



HAL
open science

Contribution à l'étude sédimentologique des formations glaciaires quaternaires de la plaine de Bièvre-Valloire (Isère)

Annie Martin

► **To cite this version:**

Annie Martin. Contribution à l'étude sédimentologique des formations glaciaires quaternaires de la plaine de Bièvre-Valloire (Isère). Stratigraphie. Université de Paris, 1965. Français. NNT: . tel-00794334

HAL Id: tel-00794334

<https://theses.hal.science/tel-00794334>

Submitted on 25 Feb 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Moujument

7 OCT. 1978

Contribution à l'étude sédimentologique
des formations glaciaires quaternaires
de la plaine de Bièvre-Valloire (Isère)

Annie MARTIN

Assistante à la Faculté des Sciences
ORSAY

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
et MÉDICALE de GRENOBLE
INSTITUT BOLOMIEU
Rue Maurice Lemaître
38 - GRENOBLE

T H E S E

présentée

A LA FACULTE DES SCIENCES DE
L'UNIVERSITE DE PARIS

CENTRE D'ORSAY

pour obtenir le titre de Docteur 5ème Cycle

Spécialité : SEDIMENTOLOGIE

par

Annie MARTIN

Assistante à la Faculté des Sciences

Contribution à l'étude sédimentologique
des formations glaciaires quaternaires
de la plaine de Bièvre-Valloire (Isère)

soutenue le Décembre 1965 devant la Commission d'examen

Président : M. A. RIVIERE

Examineurs : M. A. CAILLEUX

: M. R. BROUSSE

M. F. BOURDIER, Invité

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
et MÉDICALE de GRENOBLE
INSTITUT DOLOMIEU
Rue Maurice-Gignoux
38 - GRENOBLE

1015122

Je prie Monsieur le Professeur RIVIERE de bien vouloir agréer l'expression de ma profonde et sincère gratitude pour m'avoir accueillie dans son laboratoire, pour son enseignement, son aide, et tous les conseils qu'il m'a donnés au cours de cette étude.

C'est à Monsieur BOURDIER, Directeur du Laboratoire de Géologie du Quaternaire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, que je dois le sujet de ce travail. Je lui suis vivement reconnaissante de tous les renseignements qu'il m'a donnés et le remercie de ses encouragements.

Que Messieurs les Professeurs BELLAIR et CAILLEUX veuillent bien accepter mes plus vifs remerciements pour leur enseignement et l'intérêt qu'ils ont eu l'obligeance de porter à cette étude.

J'ai bénéficié, pour une grande partie de ce travail, du matériel moderne du laboratoire de Monsieur le Professeur BROUSSE; je lui en suis très reconnaissante.

J'exprime toute ma gratitude à Mademoiselle VERNHET et à Monsieur LAFOND pour l'initiation aux techniques de la Sédimentologie dont je leur suis redevable et pour tous les conseils patients et éclairés qu'ils n'ont cessé de me prodiguer aimablement.

J'adresse mes sincères remerciements à tous mes camarades, Maître-Assistants et Assistants aux laboratoires de Géologie d'Orsay, pour leur aide matérielle et leurs encouragements amicaux. Il est juste d'associer à ces remerciements Monsieur Hayet dont les conseils pratiques ont souvent été utiles à la débutante que je fus.

I N T R O D U C T I O N

Ce mémoire expose les résultats d'analyses sédimentologiques effectuées sur des sédiments d'origine fluvio-glaciaire quaternaire de la plaine de Bièvre-Valloire, en Bas-Dauphiné. (Carte géologique au 1/80.000ème, feuilles de Saint-Etienne (177) et Grenoble (178)).

Mon travail étant sédimentologique, je me suis basée sur la stratigraphie de ces dépôts établie par F. BOURDIER dans sa thèse (1961).

J'ai récolté des échantillons des différents faciès de chacune des périodes qu'il distingue, au cours des étés 1960, 1961, 1962.

J'ai fait toutes les analyses au laboratoire de géologie S.P.C.N. de la Faculté des Sciences d'ORSAY (S&O)

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : plalour@ujf-grenoble.fr

CHAPITRE I

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DES FORMATIONS ETUDIEES.

Le Bas-Dauphiné est une zone de plaines, de collines et de plateaux, limitée par le Rhône et le Jura méridional au Nord, les chaînes subalpines des massifs de la Chartreuse et du Vercors et le cours inférieur de l'Isère à l'Est et au Sud, le Rhône, les massifs cristallins ~~est~~ du Lyonnais et du Vivarais à l'Ouest. (Figure 1)

En dehors de dépôts glaciaires importants, le Bas-Dauphiné est essentiellement constitué d'un complexe miocène et pliocène dans lequel se sont creusées, au Quaternaire, les vallées actuelles.

A - STRATIGRAPHIE du BAS-DAUPHINE -

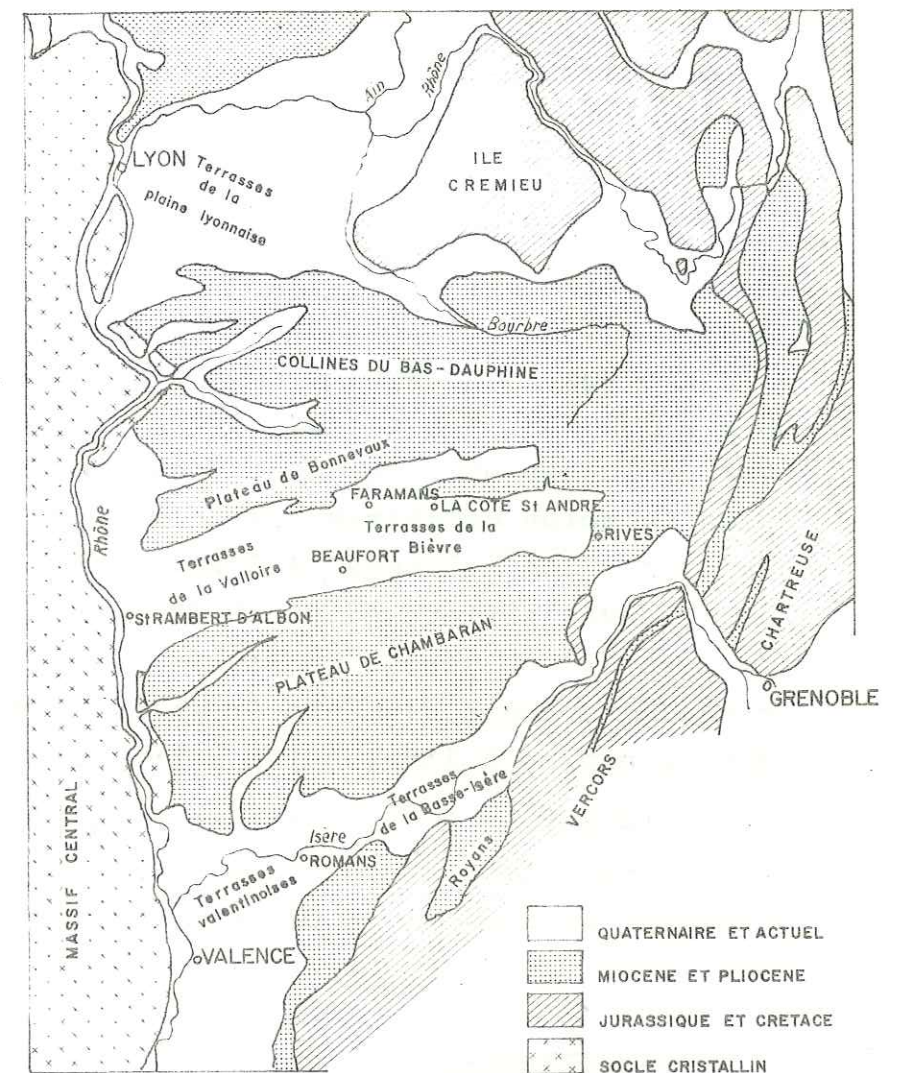
1° - TERTIAIRE

Pendant tout le Tertiaire, l'histoire de la sédimentation dans le Bas-Dauphiné est directement influencée par les différentes phases de contraction du socle de l'orogénèse alpine et par les mouvements de réajustement qui accompagnent chaque phase de surrection. (BRAVARD, 1963, DEBELMAS, 1963). (Coupe - Figure 2, p. 5)

A la fin du Secondaire, le Bas-Dauphiné est une zone émergée et en voie d'érosion. La phase éocène de contraction des Alpes se traduit par des ravinements et des remplissages de sables continentaux.

A l'Oligocène, le Bas-Dauphiné, pris entre le Massif Alpin en surrection et le Massif Central qui se gauchit, est affecté de déformations et de dislocations. Il se forme des bassins lacustres subsidents dans lesquels se sédimentent des conglomérats, des marnes et des argiles, échos de la

FIG.1. CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE DU BAS-DAUPHINE —



phase sannoisienne de plissement des zones internes et de la surrection des zones externes entre Stampien et Aquitainien.

Au Miocène ont lieu des mouvements verticaux de soulèvement progressif des massifs cristallins externes tandis que dans le Bas-Dauphiné la subsidence se poursuit.

Au Burdigalien, la mer envahit le Bas-Dauphiné à l'Est, en bordure des chaînes subalpines, déposant des conglomérats de galets à patine verte. La transgression atteint toute la région à l'Helvétien. Dans ce vaste bras de mer périalpin vont s'accumuler, sur des épaisseurs considérables (300 à 500 m.), des sables et des galets arrachés aux Alpes. Ces sédiments miocènes sont constitués de sables micacés plus ou moins calcaires, parfois consolidés en bancs de grès tendres : les molasses. A l'Est, les alluvions deltaïques des fleuves côtiers édifient de puissantes assises de conglomérats. Ces dépôts grossiers traduisent de brusques saccades dans les mouvements progressifs de soulèvement de la chaîne alpine à l'Helvétien supérieur et au Pontien.

Le retour à des influences continentales est marqué par l'apparition de zones sableuses à faune saumâtre (Tortonien). Au Pontien se déposent des conglomérats contenant des lentilles de lignite intercalées.

Au Pliocène, les chaînes subalpines se plissent, chevauchant la molasse dans les synclinaux de la Chartreuse et du Vercors. Tandis qu'en bordure de la chaîne les dépôts de piedmont à matériel grossier recouvrent le Miocène, une deuxième subsidence localisée à l'Ouest amène une transgression marine brusque (pas de conglomérat de base). Il se dépose des marnes et des argiles, puis des sables à huîtres. Des couches à faune saumâtre font la transition avec des sables à lignites et les cailloutis du Villafranchien continental.

Le Pliocène est soulevé, parfois basculé, mais n'est pas plissé. A l'intérieur de la chaîne des mouvements verticaux de réajustement se poursuivent pendant le Pliocène, tout le Quaternaire et jusqu'à nos jours : des failles affectent les formations glaciaires et des séismes sont parfois ressentis.

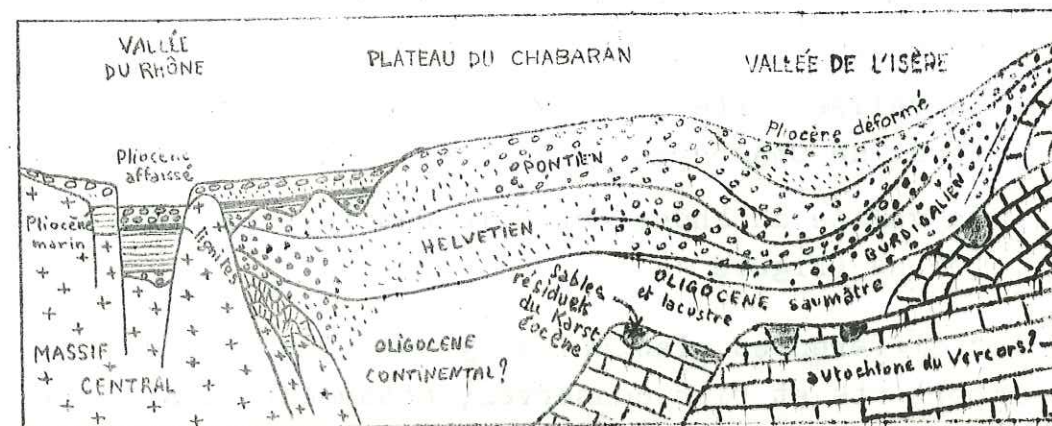


Figure 2 - Coupe théorique Est-Ouest à travers le bassin tertiaire du Bas-Dauphiné (Vallées et dépôts du Quaternaire non figurés). D'après F. BOURDIER 1962.

2° - QUATERNAIRE

Une nappe de galets de quartzite emballés de glaise (argile sableuse ocre) couvre la surface de plateaux boisés marécageux (Chambaran, Bonnevaux). Des phénomènes de solifluxion sont peut-être intervenus dans la mise en place de ces alluvions. Cette nappe de cailloutis et son altération semblent dater du Villafranchien inférieur.

Puis, au cours d'un épisode froid et plus sec, se sont déposés les loess à bancs durcis de Saint-Vallier qui ont fourni une abondante faune villafranchienne.

C'est pendant le Villafranchien que se sont creusées les vallées qui seront envahies par les glaciers quaternaires descendant des montagnes et s'étalant sur les formations mio-pliocènes du Bas-Dauphiné et des Dombes.

Ce socle mio-pliocène est entaillé par trois vallées importantes, plus ou moins Est-Ouest, qui sont, du Sud au Nord :

- La vallée de l'Isère qui suit le bord de la chaîne subalpine (massif du Vercors).
- La vallée morte de Bièvre-Valloire, entre les plateaux de Chambaran et de Bonnevaux.
- La vallée du Rhône entre le Bas-Dauphiné et les Dombes (Figure 1).

Les différentes glaciations y ont abandonné des vestiges importants et bien conservés, notamment dans la vallée de Bièvre-Valloire qui, protégée de l'érosion fluviale interglaciaire par le seuil de Rives, nous montre au moins les dépôts des trois dernières grandes glaciations: Mindel, Riss et Würm.

Les dépôts laissés par les glaciers, lors de leur retrait, sont de deux types :

- des moraines (frontales, latérales, de fond), de topographie irrégulière, contenant de gros blocs de roches anguleux et des galets dont certains sont striés, emballés dans de l'argile, le tout, sans aucune stratification.
- des sédiments d'allure fluviale, stratifiés, fluvio-glaciaires: galets, graviers, sables et limons étalés par les torrents proglaciaires en une plaine alluviale qui se raccorde aux moraines frontales par un cône de transition.

Le plus souvent, l'érosion postérieure au retrait du glacier a transformé la plaine alluviale en une terrasse do-

minant une vallée glaciaire ou fluviale plus récente.

Deux autres types de sédiments sont liés aux phénomènes glaciaires, ce sont :

- les varves et les argiles, dépôts lacustres, fins, bien stratifiés.
- les loess, accumulation de poussières silico-argilo-calcaires arrachées aux étendues fluvio-glaciaires balayées par les vents.

Le Bas-Dauphiné est largement recouvert par les uns et les autres de ces sédiments. Ces formations glaciaires, fluvio-glaciaires, éoliennes, ont été interprétées diversement selon les géologues qui ont étudié la région. La figure 3 schématise les principales interprétations données.

A la fin du XIXème siècle, Ch. LORY et d'autres auteurs reconnurent plusieurs niveaux de terrasses fluvio-glaciaires qu'ils interprétèrent comme des stades successifs d'une glaciation unique. En 1911, KICIAN et GIGNOUX, dans leur étude sur "les formations fluvio-glaciaires du Bas-Dauphiné" admirent deux glaciations :

- le RISS, avec les moraines externes de Faramans-Pajay et Beaufort-Thodore.
- le WURM, avec les moraines internes de Rives-Moirans.

Dès 1905, A. PENCK avait retrouvé en Bièvre-Valloire les quatre glaciations qu'il venait de définir avec E. BRUCKNER en Bavière : Günz, Mindel, Riss et Würm.

Ces auteurs caractérisent les glaciations par l'altération superficielle de leurs terrasses et par les dépôts qui les recouvrent. C'est ainsi qu'ils définissent l'interglaciaire Mindel-Riss par la formation d'un dépôt argileux rouge : le ferretto, et l'interglaciaire Riss-Würm par l'accumulation de loess en surface des terrasses rissiennes.

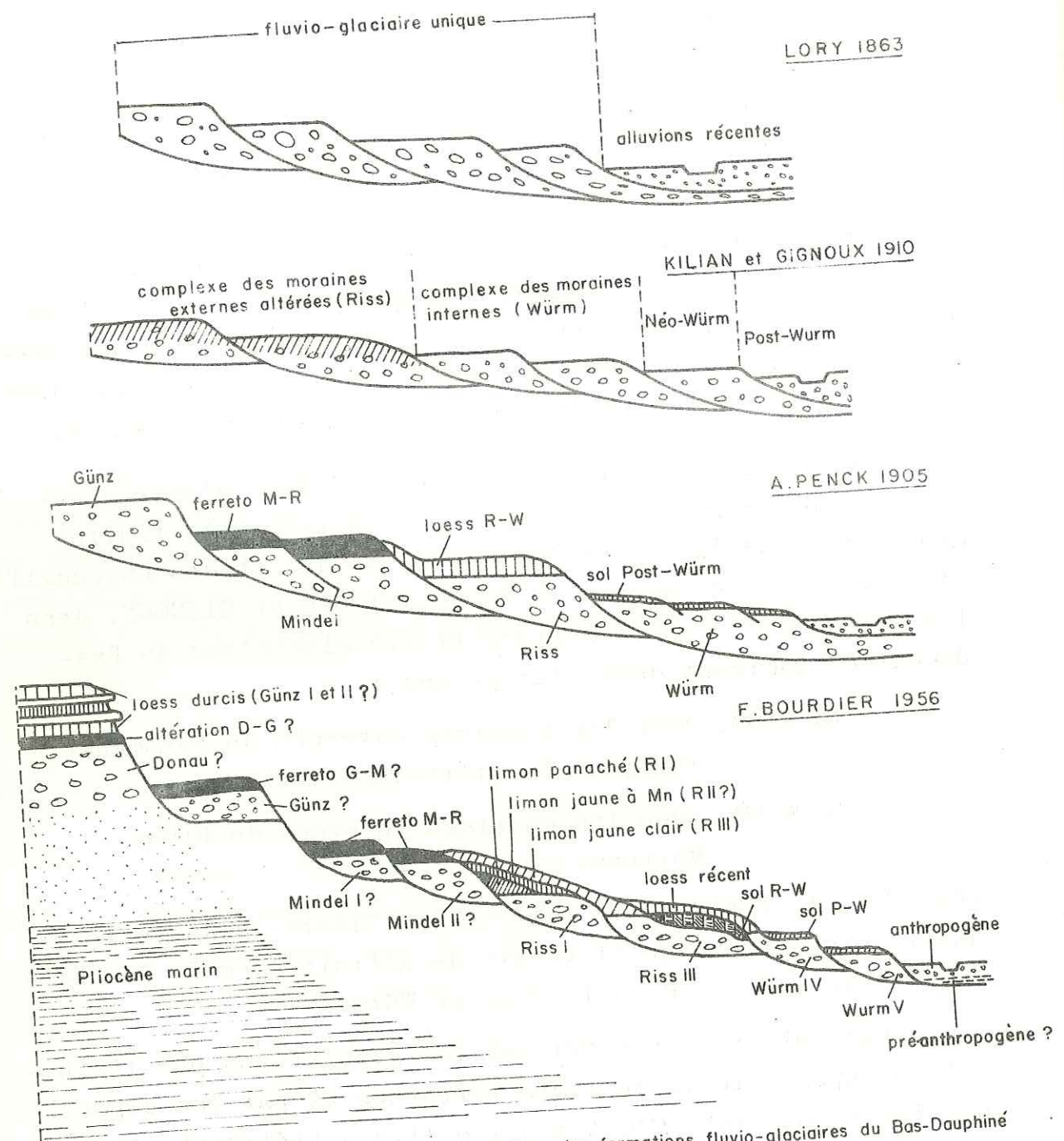


Fig 3. Schéma résumant les interprétations successives des formations fluvio-glaciaires du Bas-Dauphiné (d'après F. BOURDIER, 1962)

Pendant la première moitié du XXème siècle, les interprétations se succèdent. Certains auteurs estiment ne retrouver en Dauphiné que les dépôts des deux dernières glaciations; d'autres, au contraire, y voient les quatre glaciations quaternaires. Après plusieurs années de recherches minutieuses, F. BOURDIER nous donne une synthèse du Quaternaire de toute la vallée du Rhône dans son ouvrage "Le Bassin du Rhône au Quaternaire" (1961). Cet auteur admet la présence des quatre glaciations classiques. Certains dépôts sont attribués au Günz, bien que des preuves formelles n'en aient pas été trouvées. Le Mindel est surmonté d'un ferreto typique, le Riss, le plusieurs limons jaunes qui permettent de distinguer au moins trois stades. Le sommet du Würm ne comporte qu'un sol d'altération épais de quelques dizaines de centimètres.

Mes recherches ont été effectuées sur des échantillons prélevés dans la plaine de Bièvre-Valloire, dans le but de préciser les caractères sédimentologiques de chacun des niveaux de l'échelle stratigraphique de F. BOURDIER

B - LA PLAINE DE BIEVRE-VALLOIRE -

La Bièvre-Valloire est une vallée morte qui s'étend d'Est en Ouest sur une soixantaine de kilomètres ^{de long} et une dizaine de large, entre Rives et Saint-Rambert-d'Albon. (Cartes : planches XXXVI et XXXVII)

Cette vallée est séparée de celle de l'Isère par le seuil de Rives. Le cours actuel de l'Isère se trouve à une altitude inférieure de 270 mètres à celle de l'extrémité orientale de la Bièvre.

Pendant les périodes glaciaires, la hauteur des glaces descendant des Alpes était suffisante pour envahir la Bièvre Valloire, mais celle-ci a été protégée de l'érosion fluviale interglaciaire par le seuil de Rives. Cela a permis la conservation des dépôts glaciaires de façon tout à fait remarquable.

Le fond de la vallée est constitué d'une plaine qui s'abaisse lentement d'Est en Ouest : 460 mètres d'altitude à Rives, 150 mètres à son débouché dans la vallée du Rhône, (Saint-Rambert-d'Albon) qu'elle domine d'une quinzaine de mètres.

Entre Moirans et Rives, l'extrémité amont de la Bièvre Valloire est séparée de la vallée de l'Isère par des bourrelets morainiques concentriques rapportés au Würm. La nappe alluviale fluvioglaciale qui constitue le fond de toute la vallée ne représente que la phase glaciaire maximum du Würm. Les autres phases n'ont pas eu une hauteur de glaces suffisante pour franchir le seuil de Rives.

A peu près en son milieu, la vallée est barrée par des reliefs morainiques plus anciens :
- moraines de Faramans-Pajay et de Beaufort-Thodure, rissiennes ;
la moraine de Pajay est accolée à la moraine mindélienne du Bois Dantimont (figures 4 et 5).

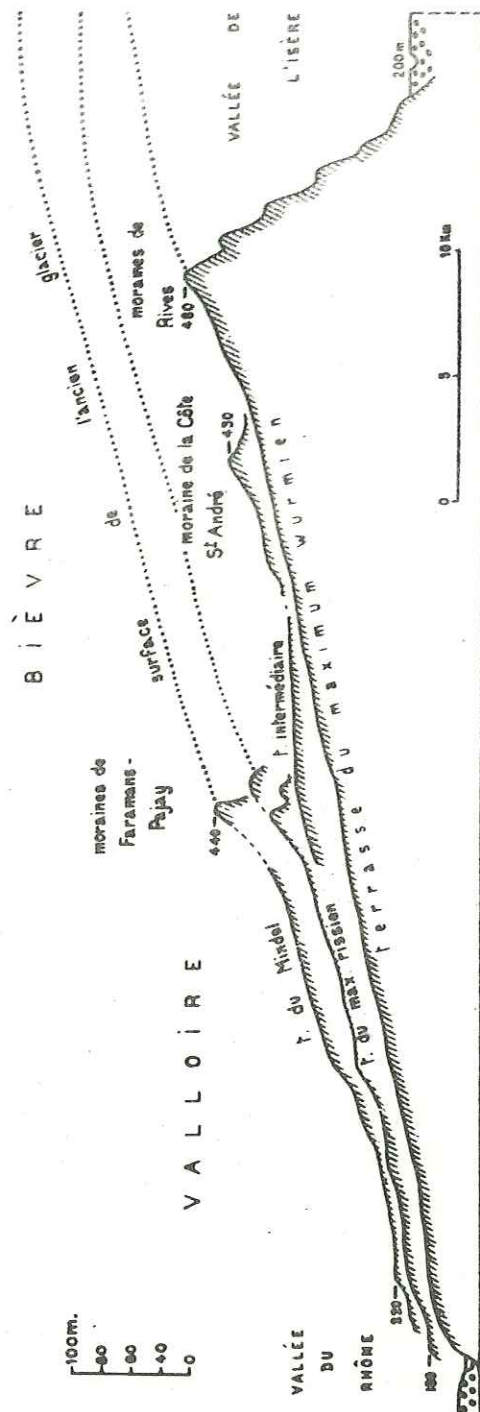
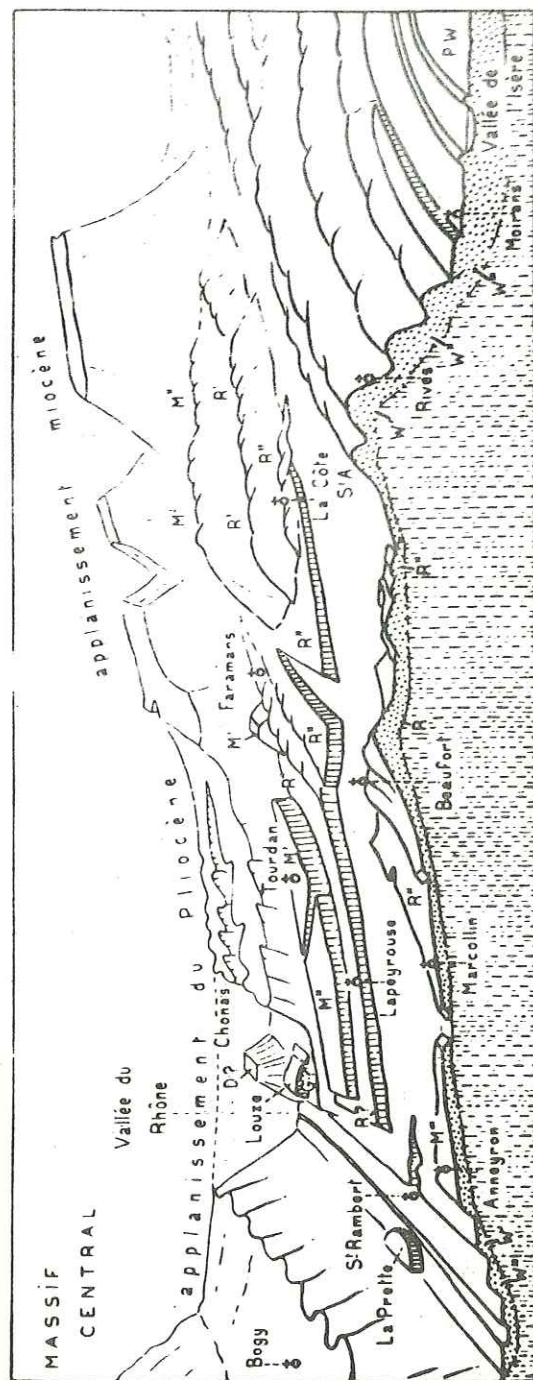


Fig. 4. — Vue cavalière de la Bièvre-Valloire (hauteur très exagérée) schématisant les grands traits de la morphologie.

Fig. 5. — Profil des terrasses fluvioglaciales de la Bièvre-Valloire d'après les minutes au 1/40 000^e de la carte au 1/80 000^e.

(d'après F. BOURDIER 1962)

Une plaine parallèle à la Bièvre au Nord, plus étroite, la plaine du Liers, conflue avec la Bièvre-Valloire de part et d'autre des moraines de Faramans-Pajay. En aval, deux terrasses rissiennes bordent la vallée. Elles sont formées d'alluvions grossières à galets, souvent recouvertes de limons jaunes d'épaisseur importante. Ce sont, au Nord, la terrasse de Lapeyrouse qui se relie aux moraines de Pajay; au Sud, la terrasse de Marcollin qui se rattache aux moraines de Beaufort-Thodore. En amont de ces moraines, la terrasse de Sardieu et le bourrelet morainique de la Côte-Saint-André sont attribués à des stades de retrait du Riss.

Trois des terrasses bordant la Valloire sont considérées comme des dépôts mindéliens. Elles sont surmontées d'une couche d'altération rouge vif caractéristique: le ferretto. Ce sont : les terrasses de Tourdan, d'Agnin au Nord; d'Anneyron au Sud. La terrasse de Tourdan repose sur des alluvions à galets striés et se raccorde à la moraine du Bois Dantimont. En plusieurs points, le ferretto est surmonté par les limons jaunes rissiens, ce qui atteste son antériorité au Riss. Sur la terrasse d'Agnin, il est surmonté d'un loess récent, non altéré.

Enfin, au confluent de la Bièvre-Valloire et de la Vallée du Rhône, au nord de Roussillon, des dépôts fluvioglaciers d'altitude plus élevée que les terrasses mindéliennes sont attribués à une glaciation plus ancienne (Günz ?). Ce sont les terrasses du Louze et de Chonas.

Au sud de l'extrémité aval de la Bièvre-Valloire se trouvent deux formations importantes pour l'étude du Quaternaire de la région.

1°) Les limons jaunes de Beausemblant et Saint-Uze, épais de plus de trente mètres, de stratigraphie très complexe. Ces limons sont attribués, pour la partie supérieure, à différents stades du Riss; leur base est peut-être très antérieure au Riss.

2°) Les loess à bancs durcis de Saint-Vallier qui ont livré une faune villafranchienne abondante. On connaît des loess durcis identiques, mais sans faune à Chonas, au Nord.

C - LOCALISATION DES PRELEVEMENTS DES ECHANTILLONS ETUDIES -

Coordonnées : projection Lambert III, zone sud.
(Planches : I - II - III - IV)

W U R M

Moraine de Rives : x = 849 y = 343,45

tranchée de la N.85 entre Rives et Charnècles.
Sable un peu argileux gris-jaune avec des galets de tailles diverses, anguleux.

Echantillon B.60

Coronnan : x = 831 y = 345,65

gravière située à 3 km de la Côte-Saint-André, près de la N.518.

6 m. d'affleurement, sable et galets de tailles variées mélangés. Les plus gros galets mesurent 33 et 37 cm. Quelques lits sableux, quelques lits de graviers. Au-dessous du sol actuel brun (50 cm), une couche altérée, rouge-orangé de 20 cm.

Echantillons BV.5, BV.7, B.58.

Gillonay : x = 831,6 y = 346,9

gravière sur le VO, 800 m au sud de Gillonnay.
Mêmes caractéristiques que la carrière de Coronnan, un peu moins de gros galets.

Echantillon BV.10

Marcilloles : x = 823,3 y = 343,7

carrière des Burettes, près de la D.157, entre Sardieu et Marcilloles.

Mêmes caractéristiques que la carrière de Coronnan.

Echantillon BV.28

Agnin : x = 498 y = 339,45

à proximité de la D.131, 1.300m au sud d'Agnin.
Une coupe de la terrasse montre un cailloutis rougi par le ferretto, surmonté de 2m de loess typique, non altéré.

Echantillon V.38

Saint-Rambert d'Albon : x = 794,15 y = 336,4

gravière près de la gare, à l'est de la route de Vienne.
Sables, graviers et galets de teinte grise. Le sommet de la carrière montre, sur l'un des côtés, 2m altérés : deux couches rouges séparées par une couche brune dont la base forme des volutes.

Echantillon V.68

Le Mottier : x = 833,25 y = 351,35

gravière dans la plaine du Liers, près de la N.85, 400m au nord du Mottier.

Sables et graviers surmontés d'une mince couche altérée en rouge-brun, sous le sol actuel.

Echantillon Li 1

R I S S

Moraine de Pajay : x = 818,55 y = 344,50

gravière, 600m au N-O des Granges.
Moraine rissienne adossée à la moraine mindélienne de Farimens.

Sables, graviers et galets de teinte générale jaune. Sous le sol actuel environ 70 cm altérés en rouge-orangé. Hauteur de l'affleurement 10 à 11 m.

Echantillons BV.15, BV.16, BV.18.

Sardieu : x = 824,25 y = 344,65

à la sortie ouest du village la tranchée de la route montre un cailloutis emballé dans un limon rouge, avec quelques

blocs de 20 à 25 cm, surmonté de 1 m environ de limon jaune.

Echantillon BV.23

Marcollin : x = 814 y = 337

ancienne carrière, près de la tuilerie Genton, entaillée dans les limons panachés et les limons jaunes à manganèse.

Echantillons V.29 a et b.

Tourdan : x = 810,9 y = 343,3

ancienne carrière, près du pont de la N.538 sur la Derroie. Un sable argileux rouge est surmonté de limons jaunes à manganèse en granules ou en placages.

Echantillon V.40

Beausemblant : x = 796,35 y = 326,6

carrière des tuileries Robin.

Grand front de taille dans des limons gris-jaunes, puis ocres, des bancs de cailloutis intercalés, du limon à manganèse au sommet.

Echantillon V.69-9

Tranchée ouverte pour le gazoduc Marseille-Strasbourg:

entre Primarette au nord et Manthes au sud de la Valloire. Cette tranchée a entaillé diverses formations et, le plus souvent, des limons jaunes.

Echantillons : T.4 : x = 810,5 y = 346,2

T.5 : x = 810,5 y = 346,2

T.25 : x = 810,30 y = 339,40

T.46 : x = 810,30 y = 837,65

M I N D E L

Terrasse de Tourdan : x = 810,9 y = 343,3

1°) même affleurement que pour les limons jaunes rissiens.

Echantillon V.39

2°) Pont de Pact : x = 807,8 y = 342,85

300 m en amont du pont sur le Dolon, à l'entrée de Pact: Une coupe naturelle, due à la rivière, entaille la terrasse de Tourdan.

Cailloutis sableux beige surmonté de ferretto typique.

Echantillon V.88

Terrasse de Roussillon : x = 792,9 y = 345,4

petite carrière, à droite de la N.7, 200 m au nord de la sortie de Péage-de-Roussillon.

Conglomérat à cailloutis de dimensions variables, surmonté par un sable lui-même surmonté d'un sable argileux rouge, parfois en poches.

Echantillon V.87

G U N Z (?)

Terrasse de Louze : x = 793,7 y = 346,3

tranchée, 1.300 m au nord de Roussillon, le long de la route de Vienne.

Sable très rouge.

Echantillon V. 72

V I L L A F R A N C H I E N

Chambaran : x = 830,35 y = 336,5

Sur la D.71, entre Saint-Siméon et Roybon, 4,5 km après Saint-Siméon, tranchée de la route dans le tournant des Croisettes.

2 m de formation à galets de toutes tailles sont surmontés par une couche plus rouge, d'un mètre environ, et quelques dm de limon jaune.

Echantillon V. 83

Saint-Vallier : x = 796 y = 323,9

loess à bancs durcis du champ de fouilles, au N-E de l'agglomération.

Echantillon V.90

CHAPITRE II

GRANULOMETRIE.

A - TECHNIQUES -

Quelques granulométries de galets ont été effectuées à la main, au pied à coulisse ou par la méthode linéaire.

Les granulométries des fractions sableuses des sédiments (fraction supérieure à 35 microns) sont faites par tamisage sur série de tamis Tripette et Renaud correspondant à la norme AFNOR. Le diamètre des mailles est en progression géométrique de raison $\sqrt[10]{10}$.

Les granulométries des fractions inférieures à 35 microns sont faites au moyen d'une suspension du sédiment bien défloculée que l'on laisse sédimenter dans une éprouvette. On effectue des prises à des temps déterminés avec une pipette d'Andréasen raccourcie, selon la méthode mise au point par M. RIVIERE. A partir des poids de sédiment recueillis, on calcule des diamètres équivalents par application de la loi de Stokes. La méthode permet d'atteindre une finesse de 0,06 microns.

B - EXPRESSION DES RESULTATS -

Les résultats granulométriques sont représentés par des courbes cumulatives établies en coordonnées semi-logarithmiques : abscisses logarithmiques pour les diamètres des particules, ordonnées arithmétiques pour le pourcentage des masses cumulées.

La granulométrie des sédiments a été interprétée selon la méthode des indices définis par A. RIVIERE, en 1952. Les indices ont été calculés par comparaison aux courbes canoniques ou par construction des courbes de fréquence bi-logarithmiques (A. RIVIERE, 1960).

Les indices utilisés sont : (A. RIVIERE, 1952)

- l'indice de classement $g = \log G$,
où G exprime le rapport du diamètre des particules les plus grosses à celui des plus fines.
- l'indice de faciès N_g
qui se détermine par comparaison de la courbe expérimentale aux courbes canoniques.
- l'indice d'évolution $n = N - 1$

D'après les valeurs des indices, on distingue quatre faciès granulométriques :

- 1°) $n = 0$ $N = + 1$: faciès linéaire
qui exprime l'absence de tout classement des sédiments non évolués.
En coordonnées arithmétiques, un tel faciès se traduit par une droite.
- 2°) $0 > n > - 1$, $0 < N < 1$: faciès parabolique
qui caractérise les sédiments évoluant sous l'effet des phénomènes de transport.
Les courbes représentatives sont concaves vers le haut.

3°) $n = - 1$, $N = 0$: faciès logarithmique
caractéristique des sédiments dont l'évolution par transport est très poussée. Ils se sont déposés par excès de charge à la suite d'une diminution progressive de la compétence du milieu transporteur.
La courbe représentative en coordonnées semi-logarithmiques est une droite.

4°) $n < - 1$, $N < 0$: faciès hyperbolique
représentant les sédiments déposés par décantation naturelle ou traduisant le fait que les éléments les plus grossiers ont tendance à être abandonnés progressivement.
Les courbes représentatives sont concaves vers le bas.
 n peut être inférieur à $- 2$ pour les sédiments très évolués = faciès dit "ultra-hyperbolique" (J. PIMIENTA, travaux inédits).

5°) $n > 0$: Certaines courbes cumulatives semi-logarithmiques, identiques dans leur forme à celles du faciès parabolique ont des valeurs de n positives. Ce faciès représente les sédiments qui, outre un phénomène de transport, ont subi des actions de lévigation qui les font régresser dans l'échelle évolutive (A. RIVIERE, J. PIMIENTA, C. DUBOUL-RAZAVET, R. FRIDMAN, S. VERNHET, 1952).

A partir du faciès parabolique, de tels sédiments lévигés repassent transitoirement par le stade linéaire pour aboutir à un faciès ultra parabolique (R. LAFOND, 1953).

Pour chaque courbe, en plus des indices précédents, j'ai calculé le diamètre des particules correspondant au premier quartile Q_1 , au troisième quartile Q_3 , à la médiane md et au mode \bar{x} .

La transformation de Galton a été appliquée aux courbes cumulatives semi-logarithmiques unimodales en prenant pour origine le mode de la courbe cumulative et la gradua-

tion 50% de l'échelle de probabilité, selon la méthode préconisée par M.-A. et A. RIVIERE, 1962. Cette transformation a été réalisée pour rechercher si les distributions peuvent être considérées comme gaussiennes par rapport à certaines puissances de la variable.

C - R E S U L T A T S -

L'examen des courbes cumulatives ^{aux} montre immédiatement qu'elles se groupent en trois familles caractéristiques différentes:

- des sédiments très hétérogènes würmiens et rissiens.
- le loess würmien et les limons rissiens.
- les paléosols développés sur les sédiments glaciaires anciens du Mindel et du Günz.

1°) Granulométrie des sédiments hétérogènes du Würm et du Riss :

Les moraines et le fluvio-glaciaire du Würm et du Riss sont des alluvions très hétérogènes dont les dimensions vont des pélites aux blocs de 30 à 40 centimètres.

Quatre échantillons sont étudiés à titre d'exemple :
(Planches V et VI)

- un échantillon du sommet des bourrelets morainiques de Rives (B.60), Würm.
- un échantillon de fluvio-glaciaire würmien de la plaine du Liers, prélevé près du Mottier (Li 1).
- un échantillon de fluvio-glaciaire würmien de la Bièvre, provenant de la gravière de Coronnan (BV.7, B. 58).
- un échantillon de la moraine rissienne de Pajay. (BV.15, BV.18)

a) - Fraction argilo-sableuse :

La courbe cumulative a été construite en fonction de tout le sédiment dont les particules sont inférieures à 5 millimètres de diamètre.

La fraction argileuse est toujours très faible:

1 à 7% des particules ont un diamètre inférieur à 2 microns, pour l'ensemble de la fraction considérée.

Pour l'échantillon du Mottier (Li 1) et de la moraine rissienne de Pajay (BV.18), si l'on considère la courbe totale, le faciès est parabolique avec des indices respectifs de :

$$N_g = 1,8 \quad n = -0,66 \text{ pour le Mottier,}$$

$$N_g = + 2 \quad n = - 0,6 \text{ pour Pajay.}$$

Mais la construction de la courbe canonique et de la dérivée bi-logarithmique suggère de couper les échantillons en deux fractions : au voisinage de 100 microns pour l'échantillon du Mottier et de 50 microns pour celui de Pajay.

Les fractions fines ont un faciès parabolique, d'évoluer par transport: ($n = - 0,77$ pour le Mottier, $n = - 0,5$ pour Pajay).

Les fractions grossières ont un faciès presque logarithmique traduisant un dépôt par excès de charge ($n = - 0,85$ pour le Mottier, $n = - 0,9$ pour Pajay).

La courbe cumulative de l'échantillon morainique de Rives (B.60) est plus complexe. Ce sable argileux würmien est plus fin que celui de la moraine rissienne de Pajay :

$$\text{- médiane Rives : } M_d = 60 \mu$$

$$\text{- médiane Pajay : } M_d = 145 \mu$$

La courbe se décompose en 3 fractions : la fraction inférieure à 14μ a un faciès ultraparabolique avec $n = 0,6$; le faciès est parabolique pour la fraction moyenne de 14 à 150μ , avec $n = - 0,52$. Enfin, pour la fraction la plus grossière, de 150 à 3.000μ , le faciès est ultrahyperbolique avec $n = - 1,6$.

La courbe du sable fluvio-glaciaire würmien de Coronnan se décompose également en trois : le faciès est presque logarithmique pour la fraction la plus fine (inférieure à 50μ). Pour la fraction de 50 à 500 microns, il

est ultraparabolique avec $n = 0,50$. Enfin de 500 à 4 500 microns, le faciès est parabolique avec $n = - 0,47$.

b) - Galets :

Des granulométries de galets ont été faites sur quatre échantillons, sur la fraction comprise entre 2 et 10 centimètres de largeur (Planche VII).

Les courbes sont très voisines les unes des autres, elles sont très redressées :

$$\text{indice de classement } g = \log G = 0,6$$

$$(G = \frac{\text{diamètre des particules les plus grosses}}{\text{diamètre des particules les plus fines}})$$

$g = \log G$, se lit directement sur une règle dont l'unité est un module du papier semi-logarithmique utilisé pour construire la courbe cumulative.

Les courbes construites en coordonnées arithmétiques ne sont pas des droites. Ces sédiments n'ont donc pas le faciès linéaire caractéristique des dépôts non triés. Au contraire, l'indice $n = - 1$ indique un faciès logarithmique, donc un sédiment ayant évolué par transport et déposé par excès de charge.

c) - Courbe presque totale :

Pour l'échantillon de la moraine rissienne de Pajay, le pourcentage en masse des galets et du sable ayant pu être mesuré sur place, j'ai construit la courbe de $0,50$ microns à 10 centimètres (Planche VIII). Cette courbe, considérée dans son ensemble, a un faciès parabolique avec un indice d'évolution $n = - 0,71$. La construction de la courbe canonique montre que l'on a deux stocks se séparant au voisinage de 20 millimètres. Chaque fraction a un faciès logarithmique.

En définitive, l'analyse des courbes cumulatives par le calcul des indices permet de distinguer dans les sédi-

ments de la moraine de Pajay trois fractions :

- une fraction argilo-sableuse, de faciès parabolique, particules de 0,05 à 50 microns de diamètre, représentant 5% de la masse totale du sédiment.

- deux fractions de faciès logarithmique :

l'une sableuse, particules de 50 microns à 20 millimètres de diamètre, représentant 40% de la masse du sédiment.

l'autre, formée de galets de 20 à 100 millimètres de large, représentant 55% du sédiment.

d) - Conclusions :

Les sédiments d'origine glaciaire sont habituellement considérés comme très mal classés, non évolués. On pouvait s'attendre à avoir un faciès linéaire, mais aucune de ces courbes construites en coordonnées arithmétiques n'est une droite.

En fait, ces sédiments ont tous subi des phénomènes de classement dus au transport dans les torrents sous-glaciaires. De par leur origine, il est évident que les sédiments du cône fluvio-glaciaire ont été transportés; tous les galets en sont d'ailleurs arrondis. Dans la moraine, s'il existe des galets anguleux, il n'y en a pas moins une forte proportion ayant subi un commencement d'usure témoignant également de phénomènes de transport.

Dans des sédiments morainiques actuels du Massif du Mont Blanc, prélevés très près de leur origine, on a observé des faciès paraboliques, voire même logarithmiques (R. LAFOND, renseignement oral).

Le faciès non évolué, linéaire, caractérisant les sédiments n'ayant subi aucun phénomène d'évolution après leur désagrégation, semble extrêmement rare. Il a été démontré que les arènes, considérées au même titre que les sédiments glaciaires comme non évoluées, ont, en fait, un faciès parabolique (R. LAFOND, 1953). Par contre, il faut souligner

l'aspect très mal classé de ces sédiments glaciaires et fluvio-glaciaires dont les éléments se répartissent selon une échelle de dimensions très étendue. L'indice de classement g peut prendre des valeurs très grandes si l'on considère la courbe totale : $g = 6,3$ pour Pajay, par exemple.

2°) Granulométrie du loess d'Agnin (V.38)

La granulométrie a été faite sur l'échantillon décalcifié. L'échantillon brut contient 30% de carbonates. (Planche IX)

$$Q_1 = 11 \mu \quad Q_3 = 49 \mu \quad M1 = 37 \mu \quad \bar{x} = 45 \mu$$

73% du sédiment sont compris entre 10 et 100 microns. La fraction fine représente 24% de l'échantillon. 15% sont inférieurs à 2 microns.

La courbe cumulative a une allure typique de courbe de loess, sédiment dont plus de 45% sont compris entre 10 et 50 μ , selon la définition de EDELMA ET DOORMAL. (ici, 53% sont compris entre 10 et 50 μ).

Selon la définition du loess de F.BORDES (1953): "sédiment dont plus de 70% des éléments sont situés au-dessous de 50 microns et moins de 15% au-dessous de 2 microns"; la courbe de ce loess est un peu décalée vers les fins.

La fraction argileuse a un faciès presque logarithmique. La fraction comprise entre 2 et 60 microns a un faciès ultra-parabolique, avec un indice d'évolution: $n = 0,33$
 $N_g = 2 \quad g = 1,5$. La fraction supérieure à 60 microns, qui représente 6% du sédiment, a un faciès ^{ultra-}hyperbolique avec un indice d'évolution: $n = -4,4$

Les grains les plus lourds sont laissés en arrière progressivement, le sable subit, en quelque sorte, un triage par élutriation au cours de son transport par le vent.

3°) Granulométrie des limons rissiens : (Planche X)

Sept échantillons ont été étudiés. Les caractéristiques sont consignées dans le tableau I. Celles du loess d'Agnin sont données à titre de comparaison.

L'échantillonnage représente les différentes terrasses à limons jaunes de Bièvre-Valloire, d'amont en aval.

Tous ces sédiments ont des courbes d'allure semblable. Les valeurs de la médiane (Md) et du mode (\bar{x}) sont voisines. Les indices d'évolution indiquent presque toujours un faciès parabolique ou logarithmique. Deux échantillons, Beausemblant et T.25, ont un faciès hyperbolique pour leur fraction la plus sableuse, ~~faciès caractéristique de plaines de démantèlement ou traduisant seulement~~ le fait que les éléments les plus grossiers ont tendance à être abandonnés progressivement,

La très grande ressemblance de ces courbes de limons avec celle du loess typique d'Agnin est un bon argument en faveur de leur origine éolienne. Ces faits avaient été remarqués par Melle VERNHET dans une étude non publiée.

Cette origine éolienne est confirmée par la position de ces limons dans le triangle d'Edelman et Doormal: ils se placent tous dans le domaine granulométrique des loess, sauf l'échantillon de Beausemblant qui se trouve un peu en dehors. (Planche XI). Il faut cependant noter que quatre de ces échantillons sont, pour la fraction inférieure à 10μ , légèrement plus riches en éléments fins (+ 0 à 6%) que la courbe des minimums obtenue par A. CAILLEUX (1953) à partir de nombreuses granulométries de loess dues à BORDES et MALTERRE.

Tableau I - Limons rissiens : caractéristiques granulométriques.

Echantillon	Q ₁ en μ	Md en μ	Q ₃ en μ	\bar{x} en μ	% < \bar{x}	Fraction du domaine granulomé- trique, en μ	%	Ng	g	n
Sardieu BV.24	3,3	17	42	36	70	0,06 - 60	83	1,3	3	- 0,57
						60 - 1000	17	0,8	1	- 0,2
Marcollin V.29	2,6	18	39	36	70	0,06 - 50	85	1,5	2,9	- 0,5
						50 - 1000	15	0	1,3	- 1
T.4	6,5	21	36	35	73	0,06 - 45	95	2	2,9	- 0,3
						45 - 750	5	0	1,2	- 1
T.5	10	31	43	39	66	0,06 - 2	13	0	1,5	- 1
						2 - 50	77	1,5	1,4	0,07
						50 - 1000	10	0	1,3	- 1
T.25	3,7	26	55	37	60	0,06 - 55	75	1,5	2,8	- 0,65
						55 - 1000	25	-1,5	1,45	- 2
T.46	3,7	21	55	44	69	0,06 - 50	76	1,1	2,9	- 0,63
						50 - 1000	24	0,33	1,3	- 0,75
Beausemblant V.69-9	1,7	22	56	41	65	0,06 - 40	64	0,25	2,8	- 0,91
						40 - 1000	36	-1	1,45	- 1,7
Agnin (1) V.38	11	37	49	45	77	0,06 - 2	15	0	1,55	- 1
						2 - 60	78	2	1,5	0,33
						60 - 190	7	-0,5	0,5	- 2

(1) Les caractéristiques du loess d'Agnin sont données à titre de comparaison.

4°) Granulométrie des paléosols du Mindel et du Günz (?) :

Les sédiments argilo-sableux, très rouges, de la partie supérieure de la terrasse de Tourdan (V.39) et de celle de Louze (V.72) ont les courbes granulométriques très voisines (Planche XII).

Tableau II -

Echantillon	Q ₁ en μ	Md en μ	Q ₃ en μ	\bar{x}_1 en μ	\bar{x}_2 en μ	Domaine granulomé- trique, en μ	%	Ng	g	n
Tourdan V.39	0,7	150	250	3,2	230	0,06 - 10	32	-0,3	2,2	-1,13
						10 - 300	53	2	1,5	0,33
						300 - 750	15	-1,5	0,4	-4,75
Louze V.72	0,17	50	220	2	200	0,05 - 8	43	-0,75	2,2	-1,34
						8 - 250	35	1,25	1,5	-0,17
						250 - 1450	22	-1	0,75	-2,33

Les deux courbes sont bimodales, on est donc en présence de deux stocks d'origine différente.

Le pourcentage d'éléments "colloïdaux" est très élevé : 17% d'éléments inférieurs à 0,1 micron pour Tourdan, 20% pour Louze alors qu'il n'y en a environ que 5% dans les limons rissiens.

Dans les deux échantillons, la fraction inférieure à 10 microns a un faciès hyperbolique. La fraction moyenne (10 - 300 microns) est proche du faciès linéaire : elle a un faciès légèrement ^{ultra-}parabolique pour Tourdan, légèrement ~~ultra-~~parabolique pour Louze. La fraction grossière a, dans les deux cas, un faciès ultra hyperbolique.

Je pense que l'aspect bimodal des courbes et la grande proportion d'éléments inférieurs à 0,1 micron s'expliquent par l'altération sur place de ces dépôts. En effet, les sédiments de ces terrasses, en plus de l'altération mécanique au cours de leur transport et sous les effets des glaciation postérieures au Mindel, ont subi une altération chimique intense, surtout pendant l'interglaciaire Mindel-Riss, comme l'indique la couleur rouge du ferretto. Les minéraux des gravillons et des sables mindéliens, ou plus anciens, auraient été alors fortement attaqués, détruits et transformés en particules argileuses ou colloïdales s'accumulant sur place.

5°) Distribution gaussienne des granulométries :

La transformation a été appliquée aux courbes de limons unimodales (Planche XIII et XIV).

Pour chacune des deux parties de la distribution, le mode des courbes est supposé, par convention, égal à 50%. Les différents degrés de l'échelle de probabilité correspondent aux ordonnées. Sur chaque degré, on porte en abscisse des longueurs proportionnelles aux écarts entre les différentes valeurs de Ng mesurées sur l'abaque des courbes canoniques, en fonction de la distance de la courbe cumulative à l'axe des ordonnées de probabilité passant par le mode.

Les domaines granulométriques, de part et d'autre du mode ont une répartition gaussienne pour la valeur de la variable N de la fonction $\int ax^n dx$ représentée par une droite ou qui s'en rapproche.

Dans les échantillons étudiés, la distribution est gaussienne avec les indices : Ng = - 0,75 n = - 1,5 pour la fraction grossière du loess d'Agnin (supérieure à 45 microns).

Elle est presque gaussienne :

pour l'échantillon T.4, avec les indices Ng = 0,50
n = - 0,75 pour la fraction fine (inférieure à 35 microns)
et les indices : Ng = - 1,5 n = - 3

pour la fraction grossière.

pour le limon de Beausemlant, avec : $N_g = 0$ $n = -1$
pour la fraction fine (inférieure à 41 microns).

Pour tous les autres limons, la distribution n'est pas gaussienne : aucune valeur de N_g ne coïncide avec une droite. Il faut en conclure que plusieurs phénomènes sont intervenus dans le dépôt de ces limons. Cela semble bien être le cas, si l'on a à faire à des sédiments d'origine éolienne. Déposés par le vent, ces loess ont été ensuite décalcifiés et ont subi des actions de lévigation par infiltration des eaux superficielles qui ont modifié leur granulométrie initiale.

CHAPITRE III

PETROGRAPHIE des GALETS et des SABLES.

A - PETROGRAPHIE DES GALETS -

A l'examen macroscopique, les galets des sédiments fluvioglaciaires du Würm et du Riss sont constitués de roches cristallines, de grès et de différents calcaires.

Un calcul statistique sur les différentes natures pétrographiques a été fait sur les galets de longueur comprise entre 30 et 50 mm. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III : natures pétrographiques des galets de Würm et de Riss.

	Roches Cristal- lines	Roches Cal- caires	Quartz	Grès	Silex	Nombre de Galets
Coronnan B.58 Würm	11%	75%	9%	2%	3%	70
Gillonay BV.10 Würm	6%	65%	13%	12%	5%	103
Le Mottier Li. 1 Würm	2%	68%	7%	22%	1%	203
Pajay BV.15 Riss	12%	70%	6%	4%	2%	96

Les galets de roches calcaires dominant en même proportion dans le Würm et dans le Riss. Ces calcaires sont très

variés : gris, jaunes, blancs, gréseux, veinés, ... Certains galets plats et quadrangulaires proviennent vraisemblablement de calcaires en plaquettes.

Des mesures de l'indice d'aplatissement ont été faites sur les galets calcaires de 80 à 100 mm de long. Les valeurs des médianes sont de :

- 1,8 pour Coronnan (WURM)
- 1,8 pour Gilonnay (WURM)
- 1,7 pour Pajay (RISS)

Ces valeurs concordent avec celles données par CAILLEUX et TRICART (1959, p. 54 à 57, t. III) pour l'indice d'aplatissement de galets de calcaire fluvio-glaciaires et de moraines.

Des lames minces ont été taillées et étudiées au microscope polarisant pour 4 galets de la gravière de Coronnan et 4 galets de la moraine de Pajay. Les galets choisis pour faire ces lames sont ceux dont les natures semblent, macroscopiquement, les plus fréquentes. (1)

1° - Gravière de Coronnan :

C 1: Calcaire détritique organogène

Débris coquilliers abondants, cimentés par de la calcite, Foraminifères, Lamellibranches, Echinodermes, Algues.

C 2: La roche est litée. La lame mince contient beaucoup d'amphiboles vertes très altérées et montre des alternances de lits quartzo-feldspathiques et de lits à biotite chloritisée et de séricite. On observe, en outre, du sphène, des minéraux opaques et un peu d'apatite : gneiss amphibolique.

(1) Je remercie Mme C. BOYER qui a aimablement vérifié mes déterminations de roches cristallines.

C 3: Calcaire arénacé organogène.

Nombreux fragments anguleux de calcaire, quartzite, silex, quartz et feldspaths. Un peu de biotite altérée et de muscovite, un peu d'apatite, de la glauconie, des débris coquilliers de Bryozoaires et de Lamellibranches assez abondants.

C 4: Roche à structure granoblastique.

Beaucoup d'amphiboles altérées (actinote), un peu de plagioclases, un peu de minéraux opaques et de sphène : amphibolite.

2° - Moraine de Pajay :

P 1: Roche à structure grenue.

Quartz, plagioclases altérés (séricite), feldspaths potassiques, un peu de muscovite et de chlorite, un peu d'apatite : granite calco-alcalin à mica blanc.

P 2: Roche à structure grenue.

Epidote très abondante, grenats altérés (auréole de chlorite), quartz assez abondant, feldspaths potassiques perthitiques, un peu de chlorite, calcite, sphène, apatite, minéraux opaques : Epidotite à grenats.

P 3: Roche à structure grenue orientée.

Hornblende verte abondante, plagioclases très altérés (séricite), épidote, quartz rare, un peu de sphène : Hornblendite.

P 4: Roche à structure microcristalline. De nombreux vides dans la plaque, de forme sphérique, pourraient correspondre à d'anciennes structures organiques.

L'ensemble de la lame est constitué d'opale partiellement "désopalisée" et remplacée par de la calcédoine microcristalline.

Il y a quelques amas ferrugineux en touffes et de nombreuses petites taches disséminées. Cette roche est probablement un silex.

B - MORPHOSCOPIE DES GRAINS DE QUARTZ -

La morphoscopie des grains de quartz a été faite sur la fraction granulométrique comprise entre 750 et 510 microns, préalablement décalcifiée par l'acide chlorhydrique chaud à 10%.

Pour chaque échantillon, les pourcentages ont été calculés sur une centaine de grains.

Tableau IV - Morphoscopie des grains de quartz.

Age	Lieu de prélèvement	Non-usés %	Non-usés corrodés %	Emoussés luisants %	Ronds-mats %
WURM	Rives B.60	100	0	0	0
	Coronnan BV.7	90	8	0	2
	St Rambert V.68	96	4	0	0
RISS	Pajay BV.18	97	2	0	1
MINDEL	Tourdan V.39	80	15	3	2
GUNZ	Louze V.72	62	27	9	2

90 à 95% des grains sont non-usés.

Ces résultats concordent avec ceux donnés par CAILLEUX et TRICART (1959, t.II, p. 151) pour la même région. Il convient cependant de noter que les échantillons de Coronnan et St Rambert contiennent 8 à 10% de grains non-usés, mais dont les arêtes sont légèrement émoussées par rapport aux non-usés typiques de la moraine de Rives. L'échantillon de Pajay présente, de même, quelques grains aux arêtes un peu émoussées.

Les échantillons de Tourdan et de Louze montrent une certaine proportion de grains non-usés dont la surface présente un aspect picoté, mamelonné que j'attribue à une corrosion chimique. Cette corrosion peut s'expliquer par le lessivage prolongé subi par ces grains après le dépôt de ces formations. Si elles sont actuellement peu perméables, il est probable qu'une partie des argiles et des colloïdes qui empâtent les grains de sables sont dus à l'altération, sur place, de sédiments qui, à l'origine, étaient pauvres en éléments fins.

Échantillon	Grains non-usés (%)	Grains usés (%)	Total (%)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0

C - LES MINÉRAUX LOURDS DES SABLES -

L'étude de minéraux lourds de 9 échantillons a été faite sur la fraction sableuse (supérieure à 35 microns).

L'échantillon a été décalcifié par traitement à l'acide chlorhydrique à 10%, puis tamisé en trois fractions granulométriques :

- Fraction I : 610 à 317 microns
- Fraction II : 317 à 152 microns
- Fraction III : 152 à 35 microns.

La séparation de la fraction lourde a été effectuée classiquement, par le bromoforme, pour chacune des fractions.

1° - Etude Quantitative :

Les pourcentages pondéraux de minéraux lourds par rapport au poids total du sable sont les suivants :

WURM	:	{	Rives	2,8%
			Coromman	1,4%
			Saint Rambert	1,4%
			Le Mottier	1 %
			Agnin (loess)	0,5%
RISS	:	{	Pajay	2,2%
			Marcollin	0,65% (limon jaune)
MINDEL	:	Tourdan	0,45%	
GUNZ	:	Louze	1,45 %	

Le poids des minéraux lourds est toujours faible (inférieur à 3%). Les teneurs les plus élevées se trouvent dans les moraines; les limons et loess sont très pauvres.

Si l'on considère trois échantillons würmiens prélevés d'amont en aval : l'un dans la moraine (Rives), le second au tiers de la vallée (Coronnan), le troisième à l'extrémité de la vallée (Saint-Rambert d'Albon), on constate un triage différentiel des minéraux lourds, selon la fraction granulométrique examinée.

Poids de minéraux lourds dans les sables würmiens d'amont en aval.

	Fraction I	Fraction II	fraction III
Rives 0 km (moraine)	2,8%	2,9%	2,8%
Coronnan, 18 km	1 %	1,5%	2,9%
St Rambert, 50 km	0,8%	0,9%	2,2%

Dans les fraction I (610 à 317 μ) et II (317 à 152 μ) le pourcentage pondéral des minéraux lourds par rapport aux légers, décroît depuis la moraine jusqu'à l'extrémité aval de la vallée. Au contraire, pour la fraction la plus fine, (inférieure à 150 μ) le pourcentage de minéraux lourds est presque constant de l'amont à l'aval.

Parmi les minéraux lourds, ce sont donc les grains de faibles dimensions qui sont transportés le plus loin. Pour une taille inférieure à 150 microns, il sont transportés sensiblement selon les mêmes lois que les minéraux de moindre densité et de même granulométrie.

2° - Etude qualitative :

Une fraction de chaque échantillon séparé au bromoforme a été montée sur lame de verre au baume du Canada.

Les minéraux ont été déterminés au microscope

polarisant. (1)

Le tableau V donne l'ensemble des résultats pour la fraction II, le tableau VI pour la fraction III.

Sur les planches XV et XVI ont été représentés les histogrammes des espèces les plus abondantes.

Les minéraux de la fraction I sont presque tous opaques au microscope. Il n'a pas été possible de faire des déterminations significatives.

Dans les fractions II et III, beaucoup de minéraux sont altérés, peu transparents au microscope. Les comptages ont été effectués seulement sur des minéraux transparents, non altérés, et sur les minéraux opaques proprement dits (magnétite, ilménite.....). 150 à 200 grains ont été comptés dans chaque montage.

Pour la fraction II, les pourcentages sont calculés sur le nombre total de grains, comprenant les minéraux opaques.

Pour la fraction III, les minéraux opaques constituant environ 50% du total des grains montés en plaque, les pourcentages ont été calculés sur la totalité des seuls grains transparents.

Tous les minéraux sont de formes très fraîches, parfois cassés, mais toujours très peu usés.

Les minéraux les plus abondants sont : hornblende, grenat, épidote, zoïsite, micas.

La HORNBLLENDE est abondante dans les moraines, mais elle décroît d'amont en aval dans les sables fluvio-glaciaires. Les grains observés sont déchiquetés et souvent altérés

(1) Je remercie bien vivement Mme J. TOURENQ d'avoir accepté de contrôler mes déterminations.

Tableau V - Minéraux lourds de la fraction II
(317 à 150 microns), en pourcentage.

	W U R M .				R I S S		MINDEL	GUNZ
	Rives B 60	Coronnan BV 7	Saint-Rambert V 68	Le Mottier Li 1	Pajay BV 18	Marcollin V 29 (limon panaché)	Tourdan V 39 (ferretto)	Louze V 72
Hornblende	65	14	21		35	2		1
Grenat		10	13	52	6	14		24
Epidote	7	15	20	23	4	16	49	16
Zoïsite		13		2	6	4	2	1
Biotite	7	8,5	15		16			5
Mica Vert	3	3			1	2		1
Muscovite		11	10	8	6	2	13,5	20
Zircon					0,5			2
Tourmaline	4	2		2	3	6	11,5	3
Sphène					3	2		
Staurotide		3			0,5		6	7,5
Disthène	3	1	5	1	2	4	5	2
Glaucophane		1		8		8		1
Rutile		2			1		2	1
Andalousite		1			3,5	8	4	1
Feldspath (séricité)		3	5		0,5			
Pyroxènes	7	3			2	6		3
Opagues	4	8,5	11	4	10	26	7	11,5

tableau VI : Minéraux lourds de la fraction III
(150 à 35 microns), en pourcentage.

	W U R M .					R I S S		MINDEL	GUNZ
	Rives B 60	Coronnan BV 7	Saint-Rambert V 68	Le Mottier Li 1	Agnin - V 38 (loess)	Pajay BV 18	Marcollin V 29 (limon panaché)	Tourdan V 39 (ferretto)	Louze V 72
Hornblende	38,5	21	16,5	9	5	35	15		5
grenat	4	26	27	35	17	10,5	6	5	12
Epidote		11,5	21	25	13	8,5	26	35	17
Zoïsite		9,5		6	4,5	2	6	10	6
Biotite	11,5	3	12			10,5		7	11
Mica vert	27	5				17			
Muscovite	4	3	9	6	34	3	13	5	
Zircon	4	7	2	8	13	6,5	15	8	14
Tourmaline		1	2		2		2,5	8	8
Sphène	4	1	2	4	1,5		3		
Staurotide	4	4	2	1	4	2	3	7	10
Disthène		5		2	1		1,5	5	1
Glaucophane		2	2	3	2	3	6	5	6
Rutile		1	4,5				0,5		1
Andalousite	3					2		5	1
Feldspath (séricité)					3				
Pyroxènes							1,5		

Les GRENATS montrent assez souvent leurs formes cristallographiques. Ils sont roses, sauf dans l'échantillon de Marcollin où ils sont verts. On remarque que la moraine würmienne est très pauvre en grenats.

L'EPIDOTE, toujours en grains anguleux, est, soit de teinte jaune pâle, soit au contraire vert vif à pléochroïsme fort. Les deux variétés coexistent dans les échantillons. La moraine würmienne est également pauvre en épidote. (1)

3° - Conclusions :

a) L'abondance de la hornblende et la présence de pyroxènes dans le fluvioglaciale de Riss et de Würm montrent que l'altération chimique a eu peu de rôle dans la constitution de la fraction sableuse de ces dépôts et qu'ils ne^{se} sont pas altérés dans leur masse depuis leur mise en place.

Au contraire, l'absence de la hornblende et des pyroxènes dans un paléosol, comme le feretto, est un des témoins de l'altération chimique subie par les terrasses mindéliennes.

b) D'après M. CHAUMONT (1956), grenat, épidote, zoïsite et apatite sont abondants dans les sables miocènes et pliocènes dauphinois. Par contre, la hornblende n'est qu'un minéral accessoire de ces mêmes sables. Cet auteur pense que le cortège des minéraux lourds du Miocène et du Pliocène a pour origine la zone des schistes lustrés. En ce cas, les mêmes minéraux présents dans les sédiments quaternaires peuvent provenir de ces sables remaniés.

xxx

La hornblende, abondante dans le Quaternaire, a certainement pour origine les massifs cristallins externes en grande partie constitués d'amphibolites.

Il me paraît donc vraisemblable d'admettre que les autres minéraux peuvent également provenir des schistes cristallins, amphibolites, gabbros et granite de la chaîne de Belledonne, sans exclure une reprise des sables et cailloutis miocènes et pliocènes érodés par les glaciers.

Hornblende, tourmaline et disthène sont caractéristiques des massifs de Belledonne et du Taillefer. Il n'y en a pratiquement pas en Oisans, ni dans le Pelvoux. Cette origine est confirmée par le peu d'importance des zircons dans la fraction fine, alors qu'ils sont abondants en Oisans.

Trois échantillons contiennent plus de 10% de zircon. Celui de Louze est très proche du Massif Central. Pour les deux autres, qui sont d'origine éolienne, les apports peuvent être indépendants de la province d'origine des glaces.

L'échantillon de la plaine du Liers (Le Mottier) est plus riche en grenat et en glaucophane que les autres échantillons fluvioglaciaux würmiens, mais les apports dans cette plaine ont pu être sous la dépendance du glacier du Rhône alors que la Bièvre était envahie par celui de l'ISère.

Le petit nombre d'échantillons étudiés ne nous permet que de formuler des hypothèses sur l'origine pétrographique des minéraux lourds de la Bièvre-Valloire. Elles pourront être précisées par une étude systématique des minéraux de nombreux gisements.

xxx G. Lathuille (1959) dans une étude des sables molassiques de la région lyonnaise conclue également que la grosse majorité du matériel vient des Alpes et que l'apport du Massif Central est refoulé sur le bord du massif par l'énorme masse de matériaux alpins. D'après cet auteur les minéraux les plus abondants (90 à 95% du stock) sont épidote, grenat, et amphiboles.

- (1) Les proportions relatives de hornblende et d'épidote permettent de penser, en l'absence de hornblende, qu'une partie de l'épidote a pour origine la dégradation de la hornblende.

CHAPITRE IV

MINÉRALOGIE DES ARGILES.

Jusqu'à présent, la minéralogie des argiles des sédiments glaciaires n'a été bien étudiée qu'en Scandinavie, en Amérique du Nord et en Union Soviétique. On dispose de peu de renseignements pour les dépôts glaciaires quaternaires alpins ou pyrénéens.

A - BIBLIOGRAPHIE -

Voici un bref résumé bibliographique des études effectuées sur ces argiles que j'ai pu consulter,

I - ANTARCTIQUE

Un échantillon de moraine interne du glacier de l'Astrolabe étudié par BELLAIR, TOURENQ et VERNHET (1964) contient très peu d'argile: un peu d'illite et une très petite quantité de chlorite.

La fraction argileuse de divers sédiments fluvio-glaciaires et morainiques étudiés par MICHEL (1962) contient de l'illite abondante, de la chlorite et des traces de kaolinite.

II - AMÉRIQUE DU NORD

1°) ILLINOIS : WILMAN, GLASS et FRYE (1963) ont montré que l'illite domine dans les dépôts glaciaires récents du Wisconsinien et de l'Illinoisien alors qu'elle est subordonnée dans les dépôts plus anciens du Kansien et du Nebraskien où c'est la montmorillonite qui domine. Kaolinite et chlorite sont presque toujours présentes mais jamais dominantes. Cette différence de composition des moraines anciennes et

récentes se trouve également dans les minéraux lourds. Elle traduit des provinces d'origines différentes pour chacun des glaciers qui ont apporté ces dépôts.

BEAVERS, JOHNS, GRIM et ODELL (1955) ont étudié les différents horizons de sols développés sur des loess et des moraines d'âge wisconsin. Dans les loess, la montmorillonite abondante est accompagnée d'un peu d'illite et de chlorite. Au contraire, dans les sols sur tillites, l'illite et, dans une moindre mesure, la chlorite sont dominantes et il n'y a qu'un peu de montmorillonite. Enfin, certains sols étudiés sont développés dans de minces horizons loessiques reposant sur les tillites. La montmorillonite domine dans les horizons A, B et C de ces sols, alors qu'elle est absente dans l'horizon D qui contient de l'illite abondante et de la chlorite.

Les auteurs concluent à une origine géographique différente des loess et des tillites. Le matériel argileux des loess provient de l'ouest, de la région des "Great Plains", dont les sédiments et les sols sont riches en montmorillonite et bentonite, alors que le matériel des tillites a été apporté du nord-est par les glaciers. L'origine détritique du matériel est prédominante, une petite partie peut être attribuée à l'altération chimique des sédiments en place.

2°) Loess du KANSAS et du NEBRASKA : SWINEFORD et FRYE (1955) font une étude comparée des loess du Kansas et des loess du sud-ouest européen.

La fraction inférieure à 2 microns des échantillons américains contient de la montmorillonite dominante et de petites quantités d'illite et de kaolinite.

Cette association est également celle des loess du Nebraska et du Sud-Dakota (MIELENZ, HOLLAND et KING - 1949). Cette montmorillonite est attribuée à l'altération, sur place, de verres volcaniques contenus dans les loess et à l'altération, avant le transport par le vent, des roches

volcaniques et des bentonites connues au nord-ouest du Kansas.

3° - Loess de IOWA : Dans les loess du sud-ouest de l'Etat de Iowa, d'âge Wisconsin, DAVIDSON et HANDY (1954) trouvent de la montmorillonite aussi abondante, ou plus, que l'illite, et des interstratifiés illite-montmorillonite.

4° - Loess du WISCONSIN : GLENN, JACKSON, HOLE et LEE (1960) ont étudié, chimiquement et minéralogiquement, des loess du sud-ouest du Wisconsin et les sols développés dessus. La montmorillonite domine, l'illite est abondante. On trouve aussi de la vermiculite, de la kaolinite et 15% de produits amorphes. La teneur en vermiculite décroît depuis la profondeur (horizon loessique calcaire) jusqu'en surface. La teneur en montmorillonite croît de la profondeur vers la surface jusqu'à -75 cm. Ensuite, elle décroît dans les horizons acides proches de la surface du sol.

Les auteurs attribuent la montmorillonite à l'altération chimique de minéraux ferromagnésiens (micas et amphiboles) du loess dont le pourcentage décroît de la profondeur vers la surface, en passant par un stade intermédiaire vermiculite et des minéraux interstratifiés.

5° - MINNESOTA : La fraction comprise entre 2 et 0,2 microns des tillites wisconsinniennes du Minnesota étudiées par ARNEMAN et WRIGHT (1959) est principalement constituée de quartz et de feldspath et contient très peu de minéraux argileux (illite et kaolinite). La fraction inférieure à 0,2 microns contient quartz, feldspath, montmorillonite abondante, un peu d'illite et très peu de kaolinite. La pauvreté de ces sédiments en argiles s'explique par le fait que les glaciers érodaient les roches cristallines et métamorphiques du Précambrien canadien, très pauvre en minéraux argileux.

6° - CANADA : Les sédiments glaciaires de l'est canadien étudiés par ALLENS & JOHNS (1960) sont composés d'illite, de chlorite et de vermiculite, et, pour quelques-uns, d'un peu d'interstratifié illite-chlorite. Ces minéraux sont attribués aux schistes, micaschistes et gneiss qui sont communs dans le territoire recouvert par les glaciers.

III - EUROPE

1° - SCANDINAVIE : Les argiles glaciaires forment des dépôts constitués d'illite, franchement dominante, et de chlorite. Leur origine ^{de celle-ci} est difficile à expliquer à partir d'un continent essentiellement cristallin et métamorphique.

Certains auteurs, tel ROSENQUIST (1955-1961), pensent qu'une altération préglaciaire et glaciaire de ces roches a pu fournir des micas qui auraient constitué des minéraux interstratifiés, puis de l'illite de néoformation. D'autres auteurs, (COLLINI- 1956) pensent que cette abondance d'argiles ne peut s'expliquer que par l'érosion et le remaniement par les glaciers d'une couverture secondaire et tertiaire du bouclier scandinave.

2° - GRANDE-BRETAGNE : Les moraines du district de Cambridge (Angleterre), étudiées par FERRIN (1957), sont constituées principalement d'illite avec des traces de montmorillonite ou de kaolinite, selon les formations jurassiques ou crétacées traversées par les glaciers.

En Ecosse, les tillites étudiées par MITCHELL (1961) sont très riches en illites et contiennent 10 à 15% de kaolinite, de la chlorite ou de la vermiculite, selon les roches mères.

3° - BELGIQUE : SWINEFORD et FRYE (1955) déterminent de la montmorillonite abondante, de l'illite et de la kaolinite dans un loess de la région de Liège.

4° - ALLEMAGNE : Dans les loess du Hanovre, SCHROEDER (1955) a trouvé de l'illite et des interstratifiés illite-montmorillonite. SWINEFORD et FRYE (1955) ont déterminé de l'illite, de la kaolinite et des interstratifiés chlorite-montmorillonite pour des loess de la vallée du Rhin..

5° - SUISSE : VERNET (1958) dans les formations glaciaires du Plateau Suisse, trouve l'illite dominante, de la chlorite et un interstratifié chlorite-montmorillonite. Aux deux premiers minéraux est attribué, en grande partie, une origine alpine. L'interstratifié a été arraché aux assises molassiques tertiaires sur lesquelles se sont étalés les glaciers.

6° - ITALIE : Un loess de la région de Turin contient de la muscovite, un peu de kaolinite, chlorite, montmorillonite et un interstratifié chlorite-montmorillonite. (SWINEFORD et FRYE, 1955).

7° - FRANCE : Les loess mis à part, nous ne connaissons que trois publications concernant la nature minéralogique des argiles des sédiments glaciaires français. L'une concerne des sédiments actuels ou subactuels; les deux autres, des sédiments quaternaires alpins et pyrénéens.

- a) Une argile des environs de Lourdes, deux argiles du lac de Venosc (Isère) et des sédiments morainiques actuels du glacier des Bossons, étudiés par LAFOND, RIVIERE et VERNET (1961), contiennent de l'illite franchement dominante, de la chlorite et des traces de kaolinite.
- b) SARROT-REYNAULD (1953), dans les argiles d'Eybens (Isère) datées de l'interglaciaire Riss-Würm (MORET 1956) a déterminé de l'illite abondante.

- c) ALIMEN et CAILLERE (1964) ont étudié des argiles de sédiments glaciaires du Pliocène au Würm, des Pyrénées, de la Bigorre et du Réarn. Tous les échantillons contiennent une forte proportion d'illite. Le Mindel et le Würm contiennent, en outre, de la chlorite. Tous les échantillons, sauf ceux du Riss et du Würm, ont de la kaolinite.

Les auteurs attribuent la genèse de la kaolinite à l'altération liée aux phénomènes pédologiques interglaciaires qui ont dû se produire sous climat assez chaud; le dépôt des sédiments eux-mêmes s'étant fait sous climat froid.

- d) Les loess - CAILLERE et MALYCHEFF (1957) ont étudié plusieurs loess du Bassin de Paris. L'illite y est franchement dominante, associée à un peu de kaolinite et de montmorillonite.

D'après A. MOTAMED (1962), les loess, dans un rayon de 20 Km au SW de Paris, contiennent beaucoup de kaolinite, de l'illite et un peu de montmorillonite.

Dans les loess d'Alsace, étudiés par CAMEZ (1962), l'illite est abondante et accompagnée de chlorite, d'un peu de montmorillonite, de traces de kaolinite et, parfois, de traces d'interstratifiés illite-montmorillonite ou chlorite-montmorillonite.

Le loess de Saint-Vallier (Drôme) contient de l'illite de la montmorillonite et un peu de kaolinite (SWINEFORD et FRYE, 1955).

Enfin, signalons que dès 1946, A. RIVIERE avait déterminé, dans un loess du Bassin parisien et dans un loess de Chine, de l'illite et de la "bravaisite", c'est-à-dire, un minéral complexe formé

de l'association de feuillets illitiques et de feuillets montmorillonitiques.

IV - CONCLUSIONS de L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE -

Les faits, et l'opinion de tous les auteurs, sont en faveur d'une origine détritique certaine des argiles des sédiments glaciaires.

Le spectre minéralogique de chacun des dépôts dépend étroitement des sources du matériel transporté par les glaciers ou par le vent. Ce matériel, une fois en place, peut évoluer très sensiblement dans la partie supérieure de chaque formation constituant un sol, sous l'action de l'altération climatique.

L'étude de l'altération pédologique des formations glaciaires, bien que constituant le but de la plus grande partie des articles cités, n'a pas été rapportée ici car cela n'est pas notre propos.

Tous les sédiments glaciaires de l'ouest de l'Europe se caractérisent par une grande abondance de l'illite. La présence et la proportion des autres minéraux dépend plus étroitement des conditions locales et de l'évolution des sédiments postérieure à leur dépôt, notamment, sous l'effet des conditions climatiques des périodes interglaciaires.

B - METHODE d'ETUDE -

- ANALYSE ROENTGENOGRAPHIQUE

- Les minéraux argileux ont été étudiés aux rayons X.
- Les diagrammes ont été effectués au moyen d'un diffractomètre C.G.R. avec une anticathode de Cobalt.
- Les échantillons ont été préparés selon la technique classique des agrégats orientés, sur la fraction inférieure à 1 micron.

Pour préciser la détermination des différents minéraux argileux, des fractions de l'échantillon ont été soumises à divers traitements. Six diagrammes, au plus, suffisent généralement à lever les indéterminations.

1°) - échantillon brut.

2°) - échantillon traité par CaCl_2 , puis glycérolisé ou laissé une nuit en atmosphère saturée de vapeurs d'éthylène-glycol : les feuillets de la montmorillonite sont amenés à un écart réticulaire de 16-17 Å. La raie (001) de la chlorite reste à 14 Å alors que la raie (002) de la vermiculite passe à 15 Å sous l'influence des ions Ca.

3°) - échantillon traité par ClH , 2 N, à ébullition pendant 1 h 30 : l'illite, la kaolinite et la montmorillonite subsistent. Tous les autres minéraux argileux sont détruits.

Ce traitement permet de distinguer chlorite et kaolinite.

4°) - échantillon brut cuit au four à 530° pendant 1 h La kaolinite est détruite, la montmorillonite est bloquée à 10-11 Å. La raie (001) de la chlorite passe de 14 à 13 Å; les raies 7,10 Å et 3,55 Å disparaissent. La vermiculite est ramenée à 9-10 Å.

5°) - échantillon traité par KCl : Le pic (001) mal

défini des illites gonflantes (ammersoïtes) ramené à 9,96-10 Å. Les montmorillonites sont bloquées à 11 Å. La vermiculite est ramenée à 12 Å.

6° - échantillon traité par NH_4Cl : L'ammersoïte donne un pic à sommet obtus, d'écart réticulaire voisin de 12,8 Å. La vermiculite est ramenée à un écart réticulaire de 12 Å.

N.B. - Il faut signaler que l'hexamétaphosphate de sodium utilisé comme défloculant peut être gênant pour certains diagrammes. Il est généralement préférable de confectionner les agrégats sans défloculant.

II - ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE

Quelques échantillons ont été soumis à l'analyse thermique différentielle.

L'appareil utilisé est l'analyseur thermique différentiel type A.T.D. 63 ADAMEL. Deux couples thermo-électriques Platine-Platine rhodié, reliés entre eux, plongent l'un dans une substance inerte (alumine), l'autre dans l'échantillon à étudier.

Cet ensemble est placé dans un four dont on élève progressivement la température de 10° par minute jusqu'à 1000°. On enregistre graphiquement la montée en température du four et les différences de température entre le couple plongé dans le témoin inerte et le couple plongé dans l'échantillon en réaction.

Le témoin d'alumine et l'échantillon, après broyage au mortier d'agate, sont préparés en "échantillon reconstitué" au moyen d'une presse. Cette méthode a l'avantage de supprimer une inertie au chauffage due au creuset habituellement employé et donne des résultats plus sensibles.

Chaque minéral pur est caractérisé par des crochets endo et exothermiques traduisant des réactions chimiques ayant lieu à des températures déterminées.

Dans les mélanges, certains éléments, tels le fer, les ions alcalins, la matière organique, peuvent réagir avec les minéraux argileux et modifier fondamentalement les courbes, en rendant ainsi l'interprétation délicate.

Les données, pour les principaux minéraux argileux, sont les suivantes (S. CAILLERE et S. HENIN 1963, R.C. MACKENZIE 1957, SMOTHERS et CHIANG 1958).

Groupe de la kaolinite:

Crochet endothermique entre 500 et 600° et crochet exothermique aigu à 950-980°.

Illite:

Crochets endothermiques à 130° et 550-575° suivis d'un phénomène endo-exothermique entre 800 et 900°. Les diagrammes sont très variables.

Chlorite:

Crochet endothermique fort à 500° (chlorites ferrifères) ou 600° (chlorites magnésiennes), puis crochet endothermique entre 600 et 800° suivi d'un crochet exothermique vers 900°.

Vermiculite:

Les courbes sont variables. On observe un ensemble de phénomènes endothermiques en dessous de 300° (généralement un grand crochet et un plus petit) suivi d'une succession de crochets endo-exothermiques entre 750 et 850°.

Montmorillonite:

Un large pic endothermique avant 300°; puis 2 autres crochets endothermiques vers 650-700° et 850-900° suivis immédiatement d'un crochet exothermique.

C - RESULTS -

Tous les échantillons étudiés contiennent de l'illite et de la kaolinite.

L'illite est le plus souvent dominante, toujours abondante.

La kaolinite est généralement peu abondante; elle existe seulement en traces dans les sédiments würmiens.

Quelques raies des feldspaths sont également présentes sur tous les diagrammes.

En dehors de ces minéraux constamment représentés, les diagrammes se différencient selon les niveaux étudiés.

I - ECHANTILLONS du WURM

Les moraines et terrasses fluvioglaciales würmiennes sont constituées de sédiments très grossiers et ne contiennent qu'une petite quantité de matériel argileux (3 à 7%).

1° - Bourrelet morainique - B.60 (Rives) (pl. XVII)

pH = 7,8

illite dominante.

un peu de vermiculite.

un peu de montmorillonite.

des traces de kaolinite.

2° - Fond fluvioglaciale de la plaine de Bièvre - BV.7 (Coronnan) (pl. XVII)

pH = 8,5

illite dominante.

un peu de chlorite.

un peu de montmorillonite.

des traces de kaolinite.

Illite, chlorite et montmorillonite sont confirmées à

l'analyse thermique différentielle qui, outre les pics caractéristiques de ces 3 minéraux, présente un crochet exothermique important vers 325°, attribué à des gels d'hydroxyde de fer (stilpnosidélite). (Pl. XXIV)

N.B. - A la demande de M. GIGOUT, je n'ai pas étudié en détail les zones d'altération de chaque niveau glaciaire (paleosols), malgré le très grand intérêt que cela présenterait; Mme MONIOT avait entrepris à Lyon, sur ce sujet, des recherches devant faire l'objet d'une thèse de 3ème Cycle de Géologie du Quaternaire.

A titre de comparaison, j'ai simplement analysé un échantillon de Würm et un de Riss prélevés dans la partie altérée, au sommet de ces formations.

Au sommet du front de taille de la carrière de Coronnan, on observe une couche d'altération rouge-orangé de 20cm surmontée par le sol actuel, brun, d'une épaisseur de 50cm environ. L'échantillon BV.5 a été pris dans la couche rouge-orangé. Il contient :

- illite,
- vermiculite dominante,
- un peu de chlorite,
- un peu de montmorillonite,
- un peu de kaolinite,

3° - Fond fluvioglaciale de la plaine de Liers - L.1 (Le Mottier)

pH = 8,7

illite dominante,

un peu de kaolinite,

un peu de montmorillonite : sur l'échantillon brut on observe un pic obtus entre 12,5 Å et 14,2 Å. Par traitement au Ca Cl₂ et à la glycérine, ce pic se déplace vers 16,2-17,09 Å. (Pl. XVIII)

Ces 3 minéraux sont confirmés par l'A.T.D. qui montre,

de plus, l'existence de stilpnosidérite (large bosse exothermique dont le maximum est à 335°). (Pl. XXIV.).

4° - Loess.

La granulométrie de l'échantillon V.38 (Agnin) montre qu'il contient environ 12% de fraction inférieure à 1 micron:

- pH = 8,9
- illite dominante,
- un peu de kaolinite,

Le diagramme de l'échantillon brut est très complexe entre 3° et 5° (Pl. XVIII). On distingue 4 pics à $13,5 \text{ \AA}$, $12,5 \text{ \AA}$, $10,9 \text{ \AA}$ et $10,1 \text{ \AA}$. Après traitement par Cl_2Ca et l'éthylène-glycol, le diagramme obtenu montre une large bosse entre 1° et 4° dans laquelle on distingue un petit pic à 32° \AA et un autre à $17,09 \text{ \AA}$.

L'échantillon contient donc un peu de montmorillonite ($10,9 \text{ \AA}$ brut) et un interstratifié vermiculite-montmorillonite ($13,5 \text{ \AA}$ brut). J'attribue le pic à $12,5 \text{ \AA}$ sur le diagramme ^{brut} à un interstratifié illite-vermiculite. Le diagramme de l'échantillon cuit à 530° montre un grand pic à 10° dissymétrique du côté des petits angles (montmorillonite et vermiculite) et un petit pic à $14,05 \text{ \AA}$.

Ce loess contient donc aussi un peu de chlorite.

II - ECHANTILLONS du RISS

1° - Moraine de Pajay :

Ce cailloutis ne contient que 3% d'éléments inférieurs à 1 micron.

pH = 8,5

BV. 18 - illite dominante.

Sur le diagramme brut, on voit un pic mal défini entre $12,50 \text{ \AA}$ et $14,24 \text{ \AA}$. Après traitement par Ca Cl_2

et la glycérine, il y a gonflement dans la région de $3-4^{\circ}$ avec un pic à $14,65 \text{ \AA}$: vermiculite
et un pic arrondi à $17,09 \text{ \AA}$: montmorillonite (Pl. XIX)

BV.16 - Echantillon pris dans la couche altérée rouge (90 cm) qui se trouve au-dessous du sol actuel, brun, (40 cm).

Illite,
Interstratifié vermiculite-montmorillonite abondant,
un peu de vermiculite,
un peu de montmorillonite,
un peu de kaolinite.

2° - Limons Jaunes :

Les terrasses fluvio-glaciaires rissiennes sont souvent recouvertes de limons jaunes dans lesquels F.BOURDIER a distingué trois niveaux : à la base, un limon panaché, puis un limon jaune à granules de manganèse, surmonté d'un limon sans panachage ni manganèse.

a) - Terrasse de Marcollin : échantillon de limon panaché provenant de l'exploitation de la tuilerie Genton V.29 (Pl. XIX)

pH = 5,9

Illite,
Kaolinite.

Le diagramme brut de la fraction jaune foncé du limon panaché donne un pic large, très arrondi entre $10,47 \text{ \AA}$ et $12,81 \text{ \AA}$. Après traitement par Ca Cl_2 et la glycérine, on obtient 3 pics bien définis :

- un à $10,26 \text{ \AA}$: illite,
- un à $14,05 \text{ \AA}$: chlorite,
- un à $18,3 \text{ \AA}$: montmorillonite.

Le pic attribué à la chlorite disparaît à la cuisson.

Le diagramme brut de la fraction jaune clair du limon panaché montre l'illite franchement dominante avec un pic à 9,96 Å très dissymétrique du côté des petits angles.

Les traitements mettent en évidence un peu de chlorite et de montmorillonite. La chlorite résiste à la cuisson. Ces minéraux sont également reconnaissables sur la courbe d'A.T.D. ainsi que de la stilpnosidélite (Pl. XXIV).

- b) Terrasse de Tourdan : Sur les cailloutis rouges - ferreto - de cette terrasse reposent, en certains points, des limons jaunes rissiens.

L'échantillon V.40 provient de l'ancienne gravière à proximité du pont de la N.538 sur la Derroy.

C'est un limon jaune à granules et dendrites de manganèse. (Pl. XIX)

pH = 6,3

Illite,

un peu de kaolinite,

Sur le diagramme brut, un pic très arrondi entre 10Å et 12,82 Å se dissocie en trois pics par traitement à Ca Cl₂ et la glycérine :

- un pic à 10,06 Å : illite.
- un pic mal défini entre 17 et 18 Å, mais accompagné de petits pics à 8,85 Å et 5,89 Å permet de conclure à la présence de montmorillonite.
- Enfin, un pic à 14,65 Å : vermiculite.

L'A.T.D. confirme ce diagnostic. (Pl. XXIV)

- c) - Beausemblant : L'exploitation des limons à Beausemblant se fait dans plusieurs carrières. La stratigraphie des sables, limons et cailloutis de ces carrières est complexe.

L'échantillon V.69-2 a été prélevé dans un niveau ocre aux 2/3 du front de taille de 1961 à partir

du sommet (Pl. XX).

pH = 5,7

"Illite abondante,

Un peu de kaolinite.

Le diagramme de l'échantillon brut montre un pic entre 11,5 Å et 12,2 Å qui se déplace à 14,65 Å par traitement à Ca Cl₂; après traitement à la glycérine, on obtient une bosse entre 14,65 Å et 19,7 Å.

Après cuisson, le pic à 10° est renforcé et très dissymétrique du côté des petits angles.

On a donc :

de la montmorillonite,

un interstratifié montmorillonite-vermiculite et, peut-être, un peu de vermiculite.

- d) - Echantillons prélevés dans la tranchée ouverte pour le gazoduc Marseille-Strasbourg.

Au cours de l'été 1961, cette tranchée de 2 à 4 mètres de profondeur a traversé la Valloire à l'ouest de Beaurepaire, de Primarette au Nord à Manthes et Moras au Sud. Elle a entaillé les terrasses de Tourdan et de Lapeyrouse, le fond würmien de la plaine au S.-O de Beaurepaire et l'extrémité occidentale de la terrasse de Marcollin. Le plus souvent, cette tranchée a traversé des limons jaunes, parfois avec manganèse (abondant en certains points), parfois sous l'aspect de limons panachés ressemblant à ceux de la tuilerie Canton à Marcollin. Les limons observables dans cette tranchée étant sous le sol actuel, le panachage ne correspond probablement pas toujours au véritable niveau des limons panachés. Il peut être dû à une altération beaucoup plus récente par les racines de la forêt qui recouvrait autrefois cette plaine.

Par endroits, cependant, un niveau de limon panaché était visible au-dessous d'un niveau de limon ocre,

sans panachage. C'est le cas, notamment, des échantillons T.5 (limon panaché) et T.4. (limon ocre qui le recouvre) prélevés sur la terrasse de Tourdan, au Nord de la route D.51.

T.5 - pH = 6,3
Illite,
Un peu de kaolinite,

Le diagramme brut présente une bosse entre 10 Å et 16 Å. Le traitement par Ca Cl₂ et la glycérine met en évidence : de la chlorite et des traces de montmorillonite. Un petit pic à 12,21 Å correspond peut-être à un minéral interstratifié du type illite-vermiculite.

Après traitement par K Cl le pic à 13,86 persiste (chlorite) ainsi qu'un petit pic à 12,51 Å.

T.4 - pH = 5,2
Illite,
Un peu de kaolinite,
Chlorite, qui disparaît à la cuisson.
Montmorillonite.

T.46 - échantillon prélevé dans la tranchée à l'extrémité de la terrasse de Marcollin :
pH = 5,7
Illite,
Chlorite,
Un peu de kaolinite,
Traces de montmorillonite,
Un peu d'interstratifié illite-vermiculite.

T.25 - échantillon pris au pied de la terrasse de Lapeyrouse.

Le limon panaché apparaît au fond de la tranchée sous 2 m. de sables et de cailloutis, probablement würmiens:

Illite,
Montmorillonite,
Un peu de kaolinite,

La montmorillonite est ici beaucoup plus abondante que dans tous les échantillons étudiés. Sa formation est peut-être favorisée par la position de ce limon, recouvert de cailloutis calcaires traversés par les eaux superficielles qui peuvent entraîner des ions Ca avant de percoler à travers le limon. L'échantillon T.25 est d'ailleurs le seul des limons jaunes à avoir un pH alcalin : 7,7.

Problème du stade de la Côte-Saint-André.

Le bourrelet allongé entre La Frette et la Côte-Saint-André est mal connu car il n'y a pas de coupe profonde permettant d'en voir la structure. Il est attribué au Riss.

J'ai analysé deux échantillons pris dans des talus de 2 m. de haut, près de la ferme des Brosses, sur le bord S-E de ce bourrelet. Sous le sol actuel affleurerait un limon jaune plus ou moins mêlé de cailloux

Les diagrammes montrent qu'il y a de l'illite, un peu de chlorite et un peu de montmorillonite. Les pics sont bien définis. Il n'y a pas d'interstratifiés.

Cette association minéralogique étant aussi celle du limon panaché de Marcollin et du limon ocre T.4. n'apporte pas d'arguments décisifs pour l'attribution de ces dépôts.

III - ECHANTILLON DU MINDEL

V.39 - échantillon de ferretto de la terrasse de Tourdan. (pl. XXI)

pH très acide : 4,4
Illite,
Kaolinite,
Un minéral gonflant à environ 14 Å par Ca Cl₂,

et la glycérine disparaît à la cuisson. Son écart réticulaire est ramené aux environs de 11 Å par K Cl. L'aspect mal défini des pics permet de conclure à l'existence d'un interstratifié de type illite-vermiculite. Sa présence est confirmée par un petit pic à 12,5 Å correspondant à la raie (002) d'un tel minéral.

V.87 - échantillon prélevé dans une petite carrière 200 m au Nord de Péage de Roussillon.

Un sable argileux, rouge, en poches, surmonte un sable jaune reposant lui-même sur un conglomérat.

Le spectre des minéraux argileux de ce sable rouge est exactement le même que celui du ferreto de Tourdan.

V. 88 - échantillon pris dans la terrasse de Tourdan, au-dessous du niveau ferretisé, dans la coupe naturelle du Dolon, au pont de Pact.

pH = 8,3

Illite dominante,

Montmorillonite,

Vermiculite,

Interstratifié illite-vermiculite.

Traces de kaolinite.

Par rapport aux caractères de cet échantillon, on remarque que le ferretto, complexe argileux du paléosol de cette terrasse, est complètement décalcifié. Il contient un peu plus de kaolinite, il ne contient pas de montmorillonite : ce paléosol s'est constitué par lessivage de la terrasse mindélienne.

IV - ECHANTILLON DU GUNZ

V. 72 : échantillon de la terrasse de Louze

pH = 5,3

Illite,

Kaolinite,

Vermiculite,

Montmorillonite

Le diagramme ne comporte pas de minéraux interstratifiés (Pl. XXII). Cet échantillon est le plus ancien de ceux étudiés ici, c'est celui qui a subi les plus longues altérations. Les minéraux argileux détritiques ont été dégradés au-delà du stade de minéraux interstratifiés. L'aspect des pics suggère, cependant, qu'ils sont mal cristallisés. La proportion de chacun des minéraux du mélange est à peu près la même. Ceci est remarquable notamment pour la kaolinite, qui n'est qu'à l'état de traces dans les sédiments récents. Les altérations et le lessivage n'ont cependant pas été très intenses puisque subsiste l'illite et la vermiculite en quantité notable.

V - ECHANTILLON DU VILLAFRANCHIEN

1°) Loess de Saint Vallier : V. 90

Un échantillon du loess supérieur de Saint-Vallier contient de l'illite, de la vermiculite, et de la montmorillonite.

2°) Glaise du plateau de Chambaran :

A titre de comparaison, un échantillon de la glaise emballant les galets de quartzite du Villafranchien du Plateau de Chambaran a été analysé. Cet échantillon a été prélevé dans une tranchée de la D.71, 5,5 km avant Roybon (Croix des Croisettes) Il contient : kaolinite et illite avec des pics aussi importants l'un que l'autre, des traces de vermiculite et de montmorillonite. (Pl. XXIII)

L'abondance de la kaolinite est une distinction fondamentale entre cette argile et celles des formations glaciaires qui en contiennent peu. L'altération des minéraux argileux hérités du massif alpin est ici poussée au maximum.

La simplicité des diagrammes de cet échantillon est due à la longue évolution subie par les sédiments pliocènes tout au long du Quaternaire.

Tableau VII : Minéraux argileux des sédiments glaciaires de Bièvre-Valloire.

		Illite	Chlorite	Vermiculite	Montmorillonite	Kaolinite	Interstratifiés	
W	Rives, m	+++		+	+	-		
U	Coronnan, fg	+++	+		+	-		
R	Coronnan altéré	++	+	+++	+	+		
R	Le Mottier, fg	+++			+	+		
M	Agnin, loess	++	+		+	+	++	VM; IV
R	Pajay, m	+++		++	+			
R	Pajay altéré	++		+	+	+	+++	VM
I	Marcollin, l	++	+		+	+		
I	Tourdan, l	++		+	+	+		
S	Beausemblant, l	+++		?	+	+	++	VM
S	T.5, l	++	+		-	+	?	IV
S	T.4, l	++	+		+	+		
S	T.46, l	++	+		-	+	+	IV
S	T.25, l	++			++	+		
MINDEL	Pact; fg	+++		+	+	-	+	IV
MINDEL	Tourdan, F	++		+		++	++	IV
MINDEL	Péage-de-R, F	++		+	+	++	++	IV
CUNZ	Louze, F	++		++	++	++		
VILLA	St Vallier, loess	+++		+	+			
FRAN	Chambaran	++		-	-	++		
CHIEN								

m = moraine
fg = fluvio-glaciaire
l = limon
F = Feretto

I = Illite
V = Vermiculite
M = Montmorillonite

+++ = dominant
++ = abondant
+ = présent
- = en traces

D - C O N C L U S I O N S

Il ressort de cette étude, dont les résultats sont résumés dans le tableau VII, que la fraction argileuse des sédiments fluvioglaciers de Bièvre-Valloire les plus récents est formée d'illite détritique abondante, d'un peu de chlorite détritique et de traces de kaolinite.

Nous avons vu que ces caractéristiques minéralogiques sont communes à tous les sédiments glaciaires récents de l'Ouest de l'Europe.

Dans les sédiments plus anciens du Riss et du Mindel, qui ont subi des périodes d'altération beaucoup plus longues où la percolation a été importante, les minéraux originels ont été attaqués. Les circulations souterraines ont favorisé l'apparition de minéraux interstratifiés (1) et d'illite gonflante par néogénèse dans le milieu même de sédimentation.

Ces minéraux seraient probablement à rapprocher des phyllites gonflantes du type ammersoïte (RIVIERE, VERNHET, Van der MAREL, 1961,).

La couche d'altération superficielle de la moraine würmienne contient une grande proportion de vermiculite par rapport à la moraine. Il est admis par de nombreux auteurs que la vermiculite est le produit d'altération des argiles des sols en climat tempéré humide (CAMEZ, FRANC de FERRIERE, LUCAS, MILLOT, 1960, et CAMEZ, 1962 bibliographie p. 75).

L'altération superficielle de la moraine rissienne dont l'histoire est plus longue, est plus poussée que celle

(1) Rappelons que le terme "minéral interstratifié" désigne classiquement un minéral argileux dont chaque cristal est constitué par la répétition de feuillets élémentaires de deux ou plusieurs types (en anglais : mixed-layer mineral) (BROWN, 1961.).

de la moraine würmienne: la couche altérée orangée mesure environ 70 cm au lieu de 20 cm pour le Würm et la dégradation des phyllites donne naissance à un interstratifié vermiculite-montmorillonite.

Le Mindel a été profondément altéré à la surface de ses terrasses, constituant un paléosol rouge, le ferretto, qui contient un mélange de minéraux détritiques et de minéraux d'altération.

Ce sont les paléosols constitués sur les sédiments du Günz (et a fortiori du Villafranchien) qui sont les plus évolués: la kaolinite est relativement plus abondante que dans tous les autres échantillons, il n'y a plus d'interstratifiés.

Dans tous les sédiments du Würm ^{au} ~~et du~~ Günz, l'illite et la chlorite représentent l'altération mécanique des roches alpines broyées par les glaciers. La vermiculite et les minéraux à feuillets interstratifiés témoignent d'une altération chimique ménagée des dépôts. La montmorillonite indique que les conditions de drainage étaient moyennes, ou pas très bonnes quand elle est en quantité plus importante. Enfin, la kaolinite permet d'admettre que les dépôts du Günz, dans une certaine mesure, et du Villafranchien ont été soumis à des actions de lessivage assez intenses.

L'analyse minéralogique des formations glaciaires non altérées est assez monotone, les minéraux détritiques provenant de la même origine, quelle que soit la glaciation. L'analyse minutieuse des sols constitués sur ces sédiments peut présenter un grand intérêt pour la stratigraphie du Quaternaire, étant donné la variété des spectres minéralogiques selon les niveaux. Les études en cours à Lyon ayant été abandonnées, je compte poursuivre des travaux en ce sens, en collaboration avec M. GIGOUT.

CHAPITRE V

RADIOACTIVITE.A - METHODES d'ETUDE -

Les mesures de radioactivité des sédiments ont été faites avec un compteur Geiger du type Tracerlab TGC 5.

Les échantillons ont été broyés afin que n'interviennent pas directement dans la mesure les différences de granulométrie.

Le rayonnement bêta + gamma et le rayonnement gamma seuls ont été déterminés sur chaque échantillon..

Les résultats de mesure sont donnés, déduction faite du mouvement propre de l'appareil.

(RIVIERE 1955, LAFOND 1958, STEINBERG 1960)

B - RESULTATS -

Ils sont consignés dans le tableau VIII

	Echantillon	bêta + gamma cp/mn	gamma cp/mn
W U R M	Le Mottier Li 1	19	-
	Coronnan BV 7	17	1
	Gillonay BV 10	16	-
	Marcilloles BV 28	13	1
	St Rambert V 68	17	2
M	Agnin (loess) V 38	27	-
R I S S	Pajay BV 18	25	-
	Marcollin V 29	41	2
	Tourdan V 40	37	2
	Sardieu BV 23	35	3
	Le Not BV 14	33	-
	Les Brosses BV.12	31	-
MINDEL	Tourdan V 39	26	3
	Anneyron V 37	29	-
GUNZ	Louze V 72	34	21

La radioactivité gamma enregistrée est toujours très faible (1 à 3 cps/minute), sauf pour l'échantillon de Louze. Les conditions de la mesure ne permettent pas d'analyser les caractéristiques du rayonnement gamma..

Le rayonnement bêta est plus important et varie en fonction de l'âge du sédiment.

1°) Würm :

Les mesures effectuées sur 5 échantillons de la fraction sablo-argileuse des cailloutis würmiens donnent un rayonnement bêta + gamma de 13 à 19 coups/minute.

La radioactivité enregistrée pour le loess de la terrasse d'Agnin est nettement plus élevée : 27 coups/minute. Le simple examen des échantillons à l'oeil nu montre que ce sédiment a une granulométrie originelle beaucoup plus fine que les autres échantillons de même âge.

Les valeurs de la médiane sont :

- 37 μ pour le loess d'Agnin,
- 350 μ pour le sable de Coronnan,
- 800 μ pour celui du Mottier.

(voir les courbes granulométriques).

La valeur plus élevée de la radioactivité du loess, liée à une plus grande concentration en minéraux radioactifs, montre que ces minéraux ont tendance à se concentrer dans les fractions les plus fines des sédiments. La radioactivité du loess est à rapprocher du pourcentage élevé des zircons dans cet échantillon.

2°) Riss :

La radioactivité bêta + gamma de différents échantillons de limons jaunes varie de 31 à 41 coups/minute

Ici également, un échantillon présente une valeur singulière : la radioactivité de la fraction sablo-argileuse de la moraine de Pajay est de 25 coups/

minute. Mais la médiane granulométrique du sable de Pajay est de 450 μ alors que celle des limons n'est que de 20 à 30 μ .

Le limon de Marcollin qui contient relativement une forte proportion de zircons a la radioactivité la plus grande.

3°) Mindel :

La radioactivité de 2 échantillons seulement a pu être mesurée. Les valeurs sont de 26 coups/minute pour la terrasse de Tourdan et de 29 coups/minute pour la terrasse d'Anneyron.

La médiane granulométrique du ferretto de la terrasse de Tourdan est de 150 μ .

4°) Günz :

Un échantillon de la terrasse de Louze a une radioactivité bêta + gamma de 34 coups/minute. Il est le seul des sédiments étudiés à présenter une forte radioactivité gamma : 21 coups/minute. Il a une assez faible radioactivité bêta : 13 coups/minute..

De par sa situation géographique, la terrasse de Louze a certainement reçu des apports du Massif Central. La composition minéralogique des sables de cette terrasse est donc différente de celle des autres terrasses de la Bièvre-Valloire qui ont une origine purement alpine. La radioactivité de ce sédiment ne peut se comparer à celle des autres échantillons étudiés..

C - CONCLUSIONS -

Si l'on compare des sédiments de granulométrie voisine, les valeurs enregistrées pour le rayonnement bêta + gamma d'échantillons d'âge Würm sont systématiquement inférieures à celles enregistrées pour le Riss.

Les valeurs trouvées pour le Mindel sont à rapprocher de celles du Riss, mais le petit nombre d'échantillons mesurés n'autorise pas à tirer des conclusions formelles.

Dans les conditions des mesures, le rayonnement dû à la radioactivité gamma est négligeable. Il semble donc que l'on puisse, tout au moins localement, distinguer systématiquement Riss et Würm en deux groupes de sédiments de radioactivité bêta différente, bien que celle-ci reste très faible.

Il serait intéressant de pouvoir préciser les caractéristiques et les éléments responsables de la radioactivité de ces sédiments.

CHAPITRE VIDOSAGES CHIMIQUES DE QUELQUES ELEMENTS.

Des dosages de CALCIUM, MAGNESIUM, ^{ALUMINIUM} et FER ont été effectués sur dix échantillons représentant les différentes formations de Bièvre-Valloire.

A - METHODE D'ETUDE -

Les échantillons sont broyés 10 minutes dans un broyeur à boules. Une prise de 10 g est soumise à une attaque à l'acide chlorhydrique, 25%, porté à ébullition pendant 30 minutes dans un ballon surmonté d'un réfrigérant à boules. Après refroidissement, la solution acide est filtrée et le sédiment soigneusement rincé à l'eau distillée (contrôle du bon entraînement des chlorures par $\text{NO}_3 \text{ Ag}$). Le filtrat est amené à 500 cc exactement.

Les dosages sont faits sur une fraction aliquote du filtrat par la méthode complexométrique avec une solution de complexon III (EDTA) : 0,1 M pour le fer, 0,05 M pour Al, Ca et Mg.

F E R :

Le mode opératoire utilisé est celui décrit dans : "Titrages au moyen de complexon selon la méthode du Professeur SCHWARZENBACH", p. 19, avec le Tiron comme indicateur coloré.

On prélève 10 cc (ou 20 cc si la solution est peu concentrée) de solution d'extraction. Après avoir ajouté un peu d'eau distillée, on ajuste le pH à une valeur de 2,5. On ajoute quelques gouttes de tiron et on titre à une température de 40 à 50° C. La coloration verte du tiron disparaît à la fin du titrage.

1 ml de complexon 0,1 M correspond à 5,585 mg de fer.
(la solution doit contenir de 200 à 700 mg de fer par litre)

ALUMINIUM :

Mode opératoire N° 2, 3 de "L'Analyse des silicates"
(VOINOVITCH, DEBRAS-GUEDON, LOUVRIER, 1962).

Amener à un pH. faiblement acide 20 cc de la solution à doser. Ajouter la solution de complexon III 0,05 M en excès. Il faut complexer à la fois l'aluminium, le fer et le titane présents dans la solution sachant que 1 ml de complexon III 0,05 M fixe 2,549 de Al_2O_3 , 4 mg de Fe O, 4 mg de Ti O. Pratiquement, j'ai ajouté 20 cc de complexon.

En présence d'une goutte de rouge de méthyle, on neutralise avec une solution tampon à pH 5 à 6 (500g d'acétate d'ammonium + 20 ml d'acide acétique pour 1 litre) et on ajoute un excès de cette solution.

Porter quelques minutes à ébullition pour complexer Al Fe, Ti. Ajouter 10 ml de solution d'acide tartrique à 2% et 5 ml de solution de phosphate d'ammonium à 10% (additionnée de 20 ml de HCl pour 500 ml de solution). Faire bouillir 3mn pour libérer le titane du complexe. Refroidir rapidement. Ajouter une quantité égale d'alcool éthylique, puis quelques ml de solution de dithizone à 0,025% dans l'alcool éthylique.

Titrer le complexon en excès par une solution de chlorure de zinc à 0,05 M jusqu'à virage du vert au rouge franc. Ajouter 30 ml de solution saturée de fluorure de sodium (4%); faire bouillir pendant 3 mn pour libérer l'alumine. Refroidir rapidement et doser le complexon III libéré par la solution de chlorure de zinc jusqu'au virage de la couleur vert-jaune au rouge franc.

1 ml de solution de chlorure de zinc 0,05 M utilisée pour doser le complexon libéré par l'aluminium correspond à 2,549 mg de Al_2O_3 .

CALCIUM et MAGNESIUM :

Mode opératoire N° 2.7, de "L'analyse des silicates"
(VOINOVITCH, DEBRAS-GUEDON, LOUVRIER, 1962).

Pour les échantillons riches en Ca, les dosages ont été faits sur 5 ml de solution chlorhydrique. Pour les échantillons pauvres en Ca, ils sont faits sur 20 ml de solution auxquels on ajoute 1 ml de solution de chlorure de calcium 0,05 M qu'il faut déduire du résultat obtenu.

Calcium : Amener la solution à doser à 50 ml et ajouter: 10 ml de solution d'acide tartrique à 2% (pour masquer Al, Fe, Ti) 15 ml de glycérine 1:1 dans l'eau distillée, 15 ml de potasse 4 N et 100 mg d'indicateur calcéine (solution solide dans le chlorure de sodium à 1/1000).

Titrer avec une solution de complexon III 0,05 M jusqu'à virage de la couleur vert-jaune au rose stable. La coloration est difficile à voir; il faut mettre suffisamment de calcéine, et l'observation du virage est bien meilleure en opérant sur un fond noir.

1 ml de complexon III 0,05 M correspond à 2,804 mg de CaO ou 5,004^{mg} de CO_3 Ca.

Magnésium : On dose l'ensemble calcium + magnésium, le calcium étant connu, on obtient le magnésium par différence.

La quantité de Mg à doser étant faible, on ajoute 1 ml de chlorure de magnésium 0,05 M à 20 ml de solution. La solution étant étendue à 50 ml environ, on ajoute 20 ml de triéthanolamine 1:1 (pour masquer Al, Fe et Ti). Ajouter une solution tampon à pH. 10 en excès et 100 mg d'indicateur méthyl thymol bleu complexone (solution solide à 1/1000 dans le chlorure d'ammonium).

Titrer jusqu'à virage du bleu au blanc-gris. La quantité de complexon III utilisée correspond à la somme de Ca + Mg.

1 ml de complexon 0,05 M correspond à 2,016 mg de MgO ou 4,216 mg de $\text{CO}_3 \text{ Mg}$.

B - R E S U L T A T S -

Les résultats ont été calculés en $\text{CO}_3 \text{ Ca}$, $\text{CO}_3 \text{ Mg}$, $\text{Al}_2 \text{O}_3$, $\text{Fe}_2 \text{O}_3$.

Remarques : Les quantités de Ca et Mg dosées correspondent aux carbonates détruits par l'attaque acide et, probablement, en partie, au Ca et Mg contenu dans les silicates qui ont été rendus fragiles par le broyage du sédiment. De même pour le fer et l'alumine, les quantités calculées par les dosages correspondent au fer et à l'alumine libres, mais aussi à une partie du fer et de l'alumine des silicates; les chlorites, notamment, sont détruites par le traitement acide brutal.

Un second dosage de Ca et Fe a été effectué sur certains échantillons non broyés. Les résultats comparatifs sont réunis dans le tableau IX.

La solubilité est meilleure pour les échantillons broyés et les teneurs en $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ et $\text{CO}_3 \text{ Ca}$ sont supérieures à celles des échantillons non broyés.

Il importe de ne comparer entre eux que des résultats obtenus dans des conditions identiques.

Tableau IX : Comparaison des dosages de $\text{CO}_3 \text{ Ca}$ et $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ sur des échantillons broyés et non broyés.

Echantillon	$\text{CO}_3 \text{ Ca} \%$		$\text{Fe}_2 \text{O}_3 \%$		Insoluble à HCL	
	Broyé	Non Broyé	Broyé	Non Broyé	Broyé	Non Broyé
1 - Louze V.72 Günz	0,9	0,45	5	3,1	84,5	86,7
2 - Tourdan V.39 Mindel	0,6	0,35	3,5	2,1	88,8	90,7
3 - Pajay BV.18	35	31,2	1	0,6	61,6	64,1
4 - Marcollin V.29						
6 - Coronnan BV.7	29	29	1,2	0,6	67	69,2
7 - Agnin V.38						

Les résultats sur échantillons broyés sont réunis dans le tableau suivant :

Tableau X : Dosages de calcium, Magnésium, Aluminium et Fer.

Echantillon	Insoluble à H Cl %	$\text{CO}_3 \text{ Ca} \%$	$\text{CO}_3 \text{ Mg} \%$	$\text{Al}_2 \text{O}_3 \%$	$\text{Fe}_2 \text{O}_3 \%$				
1 - Louze V.72 Günz	84,5	0,9	0,6	6,1	5				
2 - Tourdan V.39 Mindel	88,8	0,6	0,8	4,3	3,5				
3 - Pajay BV.18	61,6	35	0,6	1,4	1				
4 - Marcollin V.29						1	1,5	4,1	3,2
5 - Rives B.60	61,4	35	0,8	1,9	1,6				
6 - Coronnan BV.7						29	0,6	1,3	1,2
7 - Agnin V.38						25	2,7	2,8	2,2
8 - Coronnan BV.5 Würm	87,2	0,4	1	5,2	3,4				
9 - Pajay BV.16 Riss						1	0,2	6,1	4,5
10 - Chambaran V.83 (Villafranchien)	88,3	0,4	0,5	5,5	3				

Les échantillons 1 à 7 représentent les différents faciès des sédiments fluvio-glaciaires de Bièvre-Valloire. Les échantillons 8 et 9 correspondent à la partie altérée au sommet des dépôts du Würm et du Riss. L'échantillon 10 représente la fraction sablo-argileuse du Villafranchien du plateau de Chabran dont l'analyse a été faite à titre de comparaison.

J'ai traité l'échantillon total, sauf pour les moraines (échantillons 3, 5 et 6) dont je n'ai analysé que la fraction granulométrique inférieure à 20 mm

1° - Teneurs en carbonates de calcium et de magnésium :

Les moraines de Riss (3) et de Würm (5) ont une forte teneur en $\text{CO}_3 \text{Ca}$ (35%). Les sédiments alluviaux du fond de la plaine (6) (Würm) sont moins riches (29%). Ces alluvions ont été transportées, roulées par les eaux glaciaires; elles ont subi un certain lessivage qui a pu entraîner une partie du $\text{CO}_3 \text{Ca}$ du sédiment.

Pour ces échantillons, la teneur en $\text{CO}_3 \text{Mg}$ est très faible.

Les zones altérées au sommet du Würm (8) et du Riss (9) sont fortement décalcifiées ainsi que les sédiments ^{des paléols} du Mindel, du Günz et du Villafranchien (10).

Le loess würmien d'Agnin (7) contient 25% de $\text{CO}_3 \text{Ca}$, teneur banale pour un loess. Il est remarquable par sa teneur en $\text{CO}_3 \text{Mg}$: 2,7%. Un diagramme de poudre permet de déterminer la dolomite dont on voit apparaître les raies les plus importantes.

Etant donné la pauvreté en magnésium des autres sédiments de la région, il convient peut-être d'évoquer la possibilité d'apports magnésiens par les cendres volcaniques de la chaîne des Puys, alors active.

Le limon jaune de Marcollin a, lui aussi, une teneur relativement importante en $\text{CO}_3 \text{Mg}$ (1,5%). Si l'hypothèse d'une contribution volcanique à la constitution du loes

récent est exacte, cela serait une confirmation de l'origine éolienne de ces limons.

2° - Teneurs en oxydes de fer et en alumine :

Les sédiments non altérés du Riss et du Würm (3, 5 et 6) ont une faible teneur en fer et alumine libres.

Les couches d'altération de ces mêmes sédiments ont des teneurs beaucoup plus élevées : 4 fois plus pour l'alumine, 2,8 fois plus pour le fer du Würm et 4,5 fois plus pour le fer du Riss. On a déjà vu que l'épaisseur de la rubéfaction et les minéraux argileux indiquaient une altération plus poussée du Riss que du Würm. Cette altération a également libéré une plus grande quantité de fer.

Les sédiments du Mindel, du Günz et du Villafranchien sont également assez riches en oxydes de fer et en alumine.

Il n'a pas été possible de mettre en évidence les composés du fer et de l'aluminium aux rayons X. A l'analyse thermique différentielle, tous les échantillons présentent une bosse exothermique étalée, avec sommet vers 330° (Pl. XXIV). Un tel phénomène, en l'absence de matière organique, est considéré comme caractéristique de gels d'hydrate de fer (stilpnosidérite) (CAILLERE, HENIN, 1963). Cette forme du fer naturel indique un sédiment en voie d'évolution.

3° - La mesure du pH n'apporte pas de renseignements significatifs .

Les valeurs extrêmes sont de 8,9 pour le loess würmien et de 4,2 pour le Villafranchien.

C - CONCLUSIONS -

- 1° - L'altération pédologique des sédiments les plus récents (Würm et Riss) conduit à une décalcification presque totale. Les sédiments plus anciens (Mindel et Günz) à pH acide, étaient probablement calcaires au moment de leur dépôt, étant donné la proximité des calcaires jurassiques et crétacés qu'érodaient les glaciers; mais les altérations interglaciaires ont été suffisamment longues et intenses pour les décalcifier sur une très grande profondeur.
- 2° - Les sédiments morainiques ou fluvioglaciers, riches en carbonate de calcium, ont des teneurs en carbonate de magnésium négligeables. La teneur en carbonate de magnésium n'est notable que dans les sédiments d'origine éolienne et confirme peut-être cette origine. Il serait nécessaire d'analyser d'autres loess pour confirmer cette hypothèse.
- 3° - Il existe une très bonne corrélation entre la quantité d'argile contenue dans les échantillons et leur teneur en fer et en alumine. Pour six des échantillons analysés, dont la granulométrie a été faite, les pourcentages de fer, en fonction des pourcentages de matériel inférieur à 2 microns, s'alignent selon une droite. Les pourcentages d'alumine s'en écartent très peu. (Pl. XXV)

Ceci peut s'expliquer en partie par la destruction de la chlorite par la méthode d'attaque à HCl utilisée pour les dosages.

D'autre part, l'altération qui enrichit le sédiment en argile par destruction des minéraux des sables originels libère, en même temps, du fer et de l'alumine. En milieu drainé, ce fer est à l'état ferrique: les sédiments sont d'ailleurs de couleur franchement rouge. Il n'y a pas, ou très peu, de matières organiques (au-

cune réaction au traitement des échantillons par l'eau oxygénée): le fer n'est donc pas à l'état de complexe ferro-humique. Ce fer n'est pas cristallisé puisqu'il n'apparaît pas aux rayons X. Contrairement au calcium qui a été mis en solution et entraîné, ce fer n'est pas lessivé. Il ne peut donc se trouver que sous forme d'un gel retenu au sein des sédiments par les particules argileuses. On a une confirmation de ce gel dans la présence d'une bosse exothermique à l'analyse thermique différentielle vers 325°-330°, caractéristique de gels d'hydroxydes de fer (stilpnosidérites) (S. CAILLERE, S. HENIN, 1963). Il ne m'a pas été possible de mettre en évidence des gels silico-ferriques, mais il est vraisemblable qu'ils existent.

L'alumine, peu soluble, a tendance à s'accumuler sur place dans les profils d'altération. Il me semble donc que le schéma proposé pour le fer peut également rendre compte des résultats analytiques pour l'alumine.

Le fer et l'alumine libres ne sont présents dans ces paléosols qu'à l'état transitoire. En présence d'ions Si ils ont tendance à s'intégrer dans des réseaux cristallins de minéraux argileux.

C O N C L U S I O N S

Le but de ce travail était l'étude des caractères sédimentologiques des formations fluvio-glaciaires quaternaires de la plaine de Bièvre-Valloire et de leurs sols de recouvrement.

Par les différentes méthodes employées, nous avons tenté de dresser le "portrait sédimentologique" de chacun des dépôts étudiés dans leur état actuel. La comparaison de leurs caractéristiques, des plus récents aux plus anciens, met en évidence la diagenèse subie par ces sédiments après leur dépôt.

1° - WURM :

Les dépôts détritiques grossiers (moraines et sédiments fluvio-glaciaires) sont de teinte gris-jaune clair alors que les alluvions actuelles de l'Isère sont franchement grises. Ces sédiments würmiens d'aspect frais, hétérogènes, très mal classés granulométriquement, comportent beaucoup de galets et sont très pauvres en matériel argileux (1 à 3%).

Ils sont riches en calcaire (30%), pauvres en fer et en alumine libres (moins de 2%). Les minéraux argileux sont essentiellement détritiques (illite et un peu de chlorite).

Les grains de quartz sont non usés. Les sables contiennent 1 à 3% de minéraux lourds: les espèces les plus abondantes étant la hornblende, le grenat et l'épidote. La radioactivité bêta est systématiquement plus faible que celle des sédiments du Riss de même granulométrie.

Le loess würmien, de teinte brun jaune (D.72, code expolaire de couleurs, CAILLEUX et TAYLOR, 1958) se carac-

térise par une granulométrie typique de sédiment éolien, une teneur en calcaire banale (25%). Les teneurs en fer et alumine libres, bien que faibles, sont supérieures à celles des autres sédiments würmiens.

La teneur en carbonate de magnésium (2,7%), nettement plus élevée que dans les autres échantillons, pourrait s'expliquer par des apports volcaniques. Pour vérifier cette hypothèse, il faudrait étudier tous les gisements de loess récent, voisins du Massif Central, et notamment rechercher si la teneur en magnésium augmente lorsqu'on se rapproche de la chaîne des Puys.

Aux minéraux détritiques, illite et chlorite, s'ajoute un peu de minéraux à feuillets interstratifiés.

Le loess est très pauvre en minéraux lourds (0,5%) : hornblende et grenat sont moins nombreux, muscovite et zircon plus abondants que dans les sables. La radioactivité bêta est un peu supérieure à celle des sédiments plus grossiers.

2° - RISS :

Les caractères sédimentologiques de la moraine de Pajay sont très voisins de ceux des sédiments würmiens. La seule différence notable est une radioactivité plus élevée.

Les limons rissiens, jaune clair, (C.74 pour le limon de Marcollin, par exemple) diffèrent par plusieurs caractères du loess würmien.

Ils ont une granulométrie de sédiments éoliens, mais sont enrichis en éléments inférieurs à 15 microns.

Ils sont totalement décalcifiés, plus riches en fer et en alumine que le loess.

Ces caractères en font des loess-lehms au sens de F. BORDES (1954).

Parmi les minéraux argileux, l'illite est abondante; il y a toujours un peu de kaolinite; certains échantillons contiennent un peu de minéraux interstratifiés.

Le limon panaché de Marcollin est très pauvre en minéraux lourds (0,65%) : muscovite et zircon sont plus abondants que dans le sable de Pajay. La radioactivité est supérieure à celle des sédiments würmiens.

3° - MINDEL:

Les sédiments du paléosol de la terrasse de Tourdan sont des sables argileux rouge-jaune (F.48), dépourvus d'éléments grossiers (ferretto).

Le stock fin important est indépendant du stock sableux (courbe granulométrique bimodale). Parmi les grains de quartz, en majorité non usés, certains sont corrodés.

Les minéraux des argiles sont un mélange de minéraux détritiques (illite) et de minéraux d'altération et de néoformation : kaolinite et interstratifié illite-vermiculite.

La kaolinite est, dans le ferretto, (échantillons V.39 et V.87) plus abondante que dans les sédiments plus récents et que dans les sédiments de la terrasse mindélienne elle-même, en profondeur, là où elle n'a pas été ferrettisée (échantillon V.88).

Ce ferretto, dépourvu de calcaire, est relativement riche en fer et en alumine libres. Il est très pauvre en minéraux lourds (0,45%) : épidote, zoïsite, sont abondantes; la hornblende est absente et il y a très peu de grenat.

Tous ces caractères indiquent que les surfaces des terrasses mindéliennes ont subi une altération importante depuis leur mise en place.

4° - GUNZ -

Le sable argileux du "ferretto" de la terrasse de Louze est également rouge vif (F.38). Quarante pour cent du sédiment sont inférieurs à 2 microns, la fraction fine ayant une origine différente de la fraction grossière.

De tous les échantillons étudiés, c'est le plus riche en fer et en alumine ainsi qu'en grains de quartz, corrodés.

A côté de l'illite détritique, l'échantillon V.72, contient des minéraux de néoformation : kaolinite, vermiculite et montmorillonite. Ces minéraux sont mal cristallisés, mais il n'y a pas de minéral à feuillets interstratifiés. Ce spectre est celui de minéraux plus évolués que ceux du ferretto de la terrasse de Tourdan.

Dans ce sable de Louze, parmi les minéraux lourds, grenat, épidote, zircon et staurotide sont les plus fréquents. Ce sédiment est le seul à avoir une radioactivité gamma notable (dont l'origine n'est pas expliquée pour l'instant).

Les caractéristiques sédimentologiques de cet échantillon montrent que c'est celui qui a subi l'altération la plus intense et la plus longue parmi les échantillons du fluvio-glaciaire quaternaire de Bièvre-Valloire.

L'évolution des paléosols se faisant très lentement, il est vraisemblable que la terrasse de Louze est nettement plus ancienne que celle de Tourdan, ainsi que le suggèrent leurs altitudes relatives.

A mon avis, ces caractères sont un argument en faveur d'une distinction entre un Mindel et un Günz en Bièvre-Valloire plutôt qu'entre deux phases du Mindel.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
 Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

5° - CONCLUSIONS GENERALES -

L'étude de ces divers échantillons permet de formuler quelques conclusions de caractère général sur les sédiments fluvio-glaciaires quaternaires de Bièvre-Valloire.

a) Les sédiments glaciaires ou fluvio-glaciaires ont une granulométrie de faciès parabolique ou logarithmique typique des dépôts par excès de charge à la suite de la diminution de compétence du milieu transporteur. Ces faciès sont également caractéristiques du milieu fluvial évolué. Le faciès granulométrique ne peut donc pas caractériser les sédiments glaciaires en tant que tels, exception faite des sédiments d'origine éolienne.

Par contre, les sédiments glaciaires sont mal classés en ce sens que toutes les catégories de matériel sont représentées en un mélange homogène (sans classement du type graded-bedding), depuis les argiles jusqu'aux blocs, au sein d'un même dépôt. Ce caractère de très grande hétérogénéité dans la dimension des particules me semble être un bon caractère granulométrique des sédiments d'origine glaciaire.

Si les sédiments glaciaires me semblent trop complexes pour avoir des caractéristiques granulométriques propres, il convient toutefois de noter que je n'ai étudié aucune argile à blocs.

b) Le spectre des minéraux argileux des paléosols quaternaires de Bièvre-Valloire se complique lorsqu'on passe de terrasses fluvio-glaciaires récentes à des terrasses plus anciennes. Il reflète, dans une certaine mesure, la qualité des altérations subies et leur durée.

Les phénomènes d'altération ayant agi beaucoup plus longtemps sur les terrasses les plus anciennes, de nouveaux minéraux ont pu se former au sein des sédiments en place. Ces minéraux d'altération se caractéri-

sent par un passage par une structure complexe de minéraux à feuillets interstratifiés : illite-vermiculite et vermiculite-montmorillonite.

Kaolinite, vermiculite et montmorillonite sont, en grande partie, des minéraux de néoformation dans les paléosols puisqu'ils n'existent qu'en faible quantité dans les échantillons prélevés au-dessous du niveau altéré.

Le produit final des altérations quaternaires des argiles de la région est le mélange kaolinite-illite de la glaise à quartzite du Villafranchien du plateau de Chambaran.

- c) A condition de comparer des sédiments de même granulométrie, il existe une différence de radioactivité bêta faible, mais sensible et systématique, entre le Riss (plus radioactif) et le Würm.
- d) La présence, dans les minéraux lourds des sables, de hornblende abondante, de tourmaline et de disthène, permet d'affirmer que le matériel de la Bièvre-Valloire directement hérité des massifs cristallins, provient du Massif de Belledonne et de celui du Taillefer.

Des remaniements des sables et conglomérats miocènes, contenant des minéraux de la zone des schistes lustrés, ont fourni l'épidote et les grenats.

Je n'ai pas étudié l'origine du matériel calcaire abondant (jusqu'à 35% des sables et 75% des galets), mais il me semble logique d'admettre qu'il provient de l'érosion des chaînes subalpines (Chartreuse et Vercors) et du remaniement des conglomérats miocènes et pliocènes.

Il serait souhaitable de poursuivre l'investigation des caractères sédimentologiques des formations glaciaires, de leur couverture de loess et de paléosols dans le Bas-Dauphiné et la région lyonnaise.

F. BOURDIER et Y. BRAVARD, dans leurs thèses, ont résolu bien des problèmes, mais en posent beaucoup d'autres. Une meilleure connaissance des minéraux argileux et de la géochimie des paléosols, l'examen des minéraux lourds des diverses formations contribueront à donner une réponse à certaines de ces questions.

L'observation morphologique reste primordiale pour établir l'histoire des oscillations glaciaires, mais des observations de terrain détaillées et un faisceau de caractères sédimentologiques peuvent venir utilement étayer une stratigraphie basée sur la morphologie.

A N N E X EETUDE d'UNE VERMICULITE

Au cours de l'étude des minéraux argileux, j'ai été amenée à soumettre un échantillon de vermiculite que m'a donné Mr RIVIERE aux divers traitements habituels des argiles. Les résultats obtenus font l'objet de ce chapitre.

Cet échantillon est une vermiculite de Corindum Hill provenant de la collection de l'Ecole Normale Supérieure.

Les écarts réticulaires calculés d'après les diagrammes sont donnés dans le tableau XI.

Pour chaque traitement, la vermiculite a été soumise à ébullition dans le chlorure pendant 90 heures.

Traitement par Ca Cl₂ :

L'écart réticulaire augmente légèrement.

<u>échantillon brut</u>	<u>échantillon traité</u>
14,24	14,65
7,15	7,32
4,78	4,9

Après traitement à la glycérine apparaît un pic à 17,09 Å. L'échantillon contient donc un peu de montmorillonite.

Lorsque les feuillets de la montmorillonite sont écartés, les raies de la vermiculite reprennent leur place normale. Le traitement par Ca Cl₂ et la glycérine est sans effet sur la vermiculite.

Le traitement par Mg Cl₂ est sans effet,

que l'échantillon soit glycérimé ou non.

Le traitement par $AlCl_3$ est également sans effet sur la valeur des écarts réticulaires, que l'échantillon soit glycéринé ou non. L'intensité relative des raies est modifiée.

Traitement par KCl : L'écart réticulaire de la raie (002) est réduit au voisinage de 12 \AA par KCl 2N. Celui des autres raies est inchangé. La glycérine n'agit pas.

Le traitement par NH_4Cl a le même effet que celui par KCl. L'écart réticulaire de la raie (002) est ramené à 12 \AA ; la glycérine n'agit pas.

Après le traitement par HCl toutes les raies disparaissent. La vermiculite est détruite.

Traitement par cuisson:

- Cuisson pendant 2 heures à 330° : Les écarts réticulaires sont inchangés.
- Cuisson pendant 2 heures à 530° : L'écart réticulaire de la raie (002) est légèrement réduit : $14,16 \text{ \AA}$. Les autres sont inchangés.

En fait, la déshydratation qui se produit est insaisissable à l'air libre. Elle ne peut donc pas être mise en évidence dans les conditions expérimentales utilisées.

Tableau XI :

EFFETS DE DIVERS TRAITEMENTS SUR LES ECARTS RETICULAIRES D'UNE VERMICULITE.

Ech. Brut	Ca Cl_2		Ca Cl_2 (2) + Glyc.		Mg Cl_2		Al Cl_3		KCl		NH ₄ Cl		Cuisson (3) 530°	
	E.R.	I.	E.R.	I.	E.R.	I.	E.R.	I.	E.P.	I.	E.R.	I.	E.R.	I.
14,24	14,65	100	14,32	100	14,24	100	14,16	100	11,93	21	12,07	35	14,16	86
7,45	7,32	19	7,23	29	7,18	27	7,12	14	7,18	21	7,23	17	7,21	13
4,78	4,90	29	4,81	53	4,78	56	4,73	27	4,86	100	4,91	72	4,78	46
3,59	3,67	24	3,60	92	3,59	72	3,55	38	3,49	100	3,52	100	3,59	59
2,87	2,94	22	2,88	51	2,87	63	2,83	21	2,86	15	2,86	9	2,88	100
2,40	-	0	2,40	1	2,40	2,4	2,36	1,6	-	0	-	-	(2,40)	1,5
2,05	2,10	2,9	2,06	6	-	-	2,03	3,1	2,05	45	2,05	10	(2,33)	4,5
1,80	-	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	2,05	10
1,60	-	0	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	1,80	2,2
1,43	-	0	-	-	-	-	-	-	1,43	16	1,43	16	1,60	1
													1,44	3,7

(1) E.R. : écart réticulaire en Angström.

I. : intensité des raies.

(2) Le diagramme comporte, en outre, une raie à $17,09 \text{ \AA}$ et une à $4,60 \text{ \AA}$ attribuées à la montmorillonite.

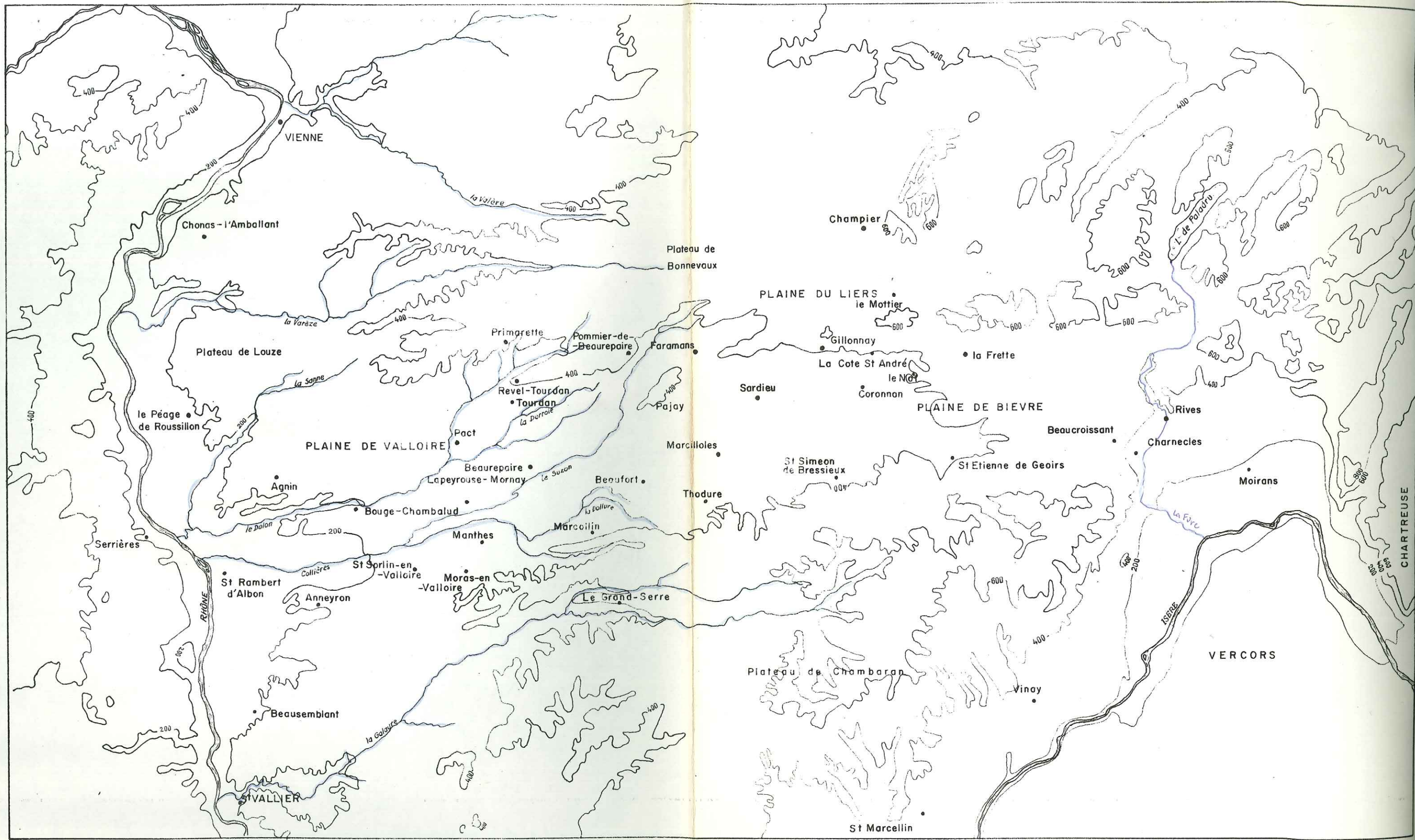
(3) Après cuisson à 330° les raies sont inchangées.

Après traitement par HCl toutes les raies disparaissent.

улице восточнее дома № 11. Там же восточнее здания № 11.
(2) улица севернее ул. 130. Там же восточнее здания № 11.
(5) ул. 47. Там же восточнее здания № 11.

Улица восточнее здания № 11

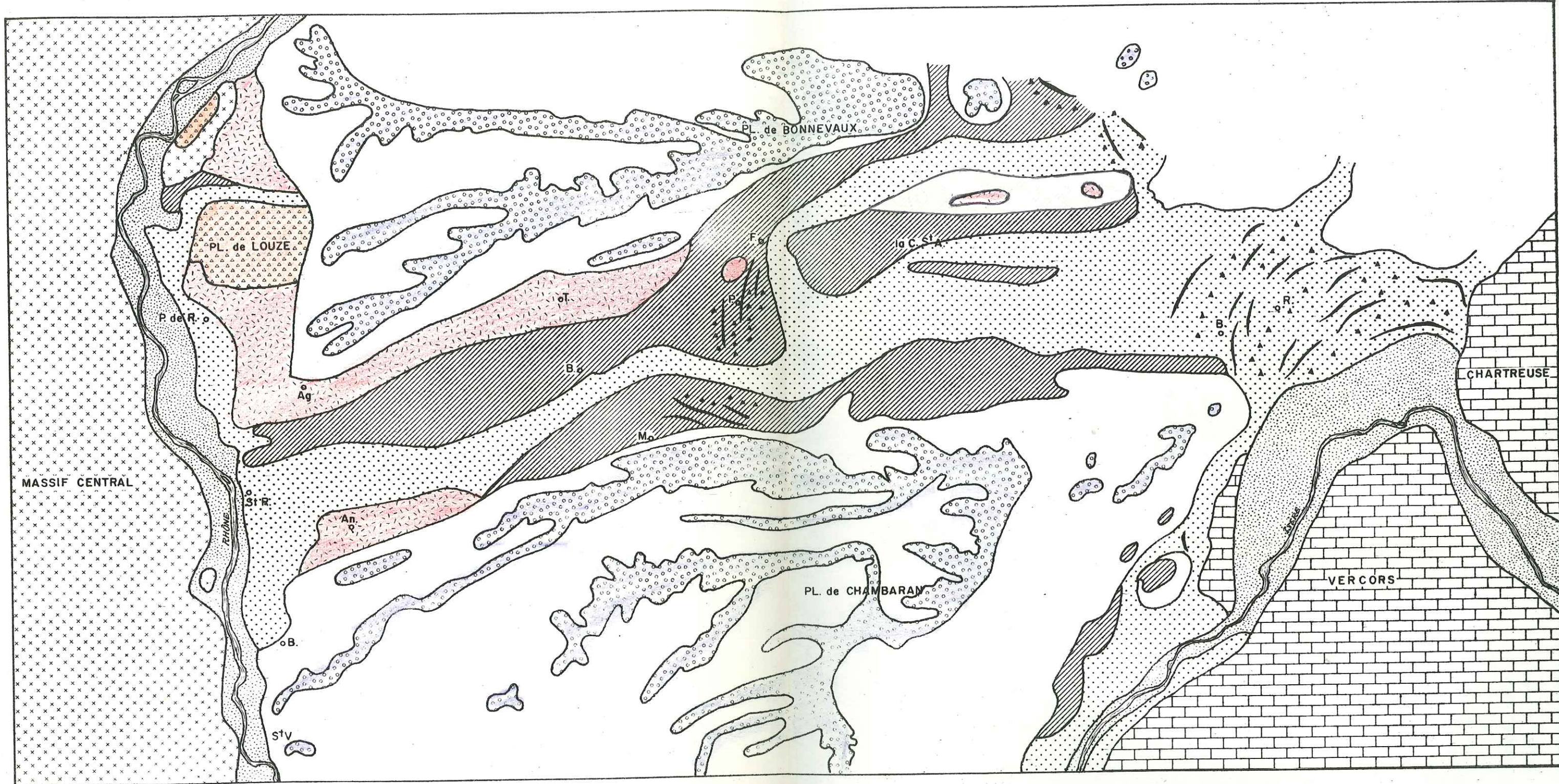
PLANCHES



0 5 10 15 km.

CARTE MORFOLOGIQUE DE LA BIEVRE VALLOIRE

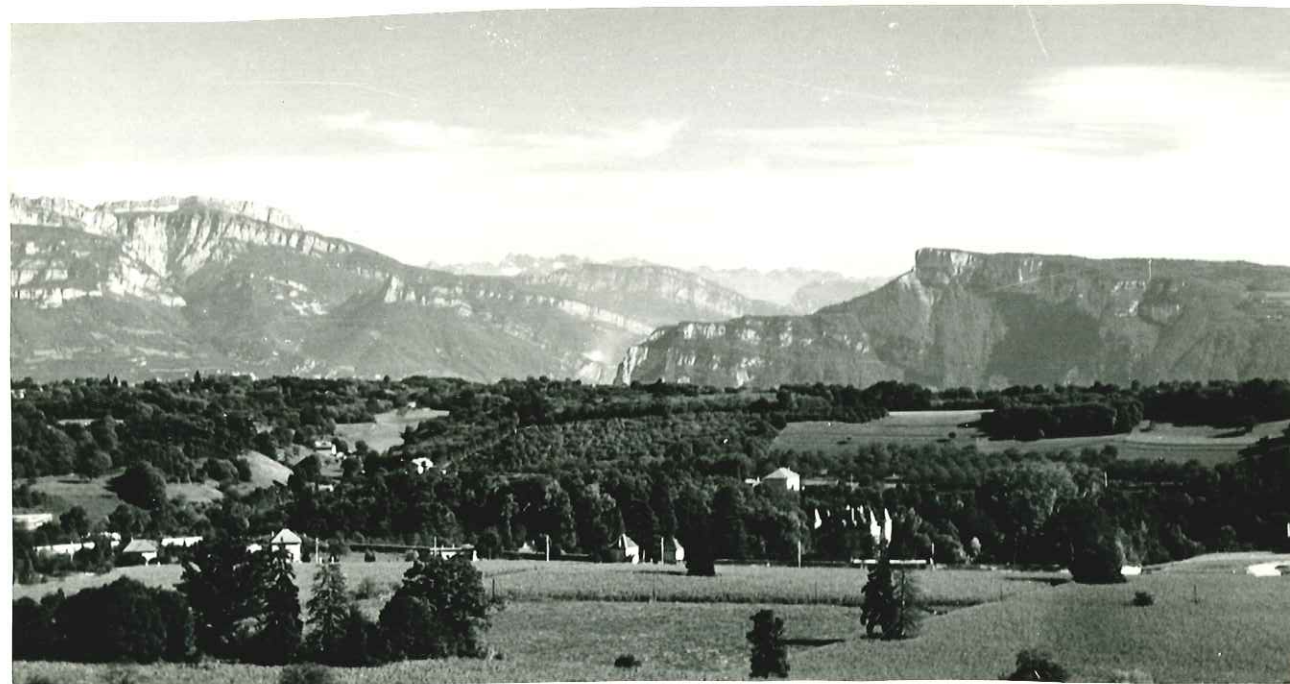
CARTE GEOLOGIQUE DE LA BIEVRE VALLOIRE (d'après F. BOURDIER) SIMPLIFIEE



— LEGENDE —

0 5 10 km.

- | | | | | | | | |
|--|--------------------|--|----------|--|-----------------------|--|----------|
| | ALLUVIONS MODERNES | | MINDEL | | MIOCENE | | MORAINES |
| | WURM | | GUNZ | | CRETACE ET JURASSIQUE | | |
| | RISS | | PLIOCENE | | CRISTALLIN | | |



Seuil de Rives, vu de l'amont



moraine du seuil de Rives



sol actuel
} paléosol

Fluvioglacière de Corohnan (Wurm)



Moraine de Pajay (Riss)

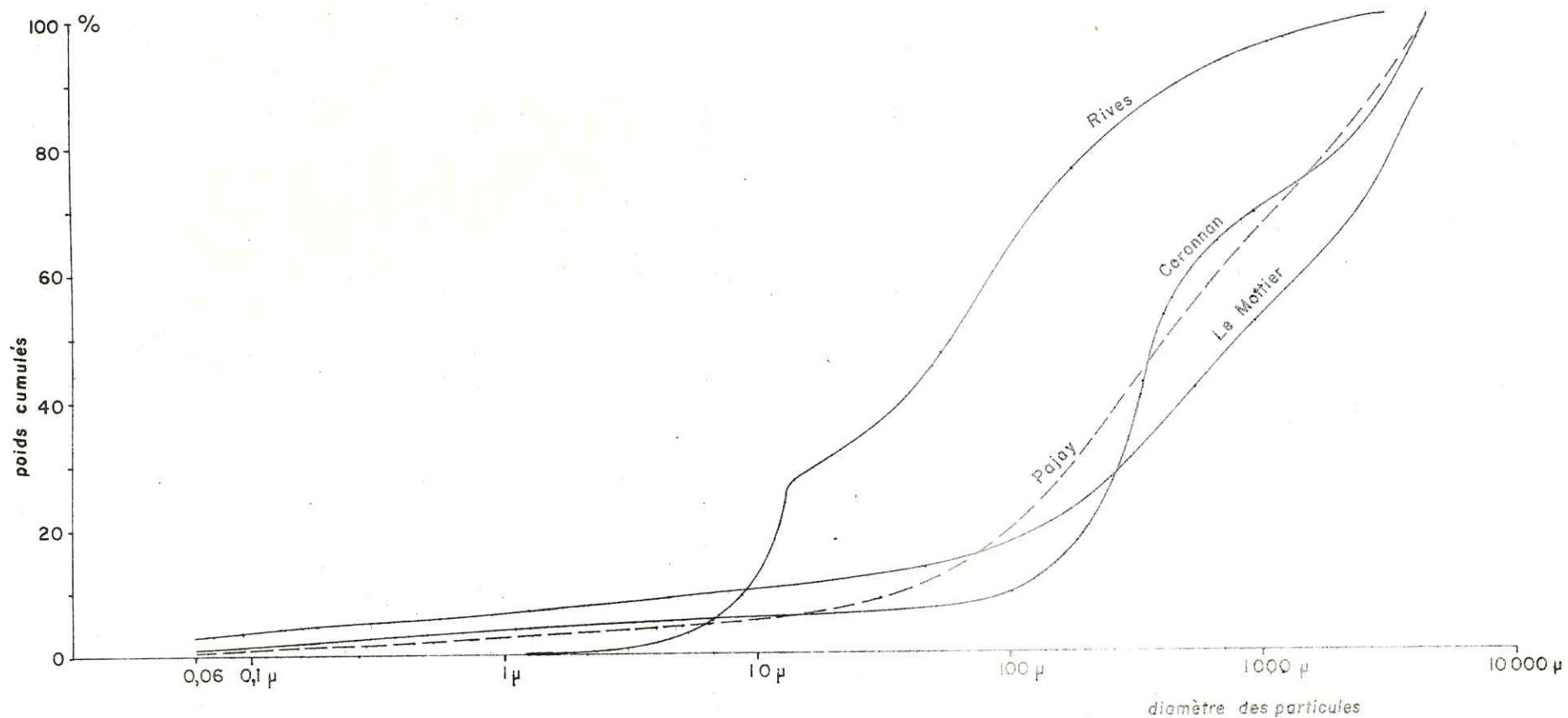
PLANCHES V à XIV

GRANULOMETRIE

Les granulométries ont été effectuées:

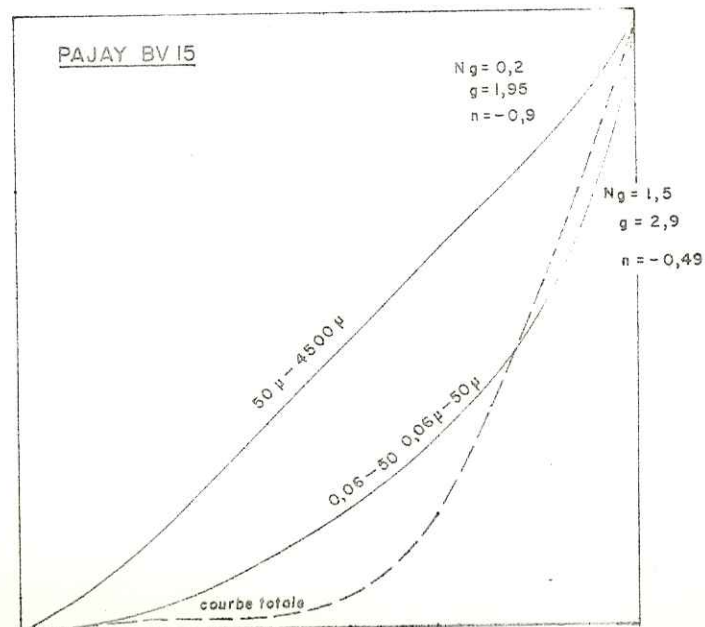
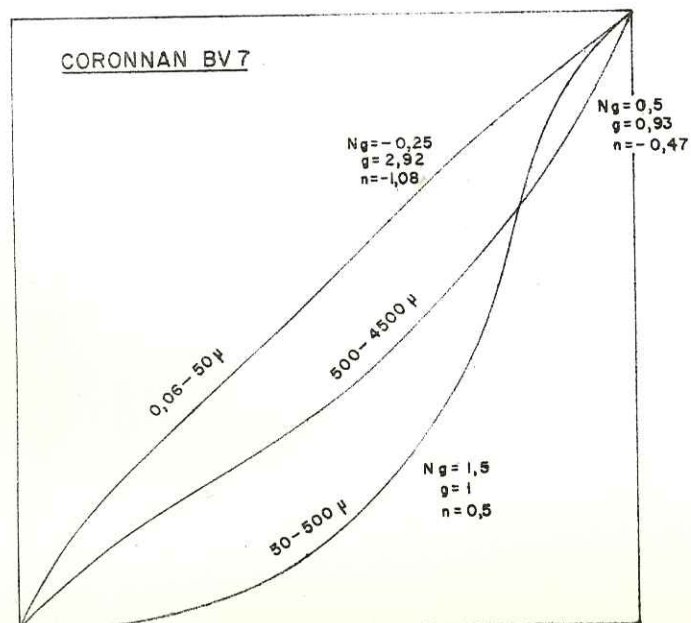
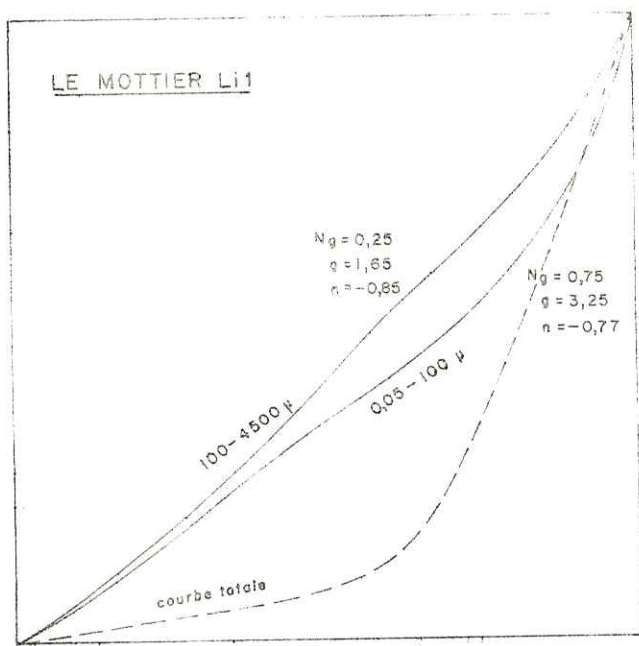
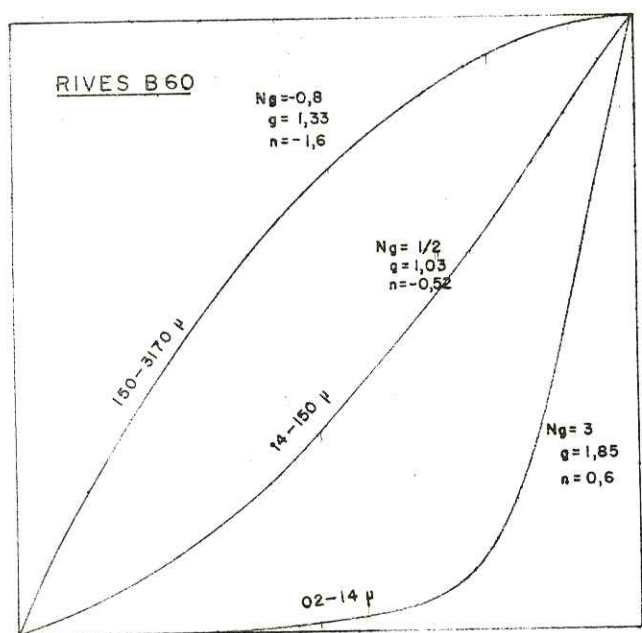
- pour les sables, par tamisage sur une série de tamis Tripette et Renaud. Diamètre des mailles en progression géométrique de raison $\sqrt[10]{10}$
- pour la fraction inférieure à 35 microns, par prises à la pipette d'Andréassen raccourcie, dans une suspension défloculée.

Courbes cumulatives en coordonnées semi-logarithmiques.

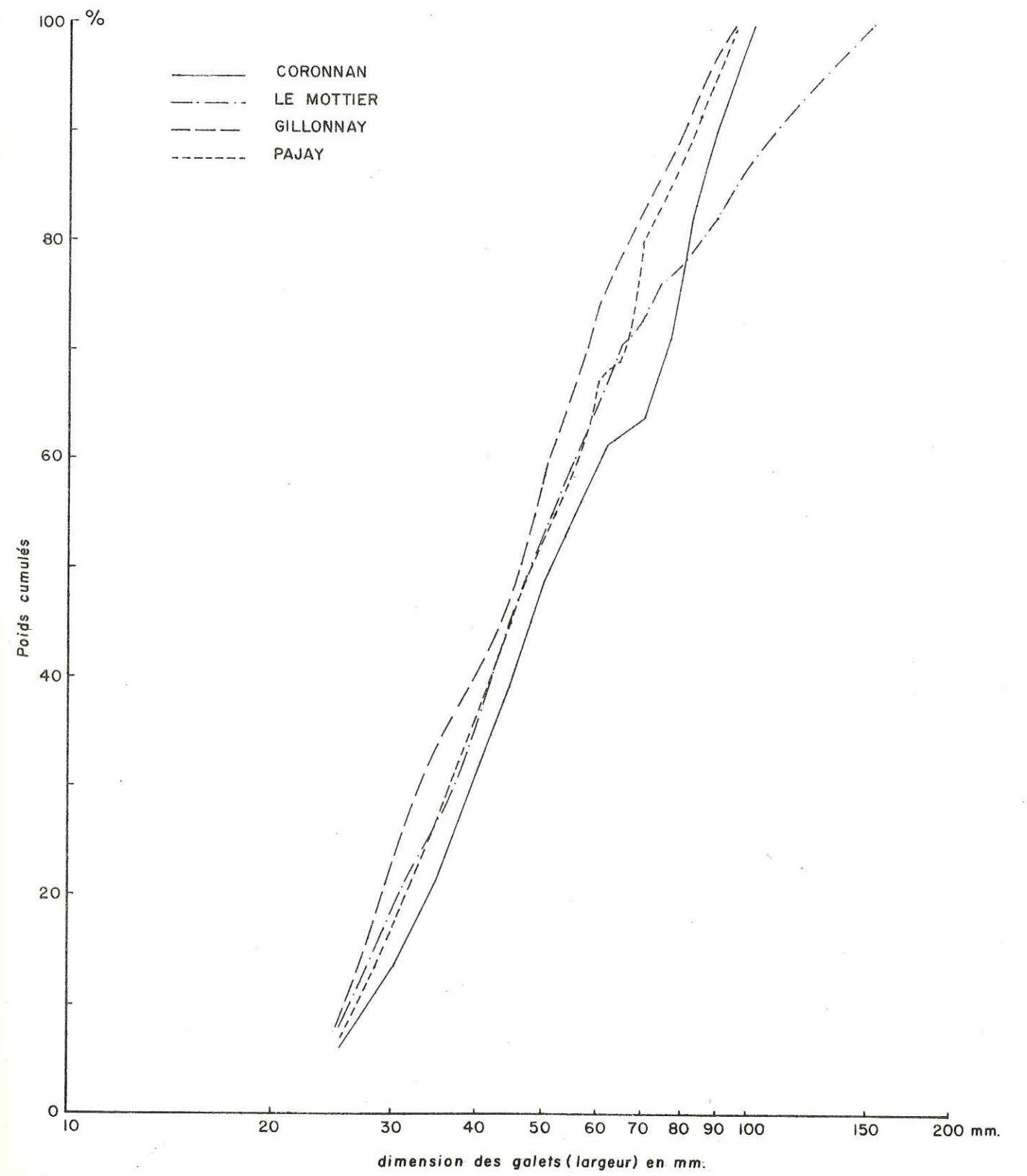


GRANULOMETRIE DES SEDIMENTS HETEROGENES DU WÜRM ET DU RISS

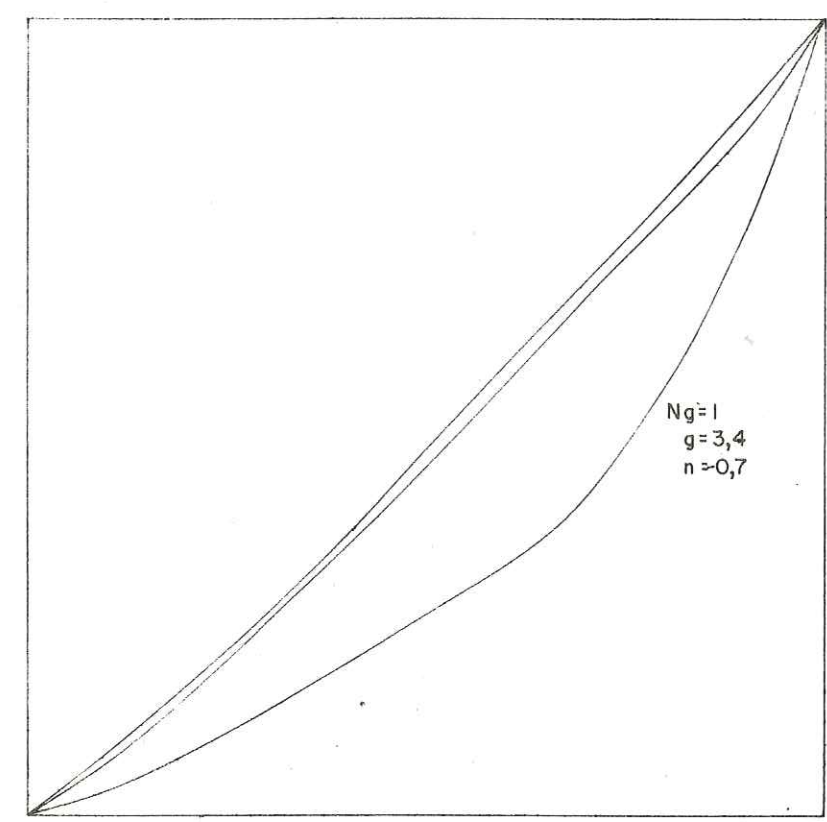
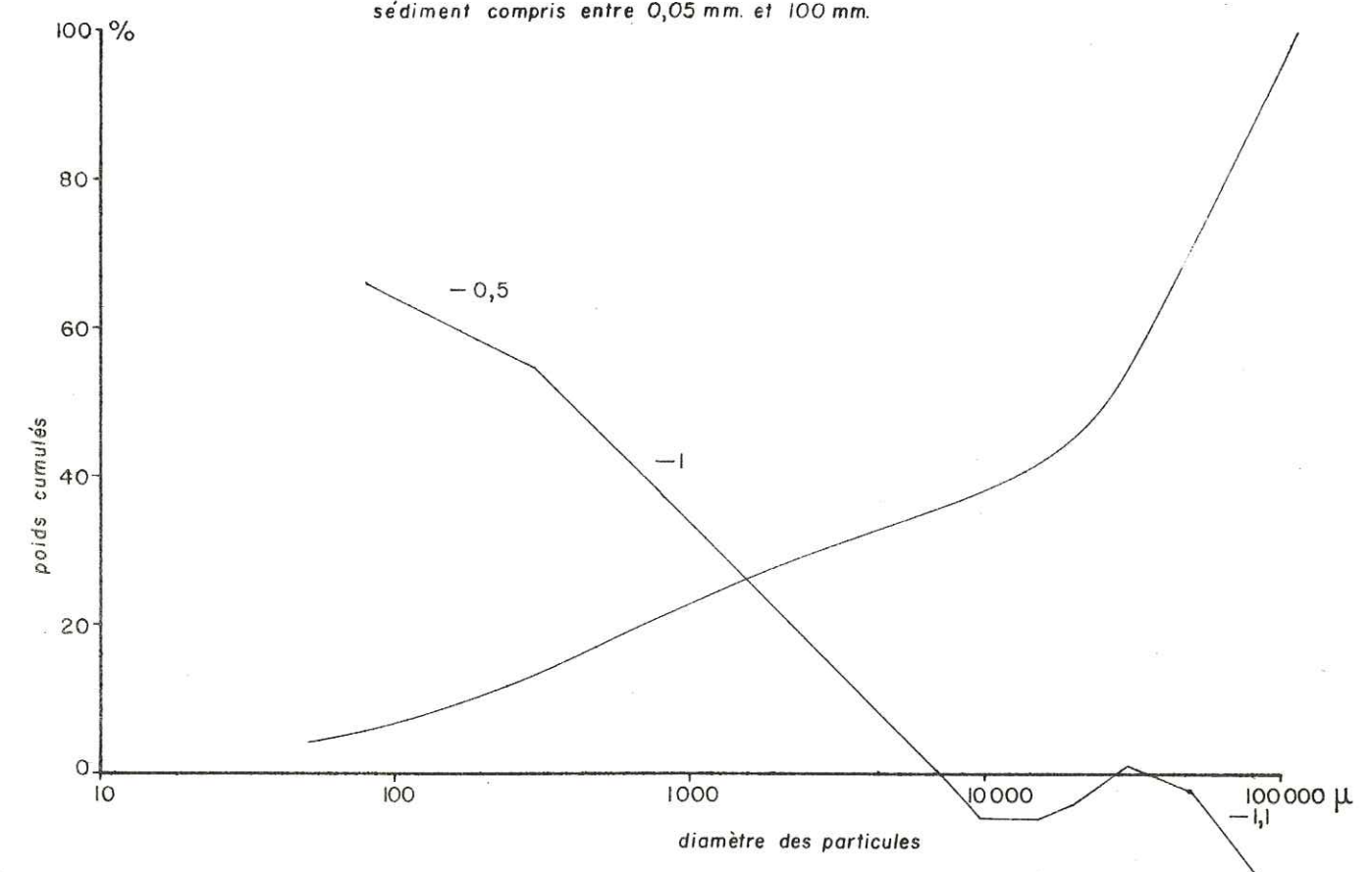
- WURM [RIVES-B 60 - moraine
CORONNAN-BV 7- fluvioglaciaire, Bièvre
Le MOTTIER-Li1 - fluvioglaciaire, plaine du Liers
- RISS [PAJAY - BV 15 - moraine



GRANULOMETRIE DE GALETS FLUVIOLACIAIRES,
 FRACTION DU SEDIMENT COMPRISE ENTRE 20 ET 100 mm.



GRANULOMETRIE DE LA MORAINES DE PAJAY (BV15, BV18) = RISS
sédiment compris entre 0,05 mm. et 100 mm.



— GRANULOMETRIE DU LÆSS D'AGNIN (V38)-WÜRM —

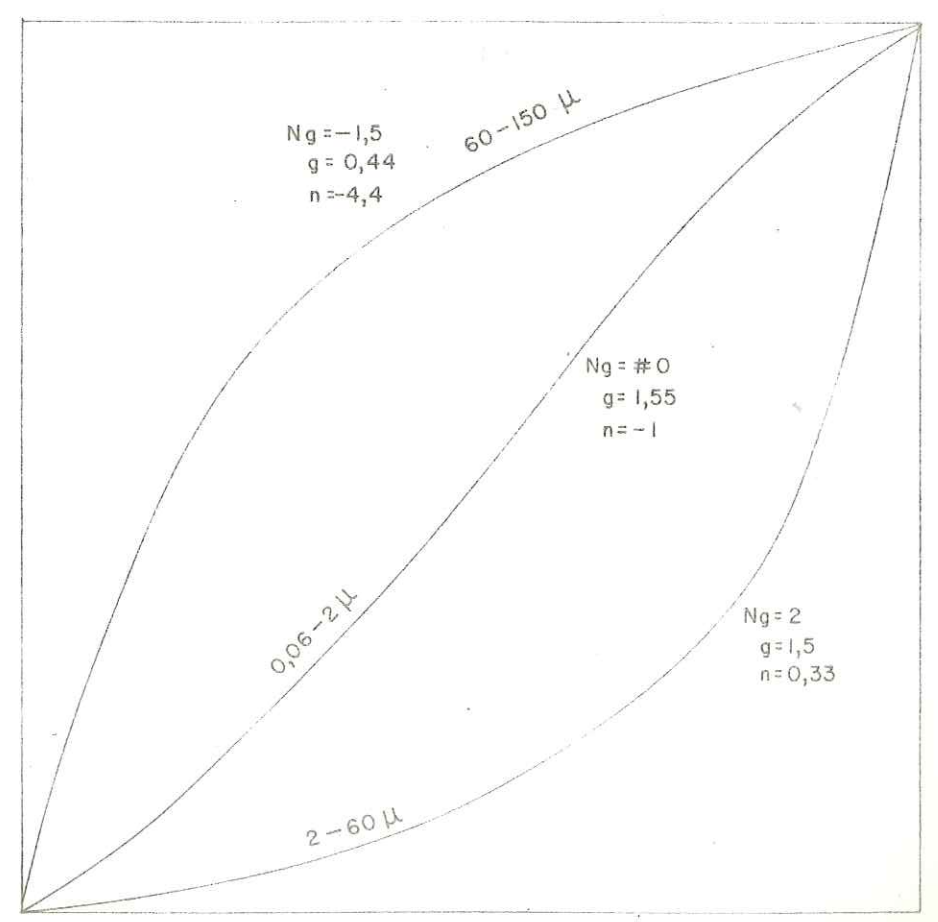
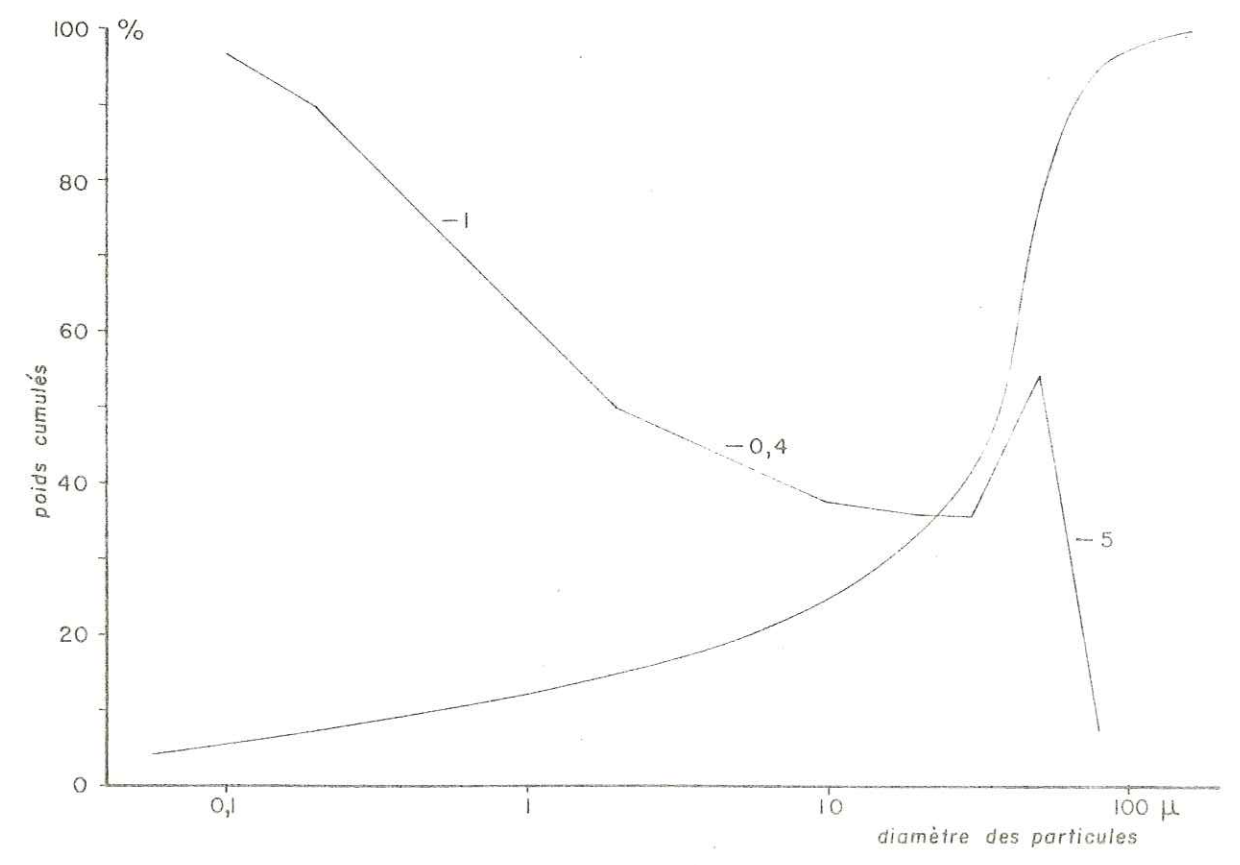
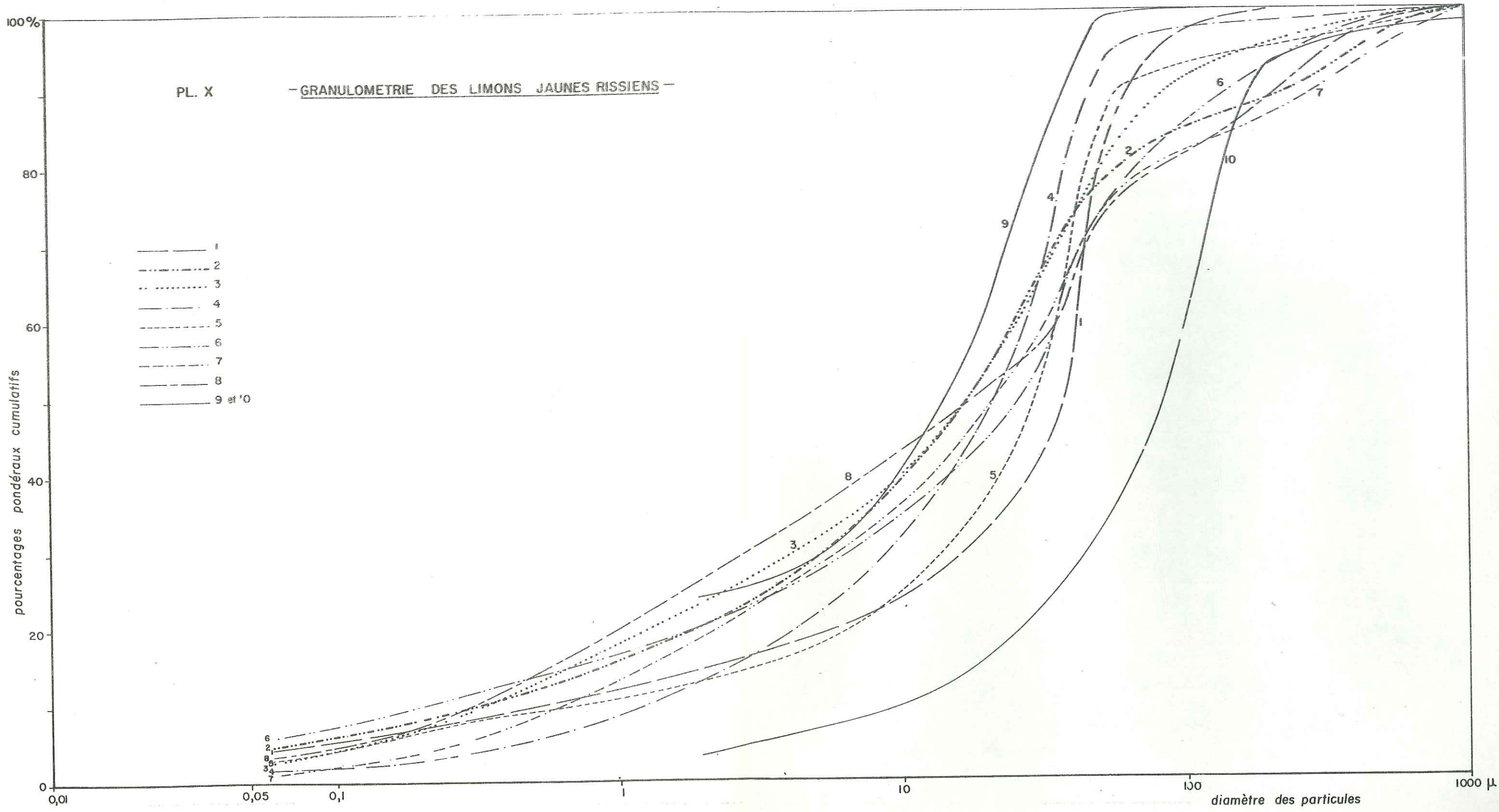


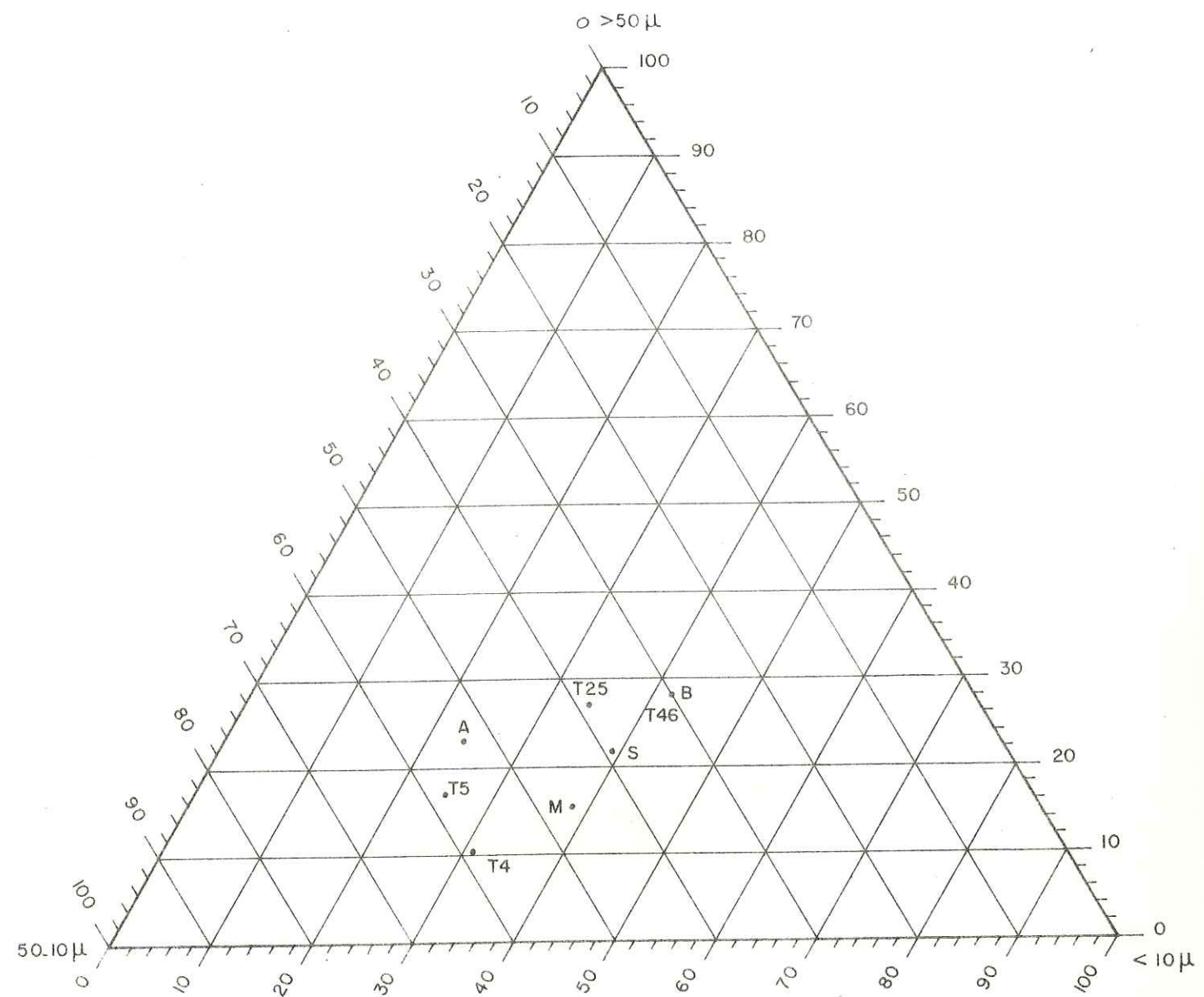
PLANCHE N.

GRANULOMETRIE DES LIMONS JAUNES RISSIENS.

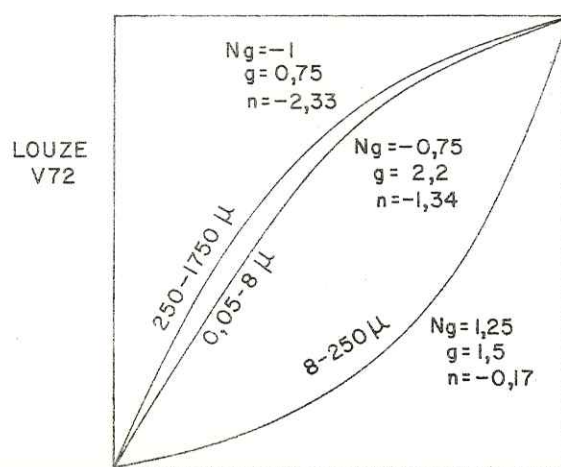
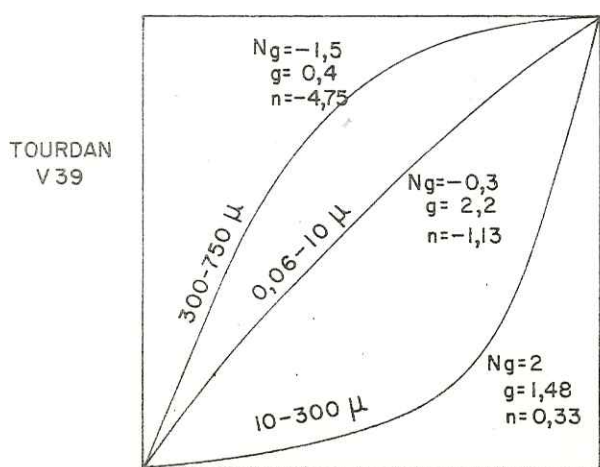
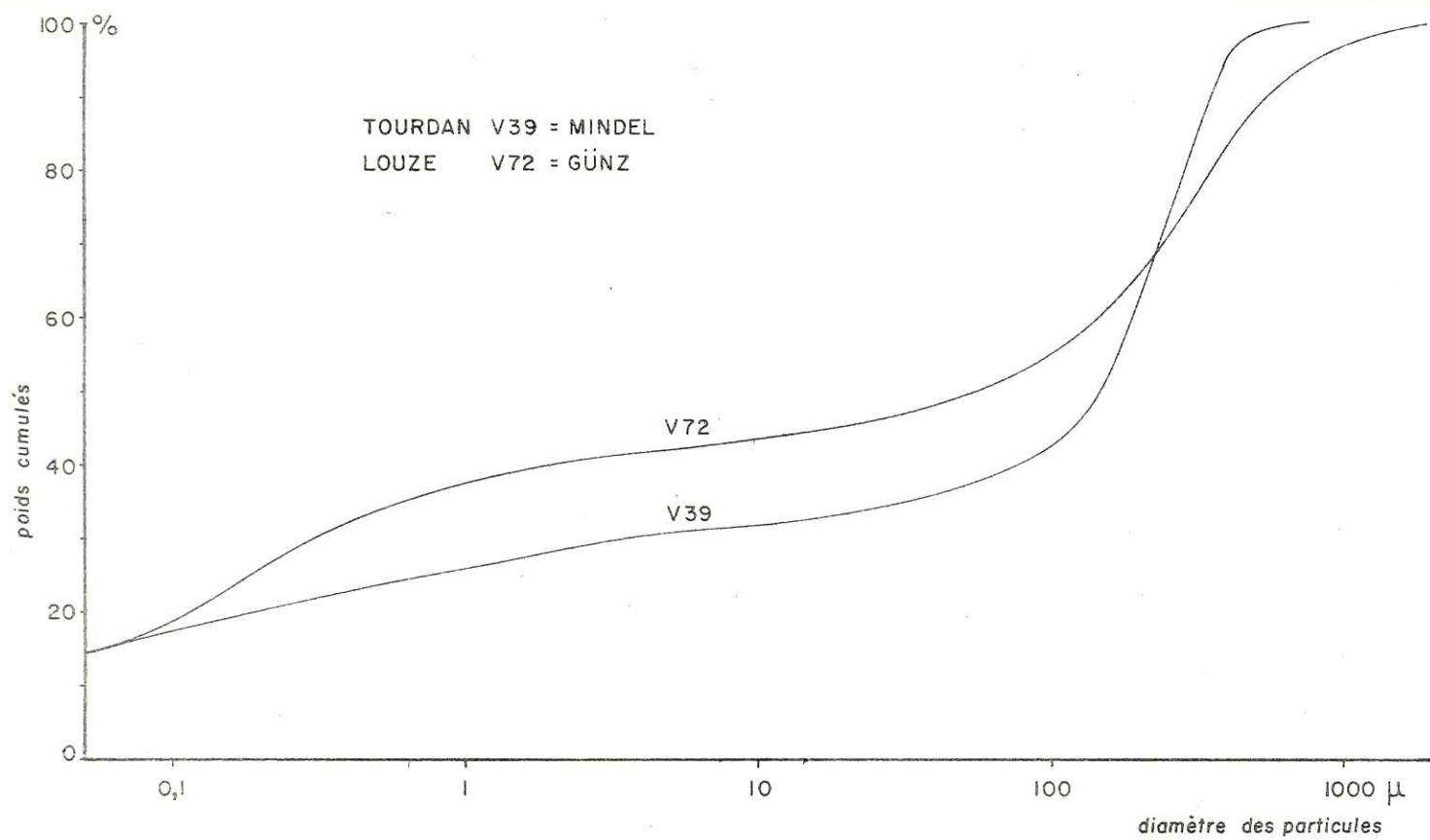
- Courbe N° 1 = loess d'Agnin, V.38, (Würm) par comparaison.
- 2 = limon jaune, terrasse de Sardieu, BV.24.
- 3 = limon panaché, terrasse de Marcollin, V.29,
tuilerie Genton à Marcollin.
- 4 = limon jaune, terrasse de Tourdan, T.4.
- 5 = limon panaché, terrasse de Tourdan, T.5.
- 6 = limon panaché, terrasse de Lapeyrouse, T.25.
- 7 = limon jaune, terrasse de Marcollin,
extrémité ouest, T. 46.
- 8 = limon jaune, tuilerie Robin,
Beauseblant, V.69-9.
- 9 et 10 = courbes minimum et maximum des granu-
lométries des loess, lehms et limons loessi-
ques de France (A. CAILLEUX, 1953, p.18).



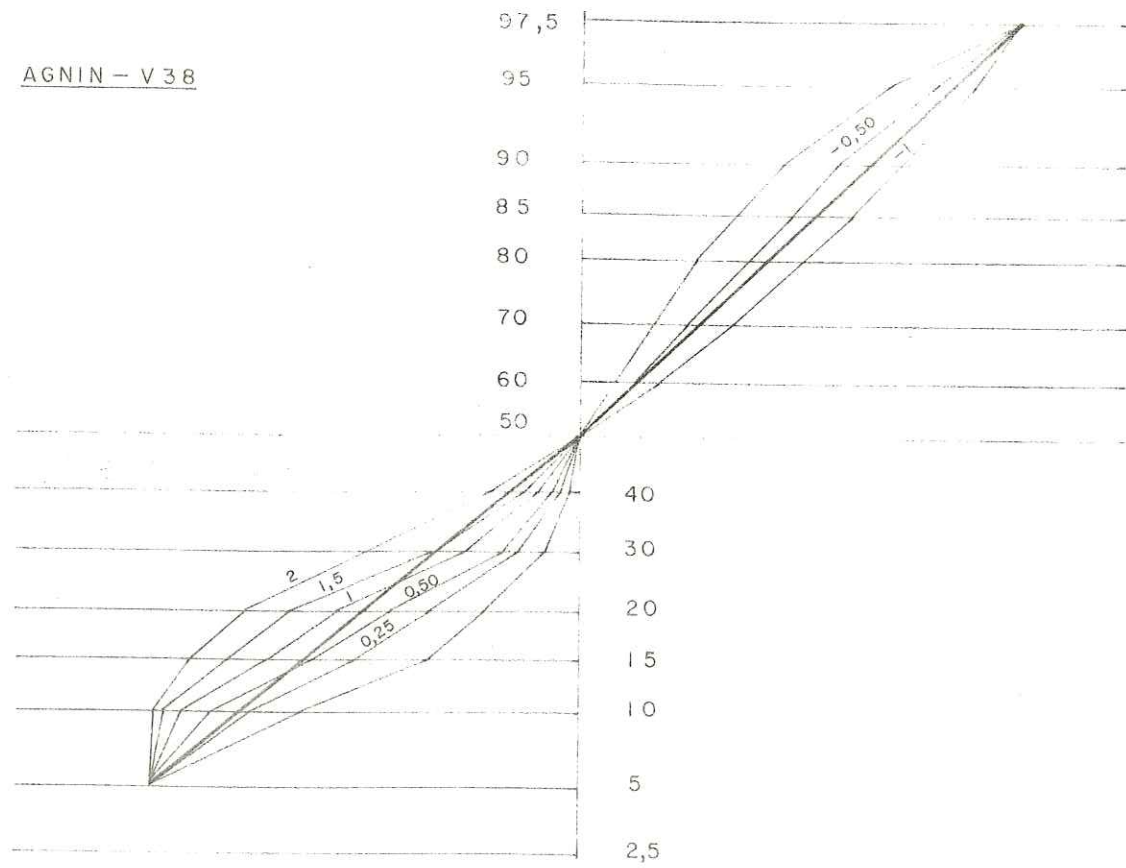
LIMONS RISSIENS



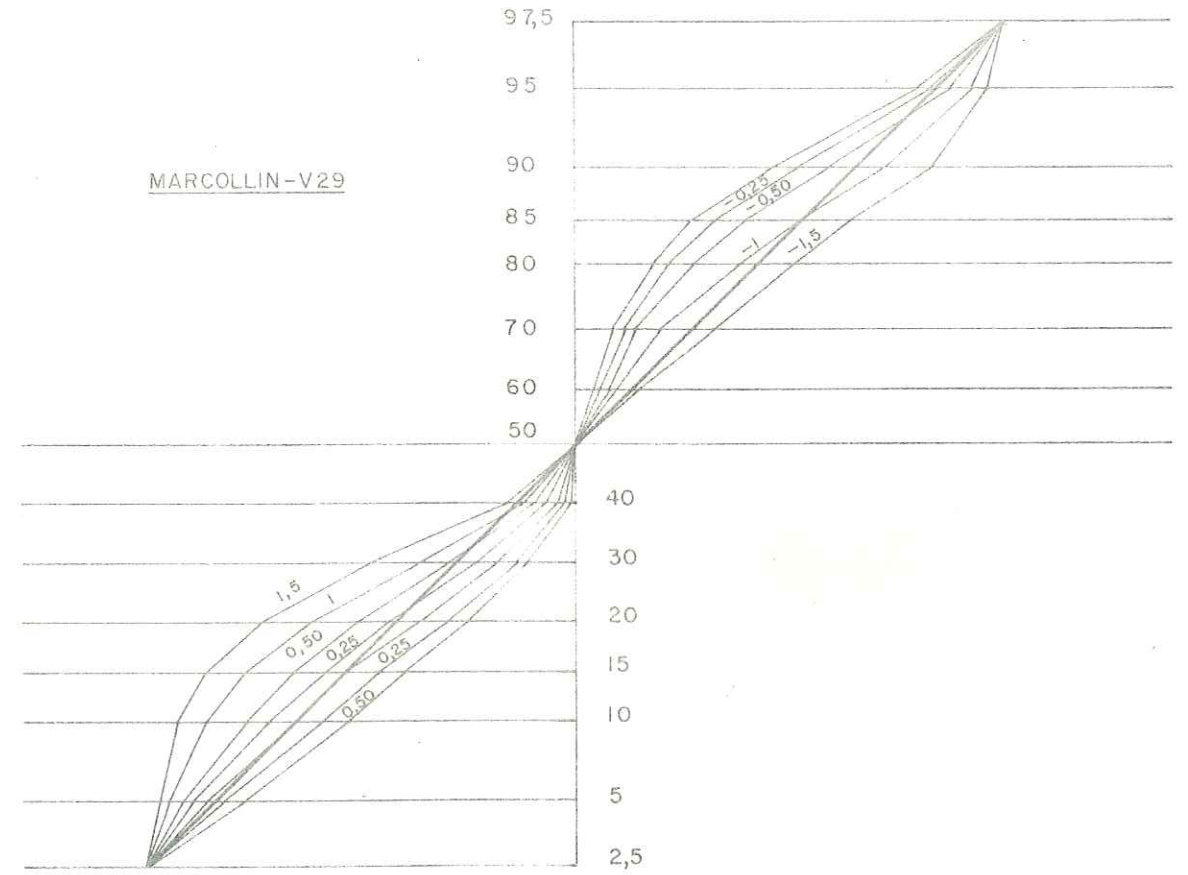
- A. — LÈSS D'AGNIN (WÜRME)
- B. — LIMON DE BEAUSEMBLANT
- M. — LIMON DE MARCOLLIN
- S. — LIMON DE SARDIEU



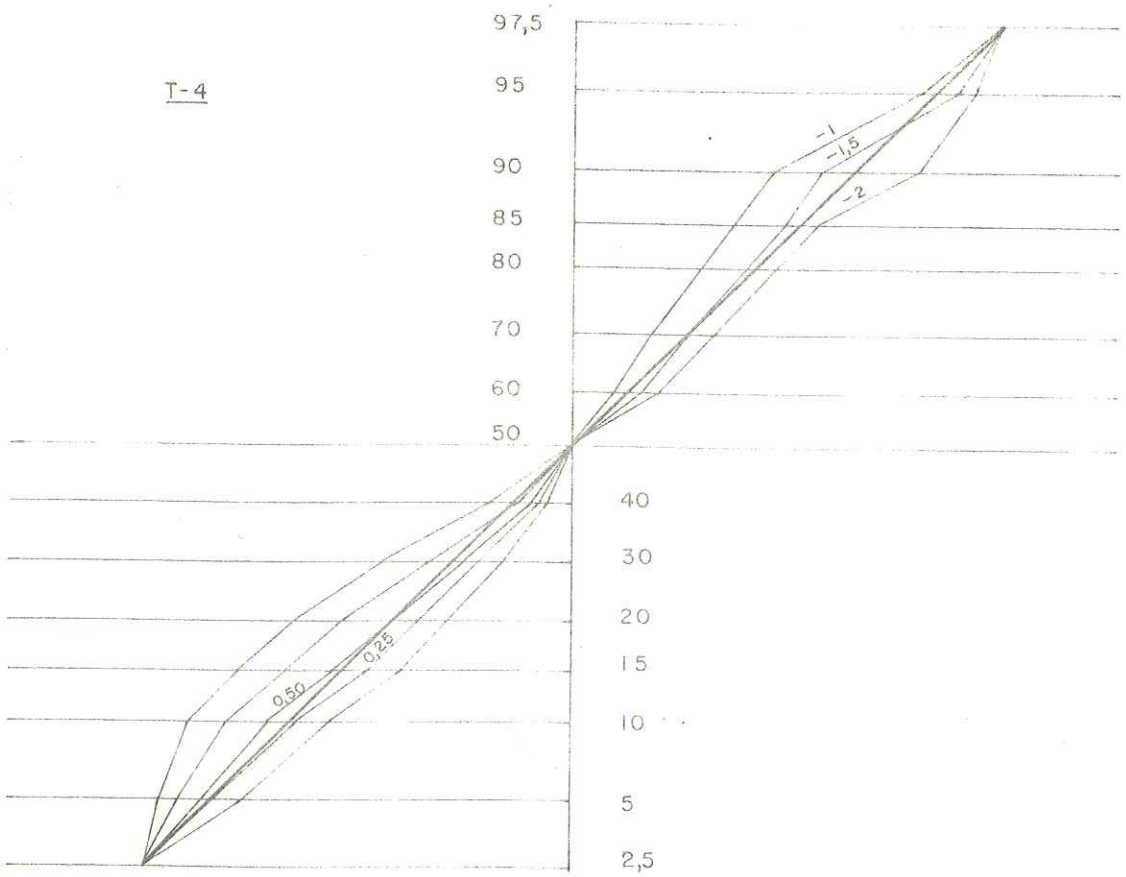
AGNIN - V 38



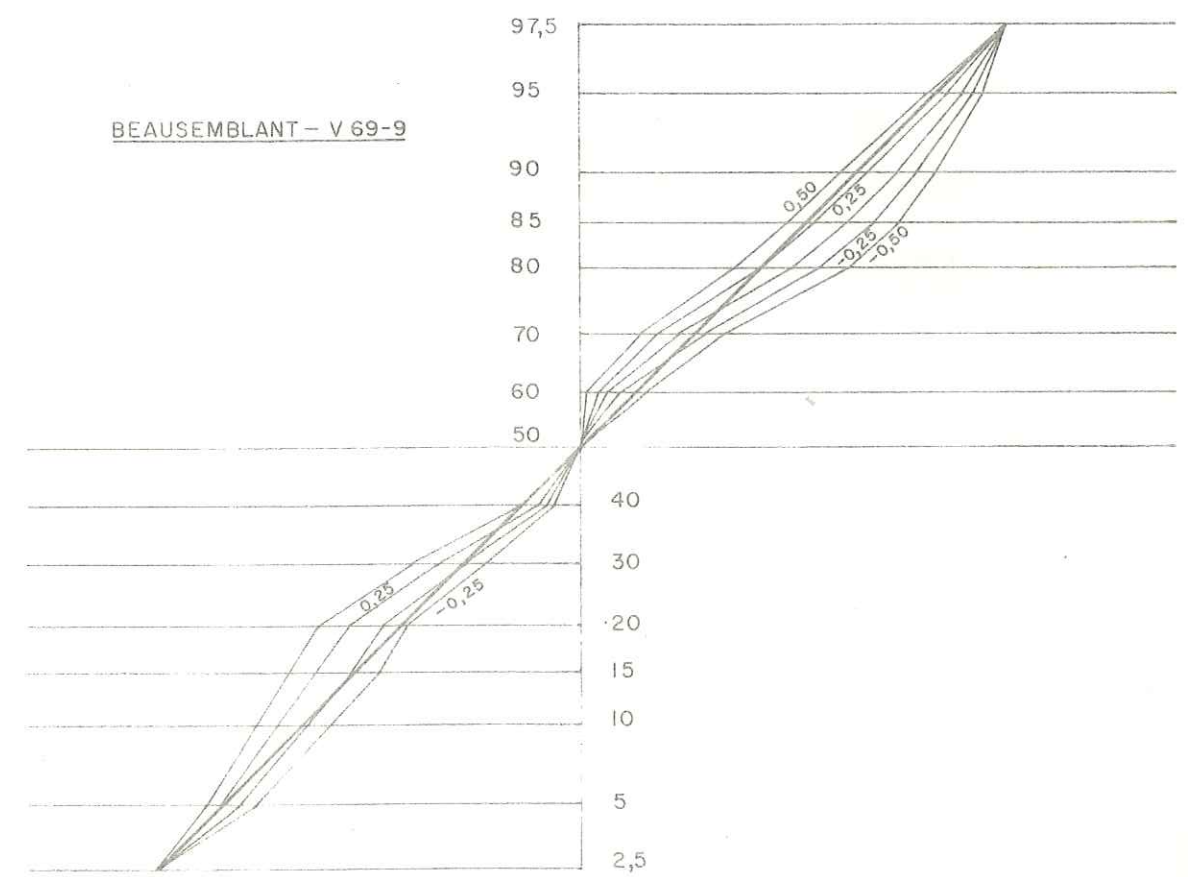
MARCOLLIN - V 29

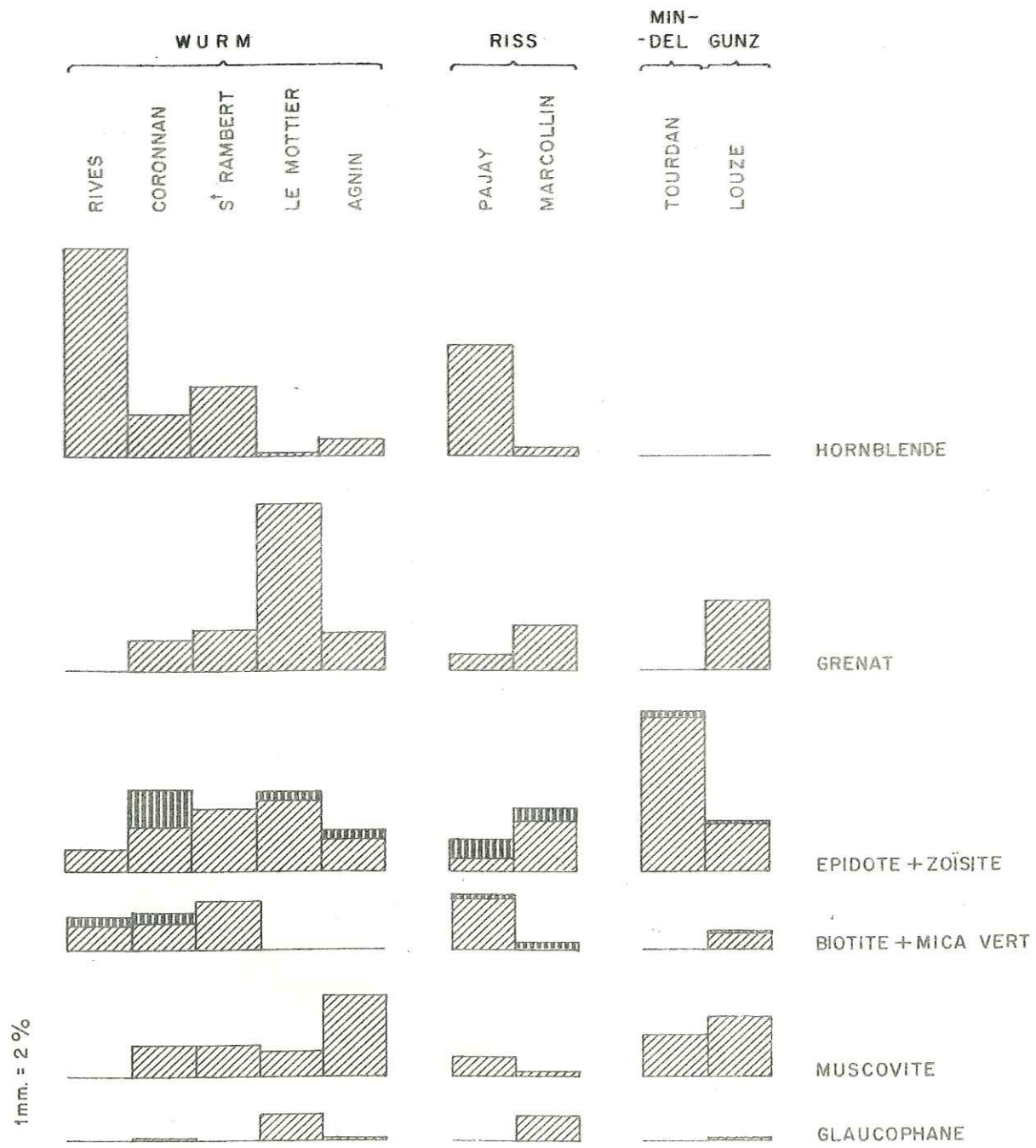


T-4

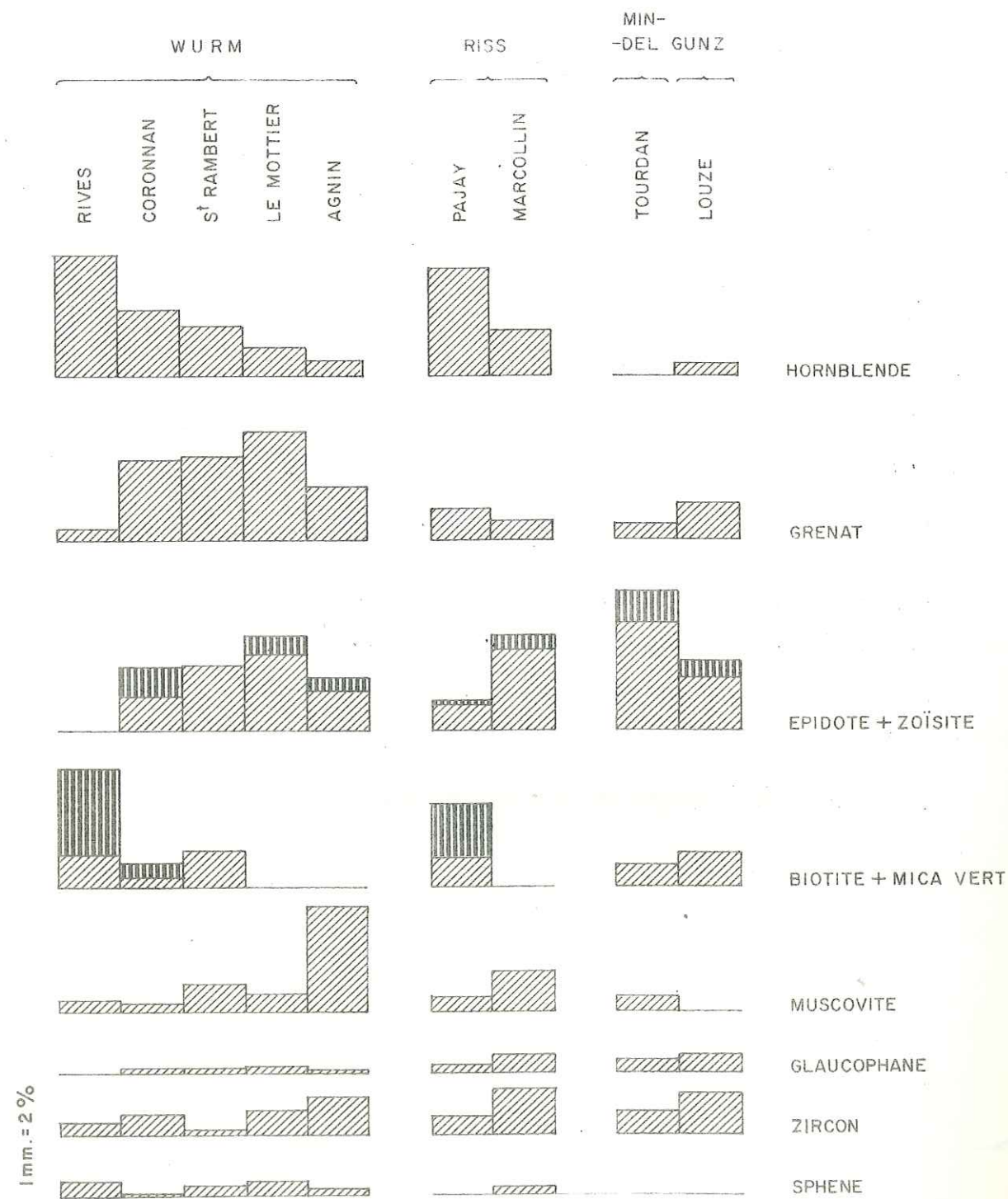


BEAUSEMBLANT - V 69-9





PL. XV MINERAUX LOURDS — fraction 317-150 μ



PL. XVI MINERAUX LOURDS — fraction 150-35 μ

PLANCHES XVII à XXIII.

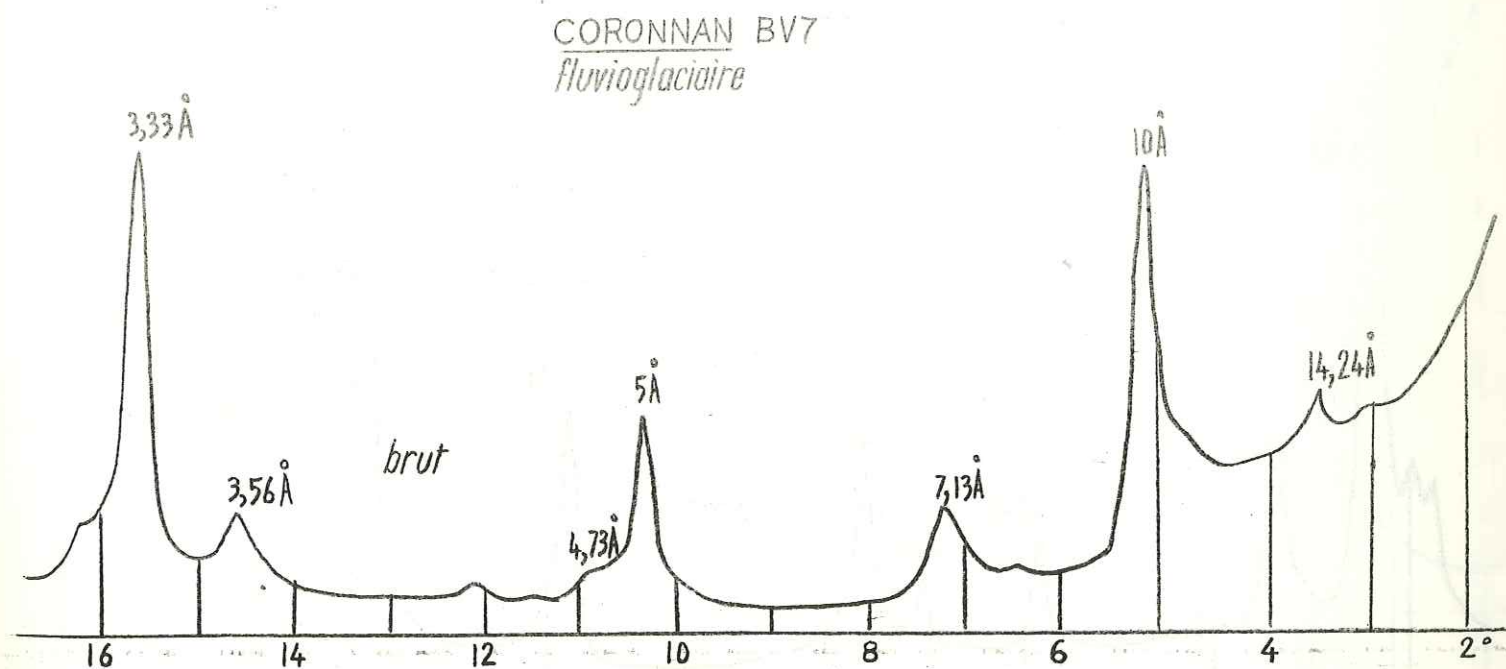
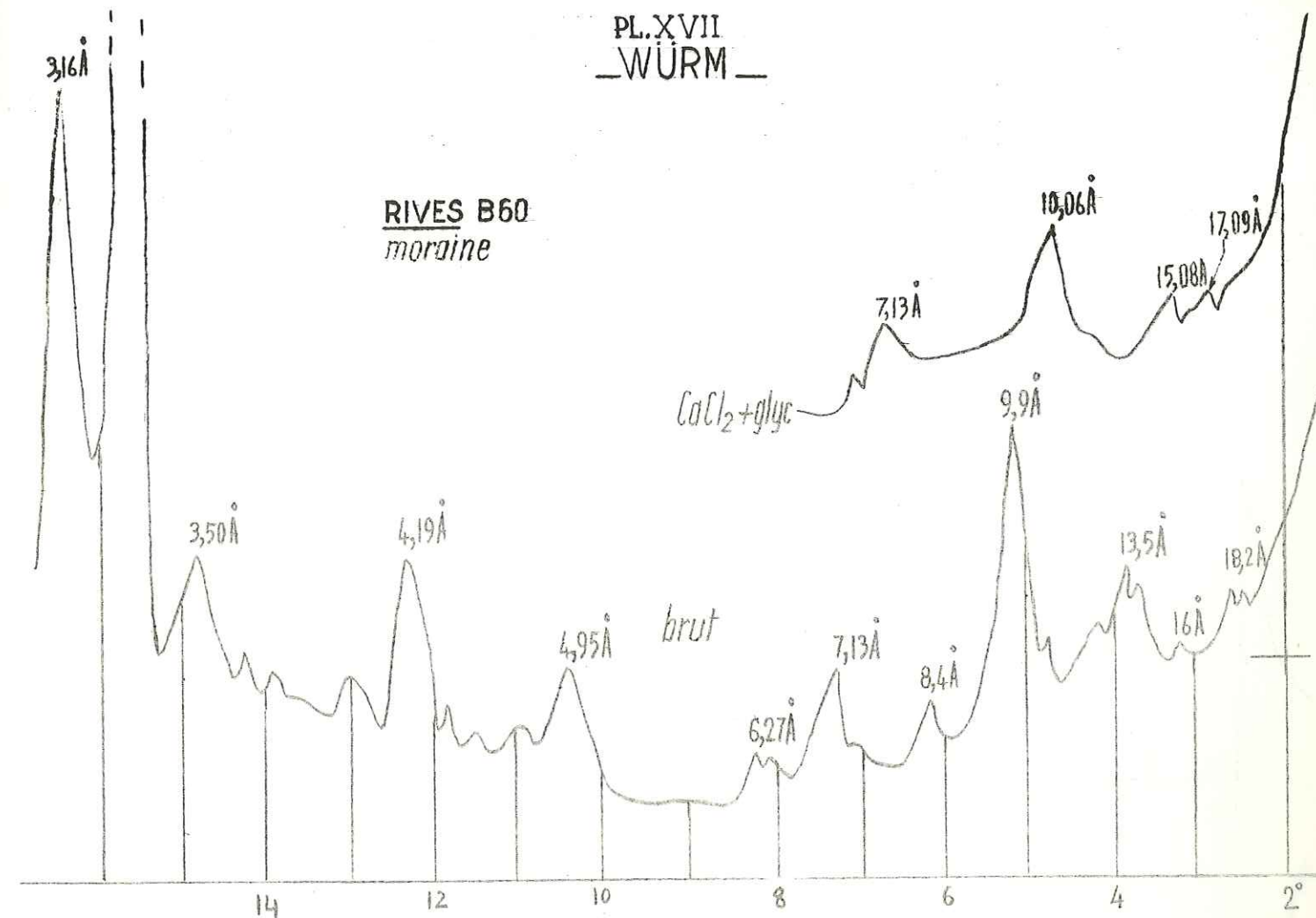
DIFFRACTOGRAMMES DE LA FRACTION ARGILEUSE DES SEDIMENTS.

- Planches XVII et XVIII = Würm
 Planches XIX et XX = Riss
 Planche XXI = Mindel
 Planche XXII = Gunz
 Planche XXIII = Villafranchien.

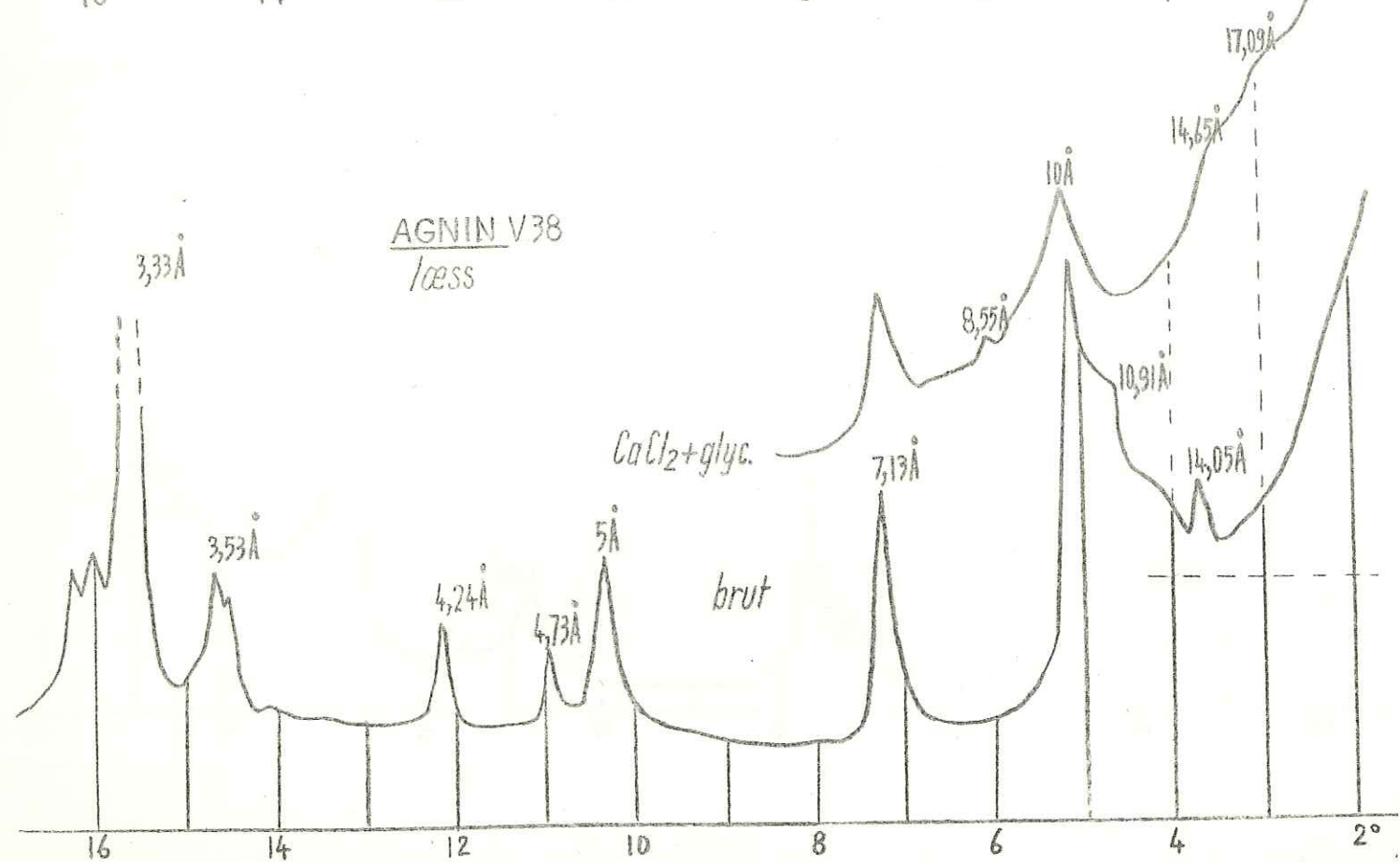
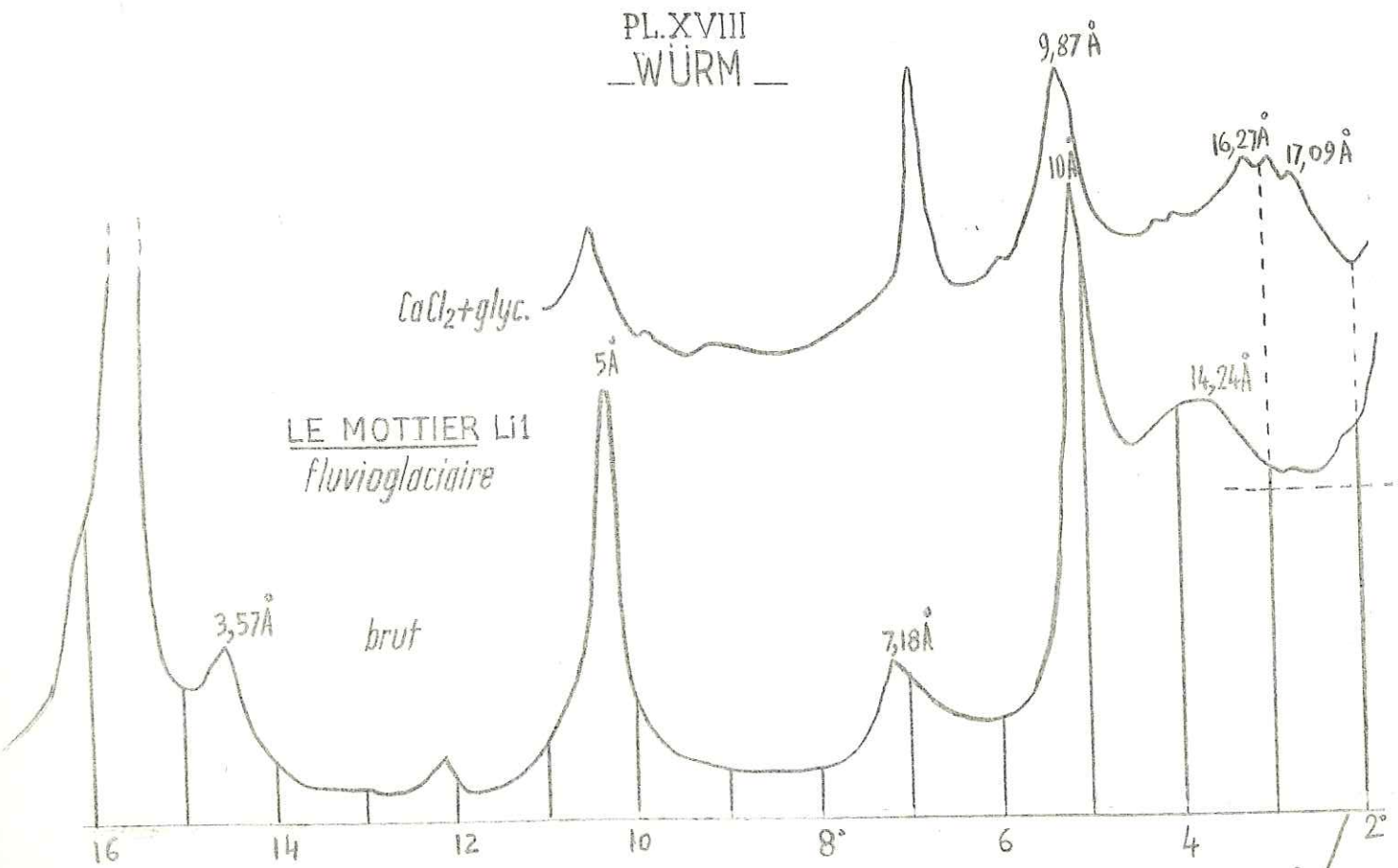
Les diagrammes ont été effectués sur Dictyobloc et
 Cristallobloc C.G.R. avec une anticathode de Cobalt.

Enregistrement du rayonnement diffracté par compteur
 proportionnel.

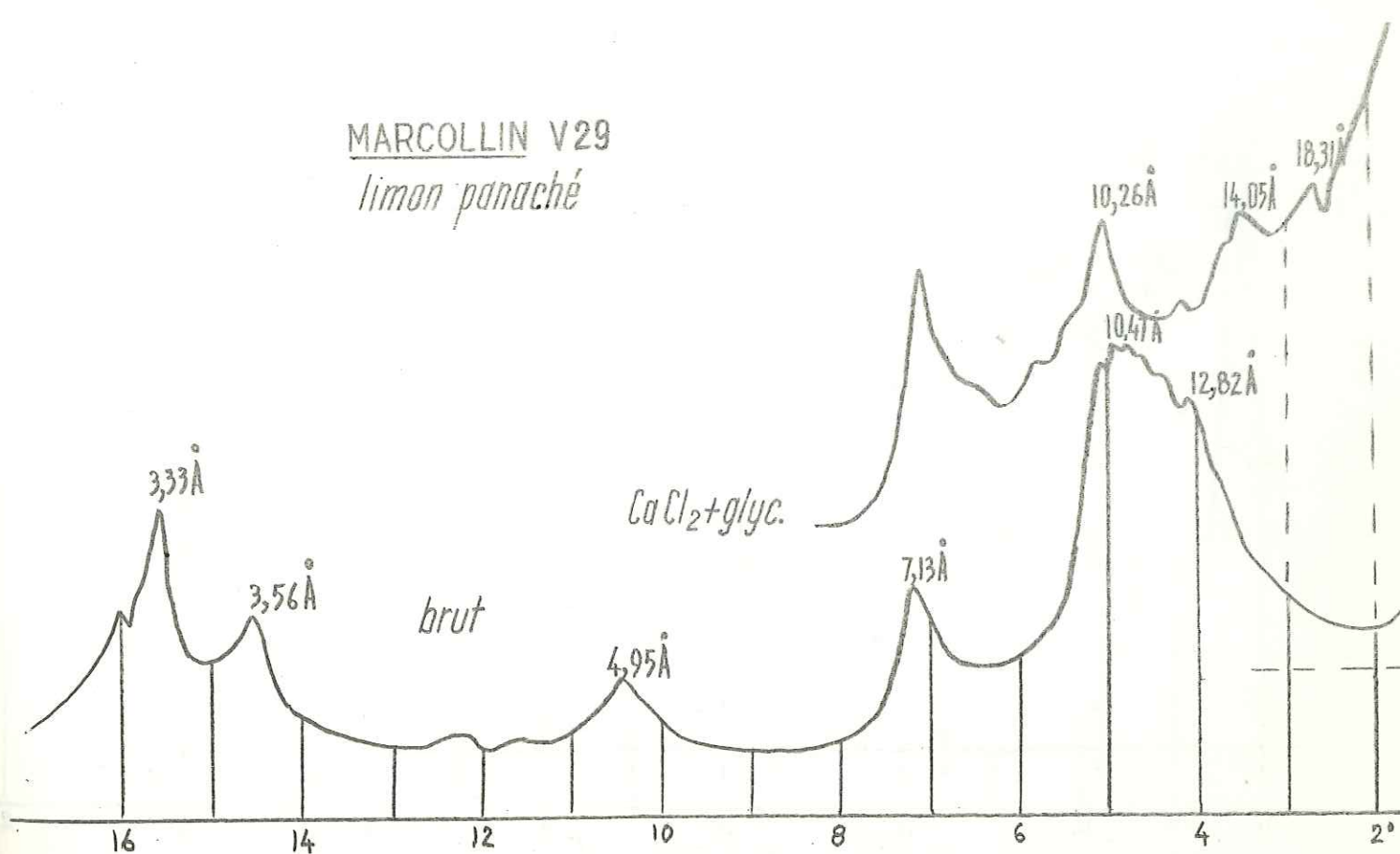
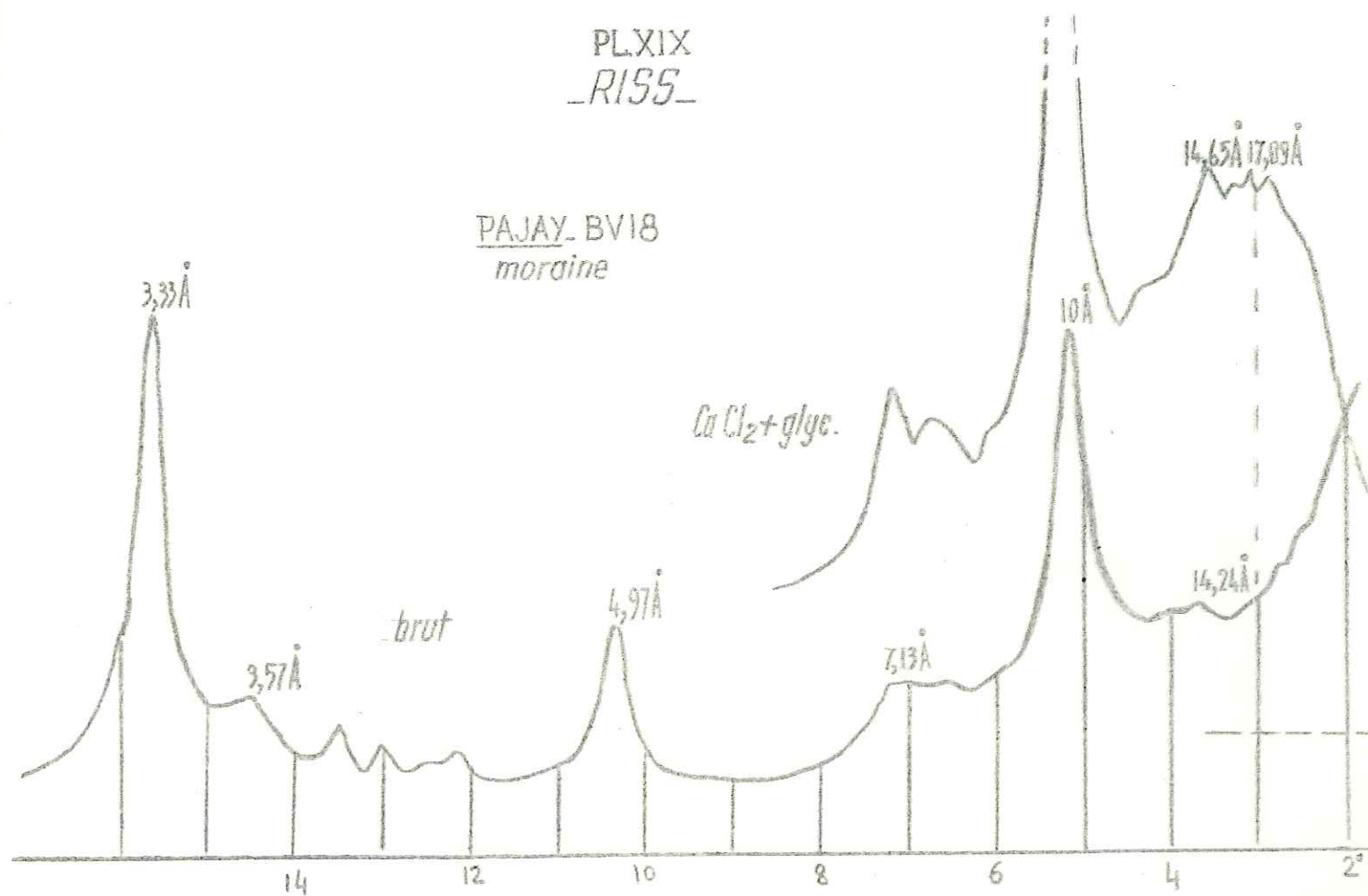
Vitesse d'exploration = 1 degré en 4 minutes.



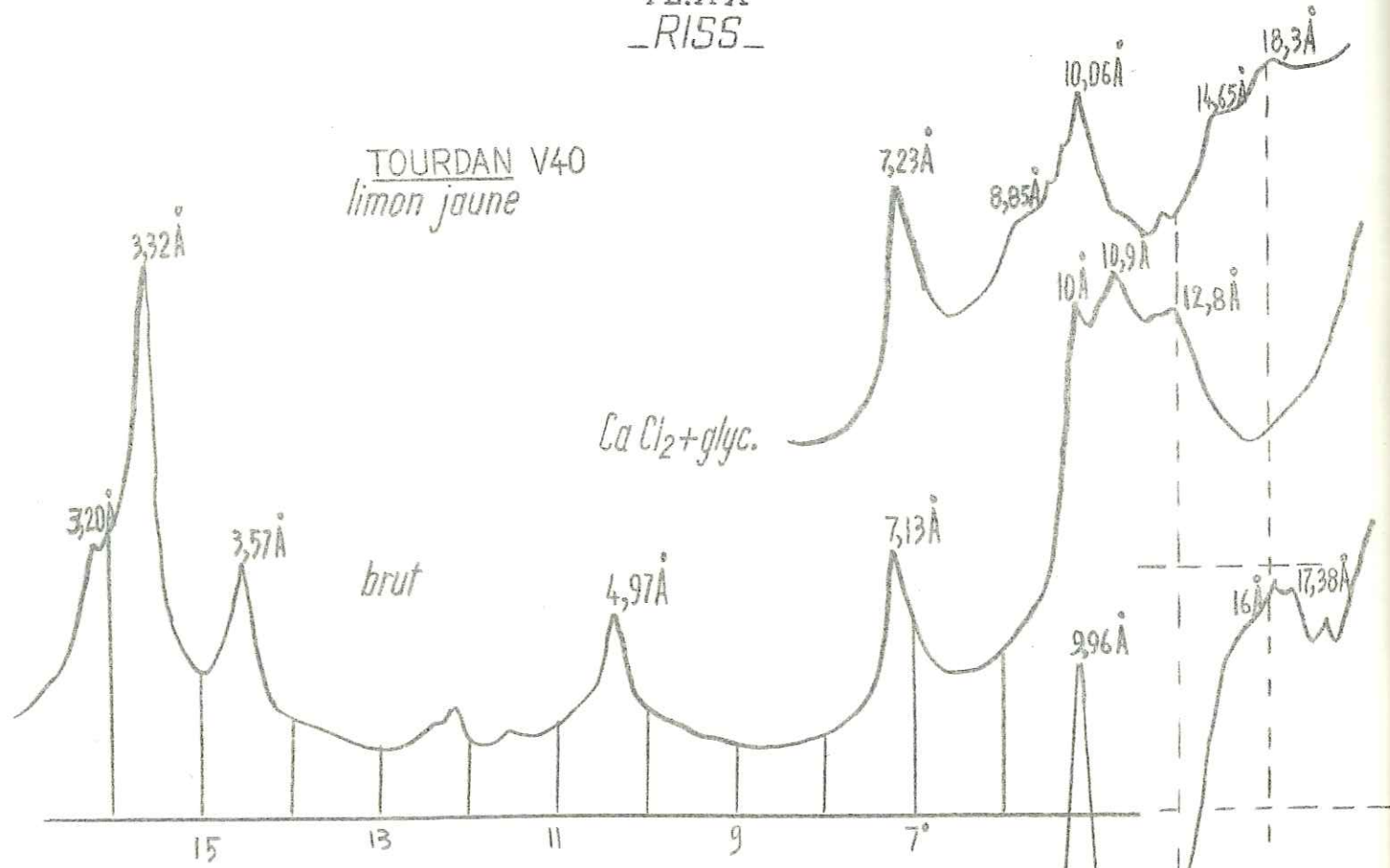
PL. XVIII
WÜRM



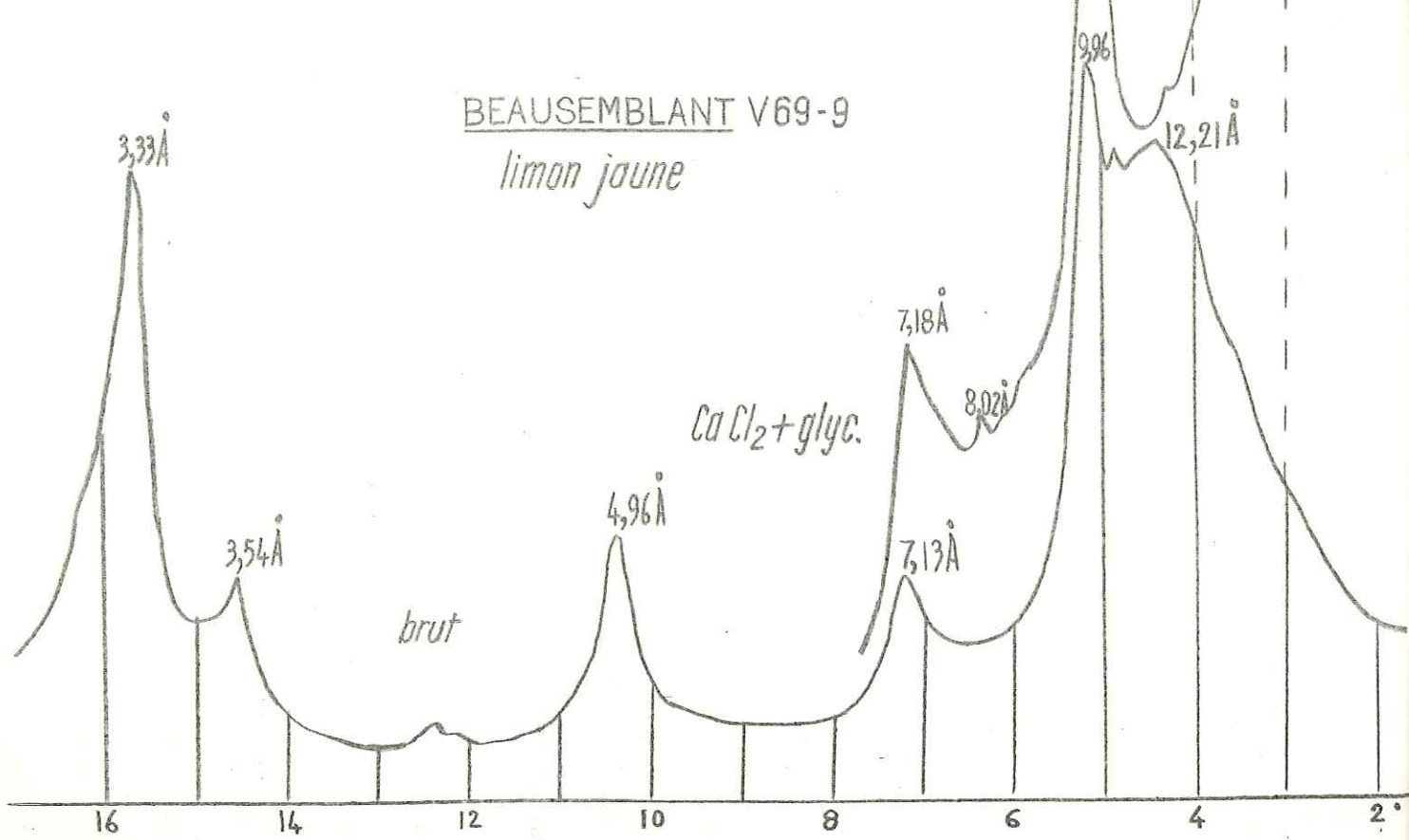
PL. XIX
RISS



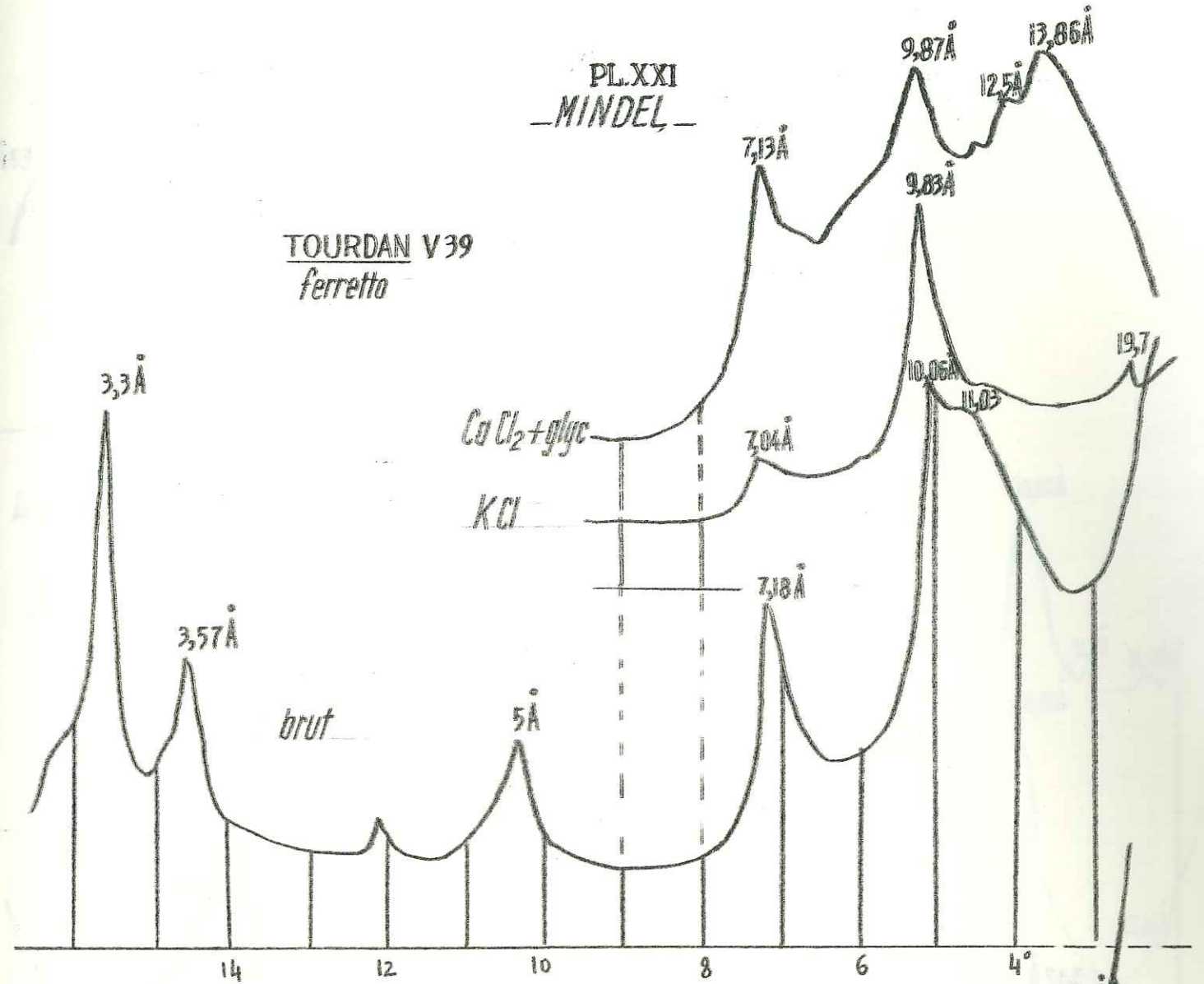
TOURDAN V40
limon jaune



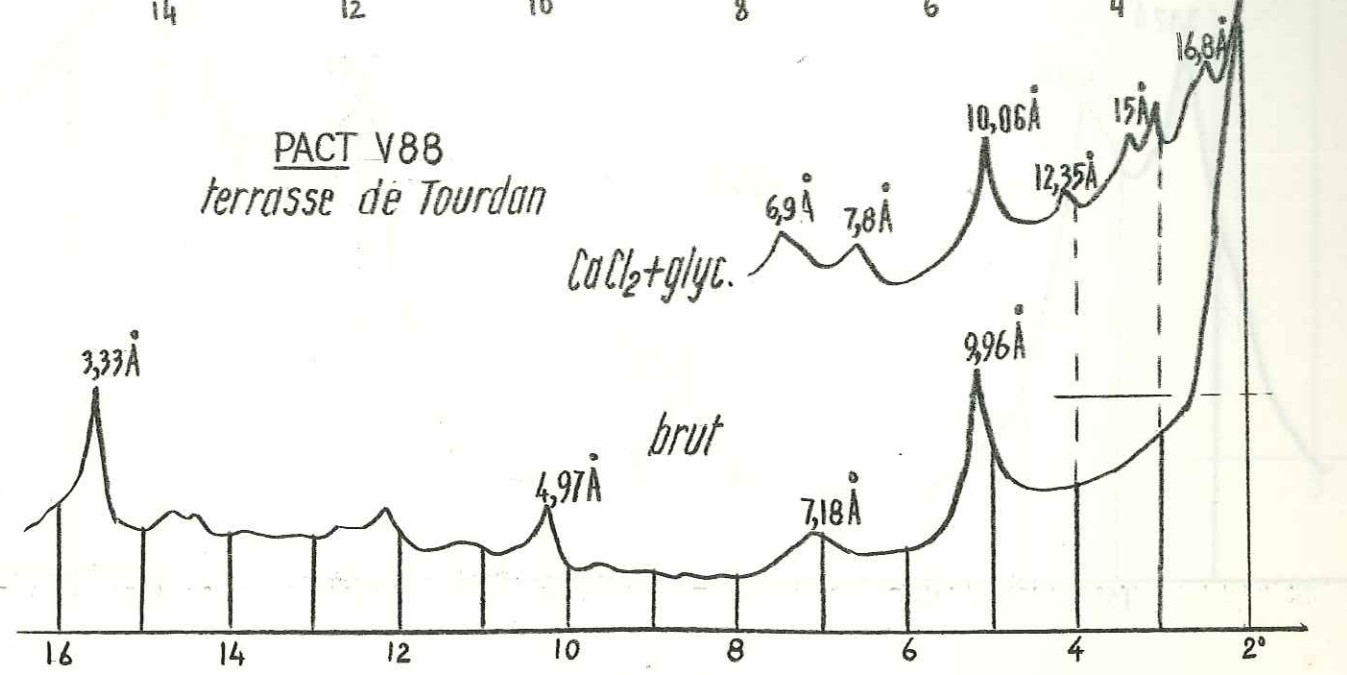
BEAUSEMBLANT V69-9
limon jaune



TOURDAN V39
ferretto



PACT V88
terrasse de Tourdan



PL. XXII
GUNZ

LOUZE V72
paléosal

HCl

9,87Å 10,91Å 19,7Å

CaCl₂+glyc.

4,9Å

7,13Å 9,87Å 14,24Å 17,09Å

10,06Å 10,91Å 3°

brut

3,32Å 3,55Å

4,95Å

7,34Å

8,35Å

10,06Å 10,91Å

15 13 11 9 7 5 3°

PL. XXIII
VILLAFRANCHIEN

ROYBON (plateau de Chambaran)

CaCl₂+glyc.

7,18Å

10,06Å

16,53Å

11,8Å

14,65Å

15,44Å

brut

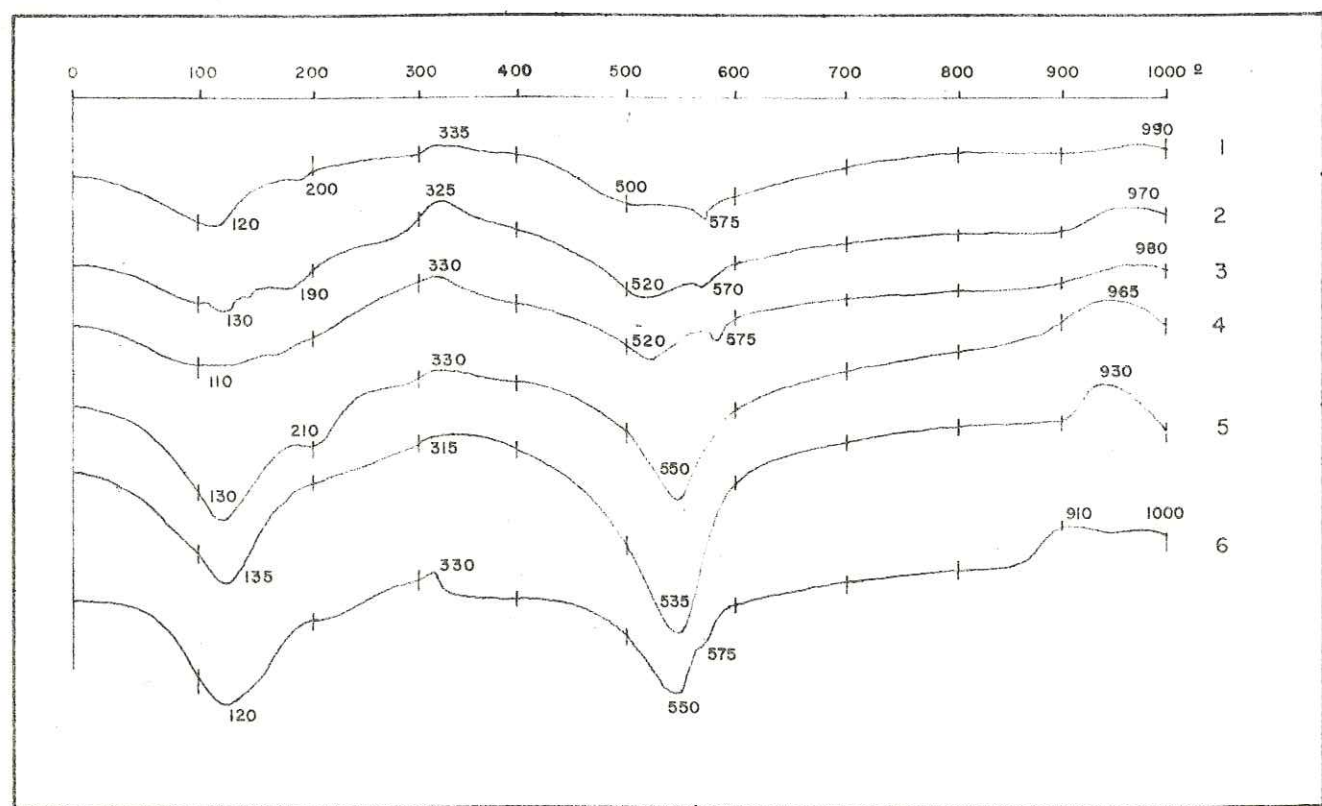
3,32Å

3,53Å

4,95Å

15 13 11 9 7 5 3°

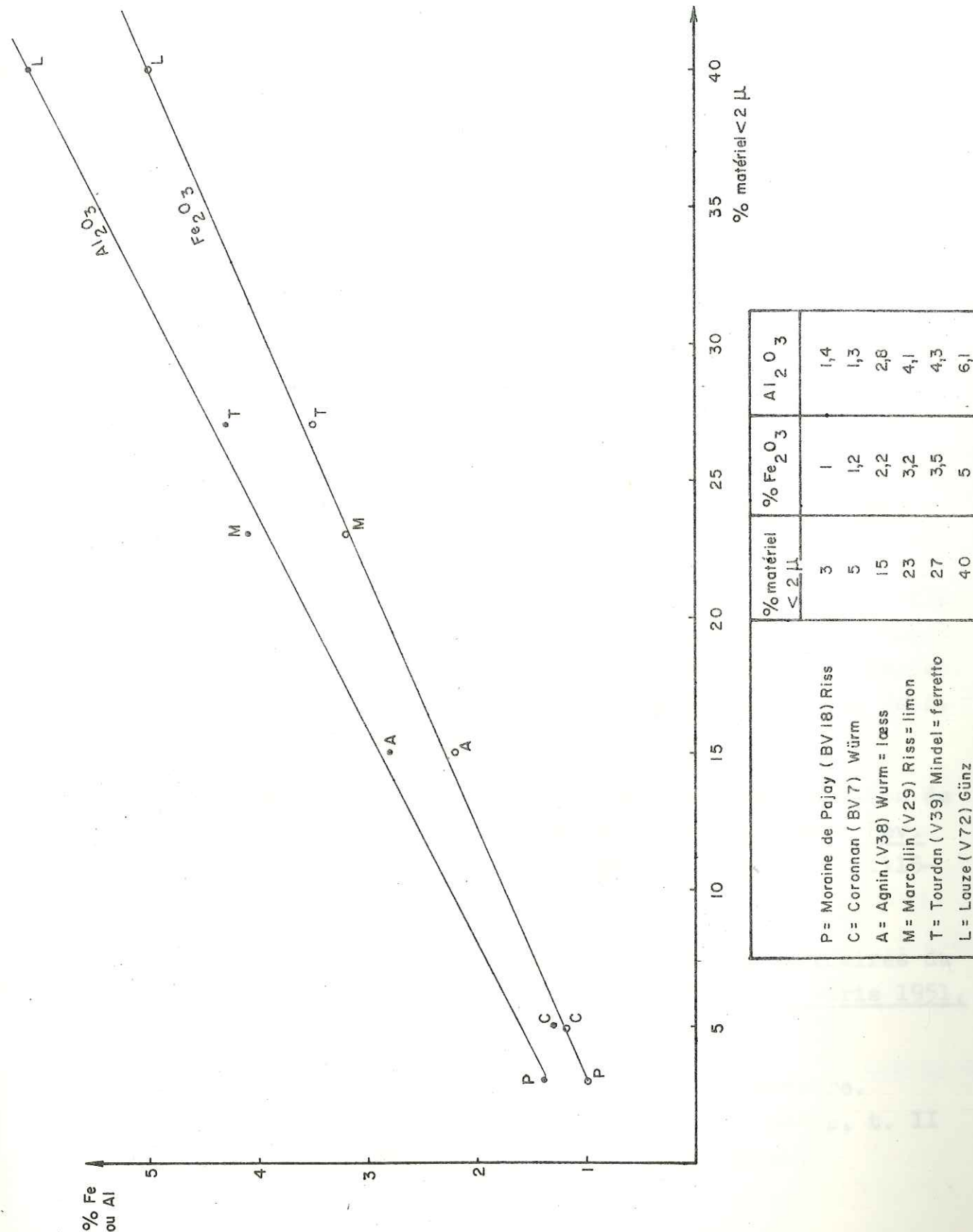
ANALYSES THERMIQUES DIFFERENTIELLES



- Courbe 1 - Plaine du Liers : le Lottier. Fluvioglaciale würmien.
- Courbe 2 - Plaine de Bièvre : Coronnan. Fluvioglaciale würmien.
- Courbe 3 - Terrasse de Marcollin : limon panaché rissien.
- Courbe 4 - Terrasse de Tourdan : limon jaune rissien.
- Courbe 5 - Paléosol de la terrasse de Tourdan (ferretto) : Mindel.
- Courbe 6 - Paléosol de la terrasse de Louze : Gunz.

Les pics endothermiques sont dirigés vers le bas du dessin.
 Analyses effectuées sur échantillons reconstitués, phase du sédiment inférieure à 35 microns. Vitesse de chauffe : 600° par heure.
 En ordonnées : 20 microvolts = 1 millimètre.

- TENEUR EN FER ET EN ALUMINE EN FONCTION DE LA TENEUR EN ARGILE -



I
B I B L I O G R A P H I E

- × ALIMEN H. et CAILLERE S. (1964) - Quelques considérations sur les successions climatiques au Quaternaire, déduites de l'étude des argiles des sédiments des Pyrénées, de la Bigorre et du Béarn. C.R.Ac.Sc. N° 258, p. 5475-5478.
- ALLENS V.T. et JOHNS W.D. (1960) - Clays and clay minerals of New England and eastern Canada. Bull. Géol. Soc. Amer. N° 71, p. 75-86.
- ARNEMAN H.F. et WRIGHT H.E. (1959) - Petrography of some Minnesota tills. Journ. Sédim. Petrol. N° 29, p. 540-555.
- BEAVERS A.H., JOHNS W.D., GRIM R.E. et ODEL R.T. (1955) - Clay Minerals in some Illinois soils developed from loess and till under grass vegetation. Clays and clay minerals, 3rd Nat. Conf. p. 356-372.
- BELLAIR P., TOURENQ J., VERNHET S. (1964) - Un échantillon de moraine du glacier de l'Astrolabe. Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn., 6, 2, p.115-121.
- BORDES F. (1953) - Recherches sur les limons quaternaires du Bassin de la Seine. Thèse Sci. Paris 1951, Masson, 1953.
- BOURDIER F. (1962) - Le Bassin du Rhône au Quaternaire. C.N.R.S. Paris t. I, texte, 364 p, t. II 297 fig., bibliographie, index.

II

- BRAVARD Y. (1963) - Le Bas Dauphiné. Recherches sur la morphologie d'un piedmont alpin. Thèse lettres, Grenoble. 504 p., 63 fig., 20 pl.
- BROWN G. (1961) - The X-Ray identification and crystal structures of clay minerals. Mineralogical Society, Londres. 544 p.
- CAILLERE S. - HENIN S (1963) - Minéralogie des argiles. Masson, Paris. 355 p., 47 fig.
- CAILLERE S. et MALYCHEFF V. (1957) - Etude de la fraction argileuse des loess du Bassin de Paris. C.R.Ac. Sc. 245, p. 1446-1448.
- CAILLEUX A. (1954) - Les loess et limons éoliens de France. Bull. Serv. Carte Géol. Fr. 240, t. LI, 1953, 24 p., 2 fig., 9 tab., 1 carte.
- CAILLEUX A. (1958) - Sédimentologie appliquée à la géographie. Cours photocopié de l'I.G.N., Paris. 95 p.
- × CAILLEUX A. et TAYLOR G. (1958) Notice sur le code expolaire. Boubée, Paris.
- CAILLEUX A. et TRICART J. (1959) - Initiation à l'étude des sables et des galets. C.D.U. Paris. t.1, texte, 376 p., t.2 et 3 valeurs numériques, 194 et 202 p.
- × CAMEZ T. (1962) - Etude sur l'évolution des minéraux argileux dans les sols des régions tempérées. Mém. Serv. carte Géol. Als. Lor., 20, 90 p.
- CAMEZ T., FRANC de FERRIERE P.J.J., LUCAS J. et MILLOT G. (1959) Sur l'importance de la vermiculite dans certains sols tempérés et dans les dépôts du Quaternaire ancien. C.R.Ac. Sc. 250, p. 3038-3041.

III

- CHARLESWORTH J.K. (1957) - The quaternary Era. E. Arnold Londres Vol.1, 591 p., 101 fig., Vol.2, 1700 p., 326 fig.
- CHAUMONT M. (1956) - Contribution des méthodes physico-chimiques à l'étude des formations sédimentaires. Application au Néogène du Bas-Dauphiné. Thèse Ingénieur-Docteur. Clermont-Ferrand. 121 p.
- COLLINI B. (1956) - On the origin and formation of the fennoscandian quaternary clays. Géol. Fören. Stock Förh. 78, p.528-534.
- COMPLEXON (1961) - Titrages au moyen de complexon selon la méthode du Professeur SCHWARZENBACH. Siegfried Société Anonyme. Zofingue. Suisse.
- DAVIDSON D.T. et HANDY R.L. (1953) - Studies of the clay fraction of southwestern Iowa loess. Clays and Clay minerals. 2 nd Nat. Conf. p. 190-208.
- DEBELMAS J. (1963) - Plissement paroxysmal et surrection des Alpes franco-italiennes. Trav. Lab. Géol. Grenoble. 39, p. 124-171.
- DUPLAIX S. (1958) - Détermination microscopique des minéraux lourds des sables. Béranger, Paris. 96 p.
- FLINT R.F. (1957) - Glacial and pleistocene geology. Wiley. New-York. 553 p.
- GIGNOUX M. (1950) - Géologie stratigraphique. Masson. Paris. 735 p., 155 fig.
- GIGNOUX M. et MORET L. -(1952) - Géologie dauphinoise. Masson Paris. 391 p., 91 fig., 3 cartes.
- GIGOUT M. (1960) - Sur le quaternaire fluvio-glaciaire de la Bièvre-Valloire. C.R.Ac.Sc. 250, p.564-566.

IV

GLENN R.C., JACKSON M.L., HOLE F.D. et LEE G.B. (1960) - Chemical weathering of layer silicate clays in loess-derived Tama silt loam of southern Wisconsin. Clays and clay minerals. 8 th. Nat. Conf. p. 63-83.

GRIM R.E. (1953) - Clay mineralogy. Mac Graw Hill. Londres. 384 p.

KILLIAN W. et GIGNOUX M. (1909-1910) - Les formations fluvioglaciales du Bas-Dauphiné. Bull. Serv. Carte Géol. Fr. N° 129, t.21, 84 p., 5 fig., 2 tab., 6 pl., 1 carte.

LAFOND L.R. (1953) - Sur l'évolution granulométrique des sédiments dans le Bassin de la Vilaine. Bull. Soc. Géol. Fr., 6, t.3, p.175-185.

LAFOND L.R. (1953) - Application de la méthode des indices à l'étude de l'évolution des sédiments dans le Bassin de la rivière Sal (Morbihan). C.R. Ac. Sc., 237, p. 82-84.

LAFOND L.R. (1958) - Etude des sables de Fort-Dauphin. (Madagascar) par la mesure des radioactivités naturelles. Eclogae Géol. Helv., 51, N° 3, p. 533-542.

* LAFOND L.R., RIVIERE A., VERNHET S. (1961) - Etude de la composition minéralogique de quelques argiles glaciaires. C.R. Ac. Sc. 252, p.3614-3616.

xxx

LORY Ch. (1863) - Sur les dépôts tertiaires et quaternaires du Bas-Dauphiné. Bull. Soc. Géol. Fr. 2, 20, p. 363-391.

MACKENZIE R.C. (1957) - The differential thermal investigation of clays. Min. Soc. Londres. 456 p.

xxx LATREILLE G. (1959) Etude sédimentologique des sables molassiques miocènes de la région lyonnaise - thèse 3^e cycle Lyon, 118 p.

V

MICHEL J.P. (1962) - Contribution à l'étude sédimentologique de l'Antarctique. Thèse 3^e cycle, Paris.

MIELENZ R.C., HOLLAND W.Y. et KING M.E. (1949) - Engineering petrography of loess (abstract). Bull. Géol. Soc. Amer. 60, p. 1909.

MILLOT G. (1964) - Géologie des argiles. Masson. Paris. 499 p., 75 fig.

MILNER H.B. (1962) - Sedimentary Petrography. Allen et Unwin. t.1, 643 p., t.2, 715 p.

* MITCHELL B.D. (1961) Rôle des facteurs pédogénétiques dans la genèse des argiles. Genèse et synthèse des argiles. C.N.R.S. Paris. p. 139-148.

MORET L. (1956) - Données nouvelles sur l'âge absolu et l'origine des argiles d'Eybens près de Grenoble. C.R. Ac. Sc. 242, p. 219.

MOTAMED A. (1962) - Contribution à l'étude sédimentologique et à l'étude de l'origine du loess^{du} SW. de la région parisienne. Thèse 3^e Cycle. Paris-Orsay. 90 p., 10 pl., 23 fig.

PENCK A. et BRUCKNER E. (1905) - Die Alpen im Eiszeitalter. Livre 3, traduit par R. SCHAUDEL. "Les Alpes françaises à l'époque glaciaire." Trav. Lab. Univ. Grenoble. 8, 1907, p. 11-267.

PERRIN R.M.S. (1957) - The clay mineralogy of some tills in the Cambridge district. Clay Min. Bull. 3, p. 193-205.

RIVIERE A (1946) - Contribution à l'étude des sédiments argileux Bull. Soc. Géol. Fr. t.16, p. 43-45.

X (1952) - Sur les méthodes de représentation graphique de la granulométrie des sédiments meubles. Bull. Soc. Géol. Fr. t.II, p. 148

VI

- X RIVIERE A. (1952) - Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles et son interprétation géologique. Bull. Soc. Géol. Fr. t. II, p.155.
- X (1952) - La granulométrie des sédiments argilo-vaseux est susceptible d'une expression analytique générale. Notion de faciès granulométrique. C.R. Ac. Sc. t. 234, p. 2628.
- RIVIERE A., PIMENTA J., DUBOUL-RAZAVET C., FRIDMAN R., VERNHET S. (1952) - Sur l'interprétation géologique de la granulométrie des sédiments argileux et argilo-vaseux. C.R. Ac. Sc. t. 234, p. 2298.
- X RIVIERE A. (1954) - Généralisation de la méthode des faciès granulométriques. Evaluation de la dispersion aléatoire. C.R. Ac. Sc. t.238, p. 2326.
- (1955) - Intérêt sédimentologique de la mesure des radioactivités naturelles. C.R. Ac. Sc. t.241, p. 964.
- X (1957) - Sur le caractère intrinsèque de l'indice d'évolution dans la méthode des faciès granulométriques. C.R. Ac. Sc. t. 244, p.1389.
- X (1960) - Généralisation de la méthode des "faciès granulométriques" par extension de la notion d'indice d'évolution. Détermination de celui-ci. C.R. Ac. Sc. t.250, p. 2917.
- RIVIERE A., VERNHET S., Van der MAREL H.W. (1961) - Sur les "illites gonflantes". Identification, analogies et nomenclature. C.R. Ac. Sc. t. 253, p. 159-161.

VII

- RIVIERE M.A. et RIVIERE A (1962) - Possibilité d'une expression gaussienne très approchée de la granulométrie de nombreux sédiments. C.R. Ac. Sc. t. 254, p. 3396-3398.
- ROSENQUIST I.T (1961) What is the origin of hydrous micas of Fennoscandia? Bull. Géol. Inst. Univ. Uppsala 40, p. 265-268.
- SARROT-REYNAULT J.(1953) - Observations sur la nature physico-chimique des argiles d'Eybens (Isère). Trav. Lab. Géol. Grenoble 31, p.243-246.
- SCHROEDER D. (1955) - Mineralogische Untersuchungen an Lössprofilen. Heidelberg Beitr. Min. 4, p.443-463.
- SCHWARZENBACH G. (1960) - Complexometric titrations. Translated by H. IRVING. Methuen. London. 132 p.
- SMOTHERS et CHIANG (1958) - Differential thermal analysis. Chemical publishing. New-York. 444 p., 33 fig.
- STEINBERG M. (1960) - Utilisation de la mesure de la radioactivité naturelle des roches sédimentaires dans l'étude du sidérolithique du Poitou. C.R.Ac. Sc. 251, p. 3022-3024.
- SWINEFORD A. et FRYE J.C. (1955) - Petrographic comparison of some loess samples from western Europe with KANSAS loess. Journ. Sédim. Petrol. 25, p.3-23.
- VERNET J.P. (1959) - Etudes sédimentologiques et pétrographiques des formations tertiaires et quaternaires de la partie occidentale du plateau Suisse. Eclogae, Géol. Helv. 51, p. 1115-1152.

VOINOVITCH I.A., DEBRAS-GUEDON J., LOUVRIER J., (1962) -
L'analyse des silicates. Hermann. Paris
510 p.

WILMAN H.B., GLASS H.D., et FRYE J.C. (1963) - Mineralogy of
glacial tills and their weathering profiles
in Illinois. Ill. State Géol. Surv. Circu-
lar. 347, 54 p.

TABLE des MATIERES

INTRODUCTION	1
<u>CHAPITRE I</u> - <u>Situation géographique et géologique des formations étudiées</u>	2
- A - Stratigraphie du Bas-Dauphiné	2
1°) Tertiaire	2
2°) Quaternaire	5
- B - La plaine de Bièvre-Valloire	10
- C - Localisation des prélèvements des échantillons étudiés	14
<u>CHAPITRE II</u> - <u>Granulométrie</u>	19
- A - Techniques	19
- B - Expression des résultats	20
- C - Résultats	23
1°) Sédiments hétérogènes du Würm et du Riss	23
2°) Loess d'Agnin	27
3°) Limons rissiens	28
4°) Paléosols du Mindel et du Günz.....	30
5°) Distribution gaussienne des granulométries	31
<u>CHAPITRE III</u> - <u>Pétrographie des galets et des sables</u>	33
- A - Pétrographie des galets	33
- B - Morphoscopie des grains de quartz	37
- C - Minéraux lourds des sables	39

<u>CHAPITRE IV</u> - <u>Minéralogie des argiles</u>	46
- A - Bibliographie	46
- B - Méthode d'étude	53
1°) Analyse roentgenographique	53
2°) Analyse thermique différentielle	54
- C - Résultats	56
1°) Echantillons du Würm	56
2°) Echantillons du Riss	58
3°) Echantillons du Mindel	63
4°) Echantillon du Günz	65
5°) Echantillons du Villafranchien.....	65
- D - Conclusions	68
 <u>CHAPITRE V</u> - <u>Radioactivité</u>	70
- A - Méthodes d'étude	70
- B - Résultats	71
- C - Conclusions	74
 <u>CHAPITRE VI</u> - <u>Dosages chimiques de quelques éléments</u>	75
- A - Méthodes d'étude.....	75
- B - Résultats	78
1°) Teneurs en carbonates de calcium et de magnésium	80
2°) Teneurs en oxydes de fer et d'alumine	81
3°) Mesures du pH	81
- C - Conclusions	82
 <u>CONCLUSIONS</u> -	
1°) Würm	85
2°) Riss	86
3°) Mindel	87
4°) Günz	88
5°) conclusions générales	89
 <u>ANNEXE-</u> <u>Etude d'une vermiculite</u>	93