Le socle molassique et la couverture sédimentaire

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **22 (1969)**

Heft 1

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

TROISIÈME PARTIE

LE SOCLE MOLASSIQUE ET LA COUVERTURE SÉDIMENTAIRE

Dans ses grandes lignes structurales, le bassin du Léman occupe la partie basse d'un vaste synclinorium situé entre les Alpes, les Préalpes et le Jura.

Ce synclinorium est essentiellement formé de molasse plissée et faillée puis chevauchée par la partie frontale des Préalpes.

Il est impossible, et d'ailleurs superflu, d'énumérer les nombreux traits structuraux du socle rocheux du Léman. Seuls comptent les éléments majeurs. Ce sont, de l'amont à l'aval:

Le Haut-Lac, à l'amont d'une ligne: Meillerie-Montreux dans les Préalpes Médianes avec une fenêtre d'Ultrahelvétique au Bouveret, et de molasse autochtone.

Le Grand-Lac et le Petit-Lac entre la région ci-dessus et Genève: le fond et les rives reposent sur du Quaternaire et le socle molassique. Ce socle se divise à son tour en molasse subalpine charriée et molasse autochtone.

Toute la périphérie du lac montre que la molasse est plissée en anticlinaux et en synclinaux, divisés à leur tour en compartiments basculés entre failles et parcourus par d'autres failles majeures longitudinales ou transversales.

A titre d'exemple, on peut citer:

les plis du Petit-Lac, ceux de Morges, les isoclises du Grand-Lac et du Jorat,

les failles de la Côte et du Mormont,

les chevauchements de la Veveyse, de la molasse subalpine sur l'autochtone de Boisy et d'autres moins importantes.

C'est dans ce cadre que vont s'inscrire les études géophysiques de détail qui suivent.

CHAPITRE PREMIER

TECHNOLOGIE

Lorsque nous avons entrepris l'étude du lac Léman, le caractère indispensable d'une étude géophysique s'est très vite imposé. Trois possibilités s'offraient à nous:

1° *Les explosifs ou les canons à gaz*

Avec des pénétrations supérieures à 1.000 m ce matériel aurait permis de préciser les structures profondes. Les résultats auraient alors été corrélables avec les données

des sondages pétroliers réalisés autour du lac. Des questions d'ordre financier d'une part, de protection de la faune piscicole d'autre part, se sont opposées à l'emploi de ces méthodes.

2° *Les appareils de type sparker ou boomer*

Contrairement à la méthode précédente, il s'agit d'une technique de sondage sismique continu (S.S.C.) en ce sens que l'on voit se dérouler sur l'enregistreur une coupe déjà restituée et continue des profils navigués. La profondeur d'investigation de ces appareils est plus faible mais ils ne causent aucun dommage aux êtres vivants. Des descriptions techniques en ont été faites par O. LEENHARDT (1964, 1965).

Leur utilisation a permis une reconnaissance détaillée de la topographie molassique préquaternaire ainsi que la localisation des moraines sous-lacustres.

Le travail a été réalisé au cours de 2 campagnes: l'une avec le concours de la C.G.G. (Compagnie Générale de Géophysique), la seconde en collaboration avec O. LEENHARDT, ingénieur géophysicien à l'Institut Océanographique de Monaco, grâce au matériel gracieusement prêté par ce dernier organisme. En tout 270 km de profils furent explorés.

3° *L'emploi du sondeur de vase*

Cet appareil de faible puissance ne pénètre pas plus de 10 à 15 m de sédiments fins mais sa résolution est de l'ordre de 10 à 15 cm. Les résultats qu'il fournit sont donc comparables aux données obtenues par carottages. Il est facile de prévoir que bientôt aucune campagne de carottage ne se fera sans l'utilisation simultanée du sondeur de vase. En effet, le carrotage est le type de l'observation ponctuelle pouvant ne refléter qu'une particularité liée au point de prélèvement et d'intérêt limité. L'emploi simultané des deux techniques permet:

d'étalonner les structures observées par le sondeur de vase d'après les carottes

d'établir la continuité des formations entre deux carottes une fois cet étalonnage réalisé.

En ce qui concerne le carottage, deux types d'appareils ont été utilisés:

carottier Züllig à piston et à mouton actionné à la main fournissant des carottes de 35 mm de diamètre et de 5,5 m de longueur maximum.

carottier Küllenberg permettant de prendre des carottes de 55 mm de diamètre et allant jusqu'à 10 m de longueur.

Trente et une carottes Züllig et vingt huit carottes Küllenberg représentant en tout une longueur de 200 m ont été prélevées.

Nous voyons, d'après les techniques utilisées, que deux types d'information ont pu être obtenus:

des informations dues au sparker et au boomer sur la structure profonde du lac, la disposition et l'épaisseur des moraines et des sédiments

des informations dues au sondeur de vase et au carottage sur la stratigraphie fine des sédiments postglaciaires.

Cela justifie la coupure en deux chapitres distincts de la présentation des résultats qui va suivre.

CHAPITRE II

RÉSULTATS DU SONDAGE SISMIQUE CONTINU

Les résultats obtenus par ces méthodes ont fait l'objet d'une publication détaillée (SERRUYA, LEENHARDT, LOMBARD 1967). Aussi n'en donnerons-nous qu'un bref résumé.

A. Les Principaux Réflecteurs

Quatre réflecteurs principaux ont été reconnus:

1. Horizon M: C'est l'horizon le plus profond qui ait été détecté. Il correspond à la molasse et affleure sous l'eau à Ouchy et à Yvoire où il a été étalonné.

2. Horizon C: dans la grande plaine centrale, la molasse est recouverte d'un horizon de nature inconnue, d'une épaisseur de 100 millisecondes (ms). Il se termine en biseau sur les talus du bassin et n'a pu être étalonné.

3. Horizon G: il se présente en placages sur les flancs du lac. Il ne présente aucune stratification mais de nombreuses diffractions.

4. Remplissage sédimentaire S et réflecteurs intrasédimentaires.

La dépression molassique a été comblée par des sédiments. Le sondage sismique continu montre leur grande épaisseur et leur très nette planéité. Dans cette masse, on distingue des réflecteurs profonds peu nets et incurvés vers les bords et des réflecteurs plus superficiels nombreux et bien marqués.

B. Caractéristiques des Horizons M,G et S

1) Horizon M : (fig. 6)

Dans le Petit-Lac, la molasse dessine une dépression dont le flanc oriental est plus abrupt que le flanc occidental. Au centre de la cuvette, la pente générale de la molasse s'approfondit du Sud vers le Nord; le toit de la molasse se trouve à 200 ms sous la surface de l'eau au large d'Hermance et à 350 ms au NW d'Yvoire.

Dans le Grand-Lac, on constate que le toit de la molasse a la forme d'une « vallée » prenant naissance dans la baie de Sciez et se dirigeant vers l'Est (vallée prélémanique). De plus, tous les profils de la région orientale du Grand Lac montrent

l'enfoncement considérable de la molasse dans cette région: sa profondeur maximale est atteinte au large de Meillerie où elle se situe à 700 millisecondes par rapport au niveau moyen des eaux (environ — 180 m sous le niveau de la mer). Plus à l'Est, elle disparaît sous un recouvrement opaque correspondant probablement aux matériaux détritiques apportés par le Rhône.

Dans la région d'Yvoire et selon une direction Yvoire-Allaman, un axe anticlinal dans la molasse a été reconnu. Cette structure est déprimée en son centre par un col situé à 300 ms: elle constitue la véritable limite entre les deux lacs. Par ailleurs, la molasse forme, le long d'une ligne Evian-Pully, un bombement important qui a dévié vers le Nord la vallée prélémanique.

2) Horizon G

Cet horizon ne forme pas un revêtement continu mais remplit les dépressions du soubassement molassique. Ce placage est beaucoup plus épais sur la rive sud du Grand-lac, où il atteint 200 m, que sur sa rive Nord où il ne dépasse pas 20 m. Dans le Petit-Lac, au centre de la cuvette, les formations morainiques atteignent également près de 200 m. La présence des moraines dans le centre du Grand-Lac est hypothétique: tout dépend de la nature de l'horizon C.

3) Horizon S

Les sédiments récents sont peu abondants près des rivages: dans la région Thonon-Corzent et jusqu'à 20 m de fond, les sédiments tardi-glaciaires affleurent. Dans l'axe de la cuvette, l'épaisseur des sédiments croît d'Ouest en Est: 20 à 40 m dans le Petit-Lac, 50 m dans l'Ouest du Grand-Lac, 100 m au large d'Evian, plus de 200 m au large de Meillerie.

C. Interprétation

1° Le Grand-Lac n'est pas dû au creusement glaciaire mais doit son origine à l'existence d'une grande vallée creusée par l'érosion fluviale. La vallée prélémanique représentait l'axe de drainage principal de l'arc préalpin.

2° Le Petit-Lac n'est pas un affluent de l'Arve: la pente de la molasse est en effet inverse de ce qu'elle devrait être pour justifier cette hypothèse. C'est seulement un synclinal molassique, creusé en plusieurs endroits de dépressions fermées.

3° Un certain nombre de caractères morphologiques peuvent être expliqués à la lumière des observations géophysiques:
le promontoire d'Yvoire est lié à la structure anticlinale reconnue dans cette région.
la forme déprimée de la baie de Sciez représente le cours moyen ou supérieur de la vallée prélémanique.

4° La dorsale Pully-Evian correspond au prolongement sous-lacustre de la limite entre la molasse subalpine et la molasse autochtone.

5° La cote très basse de la molasse dans le Haut-Lac ne peut s'expliquer qu'en admettant une subsidence importante de cette formation sous l'influence de la poussée exercée par le massif allochtone des Préalpes.

La vallée prélémanique peut-elle être reliée au réseau hydrographique existant aujourd'hui ? A quelle époque a-t-elle été creusée ? Ces deux questions ne peuvent recevoir de réponses catégoriques mais seulement faire l'objet d'hypothèses: Une ancienne Arve aurait coulé vers le Nord par la zone déprimée de Saint-Cergue, Machilly, Perrignier et Bonnatrait, puis, continuant à suivre l'arc préalpin aurait creusé la dépression de Planbois et la vallée prélémanique. Lors de la formation du lac, cette pré-Arve aurait déposé d'épaisses assises sableuses sous la forme d'un delta local situé sous la baie d'Excenevex. Plus tard, au cours des invasions glaciaires les glaciers reprendront ce matériel qui sera à l'origine plus ou moins directe des dunes célèbres.

La période où se sont déroulés ces évènements est difficile à établir. Il est cependant logique de penser que le creusement de cette vallée circumalpine est très ancien: fin de l'Oligocène, début du Miocène, époque probable de mise en place des Préalpes. La vallée prélémanique allait sans doute alors rejoindre un ancien Rhône se dirigeant vers la mer du Nord par la dépression de Châtel-Saint-Denis. L'axe anticlinal d'Yvoire était la ligne de séparation entre le bassin de la mer du Nord et celui de la Méditerranée. La subsidence de la zone orientale amena la formation d'un lac, alors restreint à la zone orientale. Peut-être l'émissaire de ce lac a-t-il coulé un certain temps vers l'Est. Mais les mouvements tardifs, contemporains de la phase paroxysmale du Jura et de la surrection des massifs cristallins externes, soulevèrent la zone Jorat-Pélerin. Il arriva que l'anticlinal d'Yvoire se trouva topographiquement plus bas que l'exutoire oriental: le drainage s'établit alors vers l'Ouest. La dépression synclinale du Petit Lac a été submergée beaucoup plus tard lors du retrait des glaciers: si nous admettons qu'une ancienne Arve s'écoulait par la baie de Sciez, lors de la débâcle glaciaire, le cours inférieur de celle-ci fut encombré de moraines. L'Arve, en se frayant un passage vers l'Ouest, construisit un barrage efficace qui entraîna la mise en eau de la zone amont.

CHAPITRE III

RÉSULTATS COMPARÉS DU SONDEUR DE VASE ET DES CAROTTAGES: LA STRATIGRAPHIE DES SÉDIMENTS POSTGLACIAIRES

A. *Les différents faciès superficiels rencontrés dans le lac par le sondeur de vase*

Du point de vue acoustique, six faciès principaux ont été rencontrés dans le lac Léman.

1° *Faciès A*

Le faciès A est un sédiment finement rubané: il apparaît sur l'enregistrement sous forme de couches parallèles alternativement claires et foncées qui correspondent à des variations périodiques de densité. Cette vase rubanée peut reposer ou non sur un réflecteur puissant (moraine ou molasse).

Ce faciès a une grande extension dans le lac: il occupe la partie profonde du Grand-Lac et le centre du Petit-Lac. Mais alors que, dans le Petit-Lac, l'enregistrement en est parfait, il devient plus flou dans le Grand-Lac par suite de la grande épaisseur d'eau que les ondes élastiques de faible énergie du sondeur de vase ont à traverser.

2° *Faciès B*

Le faciès B est un sédiment rubané très semblable au précédent mais il s'en distingue par des renforcements périodiques verticaux de la teinte sur l'enregistrement qui annonce des variations de densité. Ce faciès est très caractéristique du Haut-Lac. La couche B, épaisse d'une dizaine de mètres, repose sur un réflecteur puissant qui pourrait fort bien être du sable. Les variations de densité viennent-elles de tassements différentiels du sable ?

3° *Faciès C :* vases à structures « en pagodes »

Le faciès C est un sédiment rubané dans lequel apparaissent, par renforcement de la teinte, des figures en forme de festons évoquant un toit de pagode. Celles-ci n'interrompent pas forcément la stratification. Elles peuvent atteindre une amplitude de 12 m de hauteur et se répètent tous les 20 m environ.

Dans certaines régions (Ouchy-Saint-Prex par exemple) il arrive que les pagodes affectent la totalité de la couche de vases rubanées. Dans d'autres régions au contraire, par exemple au large d'Evian, il existe une couche à structures en pagodes et, reposant sur celle-ci, une couche de type A à litage normal.

L'analyse minutieuse de la répartition de ces figures montre qu'elles n'apparaissent qu'entre 30 et 160 m de profondeur. On ne les trouve jamais sur des pentes inférieures à 3 % même si les conditions bathymétriques que nous venons d'indiquer sont réalisées. Enfin, il est nécessaire qu'il y ait au moins 3 m de vase pour qu'elles apparaissent.

La répartition spatiale de ce faciès est la suivante: Entre Yvoire et le delta de la Drance, il forme une bande de 2 km de large environ, et repose sur la moraine. On en retrouve une bande étroite le long de la côte à Evian. Les vases qui bordent les côtes du Petit-Lac sont aussi affectées par les « pagodes ». Là encore la moraine est l'horizon sous-jacent.

Dans la baie de Morges-Lausanne, ce faciès occupe une largeur de 2 à 4 km mais là, il repose presque toujours sur la molasse, exceptionnellement sur des moraines ayant rempli les dépressions du relief molassique.

En définitive, les structures en pagodes semblent apparaître dans des vases peu épaisses reposant sur un fond dur représentant une déclivité minimum de 3 %. Signalons enfin que dans quelques cas ces pagodes sont apparues sur les enregistrements boomer.

Après échanges de vue avec E. D. MacKee (U.S.A.) et S. Dzulinsky (Pologne), nous sommes tentés d'interpréter ces structures comme des tassements différentiels, le long d'une pente, dûs à un début de décollement (creep movement). La surface principale sur laquelle s'effectue celui-ci serait le sommet du Dryas, de densité 1,9 environ. Les sédiments qui recouvrent le Dryas ayant une densité plus faible ont la faculté de glisser en se contractant alors que le Dryas compact reste stable. Une des conséquences pratiques de ces observations est la nécessité, sur les bords du Léman, d'ancrer tous les ouvrages dans le Dryas, seule formation solide et sûre.

4° *Faciès D*

Les sables et les galets qui forment ce faciès sont assez denses pour absorber toute l'énergie et on n'observe aucune pénétration. C'est le cas du cône de la Drance et du delta du Rhône.

5° *Faciès E*

De même que le faciès précédent, la moraine ne se laisse pas pénétrer et de plus sa surface est très irrégulière.

6° *Faciès F*

Les placages deltaïques se présentent près de l'embouchure de quelques rivières (Redon, Promenthouse); leur topographie montre un plateau doucement incliné entre 6 et 8 m, puis une brusque rupture de pente amène le talus jusqu'à 15 m de profondeur où il rejoint la pente normale du fond. Sous ce plateau, aucune réflexion

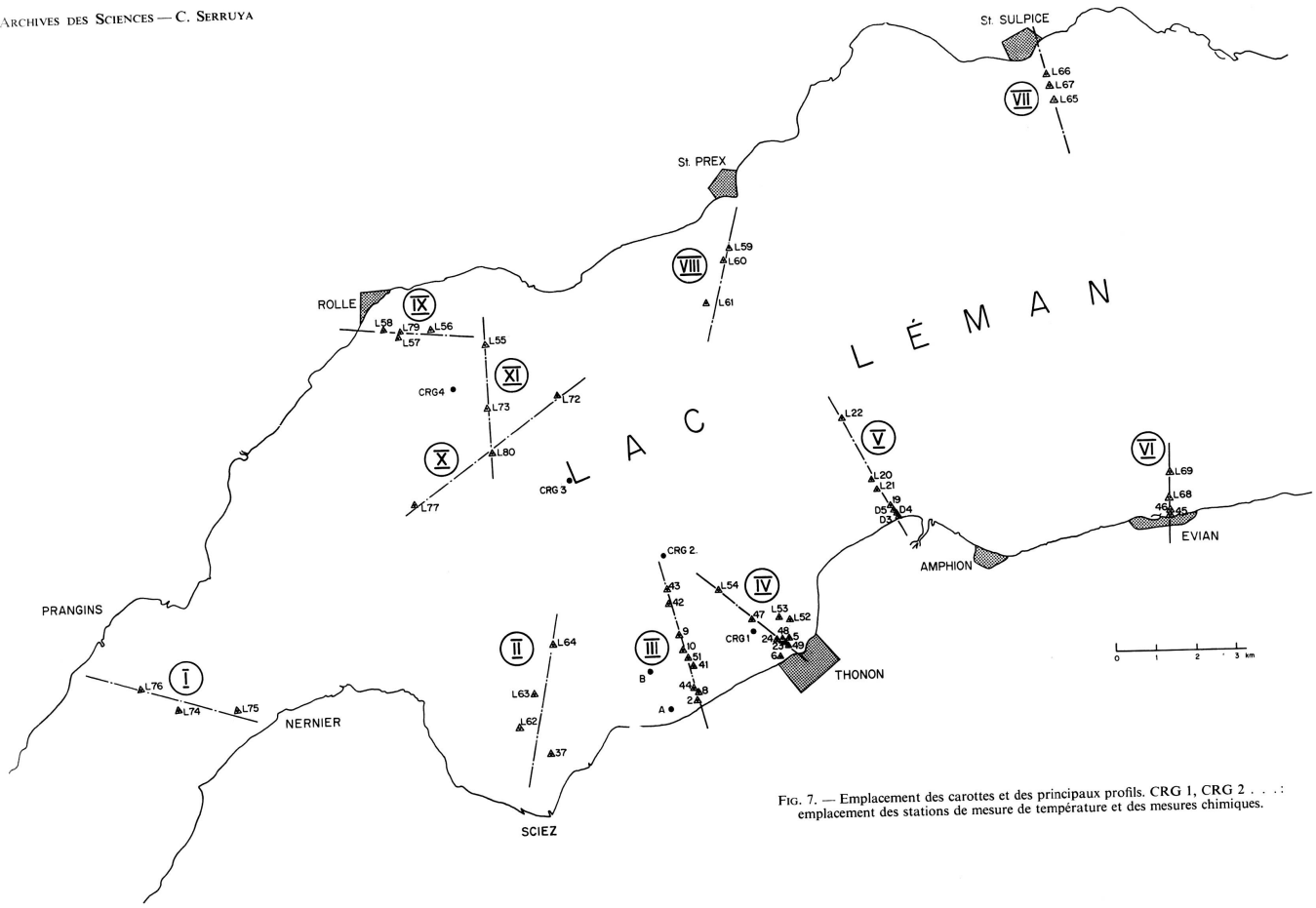

Fig. 7. — Emplacement des carottes et des principaux profils. CRG 1, CRG 2 . . . : emplacement des stations de mesure de température et des mesures chimiques.

n'est enregistrée: en effet, le sable que nous y avons dragué forme écran. Ceci explique que dans certains cas (Promenthouse) des réflecteurs continus en amont et en aval de la rupture de pente sont masqués par les sables.

B. *Les profils de carottages*

La position des 59 carottes que nous allons étudier est portée sur la carte de la figure n° 7. Les figures n° 8 à 17 inclus représentent les dix profils sur lesquels se situent les carottages. Ces profils donnent une idée de la stratigraphie des sédiments quaternaires post-glaciaires ainsi que de l'épaisseur des différents étages.

Une question qui a particulièrement retenu notre attention a été la synthèse des données du sondeur de vase, des carottages et des résultats palynologiques. Autrement dit: étant donné un réflecteur obtenu par le sondeur de vase, à quelle formation sédimentaire se rapporte-t-il et quel est son âge ? C'est une question que se sont posés de nombreux auteurs: J. L. WORZEL le premier en 1959 mit en évidence la correspondance entre certaines réflections d'échosondage et la présence de couches de cendre volcanique, démontrant ainsi la réalité des micro-stratifications enregistrées par les sondeurs de vase. Puis W. B. F. RYAN, F. WORKUM Jr et J. B. HERSEY (1965) montrèrent d'une façon plus générale que les réflections étaient dûes à des variations de la teneur en eau ou de la taille des grains.

De notre côté, nous avons pu, dans plusieurs cas favorables, faire une corrélation très précise entre des réflecteurs du sondeur de vase et certains niveaux des carottes.

La description que nous allons présenter des profils de carottages comprendra donc, outre les résultats sédimentologiques, les corrélations qui ont pu être établies de façon tout à fait sûre avec les résultats du sondeur de vase. Mais auparavant, nous décrirons brièvement les différents types de sédiments que nous avons rencontrés dans les carottes.

1° *Les différents types de sédiments dans les carottes*

Type S_1: vase gris-bleu clair sans traces noires, de densité 1,2 à 1,4; leur teneur en eau est toujours supérieure à 100% et atteint souvent 150%.

Type S_1 bis: vase gris-bleu clair à faible teneur en eau.

Type S_2: vase gris-bleu clair, parsemée de granules de monosulfures de fer noirs ou de striations noires peu marquées.

Type S_3: vase gris-foncé très riche en laminae noires dont l'épaisseur est inférieure ou égale au millimètre. Ces laminae peuvent se répéter à intervalles réguliers ou bien être sériées en groupes séparés par un sédiment de type S_1.

Dans d'autres cas des paquets de laminae peu marquées sont interrompues tous les 10 cm environ par une couche noire plus épaisse. Entre deux laminae noires, le sédiment peut prendre toutes les teintes intermédiaires entre le noir et le blanc. On peut souvent identifier à la loupe 2, 3 ou 4 microstrates plus claires

entre 2 laminae noires, soit par exemple la succession suivante (L 52 — 300 cm):

lamina noire 1 mm — lamina blanche 1 mm — microstrate 5 mm — lamina noire 1 mm.

Il arrive aussi qu'on ait la succession: lamina blanche-couche grise-lamina blanche-couche grise, sans intercalation de lamina noire (L 52 — 303 cm).

Ce type de sédiment doit être observé aussitôt l'ouverture de la carotte: quelques heures après, les laminae noires ont disparu laissant à leur place une trainée de couleur rouille.

Dans un chapitre ultérieur nous examinerons en détail le mode de formation de ces microstrates et leur signification. Nous dirons seulement ici qu'il s'agit de varves d'oxydo-réduction et que les laminae noires sont riches en monosulfures de fer.

Les types S_1 S_2 S_3 sont formés de particules très fines: 98% de celles-ci sont inférieures à 40 microns.

Type S_4: Il s'agit d'un sédiment beige strié de laminae jaune clair, épaisses de 1 à 5 mm. Ce sédiment est plus grossier que les types précédents; la fraction grossière, supérieure à 40 microns peut atteindre 20%. Cependant la taille des éléments de la fraction grossière reste peu importante ceux-ci se rapprochent plus des sablons que des sables. Ce type ne renferme aucune trace noire.

Leur densité est élevée: 1,7 à 1,9.

Type S_5: Ce sédiment est également de couleur très claire, beige ou gris. La matrice est toujours une vase fine plastique mais elle renferme des sables grossiers et même des graviers et des galets qui peuvent atteindre 2 à 3 cm. C'est une formation de densité égale ou supérieure à 1,9 difficile à prélever au carottier en raison des galets.

Type S_6: Dans la zone de l'embouchure du Rhône, les sédiments offrent un faciès particulier reflétant les variations saisonnières du débit solide du fleuve. E. PAREJAS (1929) a fort bien décrit les varves du Haut Lac, c'est-à-dire cette alternance de matériaux fins et de matériaux grossiers. Quelques carottes ont été prises dans le Haut-Lac et nous avons pu constater ce phénomène mais ces carottes n'ont pas fait l'objet d'une étude systématique comme celles du Grand-Lac.

Remarque sur les différents types de varves rencontrées

Nous tenons à signaler ici la nature et le mode de formation différents des dépôts saisonniers du Haut-Lac et du Grand-Lac. Les varves de PAREJAS reflètent directement les variations de la puissance de transport du Rhône qui se traduisent par des variations granulométriques importantes. Au contraire dans le Grand-Lac, nous sommes en dehors des zones d'apport et les varves résultent alors de l'activité biochimique et des conditions d'oxydo-réduction qui règnent dans la zone de dépôt. Elles provien-

nent donc en dernière analyse de l'état plus ou moins eutrophe du milieu celui-ci étant une résultante d'innombrables facteurs tels que la température, la richesse en éléments nutritifs, la forme du bassin, les courants, etc...

Dans le lac Léman on a donc, d'Est en Ouest, un sédiment à varves granulométriques passant à un sédiment à varves biochimiques que nous avons appelées *varves d'oxydo-réduction.* Par conséquent, dans une carotte du Haut-Lac, nous pouvons étudier les variations d'apport du Rhône et indirectement les variations au cours du temps de la température qui régit la fonte des glaciers.

Dans le Grand-Lac, l'étude d'une carotte nous renseignera sur les variations de l'activité biologique, sur l'évolution des conditions chimiques et particulièrement de l'équilibre rédox au cours du temps. Ces conditions étant, comme nous le verrons, très liées à la température, les varves d'oxyo-réduction nous donnent un moyen de vérifier les données déduites des varves granulométriques. A des varves granulométriques épaisses dans le Haut-Lac doivent correspondre des varves d'oxydo-réduction à couches très tranchées et à microstrates d'été très noires. En fait, la question est beaucoup plus compliquée car nous verrons qu'il y a une convergence entre les effets dûs au climat et les effets dûs à la bathymétrie à laquelle se dépose le sédiment. Il faut donc pour donner une interprétation correcte d'un sédiment connaître:

sa distance par rapport aux zones d'alimentation
le climat auquel est soumis le bassin
la bathymétrie du dépot

2° *Les profils : description stratigraphique*

57 des 59 carottages se distribuent sur 11 profils. Les deux autres carottes ont été prélevées en dehors des profils pour vérifier des points particuliers.

Sur ces profils ont été portés:

la coupe lithologique du sondage
la coupe palynologique lorsqu'elle a pu être déterminée
le profil de teneur en eau
le profil du pouvoir réducteur: cette dernière grandeur est mesurée par la méthode d'Ann. C'est en gros la diminution du pouvoir oxydant du bichromate de potassium après qu'il ait oxydé le sédiment considéré.

Profil n° 1. Fig. 8, Petit-Lac.

Le sondeur de vase avait mis en évidence sur le trajet Nernier-Prangins une structure insolite: un réflecteur, se traduisant par une ligne blanche sur l'enregistrement, venait à affleurer dans la partie médiane du profil; de chaque coté en se dirigeant vers les rives, ce réflecteur était recouvert par des sédiments plus récents. Au point de vue acoustique, ces sédiments étaient bien pénétrés et présentaient un fin rubanage. Par contre, la formation située sous le réflecteur « blanc » était opaque.

80 Numéro d'ordre des carottes

PR Pouvoir réducteur

TE Teneur en eau

1 1.80 Mesure de densité du sédiment frais

Vase grise homogène

Varves à laminae noires et grises - vase fine

Niveau sableux

Varves à laminae jaunes et beiges - vase sableuse

Niveau graveleux

Coquilles

Morceau de bois

Granules de sulfure de fer

Echelle palynologique

Actuel

Subatlantique
Subboréal

Atlantique

Boréal

Préboréal

Dryas

Alleröd

Oldest Dryas

FIG. 8 — Légende des profils de carottage.

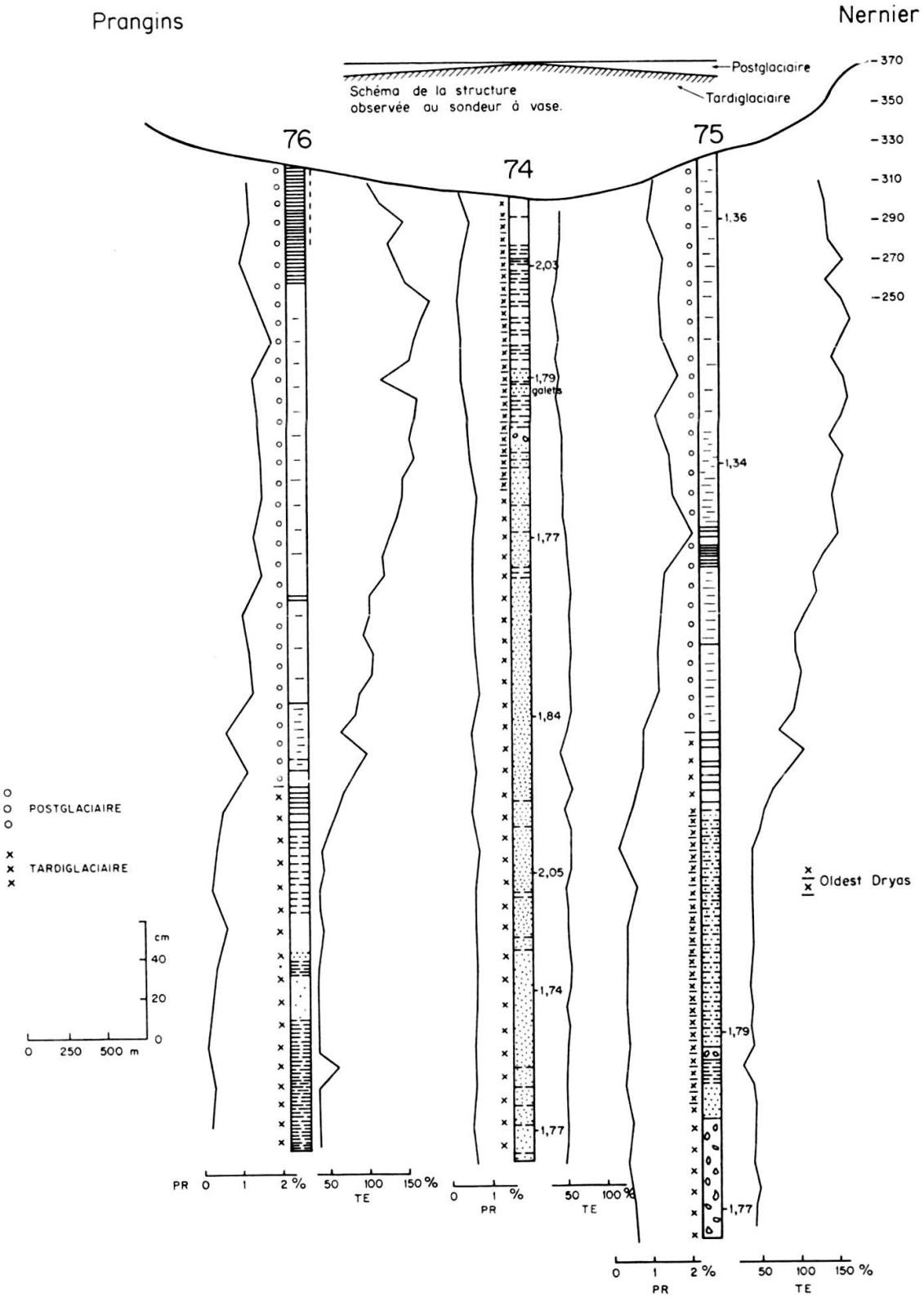

FIG. 8*bis*.. — Profil de carottage n° I.

Les carottages ont eu pour but d'identifier la nature de ce réflecteur et de voir si on pouvait retrouver, par sondage direct, la structure observée au sondeur. La carotte L 74 a été implantée dans la partie centrale du profil, par 84 m de fond, la carotte L 76 à 1 km à l'Ouest-Nord-Ouest de la précédente par 55 m de fond et la carotte L 75 à 1500 m à l'Est-Sud-Est de la L 74 par 60 m de fond. Le profil de la figure 8 montre que la concordance entre les résultats du carottage et ceux du sondeur de vase est parfaite.

CAROTTE L 74. — *Analyse sédimentologique :*

0-97 cm: Type S_5 à varves jaunes et sablons; sa teneur en eau est inférieure à 50% et son pouvoir réducteur inférieur à 0,5%. Sa densité est supérieure à 2.

Au niveau 97 cm une couche de galets a été traversée: deux galets ont pénétré dans le carottier; l'un formé de schiste, l'autre de calcaire noir veiné de blanc.

110-490 » A partir du niveau 110 cm, les varves jaunes se raréfient et jusqu'à la fin de la carotte (490 cm) on reste dans une formation sablo-argileuse, de densité élevée: 1,7 à 2,05. Par endroits, le sable forme des noyaux durs séparés par des lits argileux jaunâtres de 2 à 3 mm d'épaisseur mais cette alternance n'a plus du tout la régularité qu'elle présente entre les niveaux 0 et 100 cm.

Dans la partie terminale du sondage, les quelques couches jaunes argileuses rencontrées sont très fines.

Analyse palynologique :

0-10 cm: Older Dryas à Hippophae dominants.

10-150 » Bölling à Pins dominants.

150-490 » Oldest Dryas à Artémisia dominant suivie de Graminées et de quelques pins. Dans ce dernier niveau la fréquence pollinique est très faible.

Notons que ce niveau appartenant indiscutablement à une période froide contient quelques spécimens d'Abies. Leur très mauvais état de conservation et la présence d'un Pinus haploxylon laissent à penser qu'il s'agit de remaniements.

CAROTTE L 75. — *Analyse sédimentologique :*

0-185 cm: Vase assez homogène, grise, présentant des petits points noirs disséminés.

185-216 » Les points noirs se resserrent et finissent par former des micro-couches.

216-250 » Nouvelle passée de vase grise parsemée de points noirs.

250-330 » Niveau à varves noires-grises comparables au niveau 185-208.

330-455 cm: A 330 cm on entre dans la formation par laquelle débute la L 74 caractérisée par cette alternance de limon sablonneux beige clair et de couches jaune vif.

455-560 » La granulométrie devient franchement grossière avec des galets pouvant atteindre 2 à 3 cm.

Analyse palynologique :

0-8 cm: Subatlantique à Quercus, Juglans et Picea. L'Abies est peu abondant.
30-200 » Subboréal à Abies, Quercus et Corylus.
200-230 » Atlantique à Quercus, Abies et Tilia.
230-280 » Préboréal à Pinus et Betula.
330-340 » Alleröd à Pinus, Betula et Hippophae.
340-350 » Older Dryas à Hippophae et Pinus.
350-490 » Bölling à Pinus, Betula et Hippophae.
490-560 » Oldest Dryas à Artémisia, pin secondaire.

Le Younger Dryas n'a pas été déterminé mais il peut être compris entre les niveaux 280 et 330 où il n'y a pas eu d'échantillonnage.

CAROTTE L 76. — *Analyse sédimentologique :*

La carotte 76 peut être décomposée en cinq parties:

0-60 cm: Vase gris foncé à varves noires très marquées.
60-275 » Vase grise sans varves.
275-308 » Les petits points noirs de monosulfures deviennent de plus en plus abondants.
308-341 » Les varves noires et grises font à nouveau leur apparition.
341-500 » Formation sablonneuse à varves beiges et jaunes, qui se poursuit, avec une fréquence de varves très variable jusqu'à la fin du sondage (500 cm).

Analyse palynologique :

Cette carotte débute dans le Subboréal:

0-150 cm: Subboréal à Abies et Quercus.
150-200 » Atlantique à Quercus, Abies et Tilia.
250-310 » Préboréal à Pinus et Betula.
330-350 » Alleröd à Pinus dominants.
350-370 » Older Dryas à Hippophae Pinus, Abies.
400-500 » Bölling à Pinus et Artemisia.

Nous n'avons pas trouvé le Younger Dryas. Peut-être est-il compris dans l'intervalle entre les échantillons où ont été identifiés le Préboréal et l'Alleröd.

On peut tirer les conclusions suivantes concernant ce profil n° 1:

a) confirmation par carottage des données obtenues par le sondeur de vase.

b) le réflecteur qui remonte à l'affleurement vers le centre du profil est un sédiment de type S_5, sablonneux à varves granulométriques jaunes et beiges de densité toujours supérieure à 1,7 et d'âge Oldest Dryas. C'est le sédiment glacio-lacustre de E. JOUKOWSKY et J. P. BUFFLE (1938).

c) les sédiments plus récents qui recouvrent ce réflecteur vers les côtes sont gris clair ou gris noir. Ils sont beaucoup plus riches en eau et en matières réductrices et contiennent plusieurs niveaux de varves noires d'oxydo-réduction.

d) l'accumulation de sédiments sur les bords du bassin est à mettre en relation avec le substrat molassique de cette région du Petit-Lac. Les sédiments correspondants au réflecteur glacio-lacustre en se déposant ont épousé étroitement la morphologie des dépôts morainiques antérieurs.

Profil n° 2. Fig. 9, Baie de Sciez.

Le profil n° 2 est constitué par quatre carottes et par de nombreux dragages. Vers la côte, les sédiments superficiels sont sableux.

CAROTTE L 37: Longueur 210 cm, profondeur de prélèvement 32 m

Ce sondage renferme une vase grise assez homogène riche en coquilles. A 140 cm et jusqu'à 210 cm, la vase est striée de varves peu marquées. Tout le long de ce sondage, la teneur en eau est très élevée (supérieure à 100%) et le pouvoir réducteur est généralement supérieur à 2%. Il s'agit de vase se déposant au pied de l'algueraie qui couvre la vaste zone peu profonde de la baie de Sciez.

CAROTTES L 62 et L 63

Ces sondages, implantés respectivement à 64 et 89 m, ont des coupes sédimentologiques et stratigraphiques voisines. On distingue en gros trois zones successives:

0 à 230 cm: Vase gris-bleu assez homogène de type S_1 et S_2: les dépôts noirs sont plutôt à l'état ponctuel qu'à celui de couche continue.

230 à 500 cm: Les monosulfures de fer s'ordonnent en couches d'où des varves noires-grises S_3. Il faut noter ici une certaine différence entre les deux carottes: alors que la L 63 présente des varves très marquées à microstrates très noires et serrées, la L 62 a une lamination beaucoup plus lâche, plus irrégulière et qui reste dans les tons gris.

De 500 cm à la fin des carottes (640 cm pour L 63 et 600 cm pour la L 62) on entre dans la formation typique S_5 déjà décrite dans le Profil n° 1 à niveaux sablonneux intercalés de couches à granulométrie plus fine.

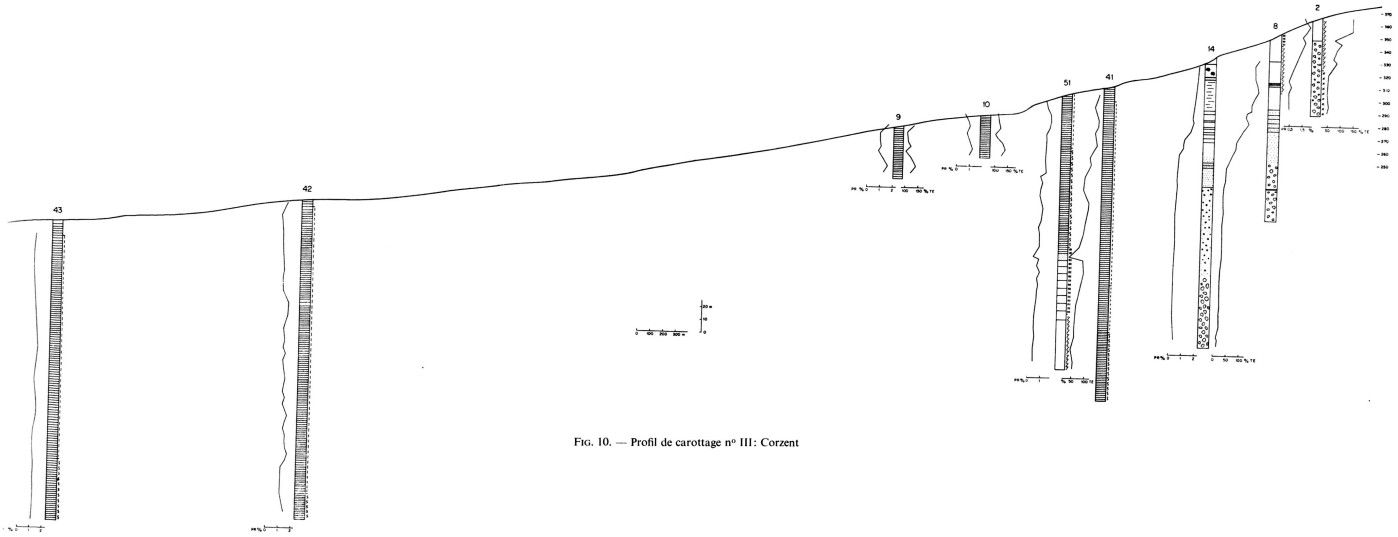

Fig. 10. — Profil de carottage n° III: Corzent

CAROTTE L 64: Longueur 217 cm, profondeur de prélèvement 116 m

La carotte L 64 traverse d'abord une formation S_2 puis à 70 cm entre dans la formation S_3. Les varves d'abord lâches et peu accentuées deviennent serrées et denses à partir de 120 cm jusqu'à 200 cm. De 200 à 217 cm, le sédiment est homogène.

L'analyse palynologique de ces carottes n'a pas été effectuée mais par analogie avec le profil de Corzent (profil n° 3), analogie concernant aussi bien le faciès que la teneur en eau et le pouvoir réducteur, nous avons toutes les raisons de penser que la partie terminale des carottes L 62 et L 63 est dans la formation du Préboréal.

Corrélations des données du carottage et des données du sondeur de vase pour la baie de Sciez

Le sondeur de vase nous donne pour la baie de Sciez la répartition des sédiments suivante:

une couche de sédiments rubanés dont l'épaisseur augmente vers le large,
une zone de sédiments à faciès en pagodes, sous lesquels aucun réflecteur n'est visible.

A l'emplacement de la carotte L 62, la coupe du sondeur de vase est celle figurée sur le profil de la figure 9. La comparaison entre la carotte L 62 et la coupe de la zone où elle a été prélevée, nous permet de montrer l'excellente correspondance entre les résultats des deux techniques. En effet, là où le sondeur de vase indique 5,0 m de vase rubanée la coupe de la carotte montre 490 cm de vase varvée de densité voisine de 1,4. Cette formation varvée repose sur une couche compacte non varvée de densité 1,72 puis viennent les couches sablonneuses denses. D'après le sondeur, ces couches terminales appartiennent à la formation des pagodes. Les structures en pagodes semblent être liées à l'âge préboréal.

Profil n° 3. Fig. 10, la région de Corzent

Ce profil composé de neuf sondages donne une bonne coupe des sédiments superficiels de la côte française.

CAROTTE L 2: 150 cm de longueur, prélevée par 10 m de fond

0-30 cm: Vase grise homogène.

30-150 » Cette partie contient une fraction relativement importante de sable (2,5 à 15% des particules ont une taille supérieure à 40 microns). La teneur en eau souligne les variations granulométriques: de 140% dans la partie supérieure elle descend rapidement à 50%.

Ce sondage recoupe le Préboréal jusqu'à 75 cm. Au delà et jusqu'à la fin de la carotte il est dans le Dryas récent.

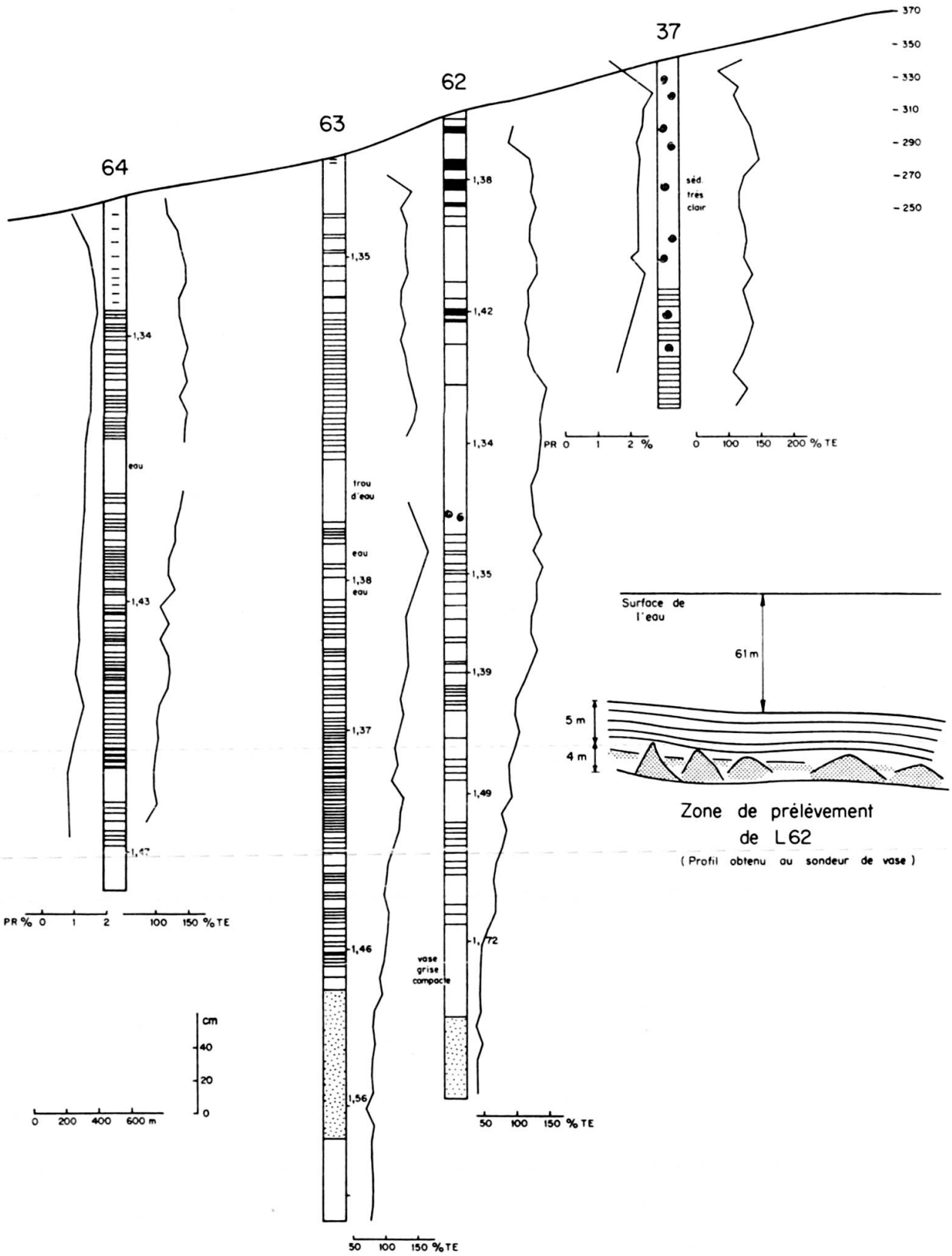

FIG. 9. — Profil de carottage N° II: Baie de Sciez

CAROTTE L 8: 250 cm de longueur, prélevée par 21 m de fond

0-110 cm: Vase gris-clair avec quelques rares passées charbonneuses à l'exception d'un niveau sableux à 40 cm.

110-250 » La fraction sableuse augmente sans cesse et atteint 21% à 250 cm.

La surface du sondage présente l'association floristique caractéristique du Boréal. A partir de 15 cm on se trouve dans le Préboréal et le Dryas est atteint vers 150 cm.

CAROTTE L 44: Longueur 450 cm, profondeur de prélèvement 32 m

0-150 cm: Jusqu'à 150 cm la vase est grise et striée de varves plus ou moins accentuées. Un niveau coquiller a été rencontré dans la partie supérieure du sondage.

La granulométrie reste très fine (2% de particules supérieures à 40 microns).

150-450 » La fraction grossière augmente nettement et à 435 cm 47% des particules sont supérieures à 40 microns.

Le premier niveau est d'âge atlantique. Au dessous un niveau très mince boréal; puis jusqu'à 200 cm la carotte recoupe l'époque préboréale, après quoi on atteint le Dryas.

CAROTTE L 41: Longueur 490 cm, profondeur de prélèvement 66m

CAROTTE L 51: Longueur 440 cm, profondeur de prélèvement 80 m

0-250 cm: Varves noires et grises bien marquées caractérisent ce sondage. A 250 cm, un niveau de sable grossier de quelques centimètres d'épaisseur interrompt cette microstratification; ce sable a 75% de ses éléments supérieurs à 40 microns.

250-350 » Les varves s'espacent et sont moins accentuées.

350-440 » La vase est gris-clair sans trace de varve.

L'analyse pollinique nous donne la stratification suivante:

0 à 84 cm: Subboréal-Subatlantique.

84-240 » Atlantique.

240-354 » Boréal.

354-440 » Préboréal.

CAROTTES L 10 et L 9

Ces deux carottes prélevées respectivement à 91 et 100 m sont très courtes, entièrement varvées; elles appartiennent à la période Subboréal-Subatlantique.

CAROTTE L 42: Longueur 500 cm, profondeur de prélèvement 170 m

Cette carotte, entièrement composée de vase varvée noire et grise à granulométrie très fine, se trouve jusqu'à 460 cm dans le Subboréal-Subatlantique à l'exception du niveau supérieur qui est actuel.

De 460 cm à la fin le sondage recoupe l'Atlantique.

CAROTTE L 43: Longueur 470 cm, profondeur de prélèvement 190 m

Tout comme la L 42, la L 43, entièrement varvée commence dans les sédiments actuels. A partir de 24 cm et jusqu'à 370 cm le sondage traverse le Subboréal-Subatlantique puis, jusqu'à la fin, reste dans l'Atlantique.

Corrélations des données du carottage et des données du sondeur de vase pour la région de Corzent

Ce profil présente deux particularités:

absence de sédiments récents jusqu'à 50 m de fond
épaisseur anormale de la formation Subboréale-Subatlantique dans la carotte L 41.

L'absence de sédiments récents dans les faibles bathymétries, nous avait fait craindre que le carottier ne prélève pas la partie supérieure du sédiment. Aussi avons nous utilisé le préleveur de surface Mortimer-Jenkins.

Cet appareil, véritable intermédiaire entre la bouteille de prélèvement d'eau et le carottier, prélève une colonne comportant 20 cm de vase et 40 cm de l'eau immédiatement sus-jacente. Lorsque l'opération est correctement effectuée l'interface vase-eau n'est même pas troublée. De cette manière, par suite de la continuité de la colonne vase-eau, il est impossible que la partie supérieure du sédiment échappe au prélèvement. Or, les toutes premières couches carottées par ce procédé n'ont fourni aucune association floristique correspondant à l'actuel mais bien une flore caractéristique du Préboréal ou du Boréal.

L'épaisseur importante du Subboréal-Subatlantique de la L 41 nous a engagés à rechercher si les enregistrements du sondeur de vase effectués dans cette région rendaient compte de cette particularité. Or, nous constatons que le Dryas qui forme le réflecteur principal a une surface très irrégulière: à certains endroits, celle-ci est déprimée de plusieurs mètres puis un bombement précède une nouvelle cuvette. Dans ces dépressions, les sédiments plus récents se sont accumulés et c'est dans un de ces creux de la topographie qu'a été implantée la L 41.

La cause des irrégularités de la surface du Dryas est inconnue: tassements différentiels, émersion et érosion ?

Profil n° 4. Fig. 11, région de Thonon

CAROTTES L 6 et L 23

Ces carottes implantées respectivement à 12 et 26 m de fond sont essentiellement formées de vase compacte gris clair et homogène. La carotte L 6 est particulièrement

riche en coquilles. La L 23 contient quelques rares varves et un niveau sableux à la base. Cette dernière carotte débute dans le Préboréal et s'achève dans le Dryas.

CAROTTE L 49: Longueur 340 cm, profondeur de prélèvement 30 m

0-140 cm	Vase homogène, dense, gris clair et riche en coquilles.
150-220 »	Vase varvée mais les stratifications sont peu marquées et assez espacées sauf à 150 cm et de 210 à 220 cm.
220-340 »	Vase claire homogène et dure. La teneur en eau de cette dernière partie est voisine de 50% et son pouvoir réducteur est égal à 0,4%.

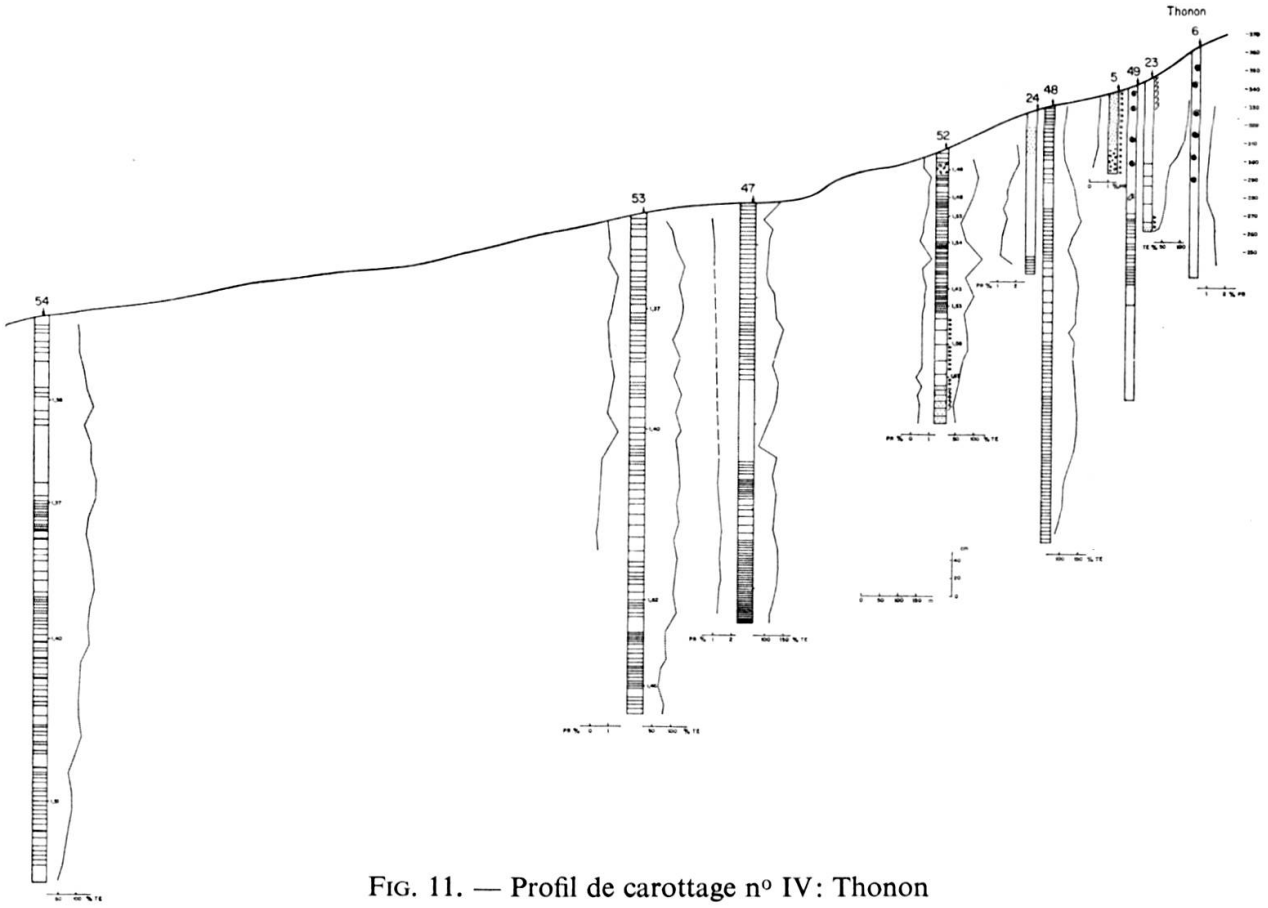

FIG. 11. — Profil de carottage n° IV: Thonon

CAROTTE L 5: Longueur 90 cm, profondeur de prélèvement 32 m

La carotte L 5 débute dans une vase à forte composante sableuse: 10 à 20% de ses éléments sont supérieurs à 40 microns. De 65 cm à la fin, la fraction détritique croît jusqu'à 35% et les éléments en sont beaucoup plus grossiers.

La carotte tout entière se situe dans le Dryas.

CAROTTE L 48: Longueur 490 cm, profondeur de prélèvement 40 m

Tout ce sondage est constitué d'une vase très fine et généralement à varves bien individualisées et à microstrates très noires. Font exception les niveaux 60 à 85 cm

à varves rares et peu distinctes; 85 à 115 cm sans varves du tout et 170 à 260 cm à varves espacées et peu accentuées.

La teneur en eau reste élevée: de 100 à 150%.

CAROTTE L 24: Longueur 180 cm, profondeur de prélèvement 42 m

Cette carotte, à part un niveau sableux à 40 cm, est formée d'une vase très fine. Sa teneur en eau voisine de 150% vers le sommet s'abaisse à 73% à la base. De même le pouvoir réducteur supérieur à 2% à 40 cm décroît jusqu'à 1,17% à 160 cm.

CAROTTE L 52: Longueur 300 cm, profondeur de prélèvement 75 m

0-185 cm: Varves peu distinctes au sommet mais très caractéristiques au-dessous. De plus, de 20 à 35 cm, nombreux petits amas charbonneux.

185-260 » Les varves s'espacent et deviennent moins marquées, la densité augmente: on entre probablement là dans le Boréal.

260-300 » Le sédiment est gris clair, encore légèrement varvé et a tendance à devenir un peu plus sableux.

CAROTTE L 47: Longueur 460 cm, profondeur de prélèvement 90 m

Cette carotte est presqu'entièrement varvée à l'exception de la zone entre 190 et 280 cm. La teneur en eau oscille autour de 100% et le pouvoir réducteur est voisin de 1%.

CAROTTE L 53: Longueur 540 cm, profondeur de prélèvement 100 m

Comme la carotte précédente, la L 53 est presque entièrement varvée. Les varves sont peu accentuées jusqu'à 410 cm mais de 410 cm à la fin elles sont fines, denses et à microstrates très noires. La teneur en eau oscille entre 100 et 125%. A la base, elle descend à 75%.

CAROTTE L 54: Longueur 622 cm, profondeur de prélèvement 162 m

0-120 cm: Varves lâches et peu marquées.

120-180 » Vase grise homogène, sans varves.

180-610 » Vase varvée caractéristique. Le niveau 247 cm se distingue par une couche noire oblique, placée entre deux autres couches noires horizontales. A partir de 500 cm les varves diminuent d'intensité.

610-622 » Vase compacte.

La teneur en eau oscille entre 100 et 150%. A la base de la carotte, elle descend à 50%.

Profil n° 6. Fig. 12, région d'Evian

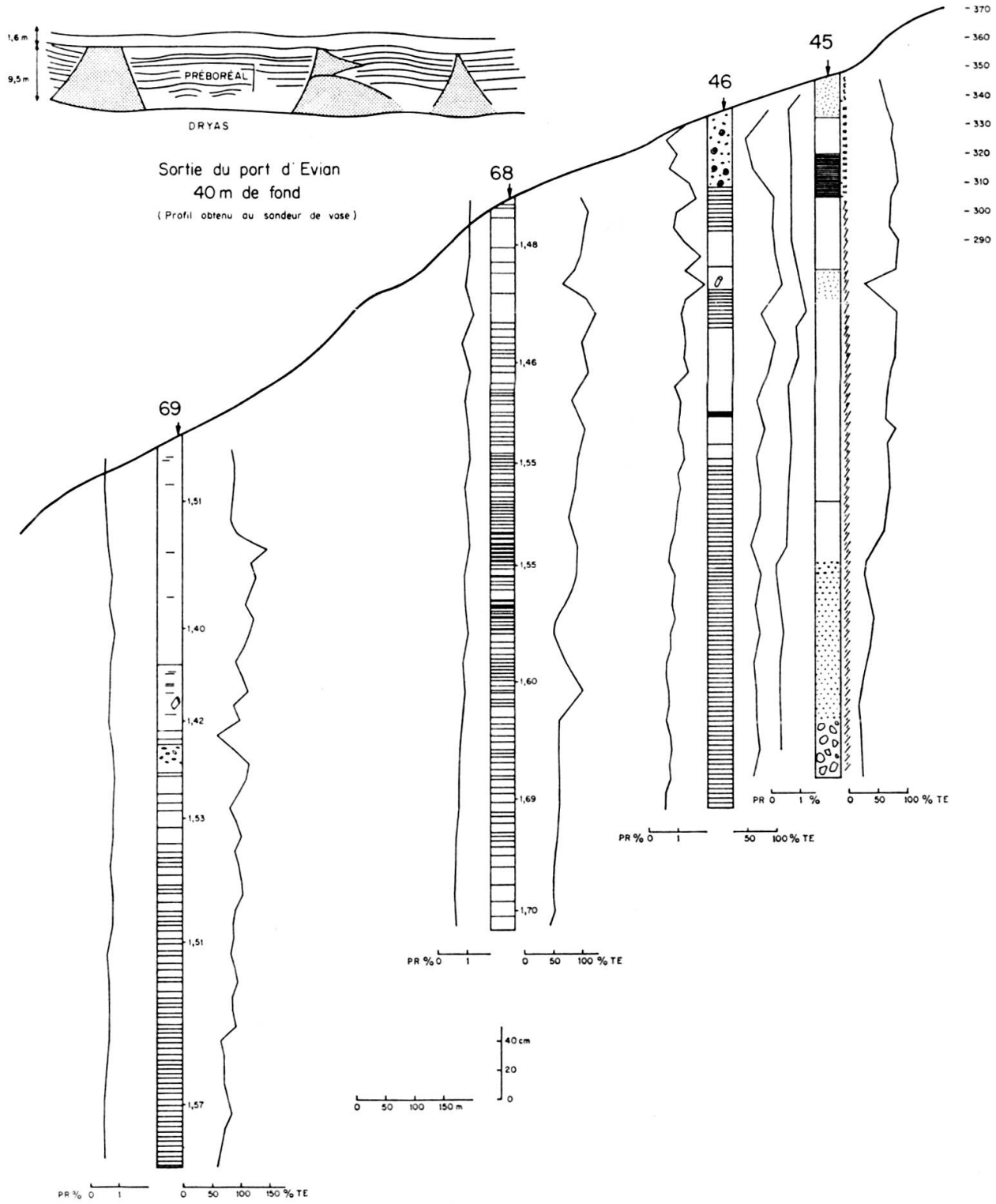

FIG. 12. — Profil de carottage n° VI: Evian.

CAROTTE L 45: Longueur 480 cm, profondeur de prélèvement 25 m

0-330 cm: Vase compacte gris clair et homogène. Des niveaux sableux importants en interrompent la monotonie spécialement de 0 à 30 cm et de 130 à 150 cm. De 50 à 80 cm notons une passée plus charbonneuse.

330-440 » Le sédiment devient de plus en plus sableux.

440-480 » Il contient des galets anguleux de plusieurs centimètres.

Les 15 premiers centimètres indiquent le début de l'Atlantique, le Boréal est représenté par 60 cm seulement puis au delà, de 80 cm jusqu'à la fin, le sondage reste dans le Préboréal.

La particularité qu'offre cette carotte réside dans l'épaisseur importante du Préboréal si nous la comparons avec celle trouvée dans la baie de Sciez par exemple. Or, si nous regardons la coupe du sondeur de vase devant Evian, nous voyons en effet que le Préboréal, que nous avons identifié à la formation des pagodes, a ici près de 10 m d'épaisseur. Là encore nous constatons l'excellente concordance entre les données des deux méthodes.

CAROTTE L 46: Longueur 480 cm, profondeur de prélèvement 37 m

0-50 cm: Sable coquiller.

50-230 » Alternance de zones varvées avec des zones de vase grise homogène. A 120 cm un morceau de bois fossile a été récupéré et à 210 cm une passée très charbonneuse tranche nettement.

230-480 » Vase entièrement varvée.

La teneur en eau, de 100% dans la partie supérieure, est voisine de 50% à la base.

Cette carotte débute dans le Subboréal.

CAROTTE L 68: Longueur 500 cm, profondeur de prélèvement 67 m

Cette carotte à varves lâches jusqu'à 120 cm présente ensuite jusqu'à 400 cm un magnifique exemple de séries de varves très bien individualisées. De 400 cm à la fin les varves s'estompent en atteignant le Boréal ce qui est confirmé par l'augmentation importante de la densité (1,7).

CAROTTE L 69: Longueur 500 cm, profondeur de prélèvement 150 m

0-240 cm: Varves rares au sommet, abondantes ensuite. Par endroits, les monosulfures forment des grains, à d'autres ils forment vraiment de petites couches. Au niveau 173 cm un morceau de bois a été trouvé.

240-500 » La carotte est entièrement varvée. Sa teneur en eau reste élevée et la densité ne dépasse pas 1,57.

Profil n° 7. Région de Saint-Sulpice, fig. 13

Les trois carottes de ce profil L 66, L 67 et L 65 prélevées respectivement à 70, 110 et 154 m, sont toutes trois formées de vase varvée. La L 66 et la L 67, plus

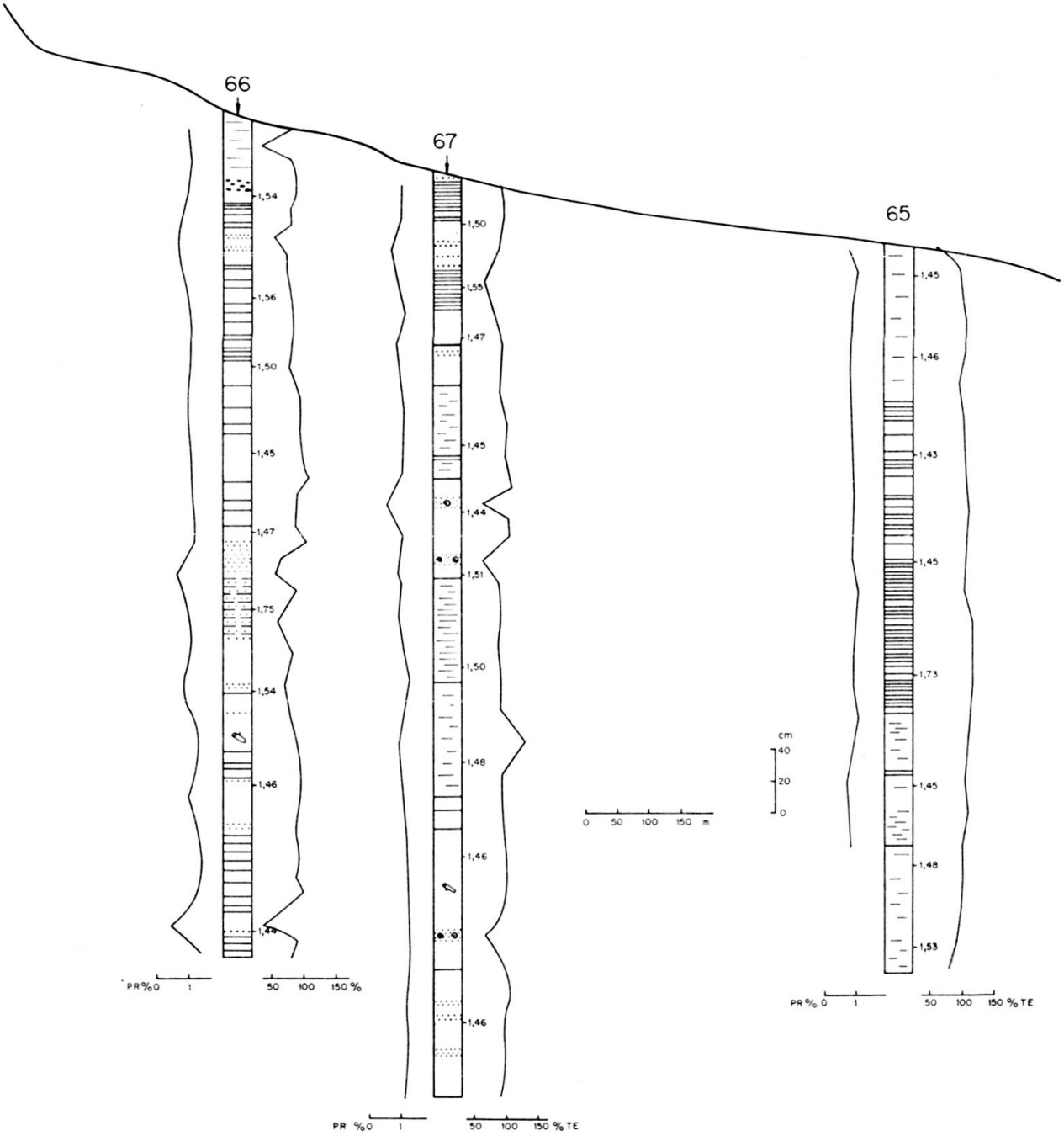

FIG. 13. — Profil de carottage n° VII: St. Sulpice

côtières, ont des varves généralement peu marquées, intercalées de nombreux niveaux sableux et coquillers. Des fragments de bois ont été récupérés et celui de la L 66, niveau 395 cm, était suffisamment important pour faire l'objet d'une datation par le C^{14}.

La teneur en eau de la L 67 oscille autour de 100% et celle de la L 66 plus sableuse est voisine de 75%.

La L 65 présente des varves beaucoup plus nettes sauf à ses deux extrémités. Sa teneur en eau assez uniforme est voisine de 110%.

Profil n° 8. Région de Saint-Prex, fig. 14

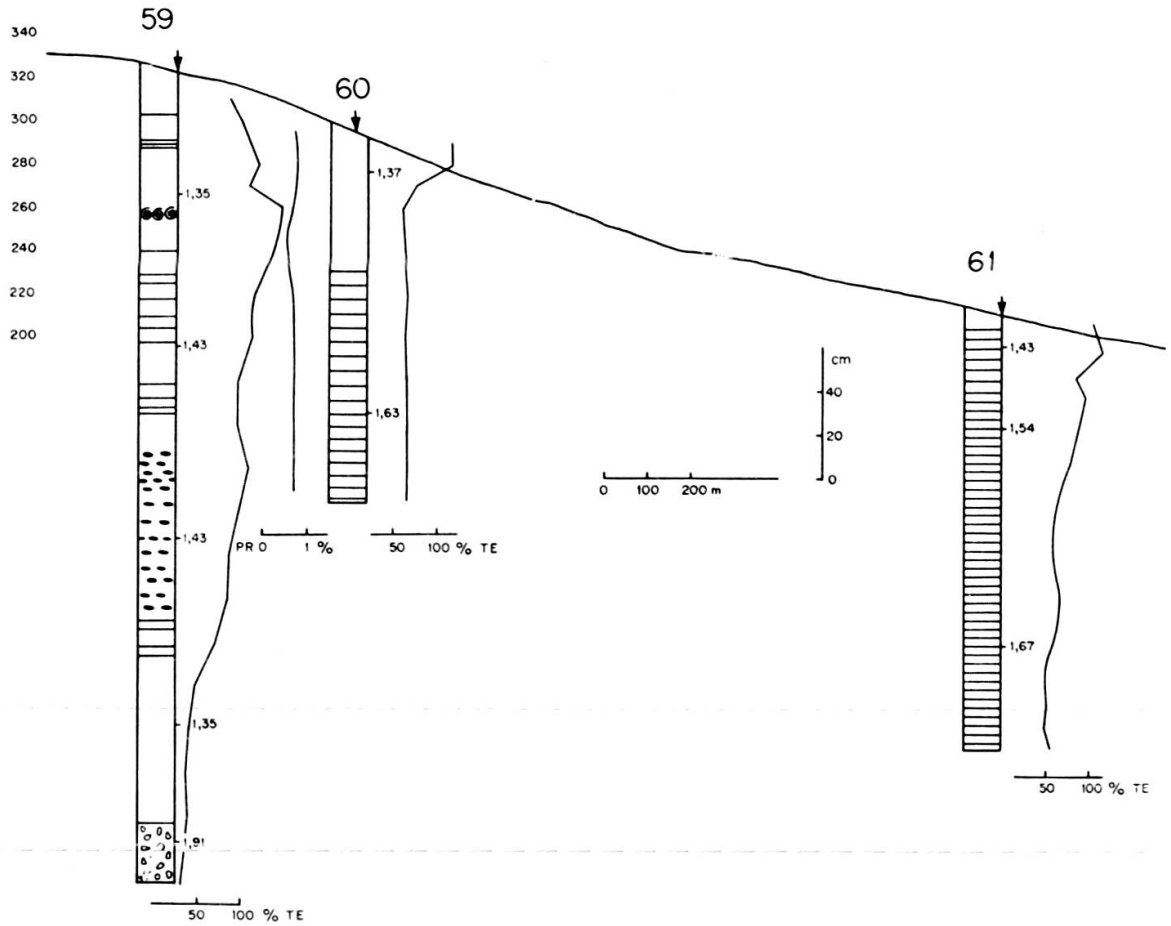

FIG. 14. — Profil de carottage n° VIII: St. Prex

CAROTTE L 59: Longueur 380 cm, profondeur de prélèvement 50 m

0-160	cm	varves peu marquées.
160-270	»	Granules noirs dispersés dans la vase.
270-350	»	Vase gris clair et dure.
350-380	»	La vase contient de nombreux graviers.

CAROTTE L 60: Longueur 175 cm, profondeur de prélèvement 78 m

La vase, au sommet de ce sondage, est presque liquide puis elle devient très compacte à partir de 25 cm. Vers 70 cm et jusqu'à la base, cette vase dure est striée de zones noirâtres mal délimitées.

A l'exception de la partie supérieure, la teneur en eau est voisine de 50%.

CAROTTE L 61: Longueur 200 cm, profondeur de prélèvement 160 m

Cette carotte légèrement varvée au sommet est homogène et plus compacte ensuite. Sa teneur en eau décroît de 125 à 50%.

Profil n° 9. Région de Rolle, fig. 15

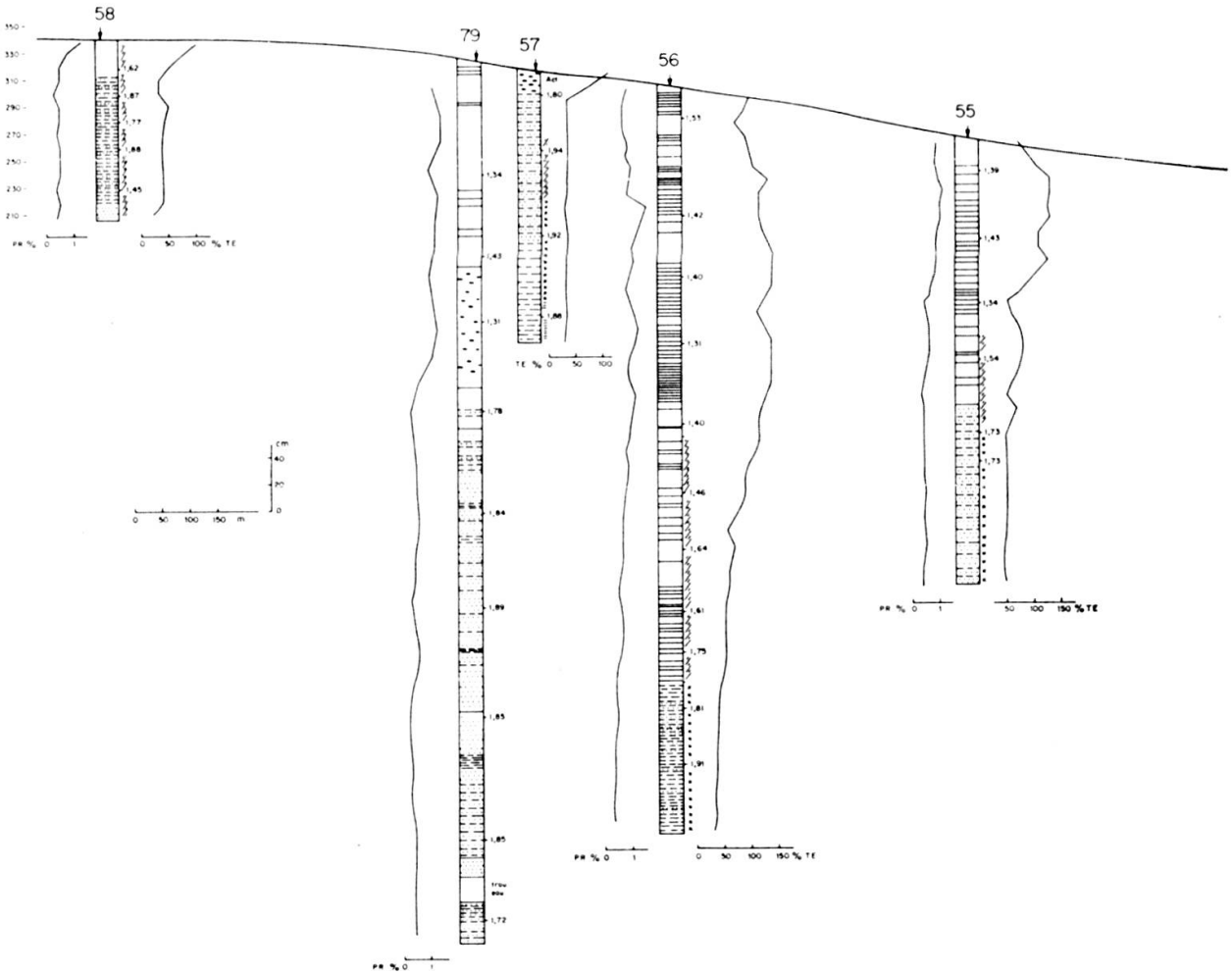

FIG. 15. — Profil de carottage n° IX: Rolle

CAROTTE L 58: Longueur 130 cm, profondeur de prélèvement 32 m

Après quelques niveaux faiblement varvés au sommet, cette carotte traverse une formation gris clair ou beige, homogène, à passées sableuses fréquentes, d'un millimètre d'épaisseur. La base est composée de sable franc.

Toute cette carotte se situe dans le Préboréal.

CAROTTE L 79: Longueur 650 cm, profondeur de prélèvement 49 m

0-15 cm: Vase grise à passées noires.
15-80 » Vase gris clair.

80-120 cm; Zone plus foncée avec quelques varves.
120-230 » Sédiment gris foncé sans varves définies mais avec de nombreux granules noirs.
230-650 » Vase sablo-argileuse micro-stratifiée à petits lits de sablons compris entre des lits argileux. La fréquence de ces laminae est très variable. En général, l'épaisseur des niveaux sableux a tendance à augmenter vers le bas.

La teneur en eau de cette carotte ne dépasse pas 50% et descend même à 35% à la base. La densité est élevée: 1,85.

CAROTTE L 57: Longueur 200 cm, profondeur de prélèvement 56 m

0-20 cm: Vase à granules noirs dispersés dans une vase grise.
20-200 » Formation sablo-argileuse déjà décrite dans la carotte L 79.

Le sommet de cette carotte représente un sédiment actuel. Jusqu'à 100 cm le sondage recoupe le Préboréal puis au delà entre dans le Younger Dryas. A 170 cm la flore indique un réchauffement pouvant correspondre à l'interstade d'Alleröd.

CAROTTE L 56: Longueur 550 cm, profondeur de prélèvement 68 m

Trois parties sont à distinguer dans cette carotte:

0 à 240 cm: Vase varvée caractéristique.
240 à 440 » Les varves s'espacent et sont moins noires.
440 à la fin: Formation sablo-argileuse beige clair identique aux carottes précédentes.

La deuxième partie de cette carotte traverse le Préboréal, la dernière recoupe le Dryas.

CAROTTE L 55: Longueur 330 cm, profondeur de prélèvement 104 m

Une formation à varves lâches du Préboréal est suivie du Dryas sablo-argileux.

Profil n° 10. Profil Nord-Sud situé à l'Est de Rolle, fig. 16.

CAROTTE L 55: décrite dans le profil précédent.

CAROTTE L 73: Longueur 700 cm, profondeur de prélèvement 134 m

La première partie de cette carotte est abondamment varvée à l'exception des niveaux 138 à 200 cm sablonneux. Au delà de 400 cm on entre dans la formation argilo-sablonneuse qui constitue la base des carottes du profil précédent et qui est ici aussi de l'époque du Dryas.

CAROTTE L 80: Longueur 695 cm, profondeur de prélèvement 146 m

0-300 cm: Zone peu varvée et même pas du tout.
300-500 » Certains niveaux à formation plus varvée.

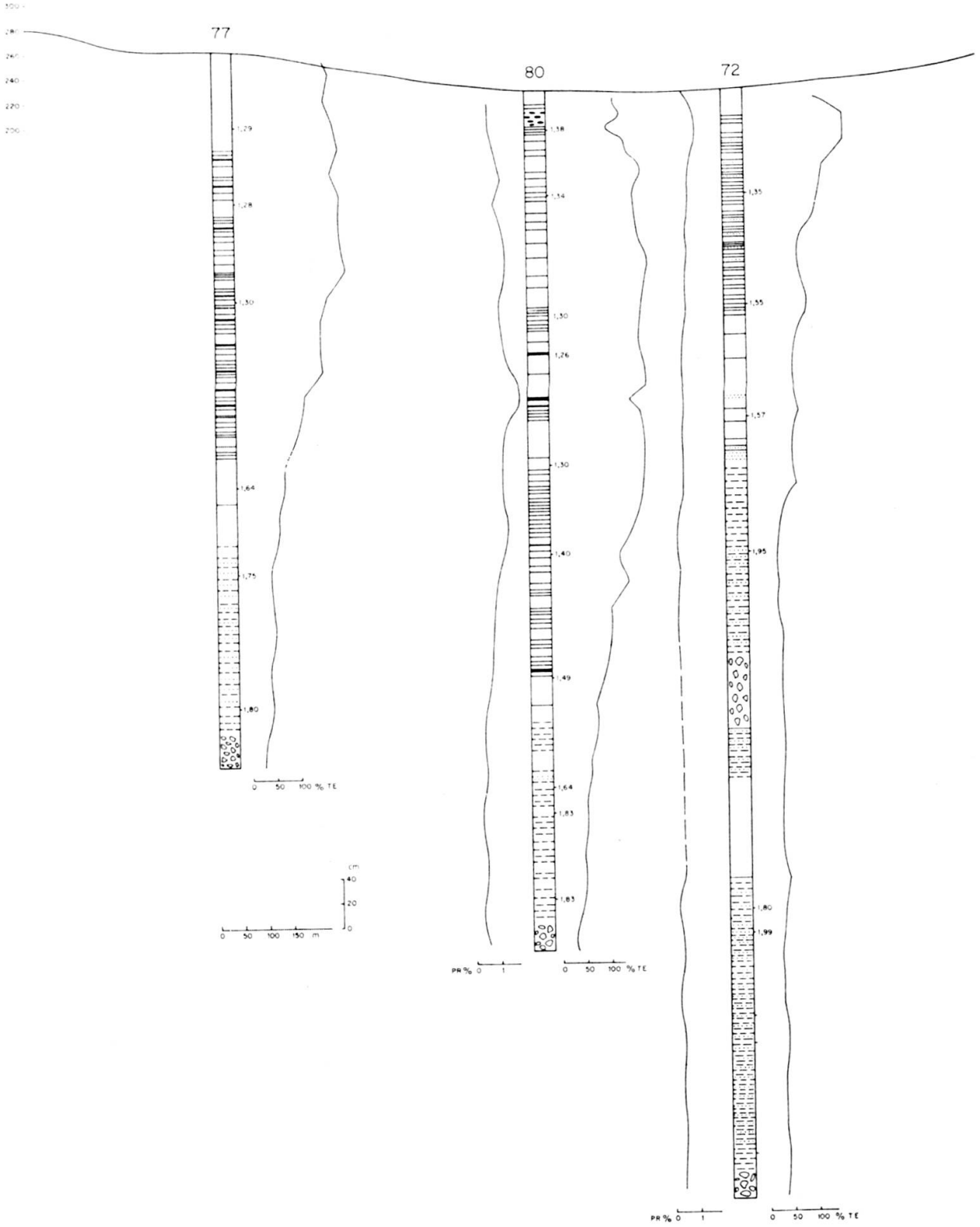

FIG. 16. — Profil de carottage n° X.

500-600 cm; Vase grise sans varves.
600-695 » C'est le Dryas sablo-argileux. La base de la carotte contient plusieurs gros galets.

Profil n° 11. Au large de Rolle, orienté Nord-Est — Sud-Ouest, fig. 17

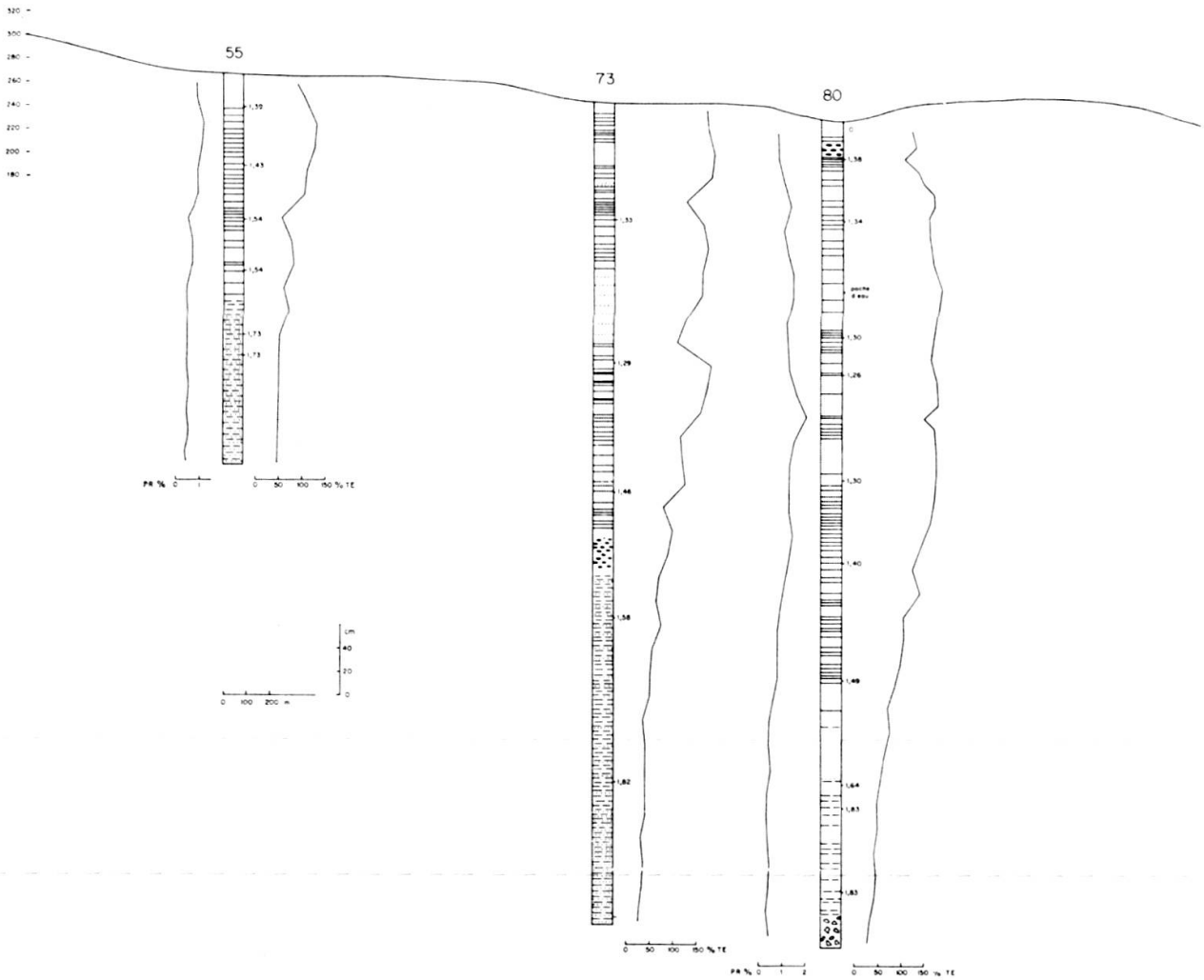

FIG. 17. — Profil de carottage n° XI

La carotte L 80 qui forme le centre de ce profil a déjà été décrite dans le profil précédent. La L 77 a une coupe tout à fait comparable.

CAROTTE L 72: Longueur 900 cm, profondeur de prélèvement 156 m

0-190 cm: Varves et microstrates très noires intercalées de niveaux sablonneux fréquents.
190-300 » Vase homogène sans varve.
300-900 » Formation sablo-argileuse beige et jaune.

A 460 cm d'une part, à 880 cm de l'autre, des galets de schistes micacés ont été récoltés.

CONCLUSIONS

Les périodes climatiques et les lithofaciès

DRYAS

Oldest Dryas : Ce niveau, atteint dans le sondage L 74, correspond à une période encore très froide et sèche. Les espèces silvatiques sont rares. Artémisia domine, le Pin est secondaire. Quelques graminées complètent le spectre végétal. La fréquence pollinique est très faible.

Les dépôts sédimentaires correspondant à cette période sont formés de lits de sable épais séparés par des niveaux argileux jaune clair très minces.

Bölling : Ce niveau correspond à un réchauffement notable qui amène la dominance du Pin. Les Artémisia et les graminées deviennent secondaires. La fréquence pollinique est plus élevée qu'à la période précédente.

Les dépôts ressemblent à ceux de l'Oldest Dryas, cependant les intercalations argileuses jaune clair sont plus épaisses. Ces dépôts dépassent 1 m d'épaisseur dans le Petit-Lac.

Older Dryas : Une nouvelle offensive du froid, moins sévère et plus courte que celle de l'Oldest Dryas entraîne le développement prépondérant d'Hippophae; le Pin est alors secondaire ainsi que le Bouleau. Ce niveau ne représente que 20 à 30 cm dans le Petit-Lac. Nous l'avons trouvé beaucoup plus épais, 1 m environ au large de Thonon.

Le sédiment est toujours sablo-argileux et de couleur claire.

Alleröd : Les glaciers reculent à nouveau et le Pin et le Bouleau se développent suivis d'Hippophae et d'Artémisia.

Younger Dryas : Une dernière période froide, très courte, amène la montée du Bouleau aux dépens du Pin.

Les sondages ne sont pas assez nombreux pour que l'on puisse dessiner sur une carte le toit du Dryas. Cependant, les carottes dans lesquelles il a pu être atteint sont toutes situées à l'Ouest d'une ligne Amphion-Morges. Le Dryas est donc recouvert par des sédiments moins épais dans la région occidentale du lac que dans la zone orientale. A Evian, même la L 45 pourtant très côtière, 25 m de fond, n'atteint pas le Dryas.

La tendance à l'enfoncement de la zone orientale, qui s'accompagne d'une accumulation sédimentaire, se poursuit donc dans le Quaternaire tout à fait récent : le Préboréal ne dépassant pas 4 m par 61 m de fond en baie de Sciez atteint presque 10 m d'épaisseur par 25 m de fond à Evian, alors que la pente est ici beaucoup plus importante que là.

Préboréal

Au Préboréal le climat s'adoucit un peu et le pin se développe aux dépens du bouleau.

Le sédiment préboréal est une vase gris-clair sans varve ou avec des varves très peu marquées (type S_1 bis). Sa densité est généralement assez élevée (1,80 environ) et sa base peut être sableuse.

C'est à cette formation que nous avons été amenés à rattacher les couches à structures en pagodes trouvées au sondeur de vase. Ces pagodes sont liées à des augmentations locales de la densité mais, par suite de la difficulté de savoir si un sédiment préboréal a été prélevé dans une structure en pagode ou entre deux de celles-ci, il est pour le moment impossible de dire si cette augmentation de densité correspond à un tassement local plus important de la vase ou bien à une granulométrie différente. Nous avons vu que son épaisseur peut varier beaucoup et atteindre 10 m.

Boréal

Le réchauffement s'accentue, il tombe encore beaucoup de neige en hiver, mais les moyennes thermiques annuelles sont assez clémentes pour que se développent l'orme et le coudrier au milieu des pins toujours dominants.

La différence lithologique essentielle avec le sédiment préboréal est la présence de varves espacées (L 51) et même parfois de passées plus noirâtres. Il correspond au sédiment que nous avons décrit comme S_2.

Le Boréal n'est pas très épais, il représente environ 1 mètre.

Atlantique

Le climat chaud et humide de cette période qui s'étend sur le Ve et la IVe millénaire A.C., lui a valu le nom d'Optimum climatique. Les Ormes, Chênes, Tilleuls et Coudriers gagnent du terrain.

La lithologie reflète fidèlement cet adoucissement climatique: les varves sont très serrées, très noires, la teneur en eau est élevée. C'est le sédiment de type S_3.

L'épaisseur de cette formation est de l'ordre de 2 m.

Subboréal — Subatlantique-actuel

A la fin de l'Atlantique arrivent sur les bords du Léman des hommes qui savent cultiver les céréales et élever le bétail et qui construisent des villages sur pilotis. Sans prendre parti dans la querelle du caractère palustre ou lacustre des habitations il faut noter que celles-ci ont occupé les rives des grands lacs suisses pendant le Néolithique et l'Age du Bronze à la fin duquel elles ont disparu brusquement.

Les sédiments qui se déposent pendant cette période dans la partie occidentale du Grand Lac sont très fins: les varves d'oxydo-réduction sont encore nettes. Cependant, les microcouches noires sont moins fréquentes et moins foncées que pendant la période atlantique.

L'épaisseur de ces dépôts, Subboréal-Subatlantique actuel, est de 3 à 4 m.

Les épaisseurs qui ont été mentionnées précédemment concernent surtout les sédiments de la région occidentale du Grand-Lac. Nous voyons que la série post-Dryas a une épaisseur de 10 à 15 m.

CHAPITRE IV

CARACTÉRISTIQUES DE LA SÉDIMENTATION POSTGLACIAIRE

A. *Le Carbonate de Calcium des Sédiments*

Cette question ayant déjà fait l'objet d'une publication (SERRUYA et VERGNAUD-GRAZZINI 1967), nous n'en donnerons ici qu'un résumé.

1° Les teneurs en CO^3Ca

Elles ont été déterminées au calcimètre Bernard amélioré. Plus de 500 mesures ont été effectuées.

Pour essayer d'interpréter ces mesures, nous avons déterminé dans chaque courbe, des tranches correspondant à des valeurs homogènes puis nous avons réparti les tranches ainsi obtenues d'après le faciès lithologique du sédiment. Plusieurs observations intéressantes peuvent en être déduites:

a) Les valeurs mesurées sont en général beaucoup plus faibles que celles rapportées par E. JOUKOWSKY et J. P. BUFFLE (1938) dans les sédiments du Petit-Lac. La différence est surtout sensible pour les sédiments récents. Alors que dans les sédiments du Petit-Lac la craie lacustre peut contenir 70% de CO^3Ca, dans le Grand-Lac la valeur moyenne est de 30%. La différence des méthodes employées ne rend pas compte de tels écarts. Les valeurs du Petit-Lac sont par contre très voisines de celles qui ont été mesurées dans les sédiments récents du Lac de Nantua.

b) Les teneurs en carbonate de calcium sont en général plus élevées dans les sédiments à varves nombreuses que dans les sédiments peu varvés. On peut trouver dans les sédiments de la première catégorie des microstrates entièrement blanches, particulièrement riches en calcaire. A Nantua ces varves blanches arrivent à contenir 90% de carbonate de calcium.

c) Les sédiments des grandes profondeurs sont généralement moins riches en calcaire même s'ils appartiennent au type varvé: il y a probablement un phénomène de redissolution.

d) Les sédiments détritiques du Dryas ont des teneurs en carbonates assez importantes.

2° *L'origine du CO^3Ca des sédiments*

Quelle est l'origine du carbonate de calcium que nous rencontrons dans ces sédiments? Chimique, détritique? Cette origine a-t-elle varié au cours de la période post-glaciaire?

Nous nous sommes adressés à deux techniques qui, en nous informant sur la structure même du réseau cristallin et sur la composition des atomes du carbonate, nous font toucher de plus près la dynamique même du dépôt.

3° *Les informations données par la thermoluminescence*

Plusieurs échantillons provenant de la carotte L 2 ont été soumis au Laboratoire de Géologie Nucléaire de Pise pour mesure de la thermoluminescence. Les courbes enregistrées présentaient le pic 300° C de la calcite et l'intensité de celui-ci croissait avec la profondeur des niveaux.

Quelles sont les causes possibles de ce phénomène dans les sédiments lémaniques?

a) Les défauts de réseau : Ils sont provoqués soit par des pressions mécaniques exercées sur le réseau cristallin soit par des substitutions d'ions à l'intérieur de celui-ci. On put établir, au laboratoire de spectrométrie par résonance paramagnétique électronique de l'Institut Battelle de Genève, que dans le réseau de la calcite des sédiments tardiglaciaires, se produisaient des substitutions de l'ion Ca^{++} par l'ion Mn^{++}. Or le rôle d'activateur du Mn dans la luminescence de la calcite est connu depuis longtemps. (PRINGSHEIM 1928, MEDLIN 1959).

b) La radioactivité naturelle des sédiments : P. OLIVE, du Laboratoire de Géologie Dynamique de Paris a bien voulu doser, par spectrométrie gamma, le Potassium et le Thorium des sédiments des carottes L 7, L 41 et L 43. Le principe de la mesure ainsi que les détails de l'appareillage ont déjà été décrits (CHEMINEE et NORDMANN 1963).

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau n° III. La teneur en K est voisine de 2% et celle du Th est comprise entre 4 et 6,5 ppm. Ces valeurs sont nettement dépassées à certains niveaux soulignés sur le tableau. Les maxima de la L 7 correspondent à un sédiment d'âge boréal; le maximum de la L 43 est situé à la limite Atlantique-Subboréal. C'est aussi à un sédiment du début du Subboréal qu'est rattaché le maximum de Th de la L 41.

Bien que la radioactivité due à ces éléments ne soit pas négligeable, il est peu probable qu'elle puisse modifier le réseau cristallin de la calcite. Il faudrait pour cela

TABLEAU III

Teneur en K et en Th des sédiments

Carotte L 43			Carotte L 7		
Niveaux cm	K %	Th ppm	Niveaux cm	K %	Th ppm
20-25	2,1		0-25	1,9	6,1
25-50	2,1		*25-45*	*4,7*	*11,4*
51-75	1,6		45-65	2,2	4,0
201-225	2,2	4,0	*65-85*	*4,0*	*11,7*
226-250	2,0	5,5	85-105	1,9	4,4
251-275	1,9	6,0	105-125	2,0	5,1
276-300	1,7	6,4	125-145	2,2	6,7
301-325	1,8	3,8	145-165	2,0	7,9
326-350	1,9	5,3	165-185	2,0	6,0
351-375	*3,7*	*18,0*			
375-400	2,0	9,3			
400-425	1,8	6,2			
426-450	1,8	6,3			
451-470	1,6	6,3			
470-480	1,6				

Les valeurs *en italique* correspondent aux valeurs maxima.
Le K a été dosé à + ou — 20 % et le thorium à + ou — 20 ppm.

que les atomes radioactifs soient situés dans la calcite même (ZELLER 1954). Or dans les sédiments lémaniques, ceux-ci sont plutôt associés à la fraction détritique non calcaire.

c) Héritage : Les calcaires alpins ou chablaisiens présentent tous des pics importants de thermoluminescence. Les fragments de ces roches, contenus dans les sédiments, présenteront naturellement une thermoluminescence héritée.

Etude des courbes enregistrées

Au cours d'un stage au Laboratoire de géologie nucléaire de Pise, nous avons pu enregistrer 56 courbes sur 6 carottes différentes qui couvrent toute l'époque tardi-et post-glaciaire. La L 44 qui débute dans l'Atlantique et s'achève dans le Dryas, donne une bonne idée de l'évolution des carbonates dans le temps. Si, tout le long de la carotte, la calcimétrie totale ne varie guère, le pourcentage du calcaire fin diminue avec la profondeur alors que le calcaire grossier ne cesse de croître. Les sédiments de la L 44, comme d'ailleurs ceux des autres carottes étudiées, présentent le pic 270-300° C de la calcite.

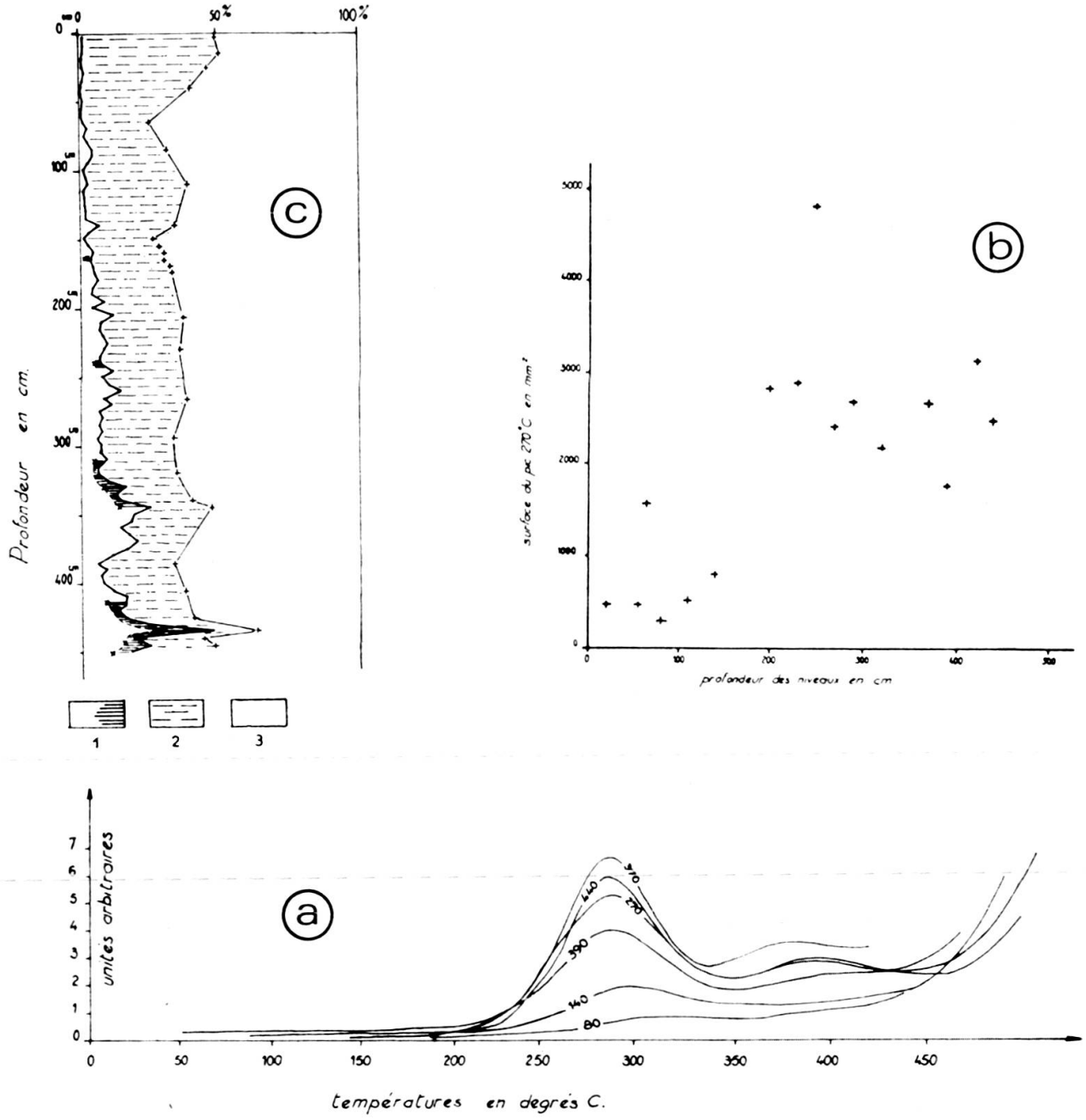

FIG. 18. — Profil granulométrique et courbes de thermoluminescence de la calcite de la carotte L 44.

a: intensité des pics de thermoluminescence. Les nombres indiqués sur les courbes correspondent à la profondeur des niveaux.

b: surface des pics 270°C en fonction de la profondeur des niveaux.

c: profil granulométrique.

1 = fraction supérieure à 40 microns; la partie hachurée correspond au calcaire grossier. 2 = calcaire fin. 3 = fraction fine non calcaire.

La figure n° 18 a montre qu'en général l'intensité du pic croît avec la profondeur des niveaux.

L'exposition de plusieurs échantillons de cette carotte pendant 16 heures aux radiations γ du Strontium 90 a provoqué:

un renforcement du pic 270° C

l'apparition d'un pic 140° C de très grande intensité dans les niveaux inférieurs et d'intensité moyenne dans les niveaux supérieurs.

L'exposition simultanée de vases très calcaires du lac de Nantua a eu un effet nul. Il semble donc bien que, dans le Léman, les impuretés de la calcite, particulièrement celles des niveaux inférieurs, soient à l'origine de l'existence de nombreux pièges à électrons qui sont révélés par les radiations γ servant d'excitateur.

Si, sur un système d'axes, nous portons la surface des pics 270° C obtenue par planimétrie, en fonction de la profondeur, nous voyons que les points se répartissent en deux groupes très distincts, la coupure se situant vers 150 cm. Au dessous de 150 cm, les pics sont peu importants, au-delà ils ne cessent de croître (figure 18 b) et il n'existe pas de valeur de transition entre ces deux groupes de valeurs.

Or, nous voyons que ce niveau 150 cm correspond à d'importantes modifications sédimentologiques: augmentation de la granulométrie avec apparition du calcaire grossier, diminution importante de la teneur en eau et du pouvoir réducteur. Ce niveau 150 cm correspond à la limite entre les vases fines du Préboréal et les sédiments grossiers du Dryas. L'apparition concomittante des sédiments grossiers et des pics de thermoluminescence n'est certainement pas fortuite et nous en proposons l'interprétation ci-après.

Les glaces de la dernière avancée froide du Dryas ont apporté une quantité importante de matériaux détritiques; leur fraction calcaire formant environ 40% du sédiment provenait essentiellement de l'érosion des formations calcaires alpines qui présentent une forte thermoluminescence. Il semblerait donc que les pics qu'on observe dans les sédiments du Dryas correspondent à une thermoluminescence « héritée ».

Ensuite, pendant le Préboréal et les époques suivantes,

la diminution de la capacité de transport à cause de la disparition des glaces (le Rhône n'amène jamais actuellement au large de Thonon les galets valaisans qu'on trouve dans les sédiments du Dryas),

le réchauffement climatique favorisant la précipitation chimique ou biochimique du carbonate de calcium,

ont provoqué un renversement des conditions de sédimentation. Le remplacement progressif des carbonates détritiques par les carbonates de néoformation serait responsable de la diminution puis de la disparition des pics de thermoluminescence. Ceci concorderait avec l'observation faite sur les carbonates biochimiques de Nantua: ces derniers, dus à l'activité photosynthétique des algues planctoniques, ne présentent aucun phénomène de thermoluminescence naturelle ou artificielle (S. Serruya 1964).

4° *Les informations fournies par la composition isotopique de l'oxygène et du carbone des carbonates :*

On observe une diminution croissante des isotopes lourds dans les niveaux supérieurs, le $\delta\ 0^{18}$ passant de $-5{,}40$ pour les niveaux inférieurs à $-10{,}70$ pour le niveau de surface et le $\delta\ C^{13}$ passant pour les mêmes niveaux de $+1{,}00$ à $-2{,}00$. Cette évolution est due à un remplacement progressif des calcaires d'origine marine par des calcaires de néoformation déposés en eau douce et dans un milieu en voie de réchauffement. Dans le Léman, il y a donc eu, depuis le début du Postglaciaire, une profonde modification de la fraction carbonatée du sédiment.

B. *Répartition des Sédiments*

Un trait frappant de la sédimentation lémanique est la présence très restreinte ou l'absence complète de sédiments récents dans les zones côtières du bassin. Le sommet des carottes côtières est généralement dans le Préboréal ou le Boréal à l'exception de certaines régions de la rive suisse où il semble y avoir une accumulation locale de sédiments actuels reposant sur du Préboréal (Carotte L 57).

Trois phénomènes peuvent expliquer ce caractère:

1° *Des courants*

Les courants remanieraient les sédiments qui se déposent dans les régions côtières. En faveur de cette hypothèse, rappelons que nous avons observé de véritables remises en suspension des sédiments côtiers après de fortes bises.

2° *Des coulées lentes par déséquilibre mécanique*

En dehors du remaniement brusque des sédiments côtiers par les courants, il convient de mentionner la possibilité d'un lent transport de ces dépôts vers les grands fonds: il suffit pour cela qu'une couche de sédiments se trouve en déséquilibre mécanique par suite de l'effet combiné de l'épaisseur de la couche et de la valeur de la pente. Les figures en pagodes, enregistrées au sondeur de vase pourraient bien représenter le début de ce processus.

3° *Un abaissement du niveau du Léman*

Ce niveau fut pendant une partie des temps postglaciaires plus bas qu'aujourd'hui. Cette hypothèse a déjà été envisagée par P. VILLARET et M. BURRI (1965) pour expliquer, dans la coupe de Vidy, une lacune du Boréal et de l'Atlantique et par nous-mêmes (C. SERRUYA, J. SAUVAGE 1966) pour rendre compte d'une lacune dans les régions côtières à partir du Préboréal.

Dans cette perspective, la succession des faits serait la suivante:

au Dryas, le lac était à un niveau 30 ou 40 m supérieur à l'actuel (terrasse supérieure)

le niveau du lac aurait ensuite graduellement baissé jusqu'à la fin de l'Atlantique où il aurait été alors plus bas qu'aujourd'hui

à partir du Subboréal ou plutôt du Subatlantique l'eau remonte et les sédiments remplissent les creux de la topographie.

En admettant que le niveau soit descendu nettement au-dessous du niveau actuel, nous pourrions ainsi rendre compte des lacunes que nous constatons dans les carottes côtières.

a) *Objections*

Cette hypothèse soulève quelques difficultés:

dans le cas d'une transgression subboréale ou subatlantique pourquoi ne trouve-t-on jamais de sédiments sub-boréal-subatlantique vers les côtes ? Il faudrait admettre que la remontée des eaux a été très lente et que le niveau actuel est très récent ? Mais pourquoi trouve-t-on du Subboréal à Vidy ? Il faut alors considérer les graviers subboréals de Vidy comme un apport fluviatile local,

dans les sédiments des carottes côtières nous n'avons jamais observé de traces d'émersion. Cette dernière objection n'a cependant pas une valeur absolue: J.J.H.C. HOUBOLT, ingénieur géologue à la Shell, nous a signalé oralement qu'il n'avait trouvé aucune trace d'émersion dans des sédiments qui avaient effectivement été exondés temporairement.

les stations palafittiques du Bronze se trouvent à des cotes comprises entre Z L — 1 et Z L — 2 soit + 368,5 à + 369,5 m c'est-à-dire 3 à 4 m sous le niveau actuel du lac. En admettant que la transgression subboréale ait amené le lac au niveau actuel, ces stations du Bronze, qu'elles soient palustres ou lacustres n'auraient guère pu être assez surélevées pour éviter les plus hautes eaux du Léman. Il serait donc plus vraisemblable que la transgression ait eu lieu au Subatlantique qui correspond à la fin de l'âge du Bronze.

Il est intéressant de signaler qu'une situation identique existe dans le lac de Tanganyka où jusqu'à une profondeur de 150 m on n'a pas trouvé de sédimentation autochtone. A. CAPART avait en 1949 interprété cette particularité comme une indication d'un niveau plus bas du lac. D.A. LIVINGSTONE, 1965, conteste cette interprétation d'après l'examen de carottages récemment effectués. Il s'étonne en particulier que depuis la découverte du lac Tanganyka qui remonte à plus d'un siècle, "a measurable amount of sediment has not been collected in the depths of less than 150 m".

C. *Vitesse de Sédimentation*

La notion de vitesse de sédimentation est une des plus imprécises qui soient. Ce terme est souvent employé comme un paramètre caractérisant l'ensemble d'un

bassin sédimentaire; or, il est très variable suivant les zones du bassin. Par ailleurs, lorsqu'elle est exprimée en unité de longueur par unité de temps, le volume d'eau associé au sédiment, variable d'après la colonne sédimentaire considérée, est compté comme du sédiment. Il faut noter que cette eau associée au sédiment ne l'est souvent que pendant une période transitoire.

Il est donc préférable à notre avis de parler de quantité de sédiments en poids sec par unité de temps. Cependant nous verrons que, dans certaines carottes, le sédiment conserve sur plusieurs mètres une teneur en eau très élevée et à peu près constante. Dans ce cas, l'eau est liée au sédiment d'une manière assez solide pour que le poids des couches sédimentaires supérieures ne provoque aucune compaction notable.

Il résulte de tout cela que la vitesse de sédimentation doit être exprimée différemment selon le but poursuivi. Pour comparer les dépôts annuels d'un lac avec l'érosion se produisant dans le bassin versant, nous devrons exprimer la vitesse de sédimentation en mg/an [1]; mais pour examiner le volume du lac rempli par les dépôts annuels nous l'exprimerons en mm/an. La meilleure solution est sans doute d'accompagner chaque valeur de vitesse de sédimentation d'une indication de la teneur en eau ou bien de donner les résultats à la fois en mg/an et en mm/an.

Dans le lac Léman, nous obtenons les valeurs suivantes:

Subboréal-Subatlantique: 1 mm par an ou 65 mg/an/cm^2 en prenant une densité moyenne du sédiment frais de 1,37 et une teneur en eau moyenne de 110% (valeurs expérimentales);

Atlantique: 0,62 mm par an

48 mg/an/cm^2 (d = 1,48 teneur en eau = 90%);

Boréal: 0,91 mm par an

90 mg/an/cm^2 (d = 1,60 teneur en eau = 70%).

Ces valeurs sont correctes pour des zones de 100 m de fond dans la région occidentale du Grand-Lac. Les vitesses de sédimentation seraient beaucoup plus grandes au large d'Evian par exemple. Nous avons d'ailleurs vu dans la carotte L 45 l'épaisseur importante du Préboréal.

Les résultats précédents nous montrent que la sédimentation fut moins intense à l'Atlantique malgré l'humidité qui caractérise cette période. Cette vitesse de sédimentation moins élevée est peut-être à mettre en rapport avec le développement de la forêt par suite du réchauffement. On constate en effet une augmentation très importante de la fréquence pollinique et il n'est pas impossible que cette luxuriante végétation ait diminué l'érosion malgré l'augmentation de l'humidité. Par ailleurs, si les épaisseurs annuelles du Subboréal-Subatlantique et celles du Boréal sont très voisines, les valeurs pondérales annuelles sont bien plus grandes au Boréal. Autre-

[1] Poids en matière sèche du dépôt annuel sur une section de 1 cm^2

ment dit la sédimentation fut plus active au Boréal qu'aux époques postérieures. Cette vitesse de sédimentation est élevée mais peut s'expliquer par la grande quantité de sédiments meubles ou peu résistants et par les pentes souvent importantes du bassin versant.

Une confirmation de ces valeurs a été fournie par la datation, par la méthode C^{14} d'un fragment de bois provenant du niveau 395 cm de la carotte L 66. L'âge déterminé par Mme G. DELIBRIAS du Laboratoire des Faibles Radioactivités de Gif-sur-Yvette a été de 3910 ans $\pm$ 400 ans. Si nous prenons une valeur de 3900 ans, nous obtenons une vitesse de sédimentation de 1 mm par an.

D. *Périodicités enregistrées dans les varves*

Nous avons déjà exposé que certaines périodes du post-glaciaire se caractérisaient par des varves nombreuses, et d'autres, par l'absence totale de varves: en gros on peut estimer que les premières varves apparaissent au Boréal, dominent à l'Atlantique, et régressent ensuite. Elles se forment donc préférentiellement dans les sédiments déposés en période chaude.

Lorsqu'on ouvre une carotte du Léman, on voit aussitôt se dessiner, dans les zones varvées, des groupes de varves se répétant à intervalles assez réguliers. Pour chaque carotte varvée, nous avons dès l'ouverture, dessiné en grandeur nature toutes les microcouches avec leur épaisseur et leur teinte. Pour préciser cette observation sur la répétition régulière des groupes de varves, nous avons reporté sur papier millimétré l'épaisseur des laminæ noires en fonction du temps. Sur l'échelle des temps, une année a été représentée par 1 mm, valeur moyenne de la vitesse de sédimentation (fig. 19).

Période boréale: les couches noires sont peu épaisses et peu marquées. Une périodicité comprise entre 100 et 150 ans semble régir l'apparition de couches noires un peu plus épaisses mais le phénomène est peu net.

Période atlantique: là les couches noires sont nombreuses, très accentuées et plus épaisses. Une périodicité de 200 ans environ est parfaitement nette: des conditions probablement d'ordre climatique se répétant tous les deux siècles ont favorisé la formation de couches noires particulièrement épaisses. D'autres périodicités d'ordre inférieur peuvent être décelées par exemple de 30 ans et de 50 ans.

Ces couches renfermant des groupes de varves et correspondant environ à 200 ans seraient assimilables aux « stratifications de 3e ordre » de R.Y. ANDERSON et R.Y. ANDERSON et al. (1963, 1964, 1966). Ces auteurs en ont observé de semblables et pensent que ce type de périodicité peut correspondre à celle des taches solaires. SHOSTAKOVICH 1931, 1944, compara l'épaisseur des varves récentes de certains lacs russes avec la courbe d'intensité des taches solaires les varves épaisses correspondraient aux maxima de l'activité solaire.

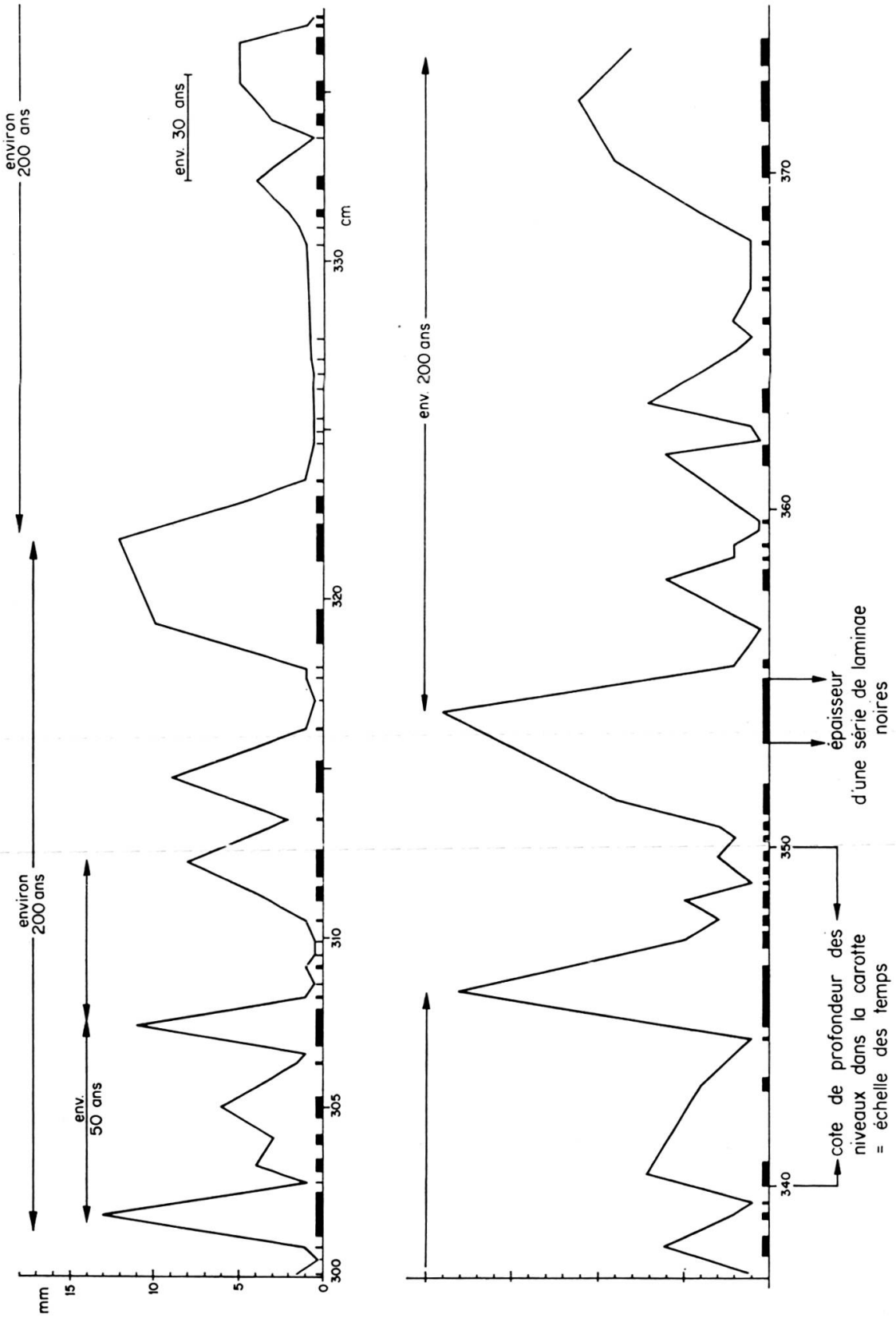

FIG. 19. — Périodicités enregistrées dans les varves. Période Atlantique, Carotte L 52 (70 m de fond au large de Thonon).