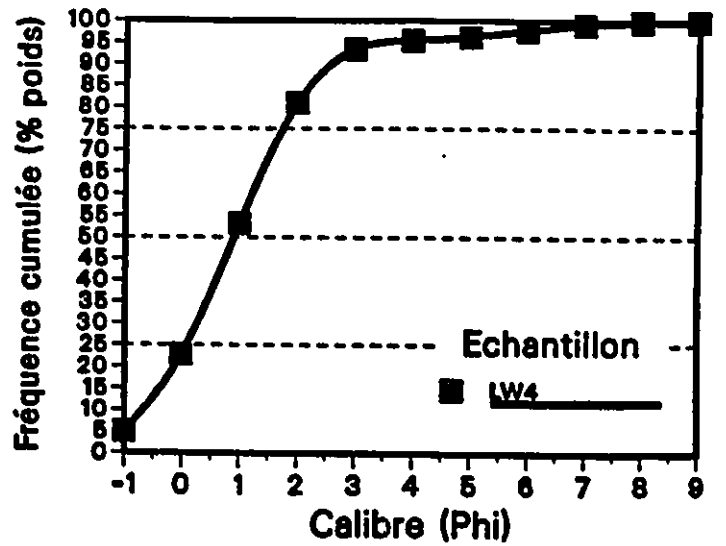
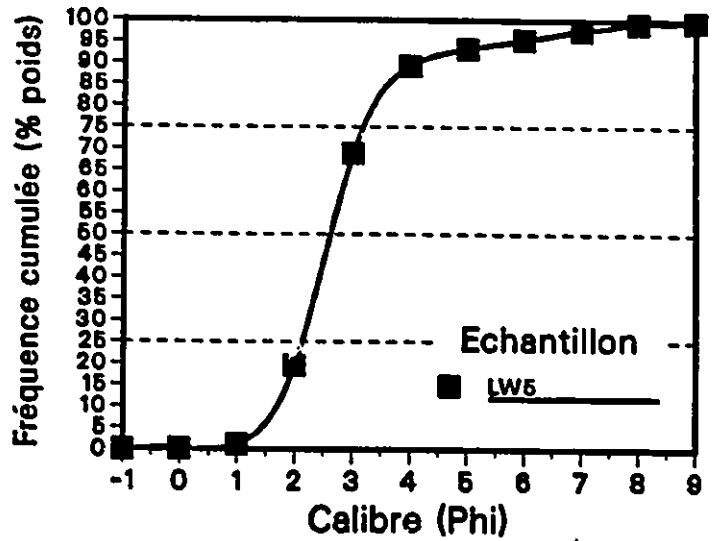
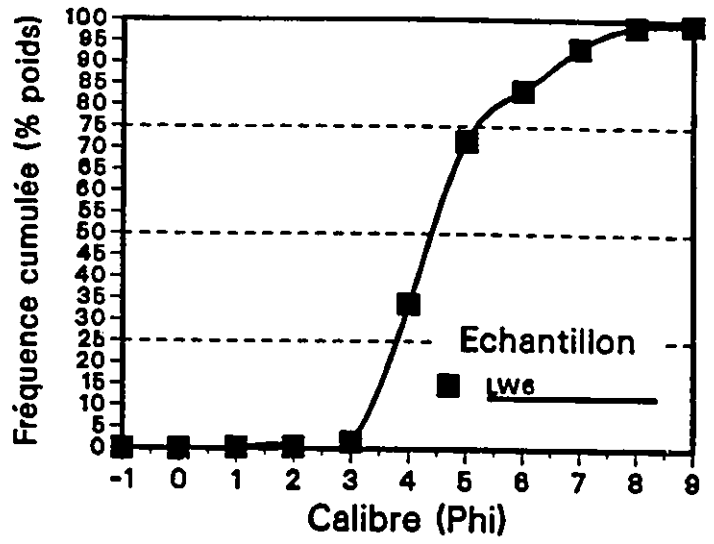
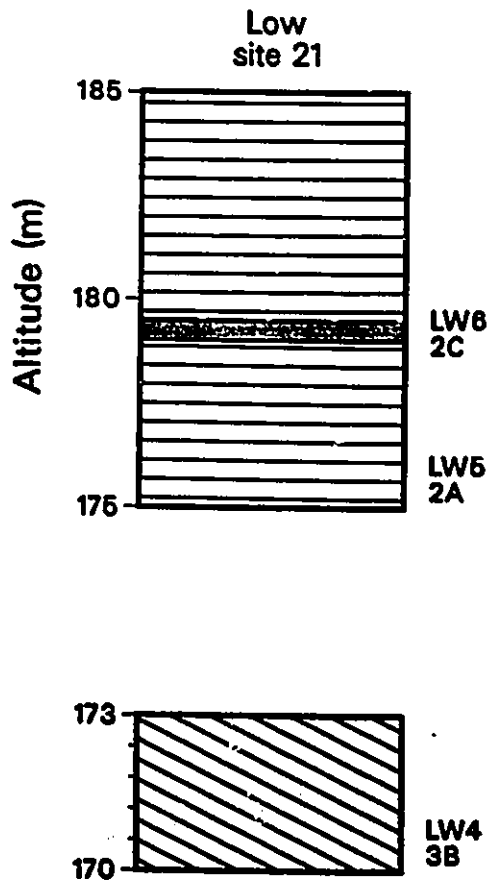
Brennan site 20

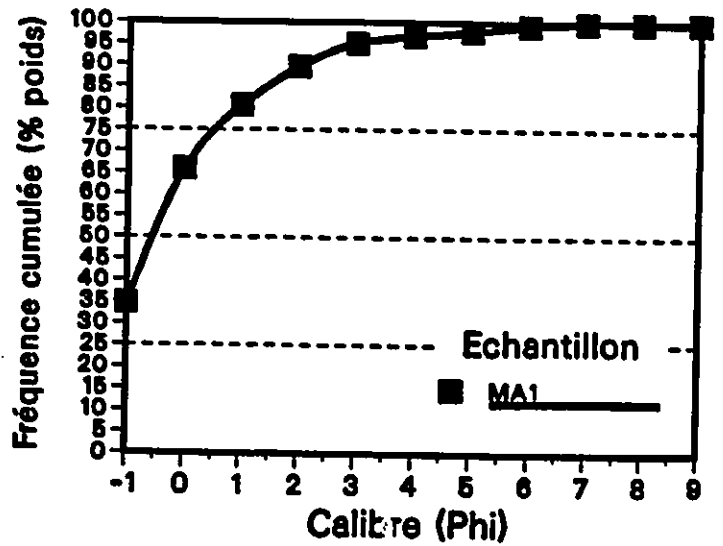
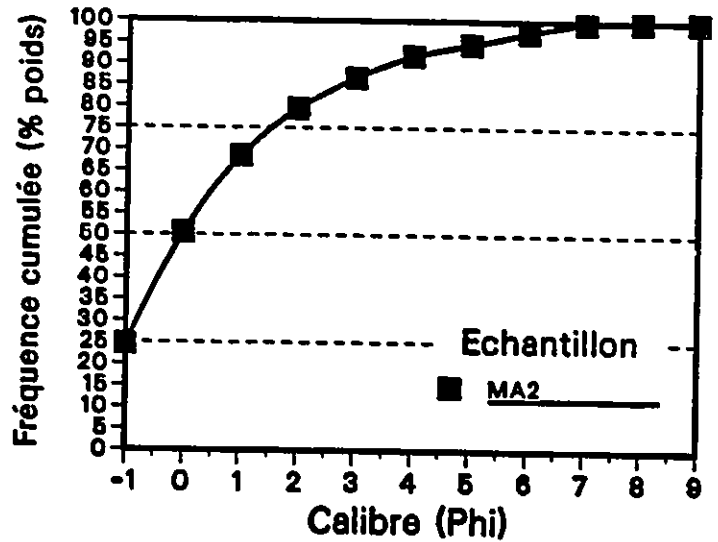
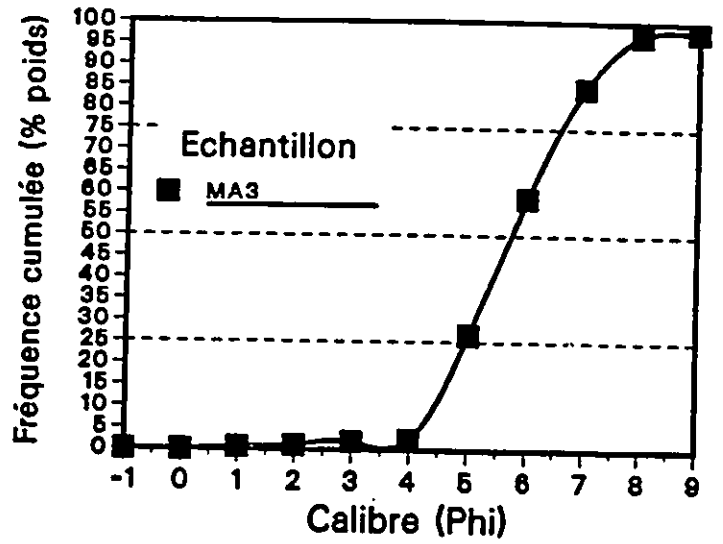
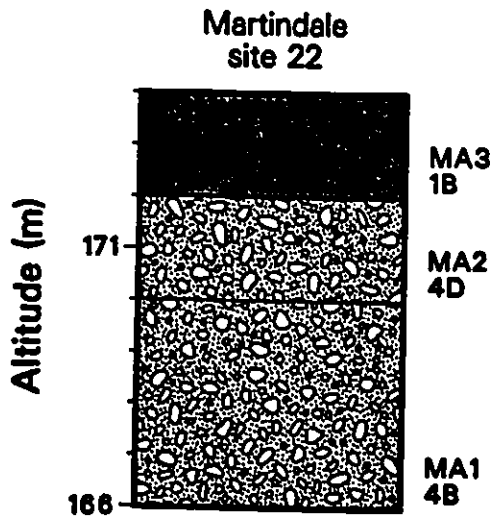


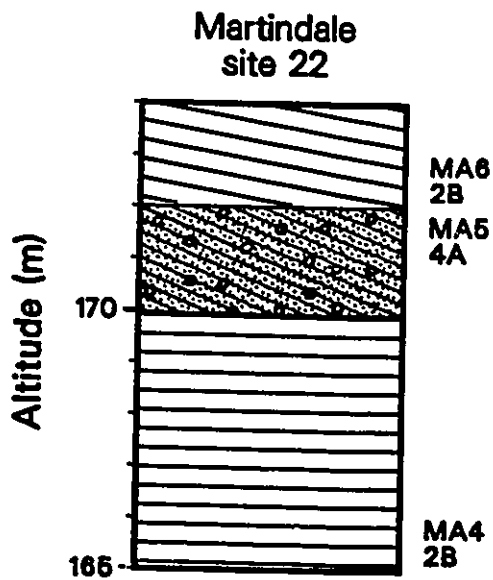
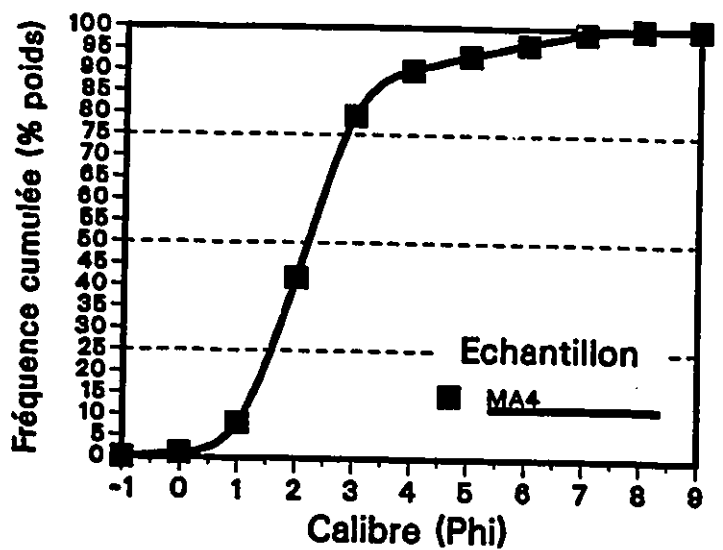
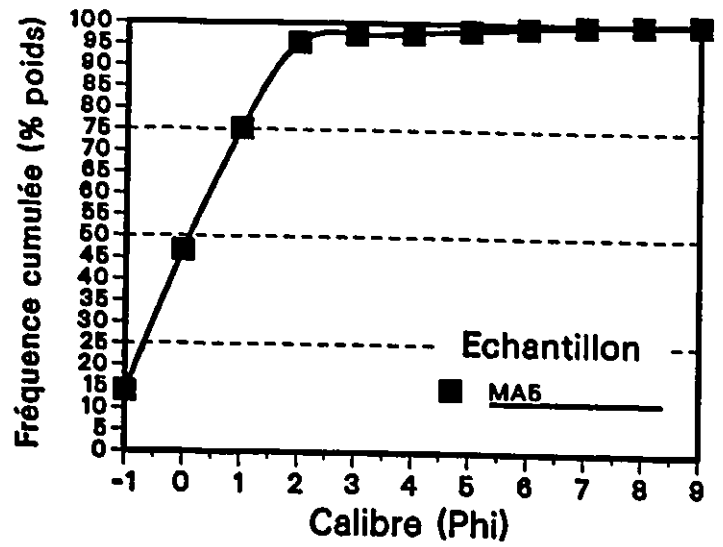
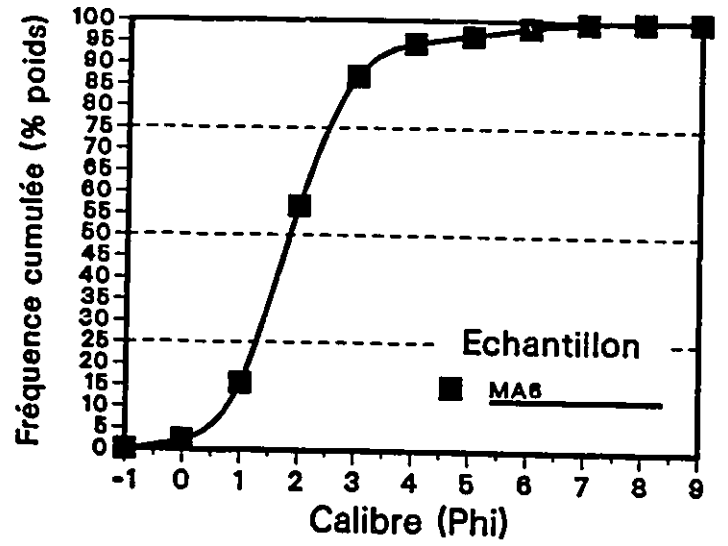


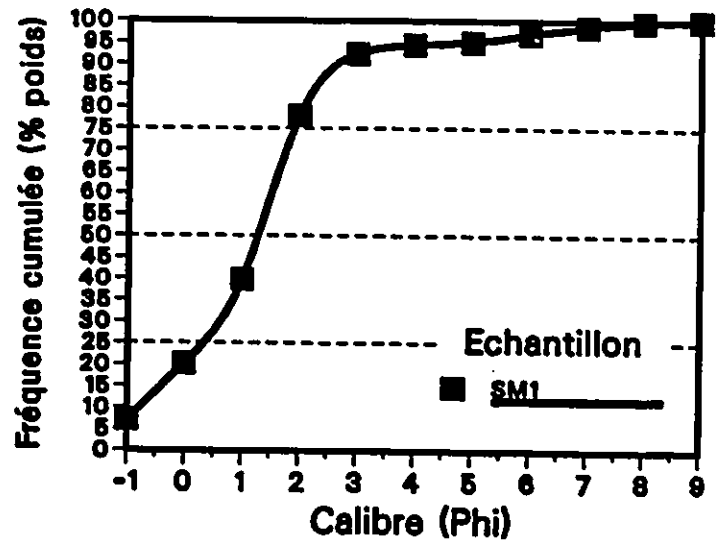
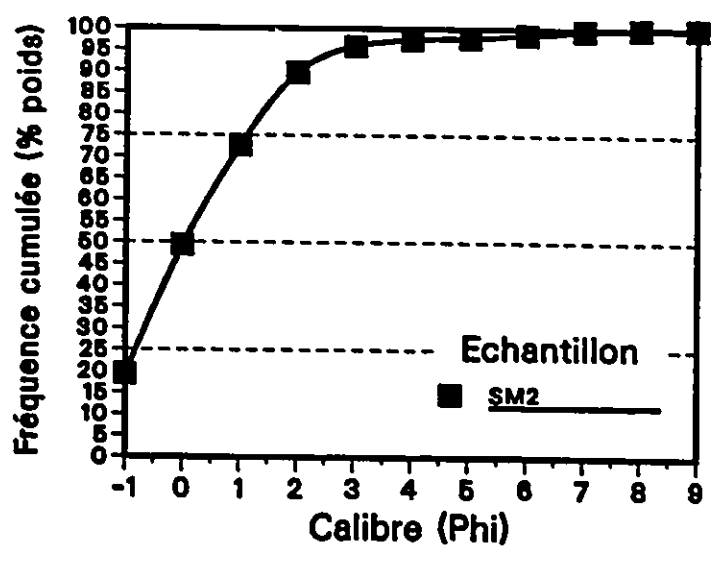
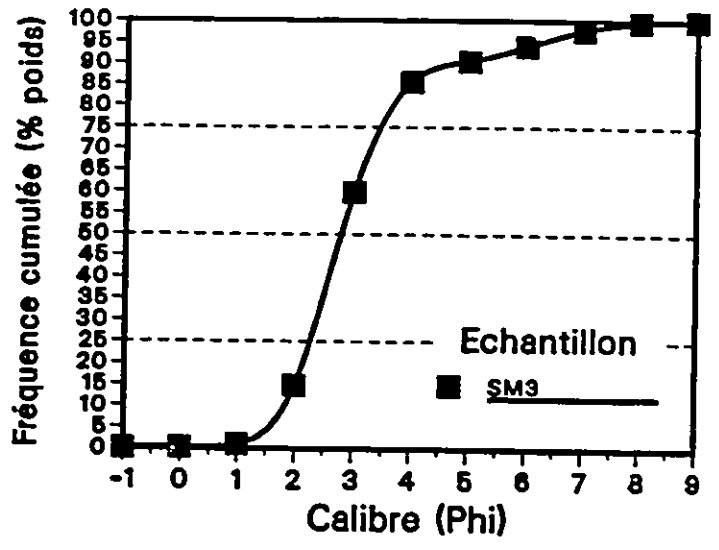
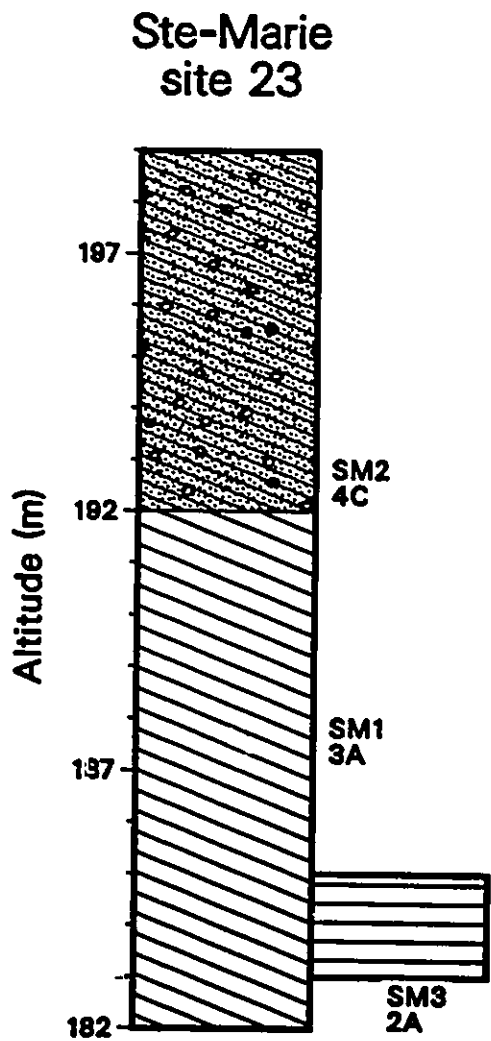
Low site 21











ANNEXE B

TABLEAU DES CONTRIBUTIONS

GRANULOMETRIE: CONTRIBUTIONS DES POINTS-TAMIS										
TAMIS	CONTRIBUTIONS ABSOLUES					CONTRIBUTIONS RELATIVES				
μm	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
2830	1.21	2.51	2.73	0.48	0.14	0.17	0.36	0.39	0.07	0.01
2000	1.40	2.48	1.63	0.15	0.01	0.25	0.44	0.29	0.03	0.00
1410	1.42	2.10	0.72	0.02	0.02	0.33	0.49	0.17	0.00	0.00
1000	1.71	1.80	0.08	0.03	0.07	0.46	0.49	0.02	0.01	0.02
707	1.37	0.79	0.18	0.17	0.05	0.54	0.31	0.07	0.07	0.02
500	1.44	0.27	1.13	0.30	0.01	0.46	0.09	0.36	0.10	0.00
350	1.18	0.03	2.07	0.13	0.02	0.34	0.01	0.60	0.04	0.01
250	0.43	1.60	0.97	0.11	0.07	0.13	0.50	0.30	0.03	0.02
177	0.09	4.91	0.01	0.77	0.01	0.02	0.85	0.00	0.13	0.00
125	0.03	8.16	0.88	0.34	0.07	0.00	0.86	0.09	0.04	0.01
88	0.12	4.91	1.22	0.09	0.02	0.01	0.77	0.19	0.01	0.00
63	1.00	3.23	2.44	3.06	0.02	0.10	0.33	0.25	0.31	0.00
44	3.45	1.47	2.63	7.25	0.08	0.23	0.10	0.18	0.49	0.01
31	11.97	0.35	0.00	0.21	1.18	0.87	0.03	0.00	0.02	0.09
15.6	17.30	1.08	0.05	0.02	0.41	0.92	0.06	0.00	0.00	0.07
7.8	19.60	1.44	0.15	0.16	0.00	0.92	0.07	0.01	0.01	0.00
3.9	15.97	1.15	0.28	0.33	1.53	0.83	0.06	0.01	0.02	0.08
2.0	7.79	0.52	0.28	0.36	10.25	0.41	0.03	0.01	0.02	0.05
TOT.	87.48	38.80	17.45	13.98	13.96	6.99	5.85	2.94	1.64	0.34
GRANULOMETRIE: CONTRIBUTIONS DES ECHANTILLONS										
ECH.	CONTRIBUTIONS ABSOLUES					CONTRIBUTIONS RELATIVES				
	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
AL1	0.06	0.06	0.22	0.00	0.00	0.18	0.16	0.64	0.01	0.01
AL2	0.01	0.61	0.00	0.00	0.03	0.02	0.94	0.00	0.00	0.04
AL3	2.67	0.02	0.06	0.46	0.09	0.81	0.01	0.02	0.14	0.03
A10	0.18	0.01	0.10	0.01	0.00	0.60	0.04	0.34	0.02	0.00
A11	0.12	0.12	0.20	0.00	0.02	0.08	0.77	0.13	0.00	0.02
A12	0.24	0.29	0.01	0.00	0.01	0.43	0.52	0.02	0.00	0.02
A13	0.15	0.01	0.35	0.08	0.01	0.25	0.02	0.58	0.14	0.01
A14	0.20	0.38	0.24	0.03	0.00	0.23	0.46	0.28	0.03	0.00
14B	0.21	0.25	0.21	0.04	0.00	0.30	0.35	0.30	0.05	0.00
A15	0.59	0.09	0.00	0.00	0.05	0.81	0.12	0.01	0.00	0.06
A16	4.18	0.39	0.09	0.12	0.26	0.83	0.08	0.02	0.02	0.05
A30	0.03	1.69	0.21	0.16	0.03	0.01	0.80	0.10	0.08	0.02
A31	3.94	0.31	0.08	0.09	1.00	0.73	0.06	0.02	0.02	0.18
A32	0.06	0.28	0.13	0.01	0.00	0.13	0.58	0.28	0.01	0.01
A33	0.18	0.19	0.03	0.05	0.03	0.38	0.41	0.06	0.10	0.06
BR1	0.07	0.07	0.01	0.03	0.00	0.36	0.37	0.08	0.18	0.01
BR2	0.19	0.11	0.00	0.01	0.01	0.61	0.33	0.01	0.02	0.02
BR3	0.17	0.14	0.05	0.00	0.00	0.47	0.39	0.14	0.00	0.00
BR4	0.00	0.76	0.01	0.10	0.00	0.00	0.87	0.01	0.11	0.00

GRANULOMETRIE: CONTRIBUTIONS DES ECHANTILLONS (suite)										
ECH.	CONTRIBUTIONS ABSOLUES					CONTRIBUTIONS RELATIVES				
	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
BR5	0.22	0.22	0.01	0.00	0.01	0.49	0.48	0.02	0.00	0.01
BR6	0.14	0.03	0.46	0.03	0.00	0.21	0.05	0.70	0.04	0.00
BR7	4.15	0.39	0.08	0.14	0.03	0.87	0.08	0.02	0.03	0.01
BR8	0.11	0.04	0.03	0.00	0.00	0.60	0.25	0.15	0.00	0.00
BR9	0.11	0.42	0.68	0.14	0.09	0.08	0.29	0.47	0.10	0.06
B10	0.23	0.15	0.03	0.03	0.01	0.51	0.34	0.06	0.06	0.03
B11	0.08	0.06	0.02	0.01	0.00	0.45	0.34	0.12	0.08	0.01
B12	0.19	0.20	0.02	0.00	0.00	0.46	0.48	0.05	0.00	0.01
B14	0.27	0.42	0.20	0.02	0.00	0.29	0.46	0.22	0.02	0.00
B15	0.01	1.25	0.09	0.00	0.00	0.01	0.92	0.07	0.00	0.00
B16	0.15	0.01	0.18	0.03	0.01	0.40	0.02	0.48	0.09	0.02
CP1	0.00	0.79	0.03	0.08	0.01	0.00	0.87	0.04	0.08	0.01
CP2	0.03	0.54	0.01	0.02	0.01	0.05	0.90	0.02	0.03	0.01
CP3	0.09	0.06	0.18	0.00	0.00	0.27	0.19	0.53	0.01	0.00
CP4	0.24	0.47	0.24	0.02	0.00	0.25	0.49	0.25	0.02	0.00
CP5	0.13	0.00	0.21	0.02	0.00	0.36	0.00	0.59	0.05	0.03
CP6	0.24	0.37	0.13	0.00	0.01	0.33	0.50	0.17	0.00	0.01
CP7	0.02	1.01	0.04	0.02	0.01	0.02	0.75	0.03	0.19	0.01
CP8	3.74	0.20	0.01	0.01	0.75	0.80	0.04	0.00	0.00	0.16
CT1	0.19	0.29	0.14	0.00	0.00	0.31	0.46	0.22	0.00	0.00
CT2	0.12	1.48	0.42	0.00	0.02	0.06	0.72	0.21	0.00	0.01
CT3	0.16	0.00	0.52	0.05	0.00	0.22	0.00	0.72	0.06	0.00
CT4	0.15	0.01	0.63	0.06	0.00	0.18	0.02	0.74	0.07	0.00
EW1	0.21	0.05	0.18	0.06	0.01	0.41	0.09	0.34	0.13	0.02
EW2	0.20	0.50	0.42	0.07	0.01	0.17	0.42	0.35	0.06	0.01
EW3	0.10	0.10	0.60	0.00	0.02	0.13	0.12	0.72	0.00	0.03
EW4	0.07	0.00	0.01	0.00	0.02	0.70	0.02	0.08	0.02	0.18
EW5	0.15	0.03	0.25	0.01	0.00	0.33	0.07	0.57	0.03	0.00
EW6	0.19	0.07	0.00	0.00	0.00	0.73	0.27	0.00	0.00	0.00
EW7	0.11	0.00	0.05	0.01	0.00	0.64	0.00	0.31	0.03	0.02
EW8	0.22	0.24	0.04	0.00	0.00	0.44	0.48	0.08	0.00	0.01
FA1	0.00	0.69	0.01	0.05	0.01	0.00	0.91	0.01	0.06	0.02
FA2	0.11	0.00	0.01	0.02	0.00	0.76	0.03	0.05	0.13	0.03
FA3	0.00	0.04	0.08	0.00	0.02	0.01	0.32	0.56	0.00	0.11
F1A	0.10	0.00	0.01	0.00	0.00	0.92	0.00	0.08	0.00	0.00
F1B	0.16	0.02	0.16	0.05	0.00	0.41	0.05	0.41	0.13	0.00
F2A	0.06	0.46	0.39	0.08	0.02	0.06	0.46	0.38	0.08	0.02
F2B	0.00	0.05	0.10	0.01	0.04	0.00	0.28	0.50	0.04	0.18
F3A	0.12	0.00	0.01	0.00	0.00	0.90	0.01	0.04	0.03	0.03
F3B	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.64	0.11	0.25	0.01	0.01
FO4	3.39	0.13	0.00	0.05	0.23	0.89	0.03	0.00	0.01	0.06
F11	0.16	0.00	0.03	0.00	0.00	0.80	0.02	0.15	0.01	0.02
F13	4.20	0.41	0.09	0.13	0.02	0.87	0.08	0.02	0.03	0.00
F14	0.25	0.42	0.19	0.01	0.00	0.29	0.48	0.22	0.01	0.00
F15	0.04	0.17	0.00	0.01	0.01	0.19	0.74	0.00	0.04	0.04
F16	0.12	0.00	0.25	0.04	0.01	0.29	0.00	0.60	0.10	0.01

GRANULOMETRIE: CONTRIBUTIONS DES ECHANTILLONS (suite)										
ECH.	CONTRIBUTIONS ABSOLUES					CONTRIBUTIONS RELATIVES				
	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
FL1	0.06	1.37	0.25	0.01	0.00	0.03	0.81	0.15	0.01	0.00
FL2	0.18	0.30	0.06	0.00	0.00	0.33	0.56	0.10	0.00	0.01
FL3	3.15	0.29	0.03	0.00	0.70	0.76	0.07	0.01	0.00	0.17
FL4	0.07	0.08	0.06	0.00	0.00	0.31	0.39	0.29	0.00	0.01
GOF	0.22	0.17	0.01	0.01	0.01	0.53	0.42	0.02	0.01	0.02
LC1	0.11	0.04	0.00	0.01	0.00	0.69	0.25	0.02	0.04	0.00
LC2	0.16	0.11	0.01	0.00	0.00	0.57	0.40	0.03	0.00	0.00
LS1	0.17	0.74	0.07	0.01	0.03	0.17	0.73	0.07	0.01	0.03
LS2	0.07	0.04	0.15	0.00	0.00	0.27	0.16	0.56	0.01	0.01
LS3	0.06	1.05	0.14	0.02	0.00	0.05	0.82	0.11	0.02	0.00
LS4	0.03	1.64	0.32	0.00	0.01	0.01	0.82	0.16	0.00	0.01
LS5	0.01	0.82	0.00	0.00	0.01	0.01	0.97	0.00	0.00	0.01
LS6	0.09	0.14	0.13	0.00	0.00	0.25	0.39	0.36	0.00	0.00
LS7	0.11	0.03	0.23	0.00	0.00	0.29	0.08	0.61	0.01	0.01
LS8	3.52	0.22	0.03	0.01	0.03	0.93	0.06	0.01	0.00	0.01
LS9	0.11	0.05	0.23	0.00	0.01	0.28	0.12	0.59	0.00	0.01
LO1	0.03	0.19	0.38	0.01	0.01	0.05	0.31	0.61	0.02	0.01
L1A	0.00	0.07	0.02	0.03	0.01	0.00	0.57	0.16	0.22	0.05
L2A	0.07	0.25	0.34	0.01	0.02	0.11	0.36	0.48	0.01	0.03
L2B	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01	0.33	0.31	0.29	0.03	0.03
LW1	0.25	0.61	0.34	0.02	0.00	0.21	0.50	0.28	0.01	0.00
LW2	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.57	0.07	0.06	0.24	0.06
LW3	0.22	0.30	0.04	0.00	0.00	0.39	0.53	0.08	0.00	0.00
LW4	0.12	0.00	0.11	0.01	0.01	0.47	0.01	0.45	0.05	0.02
LW5	0.03	1.20	0.08	0.03	0.01	0.02	0.89	0.06	0.02	0.01
LW6	1.61	0.21	0.82	3.29	0.00	0.27	0.03	0.14	0.56	0.00
MA1	0.21	0.33	0.25	0.03	0.00	0.25	0.41	0.30	0.03	0.00
MA2	0.09	0.14	0.12	0.00	0.00	0.25	0.40	0.35	0.00	0.00
MA3	3.83	0.32	0.05	0.02	0.24	0.86	0.07	0.01	0.01	0.05
MA4	0.00	0.60	0.02	0.03	0.01	0.00	0.92	0.03	0.04	0.01
MA5	0.24	0.20	0.00	0.01	0.01	0.51	0.44	0.01	0.02	0.01
MA6	0.02	0.39	0.12	0.01	0.01	0.04	0.71	0.21	0.02	0.02
MD1	0.22	0.09	0.05	0.03	0.00	0.57	0.22	0.13	0.07	0.01
MD2	0.19	0.28	0.07	0.00	0.01	0.35	0.51	0.12	0.00	0.01
MD3	0.14	0.00	0.20	0.02	0.00	0.40	0.01	0.55	0.05	0.00
MH4	0.18	0.00	0.32	0.03	0.00	0.34	0.00	0.60	0.06	0.00
MH5	0.20	0.08	0.03	0.01	0.00	0.62	0.24	0.10	0.04	0.00
SM1	0.08	0.01	0.12	0.00	0.00	0.38	0.03	0.59	0.00	0.00
SM2	0.21	0.17	0.01	0.00	0.00	0.54	0.43	0.03	0.00	0.01
SM3	0.08	1.24	0.21	0.00	0.02	0.05	0.80	0.14	0.00	0.01
K1A	2.97	0.12	0.01	0.01	0.03	0.95	0.04	0.00	0.00	0.01
K1B	3.17	0.18	0.02	0.01	0.09	0.91	0.05	0.01	0.00	0.03
WK2	0.00	0.97	0.03	0.27	0.01	0.00	0.76	0.02	0.21	0.00
WK3	0.22	0.28	0.29	0.03	0.01	0.26	0.34	0.35	0.04	0.01
WK4	0.20	0.11	0.00	0.00	0.00	0.62	0.37	0.00	0.00	0.01
WK5	0.10	0.06	0.29	0.07	0.01	0.20	0.11	0.55	0.12	0.02

GRANULOMETRIE: CONTRIBUTIONS DES ECHANTILLONS (suite)										
ECH.	CONTRIBUTIONS ABSOLUES					CONTRIBUTIONS RELATIVES				
	F1	F2	F3	F4	F5	F1	F2	F3	F4	F5
WI1	0.35	1.31	0.98	0.67	0.02	0.10	0.39	0.29	0.20	0.01
WI2	3.95	0.34	0.04	0.02	0.27	0.85	0.07	0.01	0.00	0.06
WI3	0.12	0.00	0.32	0.04	0.00	0.25	0.01	0.65	0.09	0.01
WC1	0.01	1.78	0.17	0.24	0.05	0.00	0.79	0.08	0.11	0.02
WC2	0.04	1.13	0.03	0.43	0.02	0.00	0.70	0.02	0.27	0.01
WF1	0.17	0.01	0.13	0.01	0.00	0.54	0.01	0.41	0.03	0.00
WF2	0.12	0.29	0.00	0.00	0.01	0.29	0.68	0.01	0.01	0.02
WO1	0.19	0.08	0.06	0.02	0.00	0.55	0.23	0.17	0.05	0.01
WO2	0.18	0.06	0.03	0.01	0.00	0.62	0.22	0.11	0.03	0.01
TOT.	61.93	38.12	17.13	7.18	4.40	44.23	41.51	26.19	5.58	2.60