
**LES ENSEIGNEMENTS GÉOLOGIQUES DU GRAND BARRAGE
DE GÉNISSIAI SUR LE RHONE (AIN-HAUTE-SAVOIE) ;
KARSTIFICATION ÉOCÈNE DE L'URGONIEN,
QUATERNAIRE RHODANIEN**

par **M. GIGNOUX** et **J. MATHIAN**

(avec 8 fig. dans le texte et 4 pl. phot.)

RÉSUMÉ. — La construction du barrage a bien montré la karstification profonde des calcaires urgoniens au cours de la longue période d'érosion continentale du début du Tertiaire. Toutes les cavités (fissures, grottes, avens) de ce « karst fossile » ont été remplies, par injections naturelles, d'argiles et de sables verts : on n'y observe aucune trace de ces « formations rouges » (Sidérolithiques) d'ordinaire si caractéristiques de ces anciens karst, ce qui pose des problèmes géochimiques.

Interprétation du Quaternaire de la vallée du Rhône entre le bassin du Léman et Seyssel. Un témoin particulièrement typique de « moraine de fond rissienne » a été découvert à la sortie du bassin du Léman. Des « complexes interglaciaires » (alluvions, sables fins et argiles lacustres, lignites), remplissant d'anciennes vallées du Rhône et de la Valserine, sont considérés comme « antéwurmien », ce qui conduit à rejeter l'individualité d'une glaciation spéciale « néowurmienne » définie là autrefois par W. KILIAN. Il y a une remarquable identité entre ces dépôts glaciaires et interglaciaires rhodaniens et ceux de l'ancien glacier Isère-Drac entre Grenoble et Chambéry.

SOMMAIRE

Introduction	122
Chapitre I. — Karst éocène dans les calcaires urgoniens	124
Chapitre II. — Le Quaternaire rhodanien entre Genève et Seyssel	134
I. Les témoins de moraines rissiennes en amont du Fort L'Ecluse	137
II. Les complexes interglaciaires (préwurmien)	141
1° L'ancienne vallée du Rhône entre Bange et la rivière des Ussets	142
2° L'ancienne vallée de la Valserine	143
3° Le défilé du Fort L'Ecluse entre Bange et le Pont Carnot	149
4° L'extrémité du bassin du Léman en amont du Pont Carnot ..	152
A) La gravière du Pont Carnot	152
B) Les alluvions anciennes et les argiles à lignites entre le Pont Carnot et Genève	154
III. Les moraines wurmiennes et leurs faciès glaciolacustres	155
IV. Les terrasses postglaciaires	157
V. Résumé et conclusions	158
1° Histoire du Glaciaire rhodanien	158
2° Comparaison avec le glacier Isère-Drac	159
Liste des ouvrages cités	161
Quatre planches phot.	

INTRODUCTION

Dans une publication antérieure (10), assurée par la Revue grenobloise « *La Houille Blanche* », nous avons montré comment l'étude géologique de la région comprise entre Seyssel, Bellegarde et la frontière suisse avait contribué à faire établir le projet d'aménagement du Rhône dans ce secteur, et à décider la *Compagnie Nationale du Rhône* (= CNR) à y construire un unique grand barrage à Génissiat, comme l'avait préconisé depuis longtemps M. LUGEON (25, 26). Nous avons décrit en détail les observations géologiques faites pendant la construction de ce barrage, en essayant d'en tirer des enseignements utiles à la fois aux ingénieurs constructeurs et aux géologues qui les conseillent.

Ici, nous laisserons délibérément de côté toutes les observations qui n'ont eu qu'un intérêt pratique et local; et nous retiendrons seulement celles qui peuvent intéresser la « Géologie générale »¹.

Du point de vue *stratigraphique*, les études de la CNR ne nous ont rien appris de bien nouveau sur les terrains intéressés par ces travaux : Hauterivien, Urgonien, Albien, Oligocène, Miocène. Au contraire, la retenue de Génissiat a eu pour conséquence de noyer les berges où l'on voyait la célèbre « *coupe de La Perte du Rhône* », près Bellegarde, avec son riche gisement fossilifère albien, si souvent évoqué par les paléontologistes et stratigraphes du Crétacé. Avant d'avoir décidé la construction de Génissiat, on avait envisagé l'éventualité d'un barrage situé dans ce site même de La Perte du Rhône; et l'étude détaillée de ce site avait été faite par nos collègues de Bâle, MM. BUXTORF et HOTZ. Leurs observations, complétées par quelques travaux de la CNR, ont été exposées en détail dans notre publication antérieure, avec dessins et photo-

¹ Nous devons rappeler que les observations relatées ici ont été faites en compagnie de M. le Prof. CHARLES JACOB; et nous tenons à renouveler aussi nos remerciements à M. DELATTRE qui, en qualité de Directeur technique de la CNR, a également participé à nos explorations et a bien voulu autoriser leur publication. Enfin nous remercions bien vivement la direction de « *La Houille Blanche* » qui nous a aimablement prêté les clichés des planches hors texte et des fig. 2, 3 et 6.

graphies : elles n'apportent que des précisions utiles à connaître pour le projet de barrage, mais n'intéressant pas les stratigraphes ni les paléontologistes. Nous en retiendrons seulement que ce site est maintenant définitivement noyé et devenu inaccessible : c'est, pour les géologues, le seul « méfait » de Génissiat.

En revanche, les études et travaux de la CNR ont apporté aux géologues des données nouvelles d'un intérêt général, qui se classent sous les deux rubriques servant de titres aux chapitres qui suivent.

CHAPITRE I

Karst éocène dans les calcaires urgoniens

Après le dépôt de la puissante série, à faciès corallien, de l'*Urgonien*, il n'y a pas eu émerision; la sédimentation s'est continuée, avec un changement de régime dû à des courants marins; ces derniers ont apporté des matériaux argileux et sableux, qui ont tué les récifs. C'est ce que l'on pouvait constater à *La Perte du Rhône*, où l'*Urgonien* est surmonté en continuité par des assises calcaréo-marneuses et sableuses, dont RENEVIER avait fait le type de son étage *Rhodanien* (approximativement *Aptien sup.*), puis par les « sables verts » de l'*Albien*.

Ensuite vient une lacune dans nos connaissances; nous ne retrouvons en effet nulle part dans la région d'équivalent des étages Cénomaniens et Turoniens. Mais nous savons qu'au Crétacé sup. la mer recouvrait encore notre région; car on connaît, au N de Bellegarde, dans la basse vallée de la Valserine, de minuscules témoins de calcaires à Rosalines, d'âge probablement *Sénonien*, mais dont on ne peut voir les rapports avec les couches plus anciennes. On admet généralement qu'une « lacune sédimentaire » correspond à la base du Crétacé sup.; mais nulle part on n'observe de dépôts continentaux ni même de discontinuité datant de cette époque. Et on peut raisonnablement admettre que cette « lacune », si elle est bien réelle, correspond, non à une émerision accompagnée d'érosions continentales, mais simplement à une absence de sédimentation sur les fonds marins (voir 8, p. 475).

En tout cas, ce dont nous sommes certains, c'est qu'une longue période d'émerision se place à la limite du Crétacé sup. et du Tertiaire. Car l'*Eocène* est représenté par les formations dites « Sidérolithique » dans le Jura, « sables et argiles bigarrés » dans les chaînes subalpines externes. Leur épaisseur est très variable, comme toujours pour les formations continentales; on les exploite comme sables réfractaires à l'extrémité S du Salève (Cruseille) et aux Echelles (NW de la Chartreuse), où ils ont fourni une mandibule de *Lophiodon Larteti*, unique fossile (Eocène inf.) connu dans

la région. Mais, entre Seyssel, Bellegarde et Annecy, il est possible que les sables blancs ou verdâtres par lesquels débute la série tertiaire soient déjà oligocènes (12).

Ces sables, que nous continuerons, pour simplifier, à qualifier d'éocènes, peuvent reposer sur n'importe quelle formation antérieure. A La Perté du Rhône, ils ravinent les sables verts de l'Albien; et la limite entre Crétacé et Tertiaire, assez difficile à reconnaître, a été précisée par les observations de A. JAYET, puis de BUXTORF et HORTZ et par les galeries de prospection de la CNR. Mais en général, et en particulier à Génissiat (fig. 3), ces assises sablo-gréseuses reposent directement sur la surface supérieure de l'Urgonien, dont elles viennent combler les inégalités, ce qui explique leur épaisseur très variable (0 à 5 ou 6 m.).

Mais cette discontinuité de sédimentation a pris fin avec l'*Oligocène sup.* (*Aquitainien*), représenté par des assises très régulières, plus ou moins gréseuses ou marneuses, bariolées de rouge et de vert, avec minces intercalations de calcaires lacustres; c'est la « Molasse d'eau douce inférieure »; toute la région a été submergée sous de grands lacs plus ou moins lagunaires (gypses), auxquels a succédé en continuité la mer *miocène*, avec la « Molasse marine ». L'épaisseur de cette série continue et régulière de « molasses » a pu être de l'ordre du millier de mètres.

Ainsi, à l'Eocène, pendant une longue période d'émersion (plusieurs millions d'années), les érosions continentales ont enlevé partout les calcaires du Crétacé sup., et presque partout (sauf à La Perte du Rhône) les sables verts de l'Albien et les assises du Rhodanien, de façon à *mettre à nu la surface supérieure de l'Urgonien*. De sorte que cette carapace urgonienne a été à cette époque, très longuement et très profondément *karstifiée*, sous un climat subdésertique, puisque, dans le Sidérolithique suisse, on a constaté des faciès éoliens. Mais actuellement, aucune de ces cavités karstiques n'est restée vide. Sous la charge puissante et uniformément étalée des molasses tertiaires, les sédiments les plus mobiles, argilo-sableux, de cette couverture, ont été lentement « injectés » et sont venus remplir les moindres fissures de l'Urgonien.

C'est là un phénomène banal ²; mais les fouilles de fondation du barrage en ont montré des exemples véritablement spectaculaires.

Disons d'abord que ces sédiments de remplissage sont toujours de *couleur verte* (point sur lequel nous reviendrons); ils se détachent

² Et dont, dans de tout autres terrains, P. PRUVOST (30) a signalé récemment des exemples typiques.

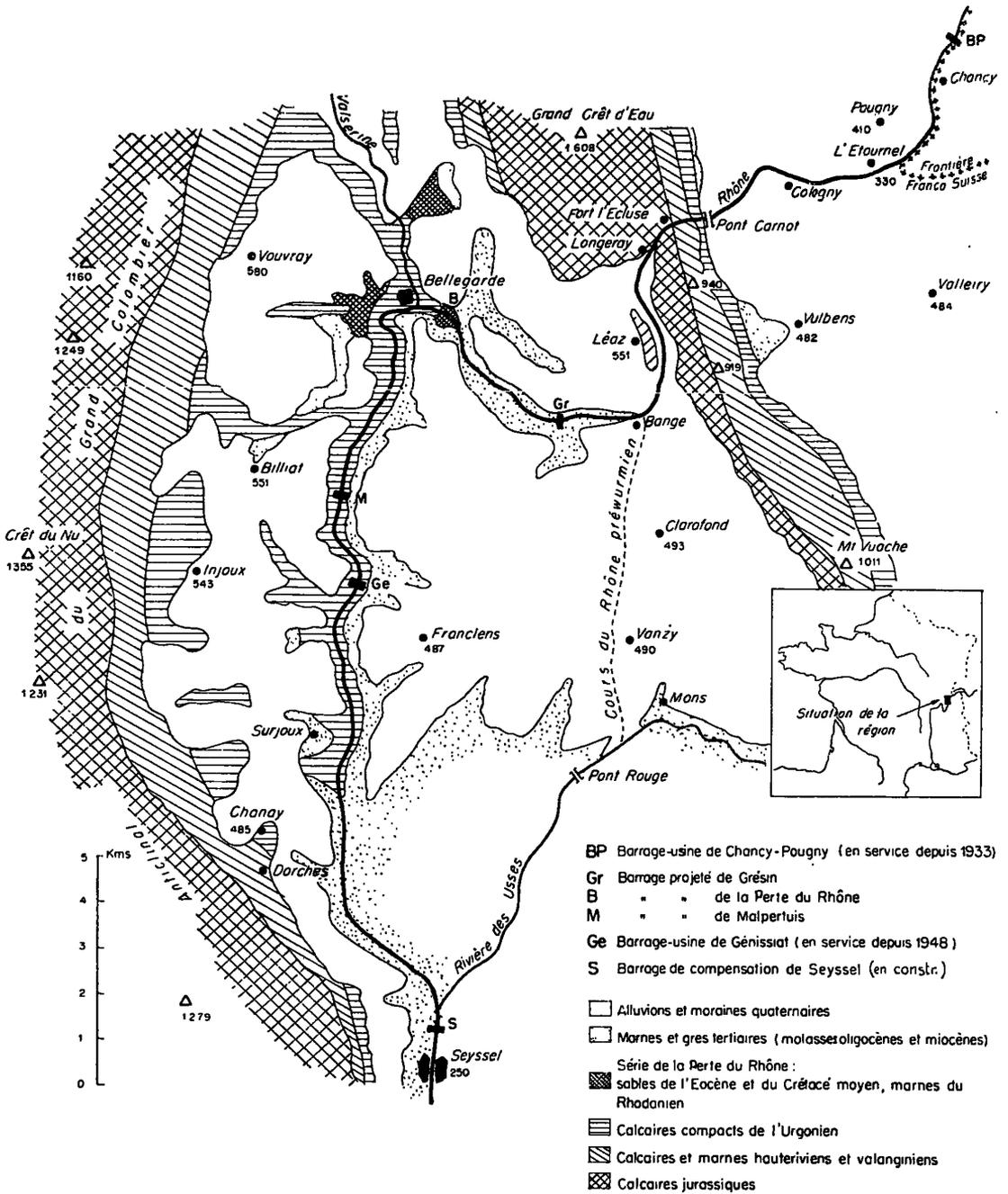
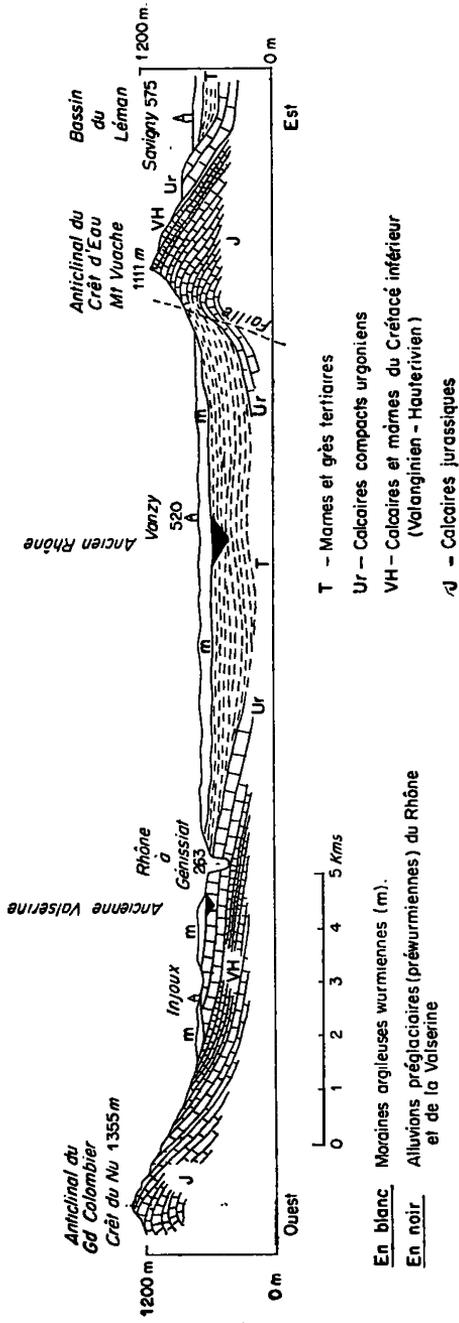


Fig. 1. — Carte géologique d'ensemble de la région.

Synclinal Valsérine - Bellegarde - Seyssel



En blanc Marnes argileuses wurmiennes (m).
En noir Alluvions préglaciaires (préwurmiennes) du Rhône et de la Valsérine

T - Marnes et grès tertiaires
Ur - Calcaires compacts urgoniens
VH - Calcaires et marnes du Crétacé inférieur (Valanginien - Hauterivien)
J - Calcaires jurassiques

Fig. 2. — Coupe géologique d'ensemble demi-schématique passant par Génissiat.

donc vivement sur le fond blanc de l'Urgonien. Soit dans les falaises naturelles, soit dans les parois des fouilles, le massif calcaire apparaît ainsi zébré par un réseau de fissures et de poches, d'allure tout à fait capricieuse et désordonnée, mais généralement très étroites (de 1 cm. à quelques décimètres). Cette particularité avait déjà été remarquée par M. LUGEON (25), dans les galeries d'exploration qu'il avait fait creuser à la base des falaises dominant le Rhône; il y voyait « des argiles résiduelles, témoignant du passage d'anciennes sources ». Mais deux de ces cavités pleines de sédiments verts, découvertes au cours des travaux, se distinguent par leurs dimensions vraiment exceptionnelles.

La première a été traversée par la galerie de dérivation provisoire de la rive gauche. L'attaque amont de cette galerie s'enfonçait à la base d'une falaise urgonienne verticale, haute de 30 m. environ; pendant 60 m. on resta dans l'Urgonien blanc et massif; puis des veines vertes apparurent, sillonnant les parois. Et enfin, à la grande stupéfaction des ingénieurs, on déboucha dans une *immense poche remplie de sables argileux verts* : c'était une vaste grotte, dont la hauteur était d'environ 3 m., et dont la plus grande dimension horizontale atteignait 15 m. Cette grotte avait dû nécessairement être remplie par des « cheminées » débouchant à la surface de l'ancien karst; mais, peut-être réduites à des fissures très étroites, ces cheminées ne purent être nettement décelées par les travaux.

La structure de ce remplissage argilo-sableux, structure bien visible sur la phot. pl. III, montre bien que ces sédiments n'ont point été apportés par de simples circulations d'eaux courantes. Les alternances de minces lits alternativement plus argileux et plus sableux n'y sont pas dues à une « stratification », mais à une véritable « schistosité d'écoulement » : c'est une « *structure fluïdale* »³, où les filets d'écoulement ont une allure capricieusement ondulée, tourbillonnaire, qui rappelle tout à fait les phénomènes de solifluction, trop souvent attribués à des « cryoturbations ». Et de fait, disons-le en passant, cet exemple montre bien que l'action du froid n'est nullement nécessaire pour produire de telles structures; il suffit qu'il y ait eu « écoulement à l'état solide », quelles que soient les contraintes, dues à la seule gravité ou à des surcharges, qui aient déterminé cet écoulement.

³ Comparable à la « schistosité d'écoulement » de la glace des glaciers, où des « bandes bleues » de glace pure et transparente alternent avec des bandes blanches ou grises de glace bulleuse ou souillée de matières minérales, et cela même dans des glaciers « régénérés », où il ne peut être question d'une vraie stratification saisonnière.

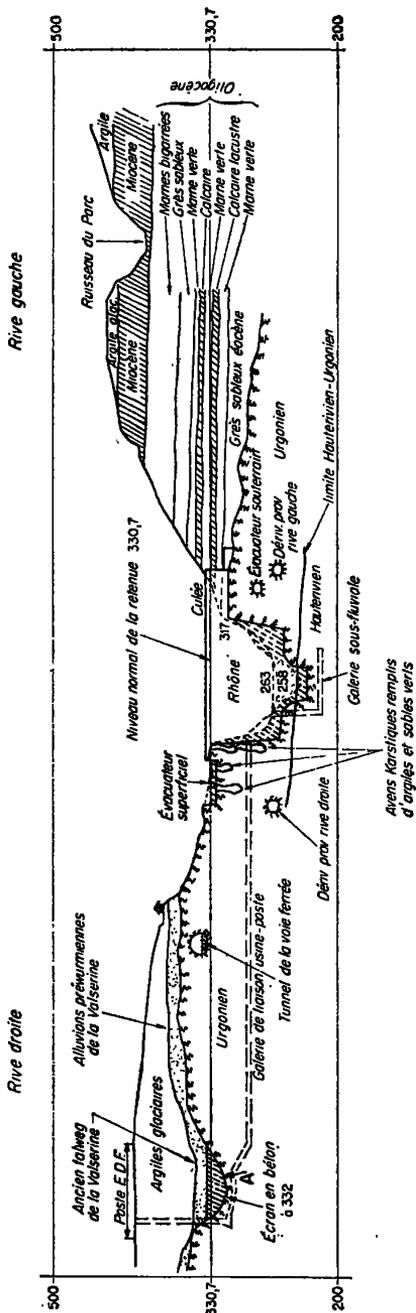


Fig. 3. — Coupe géologique de détail passant par le barrage de Génissiat.

Sur la rive droite, alluvions préwurmiennes de l'ancienne Valsérine, affleurant à la cote 345 environ, mais remplissant jusqu'à la cote 315 un ancien talweg, barré par un écran en béton.

Sur la rive gauche, l'Urganien est recouvert par les sables gréseux dits éocènes, remplissant les creux de l'ancien Karst, et surmontés par la série régulière de la molasse d'eau douce oligocène et de la molasse marine miocène.

Sur les deux rives, grands plateaux d'argiles morainiques (ou glaciolacustres) wurmiennes.

Le figuré des cavités karstiques dans l'Urganien est schématisé.

Du point de vue des phénomènes karstiques, plus instructive encore a été la découverte d'un *puits naturel vertical* à l'appui rive droite du barrage (voir pl. IV), découverte que, non seulement les affleurements naturels ne pouvaient nullement faire prévoir, mais qui parut sur le moment d'autant plus curieuse que le rocher avoisinant était particulièrement sain.

On avait taillé presque verticalement, dans un calcaire sans aucune trace des remplissages verts habituels, une falaise de 70 m. de hauteur qui devait servir d'appui latéral au barrage (voir pl. II). On avait, d'autre part, à une dizaine de mètres en arrière, foncé un large puits de 40 m. de profondeur dans le même Urgonien sain, et sur la fin des travaux, entre la falaise et le puits, l'exécution de quelques terrassements complémentaires au sommet de la falaise fit apparaître une poche remplie de sable vert, dont la section horizontale, à la cote 320, était voisine d'un cercle de 3 à 4 m. de diamètre.

En essayant alors de nettoyer cette poche, on s'aperçut qu'il s'agissait d'un puits à axe sensiblement vertical et que, depuis la cote 320, il se continuait au moins jusqu'à la cote 255, niveau où dans une petite galerie on avait effectivement trouvé en calotte une autre poche de sable vert négligée tout d'abord. La proximité de ce puits avec le joint béton-rocher du barrage fit que l'on décida de le déblayer complètement, soit en l'ouvrant du côté de la gorge lorsque l'épaisseur de la paroi de calcaire entre l'aven et la falaise n'était que d'environ 1 m. (de 320 à 286), soit en creusant des fenêtres à divers étages (de 286 à 255). La phot. pl. IV montre l'état de la falaise après nettoyage complet du puits et avant bétonnage.

On put ainsi explorer ce puits à loisir; sa hauteur reconnue était de 320 (sommet de l'Urgonien) moins 255 (base des fouilles), soit 65 m.; mais il est certain qu'il doit se prolonger encore plus bas, en dessous de 255. Sa largeur variait de 2 à 5 m. environ. Les parois étaient polies, modelé caractéristique des avens parcourus par des flots d'eaux courantes. Il s'agissait donc bien d'un « *aven fossile* », datant de l'Eocène ou du début de l'Oligocène, donc contemporain des grottes et avens des phosphorites du Quercy et du Bas-Languedoc ⁴.

Les descriptions précédentes montrent bien que ces *sédiments verts* ne peuvent, en général, être régulièrement interstratifiés dans l'Urgonien. Pourtant certains lits de marnes vertes non sableuses,

⁴ Voir B. GÈZE, Sur les phosphorites du Bas-Languedoc (*Bull. Soc. Géol. France*, 10, 1940).

suivant des joints horizontaux dans le massif urgonien, doivent correspondre à de véritables *intercalations stratigraphiques*. De fait, M. MORET nous a signalé que de telles intercalations étaient fréquentes dans l'Urgonien des environs d'Annecy, en particulier dans le versant du Semnoz dominant le lac au S d'Annecy. Elles représentent sans doute des dépôts de lagunes dans les atolls des récifs urgoniens; et leur couleur verte indique des eaux tranquilles, mal aérées, donc un milieu réducteur. Un pareil faciès de marnes vertes lagunaires se retrouve partout en intercalation dans le Purbeckien, soit dans le Jura, soit en Provence (régions de Marseille et Nice) au sommet des « calcaires blancs » coralliens du Jurassique supérieur. A Génissiat, ces lits de marnes vertes sont toujours très minces (quelques millimètres ou centimètres).

Il est d'ailleurs possible que quelques-unes de ces minces couches vertes suivant les joints horizontaux résultent aussi de remplissages. On peut penser en effet que certains lits marneux, primitivement intercalés stratigraphiquement dans l'Urgonien, ont été altérés et délavés à partir de leurs zones d'affleurements (à la surface ou le long des parois des cavités karstiques)⁵; de fait ils sont remplis, non de marnes, mais d'argiles sableuses; or le « paysage sédimentaire » de l'Urgonien ne permet pas l'apport de sables au cours même de cet étage.

L'origine de ces éléments sableux est facile à deviner : ils résultent du décapage et du remaniement des sables du Crétacé moyen. La taille et la proportion des grains de sables doivent théoriquement augmenter dans le remplissage des grandes fissures ou cavités, où leur circulation se faisait avec une « perte de charge » moindre que dans les fissures étroites. C'était le cas dans la grande poche de la rive gauche, où les grains de sables étaient visibles à l'œil nu.

Bien entendu, les constructeurs de Génissiat furent désagréablement surpris de voir le massif calcaire urgonien parcouru ainsi par un réseau de fissures et de cavités remplies de sédiments meubles. Les géologues les rassurèrent, en faisant remarquer que ces remplissages, effectués sous de fortes charges, et avec un matériel argilo-sableux imperméable, devaient avoir assuré un *colmatage naturel* aussi parfait, sinon même plus complet, que celui que réalisent les ingénieurs en injectant, dans leurs sondages d'étanchéisation, des coulis de ciment sous forte pression. Cette prévision optimiste (7) fut vérifiée par une ingénieuse expérience d'injection

⁵ De fait, un pareil phénomène a été constaté, à Génissiat même, dans les calcaires hauteriviens mis à nu par les fouilles au fond du canyon du Rhône : Voir (10), p. 84 (30 de l'extrait).

d'eau sous pression décrite dans notre publication antérieure (10, fig. 10). Et de fait, aucune perte ne se produisit au moment de la mise en eau de la retenue.

Un problème beaucoup plus curieux est posé par la *couleur uniformément verte* de ces sédiments de remplissage.

La première explication qui vient à l'esprit est qu'ils proviennent du remaniement des sables et argiles *glauconieux* du Crétacé moyen. Mais on sait la rapidité extrême avec laquelle la glauconie s'oxyde à l'air, surtout sous des climats chauds, avec alternances de périodes sèches et pluvieuses, comme devait l'être celui qui régnait sur le karst éocène et qui a abouti ailleurs à la formation de dépôts rouges dits « Sidérolithiques » ; les « ocre d'Apt » (8, p. 437), qui sont d'anciens sables et argiles glauconieux altérés, en sont un témoin impressionnant. Néanmoins on pourrait admettre, à la rigueur, que ces sédiments glauconieux du Crétacé moyen ont été érodés et enfouis rapidement dans les cavités du karst sans avoir eu le temps de s'oxyder.

Mais en tout cas, il est vraiment étrange de ne retrouver jamais la moindre trace de ces « terre rosse » qui sont le sédiment superficiel de tous les karst actuels et fossiles.

On a précisément à Génissiat des témoins de tels *sédiments rouges* : ce sont ceux qui résultent de la karstification *actuelle* du massif urgonien. Mais cette karstification est encore embryonnaire, car jusqu'à une période récente du Quaternaire, l'Urgonien est resté enfoui sous l'épaisse couverture des molasses tertiaires. De fait les fouilles qui, à Génissiat, ont entamé la surface supérieure de l'Urgonien qui était à nu sur la rive droite (en particulier le creusement du canal déversoir) ont montré un petit réseau de fissures très étroites (1 à 5 cm. par exemple), ne descendant guère à plus de 2 ou 3 m. de profondeur, et remplies, cette fois, de « terres rouges », ce qui les oppose immédiatement aux fissures de l'ancien karst éocène.

Pour expliquer *l'absence totale* de toute trace de « terres rouges » dans ces dernières, on pourrait suggérer l'hypothèse suivante.

Les actions atmosphériques éocènes ont bien donné naissance, à cette époque, à des sédiments rouges, qui ont contribué à remplir les cavités karstiques. Mais, dès la fin de cette période continentale, toute la région a été submergée, à l'Aquitanién, sous de grands lacs ou lagunes dont le fond constituait un milieu réducteur. La preuve en est qu'il s'y est formé à cette époque des hydrocarbures, que nous retrouvons aujourd'hui, soit imprégnant des « roches-magasins » oligocènes (sables bitumineux de la vallée des Usses), soit

venus, par migration latérale, transformer l'Urgonien en « calcaire asphaltique », exploité précisément un peu au N de Seyssel (41). Les eaux de fond, réductrices, de ces anciennes lagunes ont pu s'infiltrer dans les fissures du karst qu'elles venaient de noyer, et y transformer les sédiments rouges en sédiments verts.

On sait en effet la facilité avec laquelle s'opère ce virage du rouge au vert dans les sédiments argilo-sableux. Dans le bassin pétrolifère d'Alsace, des galeries d'exploitation des sables pétrolifères ont montré que lorsqu'une lentille de ces sables se trouve incluse dans une assise de marnes rouges, celles-ci se décolorent au contact et entourent les sables d'une auréole verte.

A Génissiat, les fouilles ont rencontré de petits indices d'asphalte dans l'Urgonien; mais ces traces insignifiantes ne peuvent suffire, à notre avis, à expliquer la réduction générale des sédiments karstiques. Nous croyons plutôt que ces deux phénomènes, production d'hydrocarbures et réduction des sels de fer, ne coexistent que parce qu'ils sont dus à une même cause, l'influence de milieux réducteurs.

CHAPITRE II

Le Quaternaire rhodanien entre Seyssel et Genève

Nous abordons ici un domaine où le *degré de certitude* est de beaucoup inférieur à celui auquel on atteint d'habitude pour les terrains plus anciens. Comme l'un de nous l'a dit ailleurs (10, p. 708), « une synthèse stratigraphique du Quaternaire est, pour son auteur, une des nombreuses manières possibles de raconter et de grouper, sans trop de contradictions, les observations de détail qu'il a jugées les plus intéressantes, et dont beaucoup sont souvent dénuées de toute signification stratigraphique ». C'est dire que dans de pareilles synthèses interviennent, à côté des arguments de fait, des comparaisons, des analogies avec les régions voisines, bref des « arguments de sentiment ».

Dans l'exposé qui va suivre, nous adopterons, pour plus de clarté, la méthode synthétique : c'est-à-dire que nous exposerons d'abord notre *conception d'ensemble*¹ (voir fig. 8), et que nous la justifierons ensuite par la description des observations de détail.

1° Un *immense et épais manteau morainique* s'étale sur toute notre région (voir fig. 1 et 2) : c'est lui qui constitue les *grands plateaux* ondulés qui s'étendent entre les chaînons anticlinaux du Grand-Colombier et du Crêt d'Eau-Vuache. Abstraction faite des étroites entailles qu'y ont creusé le Rhône et ses affluents (surtout Valserine et Rivière des Usses), on a là une immense surface qui se maintient à des altitudes comprises entre 450 et 550 : plateaux de Billiat (550) et Injoux (543) sur la rive droite, de Franc lens (487), Vanzy (490) et Clarafond (493) sur la rive gauche. Ces « *moraines de fond* », pouvant atteindre 150 m. d'épaisseur, sont très argileuses et prennent même souvent le faciès « glaciolacustre » (voir plus loin); elles sont restées très meubles et, même sur des pentes très faibles, donnent partout de gigantesques glissements. Sur les bords

¹ Cette conception d'ensemble, déjà exposée dans (9), est en parfait accord avec les idées classiques des géologues genevois, telles qu'elles ont été très clairement résumées par JOUKOWSKI (20) et PAREJAS (28).

de ce vaste bassin, les moraines, devenues plus caillouteuses, revêtent les premières pentes du Colombier et du Vuache, en y formant des placages plus ou moins continus, jusqu'à des altitudes voisines de 900 m.; nous n'avons d'ailleurs pas étudié ces « *moraines marginales* ».

Quoi qu'il en soit, nous avons là un ensemble de dépôts glaciaires dont l'unité est incontestable: nous conviendrons, comme nos prédécesseurs, de les attribuer à la *glaciation wurmienne*. Et il n'est pas inutile de faire bien ressortir l'énorme part d'hypothèse que comporte cette dénomination. D'abord il n'est pas question d'établir un raccord direct entre ces formations et les fronts morainiques qui, en Bavière, ont servi à PENCK et BRUCKNER à définir leur « *glaciation wurmienne* ». Plus près de nous, dans la région des *fronts glaciaires rhodaniens*, on s'accorde à distinguer des moraines externes, s'étendant jusqu'à Bourg, Lyon et Vienne, et qu'on attribue au *Riss*², et des moraines internes ou *wurmiennes*, dont le front est marqué par les magnifiques amphithéâtres morainiques de Lagnieu (S d'Ambérieu), de Grenay (SE de Lyon) et de Rives (NW de Grenoble) dans le domaine du glacier de l'Isère, soudé à celui du Rhône (voir 8, p. 699). Parler ici de Wurmien traduit donc, non pas une certitude, mais une hypothèse raisonnable. Mais il faut convenir qu'en rattachant nos « *moraines de fond* » de la région de Génissiat à cette « *glaciation wurmienne* », ainsi définie par le front de nos moraines externes (avec leurs stades de retrait), nous faisons une nouvelle hypothèse, à la vérité plausible, mais qui vient s'échafauder sur nos hypothèses antérieures. Tout ce que l'on peut dire, c'est que cet échafaudage d'hypothèses est raisonnable et ne conduit à aucune contradiction. Et surtout l'étude des glaciations de l'Isère entre Rives, Chambéry et Grenoble conduit, comme nous le verrons, à une hypothèse analogue.

Terminons en disant que ce glaciaire « *wurmien* » se retrouve en amont du défilé du Fort l'Ecluse, entaillé par le Rhône entre le Crêt d'Eau et le Vuache, c'est-à-dire dans le « *bassin du Léman* »; là des stades de retrait, marqués par des vallums morainiques et des dépôts glacio-lacustres de plus en plus récents, nous conduisent peu à peu au Léman actuel.

2° Les *profondes vallées* du Rhône et de ses affluents nous permettent d'apercevoir le soubassement de ce vaste manteau morainique wurmien. Bien souvent, nos moraines wurmiennes reposent

² F. BOURDIER a récemment tenté d'y reconnaître aussi des témoins de glaciations plus anciennes (Günz, Mindel, ?).

directement sur le socle molassique; mais parfois, en dessous des argiles morainiques, vient tout un complexe de dépôts « alluviaux » (s.l.) stratifiés que nous conviendrons d'appeler « *préwurmien* » ou encore « *interglaciaire* » (s.l.). Ces formations alluviales sont localisées dans le fond de deux anciennes vallées (fig. 2 et 7) :

A) L'une, très large, et dont le talweg rocheux descend au-dessous du Rhône actuel, correspond à un *ancien Rhône* préwurmien; elle coïncide à peu près avec la vallée actuelle au sortir du bassin du Léman et dans le défilé du Fort L'Ecluse; mais elle s'en écarte près de Bange, continue droit vers le S, passe sous les plateaux de Clarafond-Vanzy, vient rejoindre la vallée actuelle des Ussets entre Mons et le Pont-Rouge et suit cette dernière jusqu'à son confluent avec le Rhône immédiatement au N de Seyssel.

B) La deuxième vallée préwurmienne est celle d'une *ancienne Valserine*, plus étroite et à pente plus forte que celle du Rhône, car il s'agissait d'un cours d'eau beaucoup moins important. Au sortir de la vallée actuelle de la Valserine, cette Valserine ancienne passait par Bellegarde en dominant La Perte du Rhône, puis serpentait autour du Rhône actuel entre Bellegarde et Génissiat pour venir se jeter dans l'ancien Rhône arrivant par la vallée des Ussets au N de Seyssel.

3° Enfin, sous le complexe des formations que nous venons de qualifier d'interglaciaires, on connaît, en des points très rares, tous situés dans le bassin du Léman, des *moraines* plus anciennes, que nous appellerons, par définition, « *rissiennes* ». Leur assimilation au Riss de Bavière et aux moraines externes (dites rissiennes) du front rhodanien³, comporte des hypothèses analogues à celles que nous avons faites pour nos moraines wurmiennes; ces hypothèses viennent légitimer le nom d'interglaciaire que nous avons appliqué aux formations intercalées entre nos moraines rissiennes et wurmiennes, formations qui dateraient ainsi de l'Interglaciaire Riss-Wurm (voir fig. 8).

³ Cette assimilation a été récemment remise en question par A. JAYET (voir plus loin).

I. — LES TEMOINS DE MORAINES RISSIENNES EN AMONT DU FORT L'ECLUSE

Ces dépôts morainiques rissiens sont, comme nos « moraines de fond » wurmiennes, essentiellement constitués par des *argiles* noires avec rares blocs erratiques et cailloux striés. Mais ils diffèrent considérablement des moraines wurmiennes par leur « cohésion »; ce sont des argiles « préconsolidées », terme que nous empruntons à la Mécanique des Sols et qui mérite quelques explications.

Lorsqu'une vase argileuse se dépose, dans des eaux forcément tranquilles, elle est formée par un enchevêtrement confus de paillettes de minéraux phylliteux et de minuscules grains de sable, dont les interstices sont remplis d'eau. Le volume des vides est alors très important. Si cette argile est comprimée par une surcharge, le premier effet est de produire une surpression hydrostatique de l'eau de remplissage; cette surpression provoque l'élimination progressive de l'eau interstitielle. Ce phénomène ne peut être que très lent par suite de la faible perméabilité de l'argile. Il provoque, à la longue, une augmentation de densité par diminution de l'indice des vides, et, si le temps — pendant lequel l'argile est surchargée — est suffisamment long, la surpression hydrostatique finit par disparaître totalement; ce sont alors uniquement les grains solides de l'argile qui se transmettent les uns aux autres l'effet de la surcharge.

L'argile a été ainsi « préconsolidée »; même si la surcharge disparaît sa modification de structure se maintient; on observe une augmentation apparente de la cohésion; et en particulier la compressibilité d'une telle argile « préconsolidée » est, sous l'action d'une nouvelle surcharge, pratiquement nulle, tant que cette surcharge reste inférieure à celle sous laquelle l'argile a été consolidée. On peut ainsi, dans une certaine manière, par des essais effectués au laboratoire, retrouver quelle a été la surcharge antérieure à laquelle l'argile a été soumise (voir 31, 32).

De tels essais mécaniques n'ont pas été effectués sur nos argiles morainiques rissiennes, mais la seule observation de leurs affleurements montre que ces argiles ont été fortement « préconsolidées ».

De ce point de vue, l'affleurement le plus typique est celui qui est visible sur la rive gauche du Rhône au *Pont Carnot* (appelé parfois « Pont de Savoie »), c'est-à-dire à la sortie même du bassin

du Léman. Là, sur la rive droite, les calcaires urgoniens affleurent à nu jusque dans le lit du fleuve à la cote 323 environ. Sur la rive gauche, notre pointement de moraines rissiennes s'élève jusqu'à la cote 345, immédiatement en aval du pont. En amont, entre le pont et les ruines du moulin Moissière, une tranchée, effectuée à l'occasion des reconnaissances de la CNR (voir fig. 4) a trouvé le sommet de ces argiles rissiennes à la cote 334. Plus en amont encore, on ne les retrouve que sur la berge même du Rhône où elles sont surmontées, vers la cote 325, par des alluvions récentes. Dans

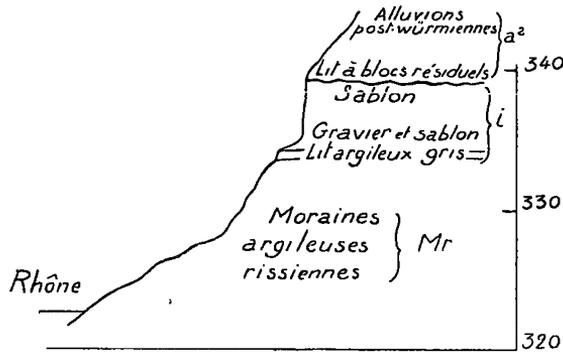


Fig. 4. — Coupe géologique du promontoire de moraine rissienne du Pont Carnot.

Coupe visible dans une tranchée de prospection de la berge gauche du Rhône à une vingtaine de mètres en amont du Pont Carnot et à une trentaine de mètres en aval des ruines du Moulin Moissière.

Cette moraine (Mr) est recouverte et ravinée par un « complexe interglaciaire » (i), lui-même raviné par des alluvions postglaciaires (a2).

cet affleurement la limite supérieure des argiles correspond à une légère rupture de pente de la berge; les terrains supérieurs sont plus meubles, ce sont des sables et graviers avec lits d'argile formant la base de notre complexe interglaciaire, et visibles près du Pont Carnot, dans une gravière, dont nous reparlerons. La limite des deux formations est aussi soulignée par de petites sources très tufeuses.

Là où les argiles forment la berge du Rhône, elles résistent d'une manière remarquable à l'érosion du fleuve. D'autre part, l'observation des ruines du moulin Moissière, moulin construit il y a une quarantaine d'années, et dont la superstructure a été démolie, montre que les maçonneries des murs et fondations ne

sont en aucune manière fissurées. Enfin, à 1.100 mètres en amont du pont, et sur la rive droite, un puits de sondage, après avoir traversé les sables et argiles meubles interglaciaires, a rencontré une argile grise à cailloux tellement compacte qu'on a dû l'attaquer à la mine.

Toutes ces observations : raideur des talus, résistance à l'érosion, absence de fissures dans les ruines du moulin, compacité dans le puits de sondage, démontrent bien que ces argiles, que nous dénommons « rissiennes », sont *absolument différentes des argiles morainiques wurmiennes* qui forment les plateaux décrits précédemment et qui donnent lieu partout, même sous de très faibles pentes, à des glissements de masse.

La « précompression » de nos argiles rissiennes s'explique par leur ancienneté beaucoup plus grande que celle des argiles wurmiennes et surtout par la très forte charge qu'elles ont supportée, d'abord charge des formations et des glaces rissiennes, puis charge des dépôts interglaciaires et wurmiens, charge qui, au Pont Carnot, a dû dépasser plusieurs centaines de mètres.

En amont du Pont Carnot⁴, nos moraines rissiennes ont été traversées dans les *sondages* effectués par la CNR suivant deux profils situés respectivement à 350 m. et à 600 m. en amont du Pont (voir fig. 5). On en a signalé des affleurements en lisière du fleuve, sous les marnes à lignites interglaciaires (voir plus loin), à *Cartigny*, à mi-chemin entre le Pont Carnot et Genève, et enfin à *Genève*, sous les célèbres couches à lignites du Bois de la Bathie, au confluent (« La Jonction ») de l'Arve et du Rhône. Près de cette ville, leur sommet a été atteint à 354 et 352 dans les sondages du Pont de La Jonction (Aug. LOMBARD, 23), à 360 au Pont Butin, à 338 à Frontenex, à 338 à La Grangette, à 361 aux Feuilletières (JOUKOWSKI, 20).

⁴ En aval du Pont Carnot, nous n'avons observé aucun dépôt qui puisse être assimilé à ces moraines rissiennes. Signalons toutefois que A. JAYET (16) a cru en reconnaître un lambeau un peu à l'E de Bellegarde-Coupy, le long de la route de Genève, à peu près au-dessus de La Perte du Rhône. Cette route entaille là en tranchée les alluvions de l'ancienne Valserine que A. JAYET (couche n° 2 de sa coupe) assimile (sans d'ailleurs les distinguer des alluvions rhodaniennes) avec raison à l'« alluvion ancienne » de la région de Genève (voir plus loin). Mais en dessous (couche n° 3) il a observé des sables bien stratifiés qu'il compare, avec raison aussi, à l'« interglaciaire » (s. st., niveau des marnes à lignites) de Genève, surmontant un lambeau (couche n° 4) de « cailloutis empâtés dans un délit molassique, sans ordre (pas de stries glaciaires) », qu'il propose d'interpréter comme « une moraine de fond rissienne locale ». Nous y verrions seulement un dépôt de pente plaqué contre une herge molassique (de fait l'alluvion ancienne contient ici d'énormes blocs de molasse), formé peut-être aux dépens d'anciens dépôts rissiens (comme le suggère JAYET), mais sans signification bien précise.

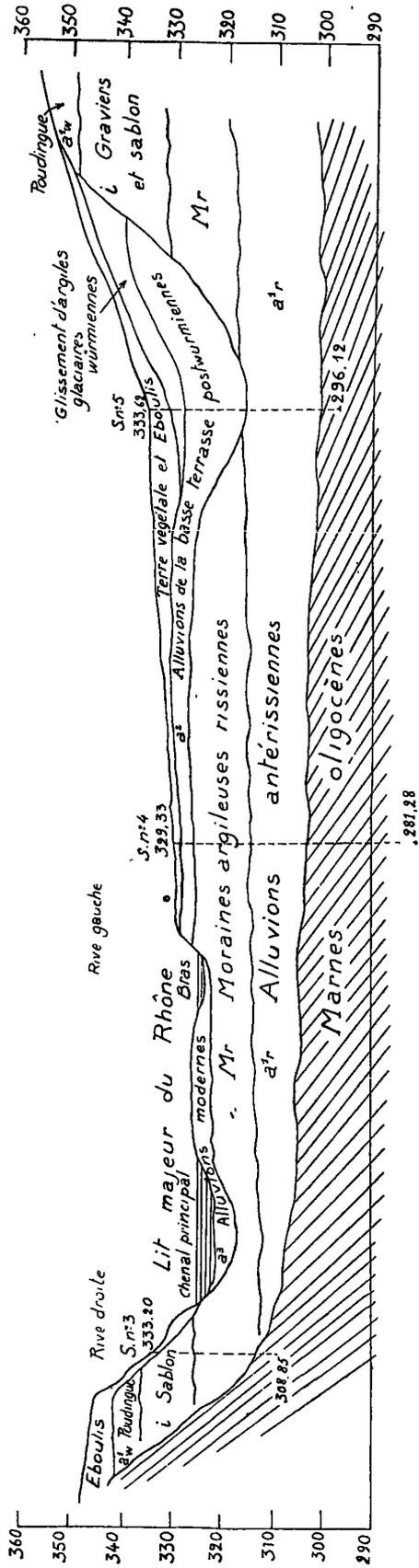


Fig. 5. — Profil passant par les sondages S3, S4 et S5 à 600 m. en amont du Pont Carnot.

La moraine argileuse rissienne (Mr) est surmontée par un « complexe interglaciaire » (i) formé par des sables fins et des graviers couronnés par les poudingues de l'« alluvion ancienne » préwurmienne (a1w); le tout est raviné par des « alluvions postglaciaires » (a2) remplissant une ancienne vallée qui a été reconnue aussi par des sondages et affleurements plus en aval.

Au sujet de ces sondages, JOUKOWSKI s'exprime ainsi (p. 32) : « jusqu'à présent nous n'avons jamais observé, dans nos nombreux sondages, un dépôt antérieur à la moraine rissienne intercalé entre elle et le soubassement molassique; mais nous ne pouvons affirmer qu'aucune formation fluviatile ou lacustre n'existe sous la moraine rissienne ». Et effectivement, certains des sondages de la CNR (fig. 5) ont traversé des *alluvions caillouteuses* sous les argiles rissiennes; ces alluvions « pré-rissiennes » recélaient une nappe artésienne, ce qui souligne la régularité de leur couverture d'argiles morainiques imperméables.

Rappelons enfin que sur les chaînons du Colombier et du Crêt d'Eau, au-dessus des placages morainiques wurmiens qui en revêtent les flancs, on trouve, disséminés jusqu'à des altitudes dépassant 1.110 m., de *rare blocs erratiques alpins*, seuls témoins d'une glaciation plus ancienne, que l'on convient d'appeler aussi *rissienne*, et qui aurait ainsi submergé presque complètement nos chaînons jurassiens et subalpins.

Tout ceci montre bien l'importance des érosions qui ont eu lieu après cette glaciation rissienne : de celle-ci n'ont été conservés que les blocs rocheux trop gros pour avoir pu être entraînés par les eaux courantes, et nos lambeaux de moraines de fond argileuses, protégées et durcies par leur enfouissement au fond des vallées sous des charges de sédiments plus récents⁵.

II. — LES COMPLEXES INTERGLACIAIRES (PREWURMIENS)

Nous employons à dessein ce terme de « complexe »; il s'agit en effet de sédiments très variables, à la fois dans le temps (sur une même verticale) et dans l'espace, et dont l'interprétation est difficile. Il y a parmi eux des couches épaisses d'*alluvions* stratifiées, qui représentent certainement des dépôts fluviatiles, mais aussi des *graviers* et enfin des *sables très fins* avec lits *argileux* déposés probablement dans d'anciens lacs; les graviers contiennent parfois des cailloux striés; dans le prolongement de ces couches en territoire

⁵ Ne tenant pas compte de l'importance de cette érosion, A. JAYET (47, 49) estime que les moraines dites « rissiennes » entre Bellegarde et Genève ont été déposées par un glacier qui n'a pas dû dépasser Bellegarde vers l'aval. De sorte que, pour lui, tous les dépôts glaciaires entre Bellegarde et Lyon, y compris les « moraines externes », seraient à rapporter à une unique glaciation wurmienne. Nous ne saurions, pour ce seul argument négatif, admettre une opinion aussi subversive, qui viendrait ruiner de fond en comble toutes les synthèses du Quaternaire alpin.

suisse, il y a même des lits de *lignites* (bois de Chênes), comme par exemple dans les berges du Rhône à Cartigny (à mi-chemin du Pont Carnot et de Genève) et à Genève même (Bois de La Bâthie); ce sont ces argiles à lignites qui accusent le plus nettement un caractère « *interglaciaire* ». Mais, dans nos complexes, il y a certainement aussi des dépôts formés dans des cours d'eau ou des lacs, soit vraiment interglaciaires, soit ayant pu exister en bordure des glaciers (marginiaux) ou même sous-glaciaires, donc contemporains, soit des dernières phases de retrait de la glaciation rissienne, soit des premières avancées des glaces wurmiennes.

Dans notre région, ces terrains interglaciaires sont surmontés directement par les moraines de fond wurmiennes; et lorsqu'on arrive à distinguer les parties de moraines en place de celles qui sont descendues par glissement dans les vallons, on constate que les niveaux du contact sont très réguliers. Les moraines wurmiennes se sont déposées sur des *plaines alluviales* faiblement inclinées de l'amont vers l'aval (4 à 5 m. environ par kilomètre). En général aussi le sommet des alluvions interglaciaires a été fortement aggloméré en poudingues et ce phénomène accentue encore la rupture de pente topographique due déjà à ce que ces alluvions tiennent sous des talus beaucoup plus raides que les argiles wurmiennes; fréquemment cette couche de poudingues donne lieu à une petite corniche. Dans nos descriptions locales, nous distinguerons les trois domaines suivants, déjà indiqués plus haut (fig. 7).

1° L'ancienne vallée du Rhône, entre Bange et la Rivière des Usses.

Cette ancienne vallée a été découverte par SCHARDT, puis étudiée par M. LUGEON et M. VILLEMAGNE (27), par W. KILIAN (22) et enfin par L. DONCIEUX (4,5). Nos observations n'ont pas ajouté grand chose à celles de ce dernier. Car l'entrée, à Bange, et la sortie, entre Mons et le Pont Rouge, sont des plus faciles à observer. Tant sur la rive gauche du Rhône à Bange que sur la rive droite des Usses en aval de Mons⁶, on voit les affleurements de molasses tertiaires disparaître sous un remplissage d'*alluvions anciennes, caillouteuses*, avec lits de poudingues et lentilles de sables bien lavés; ces alluvions sont fréquemment masquées par les glissements des argiles morainiques wurmiennes qui les surmontent et forment les plateaux. La base des alluvions n'a pas été précisée dans la région de Bange, mais elle est certainement en dessous de la vallée actuelle du Rhône; vers Mons, le fond de l'ancienne vallée, constitué par des

⁶ Voir les coupes figurées par L. DONCIEUX (5).

marnes oligocènes, est voisin de la cote 300. Le sommet des alluvions, c'est-à-dire la base des moraines wurmiennes restées en place, est vers 375 au Fort L'Ecluse et vers 338 à Mons.

La *continuité de l'ancien talweg* entre cette entrée et cette sortie ne faisait pas de doute, et a été vérifiée par la réalisation de la retenue de Génissiat. De fait, environ un an après la mise en eau, on a observé une légère augmentation du débit des petits ruisseaux, affluents des Ussets, qui descendent des plateaux à l'E et à l'W du village de Vanzy. Le débit souterrain qui emprunte ainsi le tracé de l'ancien talweg préwurmien du Rhône, est, comme il avait été prévu, infime; il est certainement inférieur à 50 litres-seconde. Les résurgences les plus hautes dans la vallée des Ussets sont à une cote voisine de 312, alors que la retenue est à 330, le fond de l'ancienne vallée vers Vanzy à la cote 300, et le cours actuel des Ussets à 290. Remarquons aussi qu'en amont de Bange, dans le défilé du Fort L'Ecluse et dans le bassin du Léman, le tracé du Rhône actuel suit à peu près l'ancienne vallée; la vallée actuelle a donc pu s'élargir dans les formations meubles qui remplissent cette ancienne vallée et n'offre aucun emplacement possible de grand barrage. Au contraire, en aval de Bange, le Rhône actuel s'écarte de l'ancienne vallée; et dans son tracé *épigénique* il entaille profondément la molasse en un cañon étroit, où l'on a étudié l'emplacement du barrage de Grésin, abandonné pour des raisons techniques, car il eût nécessité deux usines, l'une à Grésin, l'autre à Génissiat (voir 10).

2° L'ancienne vallée de la Valserine.

Elle a été découverte lors de nos explorations. A l'entrée de *Bellegarde*, la route de Genève, au-dessus de *La Perte du Rhône*, entaille en paroi verticale des alluvions consolidées en poudingues qui n'avaient pas autrement attiré l'attention de nos prédécesseurs : ils y voyaient simplement des « alluvions anciennes ». Mais, nous rappelant que le Rhône préwurmien, en aval de Bange, se dirigeait droit vers le S, et non vers Bellegarde, nous en déduisîmes que ces alluvions anciennes de La Perte du Rhône avaient dû être déposées, non par le Rhône, mais par son affluent la Valserine. Et de fait, on peut vérifier qu'elles sont fort différentes des alluvions rhodaniennes, riches en roches cristallines (granites du Mont-Blanc amenés par l'Arve, quartzites triasiques et roches vertes du Valais); au contraire les alluvions de la Valserine ne contiennent guère que des *galets calcaires*, avec quelques cailloux cristallins provenant sans doute de la destruction des vieilles moraines rissiennes qui avaient recouvert le Jura.

L'un de nous (J. M.) a tenu à vérifier quantitativement cette impression qualitative, en faisant analyser les sables contenus dans ces diverses alluvions. Le pourcentage de calcaire (évalué par dissolution à l'acide) a varié de 46 à 68 % (moyenne 60 %) pour les alluvions de l'ancienne Valserine, de 27 à 39 % (moyenne 32 %) pour celles de l'ancien Rhône, de 23 à 30 % (moyenne 25 %) pour les alluvions actuelles du Rhône. Mais, pour économiser du temps (et de l'acide), on n'a fait porter les analyses que sur les parties sableuses de diamètre compris entre 1 mm. et 0,25 mm. et non sur les galets. Or on sait que les sables calcaires, dans les transports alluviaux, disparaissent beaucoup plus vite que les sables siliceux ou silicatés. Ainsi les différences de pourcentage du calcaire dans les alluvions *jurassiennes* de la Valserine et les alluvions *alpines* du Rhône doivent être très supérieures à celles qu'indiquent les chiffres ci-dessus.

Ainsi reconnues à Bellegarde, ces alluvions jurassiennes ont été retrouvées par nous, sur la rive droite du Rhône, au-dessus du chantier même de *Génissiat*, où elles sont entaillées en tranchée par la route qui descend à la gare; elles sont surmontées là par les argiles morainiques wurmiennes et reposent, à une cote voisine de 345, sur les calcaires urgoniens (voir fig. 3). Comme la cote maximum de la retenue est 330, les ingénieurs ne s'étaient pas préoccupés de ces alluvions. Elles témoignaient pourtant du remplissage d'une ancienne vallée, dont le talweg rocheux pouvait descendre bien au-dessous de 345. De fait, cette ancienne vallée, en gros parallèle au Rhône, est recoupée par les profonds *vallons affluents* du Ringe, en amont du barrage, et des Fontaines Baron, en aval (voir fig. 6); l'étude des affleurements et quelques petits sondages permirent là de reconnaître facilement son passage entaillé dans l'Urgonien et d'évaluer la cote de son talweg à 315-319. Un autre point de repère nous fut fourni par l'étude du *tunnel* dans lequel la voie ferrée s'engage au N de la gare de Génissiat pour ressortir dans le vallon du Ringe. Tandis que l'entrée et la sortie de ce tunnel sont restées sans revêtement dans l'Urgonien, la partie centrale est revêtue de béton et montre des venues d'eau; nous en déduisîmes que dans ce secteur central le tunnel avait dû être creusé dans les alluvions aquifères de l'ancienne vallée, alluvions ayant nécessité un revêtement. Ainsi le tracé de cette ancienne vallée put être reconstitué avec beaucoup de précision; et la tâche des géologues était terminée. Ajoutons seulement qu'au cours des derniers travaux, un *tunnel* destiné à abriter les câbles de liaison entre l'Usine et le Poste de répartition vint atteindre (au point A de la fig. 3) le fond de l'ancienne vallée; la CNR en profita pour

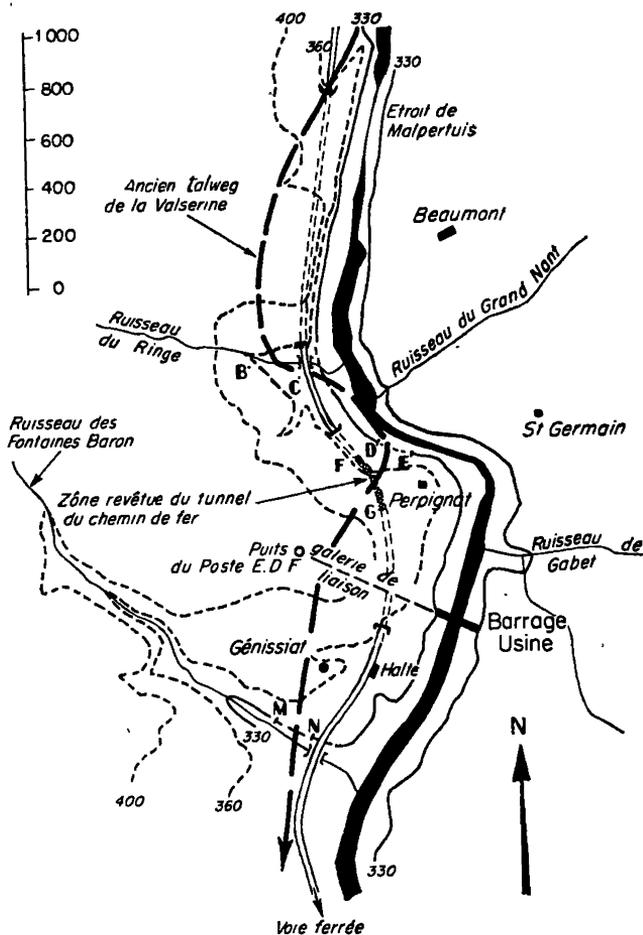


Fig. 6. — Tracé de détail de l'ancienne vallée préwurmiennne de la Valserine au droit du barrage de Génissiat.

En amont, l'ancien talweg de la Valserine, suivant à peu près le vallon du Ringe entre B et C, vient momentanément tangenter le canyon actuel du Rhône; il s'en écarte en entaillant la falaise urgonienne entre D et E; il est recoupé par le tunnel ferroviaire entre F et G, puis débouche dans le vallon des Fontaines-Baron entre M et N.

La courbe de niveau 330 (cote de la retenue) a été indiquée en trait plein quand l'Urgonien y affleure, et en pointillé dans les secteurs DE et MN où il disparaît sous les alluvions de l'ancienne vallée.

PRINCIPAUX POINTS GEOLOGIQUES RECONNUS DANS LES ALLUVIONS
PREWURMIENNES DE LA VALSERINE

Repères de la carte fig. 7	Désignation du lieu	Cote de l'ancien talweg	Sommet des alluvions	OBSERVATIONS
1	Région de Coupy	330 (Urgonien)	409	Nombreux affleurements d'alluvions souvent cimentées dans les pentes au N de la route de Genève.
2	Eperon du Bois d'Arlod			Mamelon dominant la plateforme R. G. de l'ancien pont de Lucey et carrières le long de la route de Frangy.
3	Arlod	330 (Urgonien)		Affleurement d'alluvions entre la voie ferrée et le Rhône et à l'entrée du ravin de la Fontaine des Malades.
4	Sous Cusinens			Quelques affleurements d'alluvions sur la R. G. du Rhône.
5	Malpertuis	326 (Urgonien)		Gorge bien visible à l'entrée N du tunnel du Paradis, lui-même creusé sur 200 m. de longueur dans les alluvions.
6	Ringe			L'ancienne vallée est visible à l'W de l'entrée S du tunnel du Paradis.
7	Région de Génissiat	319-315 (Urgonien)	375	Région reconnue en détail (voir fig. n° 6).
8	Bognes		340	Nombreux affleurements d'alluvions : — sur la rive S du ruisseau de Bérenthin, — à l'W du tunnel de Bognes, — et dans les pentes qui dominent le Rhône vers les Balmettes.
9	Sous Challonges	280 (Oligocène)	330	Sur la rive gauche du Rhône, les alluvions sont visibles : — vers Volland d'en Haut, — dans les pentes de Perretaz, — au sud de la route de Pyrimont à Challonges.
10	La Croix Meunier			Affleurements dans les talus qui dominent le Rhône.
11	Etranginas	275 (Oligocène)		Extrémité E de l'éperon sur lequel est bâti le hameau d'Etranginas.

construire dans des conditions faciles un écran d'étanchéité destiné à éviter les risques, même peu importants, de fuites d'eau de la retenue le long de cet ancien talweg.

Entre *Bellegarde et Seyssel*, de nombreux autres affleurements d'alluvions anciennes analogues s'observent sur les deux rives du Rhône : L. DONCIEUX les a figurés en « alluvions de progression wurmienne » sur la feuille Nantua (2^e édit.) de la Carte géologique au 1/80.000. Ces affleurements ont été revus par l'un de nous et lui ont permis de préciser, sur une carte au 1/50.000, le tracé de cette ancienne Valserine. Notre fig. 7 est la reproduction réduite et simplifiée de ce tracé : on voit qu'il recoupe 6 fois le Rhône.

Le tableau joint à cette figure indique, d'autre part, les principaux points géologiques reconnus le long du tracé. Sur ce tableau nous avons indiqué, lorsqu'elles ont pu être relevées avec précision sur place, la cote du fond de l'ancienne vallée et celle du sommet des alluvions interglaciaires. Comme il a déjà été mentionné, le sommet de ces alluvions est fréquemment marqué par un banc de poudingues dont la surface supérieure, lisse (poli glaciaire), est directement surmontée par les argiles glaciaires. Cette constatation semble indiquer que, lors de l'avancée du glacier wurmien, ce dernier a eu d'abord un rôle surtout érosif; la sédimentation « sous-glaciaire » date donc surtout de la période de retrait, de « glaces mortes »⁷.

Creusée par une rivière peu importante, cette ancienne vallée de la Valserine est beaucoup moins large que celle de l'ancien Rhône, et sa *pente* est beaucoup plus forte que celle du Rhône actuel; quand on la remonte vers l'amont, on voit ainsi son talweg s'élever progressivement au-dessus du fleuve, qu'il domine de 45 m. à Surjoux, de 55 m. à Génissiat, de 60 m. à Arlod près Bellegarde. Ainsi, même dans les régions où le fleuve recoupe l'ancienne Valserine, il reste toujours encaissé entre des *falaises urgoniennes* dont la hauteur correspond à peu près aux chiffres ci-dessus. Entre ces régions, lorsque le Rhône s'écarte de l'ancienne vallée, ces falaises peuvent être bien plus élevées : c'est là naturellement que se trouvent les meilleurs emplacements de barrages; c'est ainsi qu'on a longtemps hésité entre les sites de Génissiat et de Malpertuis, situés respectivement au N et au S du vallon du Ringe, et où l'ancienne Valserine se maintient sur la rive droite : à Génissiat les falaises

⁷ Rappelons que dans la haute vallée de la Durance, des polis glaciaires analogues s'observent au sommet des poudingues interglaciaires du Roc d'Embrun et du Plateau de Montdauphin, poudingues surmontés par les « moraines de fond » wurmiennes.

urgoniennes dominant le Rhône de $330-260 = 70$ m. sur la rive droite et de $318-260 = 58$ m. sur la rive gauche; à Malpertuis, leur hauteur atteint $396 - 270 = 125$ m. sur la rive gauche.

3° Le défilé du Fort L'Ecluse entre Bange et le Pont Carnot.

C'est là que le problème des formations « interglaciaires » a été posé pour la première fois, d'abord par RENEVIER, puis par W. KILIAN (21).

En 1883, immédiatement en amont du Fort L'Ecluse, un *grand écroulement* entraîna jusque dans le fond de la vallée la voie ferrée Bellegarde-Genève. Il y a là sortant de la paroi de calcaires jurassiques, dont la base est masquée par des éboulis, la grosse source vauclusienne de La Buna qui, filtrant à travers ces éboulis, apparaissait en surface à quelques mètres au-dessus du Rhône. Lors d'une période de fonte des neiges, la pression des eaux mises en charge dans les boyaux souterrains des calcaires fit écrouler toute la couverture d'éboulis, sur lesquels était fondée la voie ferrée.

Appelé sur place, le géologue suisse RENEVIER étudia en détail la berge rive droite. Il reconnut que le fleuve entamait là une épaisse formation de sables argileux extrêmement fins (dits « *sablons* »), passant même, au niveau du Rhône, à des *argiles* plastiques qui, dit-il, se prolongeaient à au moins 4 m. sous le fleuve. Il qualifia avec raison ces couches de dépôts fluviatiles et lacustres; et dès lors, ces « *argiles lacustres du Fort L'Ecluse* » devinrent célèbres dans la littérature géologique.

Depuis, la CNR a fait exécuter, sur la rive droite du Rhône entre les abords du Pont Carnot et le viaduc de Longeray (où la voie ferrée de Bellegarde à Annemasse franchit le fleuve), un grand nombre de *travaux de prospection*, tranchées, puits et 10 sondages⁸. Il est inutile de les décrire en détail : contentons-nous de dire qu'ils ont permis de reconnaître la série suivante :

A) Au-dessus du fleuve, on a d'abord les dépôts fluviatiles et lacustres de RENEVIER formés en réalité presque uniquement de *sables très fins* (sablons), parfois bouillants, dans lesquels s'intercalent des lentilles d'*argiles*, beaucoup moins puissantes (moyenne, 60 cm.) que ne le croyait RENEVIER, et discontinues; la plus épaisse (2 m.) a été rencontrée, vers la cote 340, par une tranchée au-dessus

⁸ Ceci dans le but d'établir un programme de travaux de stabilisation des berges du Rhône dans cette région; ces travaux ont été décrits en détail par Marc HENRY dans le Volume « Génissiat » (40).

du sondage 3; dans cette même tranchée, les sables ont été reconnus jusqu'à la cote 360. Dans la partie aval, en approchant du viaduc de Longeray, ces sables fins contiennent des intercalations de graviers de plus en plus nombreuses.

B) Vers le haut, ces sables fins passent partout (en continuité ?) à des graviers, puis à des *alluvions caillouteuses* à gros galets, souvent conglomérées en *poudingues* qui, vers les cotes 370-375, ressortent en petites corniches dans les pentes herbeuses; elles sont tout à fait identiques aux alluvions « préwurmienne » de l'ancien Rhône entre Bange et Les Ussets⁹.

C) Au-dessus enfin, viennent les habituelles *moraines argileuses wurmiennes*, donnant de grands glissements, dont certaines coulées descendent jusqu'au Rhône, masquant les assises de notre « complexe interglaciaire ».

Dans le défilé du Fort L'Ecluse, ces formations quaternaires, et principalement A et B, sont réduites à de minces placages revêtant les parois calcaires de la cluse. Mais, en aval du viaduc de Longeray, dans le triangle Longeray-Bange-Bellegarde, elles se développent beaucoup et constituent un véritable massif de collines, de croupes, de replats, à topographie très confuse¹⁰. Les « morpho-

⁹ Les alluvions caillouteuses de l'ancien Rhône préwurmien descendent à Bange jusqu'à la cote maximum 300 (cote du Rhône actuel); et l'« alluvion ancienne » qui représente leur prolongement dans le bassin du Léman semble descendre jusqu'à des cotes voisines de 340. Dans le défilé du Fort L'Ecluse, on pouvait donc s'attendre à voir leur base à des cotes intermédiaires entre 300 et 340; or les sables fins (sablons) qui, là, ont été reconnus jusqu'à la cote 360 n'ont pu être déposés par le même cours d'eau qui, en aval et en amont, transportait des alluvions caillouteuses grossières; dans le défilé, ces dernières ne sont plus visibles actuellement qu'à des cotes voisines de 370-375. On pourrait donc être tenté d'en déduire que là, entre Longeray et le Pont Carnot, c'est-à-dire à la traversée de l'anticlinal Crêt d'Eau-Vuache, il y a eu, depuis le Riss, un soulèvement « tectonique » de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Pour notre part, nous n'y voyons aucune impossibilité, car le Jura, chaîne très jeune, est encore en état d'évolution tectonique. Mais nous connaissons trop les incertitudes du Quaternaire pour oser une pareille affirmation; on peut penser, par exemple, que le cours d'eau transportant les alluvions caillouteuses a raviné les sablons et argiles « interglaciaires » jusqu'à des cotes bien inférieures à 360, mais que le remplissage axial de cette ancienne vallée a été détruit par l'érosion du Rhône actuel. Ces échafaudages d'hypothèses deviennent par trop fragiles et nous nous bornons à les suggérer à nos lecteurs sous forme de cette note infrapaginale. Mais en tout cas, il nous est vraiment impossible d'admettre ici les importants soulèvements tectoniques auxquels paraît croire JAYET (47).

¹⁰ Les « failles » décrites par J. GOGUEL (14) à Vauchy dans ce complexe fluvioglaciaire wurmien n'ont, comme il le souligne lui-même, aucune signification tectonique, et ne sont que de simples incidents locaux et superficiels de sédimentation.

logistes » se sont donné la libre carrière : KILIAN (24) et DONCIEUX (5) ont cru pouvoir y reconnaître des vallums morainiques, des cônes de transition, des lambeaux de terrasses alluviales, marquant des stades de retrait de la glaciation wurmienne.

Et surtout KILIAN considérait les formations « interglaciaires » du Fort L'Ecluse, et en particulier les « argiles lacustres » de RENEVIER, comme « *emboîtées* » dans ce complexe wurmien, donc postwurmienne, et surmontées à leur tour par des moraines témoignant d'une glaciation distincte, appelée par lui « *néowurmienne* ». Précisant encore les conceptions de KILIAN, DONCIEUX a distingué sur la 2^e édit. de la feuille Nantua un complexe wurmien (figurés jaunes), avec « alluvions de progression » (celles de Bange-Les Usses) et moraines de retrait, et un complexe néowurmien (figurés verts), avec aussi « alluvions de progression » (notre complexe interglaciaire du Fort L'Ecluse) et moraines superposées : ce glacier néowurmien se serait ainsi avancé jusqu'à Bange, en une langue étroite *confinée dans le fond de la vallée*.

Il nous paraît vraiment impossible de faire une telle distinction. La liaison entre le bassin du Léman et le Rhône préwurmien qui a déposé les alluvions de Bange ne pouvait se faire que par le défilé du Fort L'Ecluse : a priori, on doit donc retrouver dans ce défilé des dépôts préwurmiens; ils y sont effectivement : ils débutent par les sablons et argiles découverts par RENEVIER, sédiments à grain très fin qui atteignent 40 m. d'épaisseur et semblent prouver qu'après le Riss un chenal d'eau tranquille (lac ou fleuve) s'est momentanément prolongé jusqu'aux environs du viaduc de Longera. Il faudrait au contraire des arguments absolument péremptoirs pour distinguer, dans ce complexe interglaciaire, un interglaciaire préwurmien et un autre postwurmien, comme le voulait W. KILIAN.

Pour ce dernier, un tel argument semble avoir été le suivant : W. KILIAN (24, p. 37) avait bien remarqué que « le complexe (du Fort L'Ecluse) est situé à une *altitude* notablement inférieure à celui des formations fluvioglaciaires de Bellegarde et en contrebas de ces dernières, situées cependant en aval », et (p. 39) que « l'altitude de ces alluvions (préwurmiennes) est, entre Bellegarde et Seyssel, au moins à une trentaine de mètres au-dessus du Rhône actuel et en moyenne à une altitude de 300 à 340 m. ». KILIAN n'avait point remarqué qu'il s'agit ici des *alluvions préwurmiennes de la Valserine*, dont l'ancien talweg, comme nous l'avons vu, se maintient en effet bien au-dessus de celui du Rhône. Et quant aux alluvions rhodaniennes de Bange-Les Usses, dont KILIAN lui-même admet l'âge préwurmien, il ne tient pas compte du fait qu'elles descendent, à Bange, au-dessous du Rhône actuel.

Nous n'admettons donc point l'individualité de ce « *Néowurmien* » du Fort L'Ecluse : toutes les moraines de la région Longerey-Bellegarde appartiennent pour nous à la *glaciation wurmienne* et à ses *stades de retrait*, non séparés des stades antérieurs par des dépôts « interglaciaires » ¹¹.

4° L'extrémité du bassin du Léman, en amont du Pont Carnot.

Nous n'avons nullement l'intention de tenter ici une synthèse d'ensemble, qui exigerait une connaissance approfondie du territoire suisse; et nous nous bornerons à signaler quelques observations locales, en indiquant leurs raccords avec les faits reconnus plus en aval ou plus en amont (voir la fig. 8, tout à fait théorique).

A) La gravière du Pont Carnot.

Située sur la rive gauche, juste au-dessus du Pont, cette gravière intrigue depuis longtemps les géologues : on y voit en effet une succession de couches *régulièrement stratifiées*, alternativement plus argileuses ou plus sableuses ou plus caillouteuses, et *plongeant de 30° environ vers l'amont* ¹². Ces couches surmontent assurément la moraine rissienne décrite plus haut; il semble bien d'autre part qu'elles font partie du soubassement du grand

¹¹ L'interprétation détaillée de tous les affleurements visibles dans ce puissant complexe fluvioglacière posera toujours bien des problèmes.

Ainsi l'un de nous (J. M.) a observé en divers points, entre Bellegarde et Longerey, des alluvions caillouteuses bien stratifiées que leur teneur en sable calcaire rapprocherait des alluvions de la Valserine, mais qui reposent sur la molasse à des cotes qu'il juge trop élevées pour pouvoir faire partie du remplissage alluvial de la « Valserine préwurmienne » que nous venons de décrire et dont elles s'écartent d'ailleurs notablement. Ces alluvions affleurent ainsi : 1° sur la rive gauche du Rhône, au S de Bellegarde, sous Cusinens (voir carte fig. 7), vers la cote 380; — 2° sur la rive droite, entre Bellegarde et Grésin, vers la cote 360; — 3° sur la rive gauche à l'W de Bange, dans le R. du Parnant, vers la cote 380; — 4° sur la rive droite, entre Léaz et la tête E du tunnel du Crêt d'Eau, dans le R. des Gorges, vers la cote 350. Il y voit les témoins d'un régime hydrographique antérieur, où un cours d'eau d'origine jurassienne aurait coulé d'W en E entre les régions de Bellegarde-Billiat et Léaz. Il émet l'hypothèse que cette rivière aurait creusé le défilé de Fort L'Ecluse pour se jeter dans le Rhône à l'E du Pont Carnot, alors que ce fleuve aurait contourné le Vuache par le S.

L'autre (M. G.) ne peut se résoudre à envisager une hypothèse aussi audacieuse; il préférerait admettre que ces alluvions ont été déposées par des cours d'eau marginaux, qui longeaient le bord N et W du glacier wurmien en progression et qui pouvaient ainsi recevoir des apports d'alluvions jurassiennes; elles représenteraient ainsi quelque chose d'analogue aux célèbres alluvions élevées de La Côte au N du Léman et à celles de St-Jean d'Arvey, très haut sur la rive E de la Combe de Savoie entre Montmélian et Chambéry.

¹² Ce plongement a été figuré par W. KILIAN dans sa coupe générale du Quaternaire de la région (24, fig. 2).

remblaiement morainique wurmien. Elles appartiendraient donc à nos « complexes interglaciaires »¹³.

Des tranchées exécutées par la CNR dans cette gravière et dans un arrachement naturel situé au-dessous de la route (cote 346) ont montré à l'un de nous la succession suivante, de bas en haut :

Dans l'arrachement :

- a) moraine argileuse rissienne, avec cailloux striés, montant jusqu'à 345;
- b) sablon argileux au-dessus;

Dans la carrière :

- c) graviers sablonneux à stratification inclinée de 352 à 358, terminés par un lit de poudingue à 358;
- d) argile jaune à galets striés de 358 à 362 environ;
- e) graviers sablonneux de 362 à 364,50, terminés par un lit de grès de quelques centimètres;
- f) argile sableuse feuilletée au-dessus de 364,50 et correspondant au sommet de la carrière.

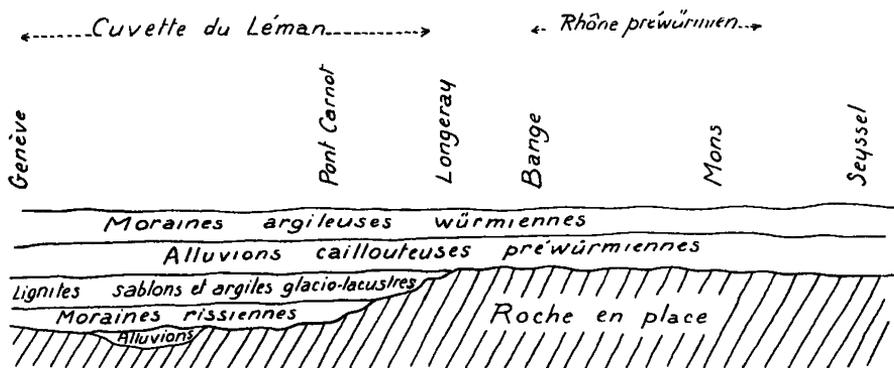


Fig. 8. — Profil théorique montrant la superposition des diverses formations fluvioglaciaires et leur répartition le long des berges du Rhône préwurmien entre Genève et Seyssel.

Le remblaiement de la « cuvette du Léman » par des dépôts préwurmiens apparaît nettement.

N. B. — Les épaisseurs, les longueurs et les pentes ne correspondent pas à la réalité.

Comme toujours dans nos complexes interglaciaires, il est impossible ici de faire la part des alluvions fluviales et des argiles glaciaires ou glacio-lacustres, pouvant dater de la fin du Riss ou du début du Wurm; l'extrême variété et irrégularité des formations

¹³ W. KILIAN et L. DONCIEUX y voient le prolongement des argiles lacustres du Fort L'Ecluse et en font un « interglaciaire » post-wurmien et anté-néowurmien.

sous-glaciaires ou marginales permet de voir se juxtaposer ou se succéder les faciès les plus variés.

Le fort *plongement vers l'amont* des lits de graviers de la carrière a été attribué par W. KILIAN à des mouvements *tectoniques*; comme à PENCK et BRUCKNER, cette opinion nous paraît à priori inadmissible. Il est bien plus naturel de voir là une stratification de *delta*, le long des berges d'un ancien lac; le plongement vers l'amont pourrait s'expliquer en admettant qu'il s'agit, non de l'ancien Rhône, mais d'un petit delta formé par un cours d'eau descendant des collines morainiques rissiennes, auxquelles il aurait emprunté ses matériaux cristallins. Enfin on pourrait supposer que l'on se trouve tout simplement en présence d'un paquet de sédiments basculés à la suite d'un ancien *glissement* ¹⁴.

B) Les « alluvions anciennes » et les argiles à lignites entre le Pont Carnot et Genève.

Les géologues genevois ont remarqué depuis longtemps, dans leur Quaternaire, l'individualité d'une épaisse série d'alluvions caillouteuses, régulièrement stratifiées, qui servent de soubassement aux moraines wurmiennes : ce sont leurs « *alluvions anciennes* » qui, souvent conglomérées en *poudingues* durs, sont entaillées en falaises par le Rhône et même parfois découpées en pyramides (demoiselles) dont A. CAROZZI a étudié la formation; les géologues lyonnais les appelleraient « alluvions de progression du Wurm »; de fait, L. DONCIEUX en fait des « alluvions de progression » de son Néowurm ¹⁵.

¹⁴ Chose curieuse, le même problème se pose à propos des alluvions inclinées vers l'amont que l'un de nous (6) a signalées autrefois sur la rive droite de l'Isère à Rovon, c'est-à-dire à l'extrémité aval du grand bassin remblayé de Grenoble-Moirans, qui est, pour l'Isère, une « cuvette terminale » comparable au bassin du Léman pour le Rhône.

¹⁵ Récemment A. JAYET (18) et A. CAROZZI (2, 3) ont proposé de voir dans ces alluvions anciennes des dépôts « sous-glaciaires », car, disent-ils, elles contiennent parfois de gros blocs et des cailloux striés. Cela ne nous paraît pas un argument péremptoire, d'autant plus qu'on y a recueilli des dents de Mammoth non remaniées. A leur sommet, ces alluvions déposées au front du glacier wurmien en progression, contiennent parfois des intercalations morainiques, décrites depuis longtemps par A. FAVRE et C. LORY (24) au Bois de La Bâthie. Et quant aux blocs et cailloux striés signalés par JAYET et CAROZZI dès la base des alluvions, on peut les interpréter comme remaniés des moraines rissiennes. En tout cas, et pour les régions qui nous intéressent plus spécialement, en aval du bassin du Léman, il nous paraît impossible de voir des dépôts sous-glaciaires dans ces remplissages alluviaux, si continus et si homogènes, qui remblayaient les anciennes vallées d'érosion si nettement dessinées du Rhône entre Bange et Seyssel et de la Valserine entre Bellegarde et Seyssel; nous avons insisté plus haut (p. 142) sur la régularité de ces plaines alluviales, régularité qui s'expliquerait difficilement dans le cas de torrents sous-glaciaires.

Elles forment ainsi le couronnement de nos « *complexes interglaciaires* ». Car au-dessous d'elles on rencontre fréquemment, soit dans les sondages, soit dans les berges du Rhône, des sédiments plus fins, très variés, graviers, sables et lits de « *glaises rubanées* », qui se succèdent au-dessus des moraines rissiennes en lentilles discontinues, de sorte que, comme l'ont montré les sondages de Chancy (étudiés par JOUKOWSKI), il est vraiment impossible de les raccorder d'un sondage à l'autre.

Cette même succession se retrouve jusqu'aux abords du Pont Carnot, comme le montrent les *profils des sondages* exécutés par la Sté Solétanche pour le compte de la CNR (voir fig. 5); les falaises qui dominent le Rhône correspondent toujours aux affleurements de ces « alluvions anciennes »; on les voit en particulier former le soubassement de la belle terrasse (postglaciaire, voir plus loin) de Collogny.

Mais ce qui nous intéresse le plus dans ces argiles interglaciaires à la base de l'alluvion ancienne, c'est la présence de *lignites*, ou plutôt de bois fossiles. Le gisement le plus rapproché du territoire français s'observait autrefois (il est maintenant masqué par des éboulements) sur la rive gauche du Rhône à *Cartigny*, à mi-chemin entre le Pont Carnot et Genève : nous l'avons visité autrefois en compagnie de JOUKOWSKI (voir sa fig. 10, p. 59). Aux portes de Genève, on retrouve ces couches à lignites, toujours entre la moraine rissienne et l'alluvion ancienne, au Pont Butin (voir JOUKOWSKI, 20, fig. 11, p. 60) et au *Bois de La Bâthie* (voir Aug. LOMBARD, 23, p. 416, 417).

III. — LES MORAINES WURMIENNES ET LEURS FACIES GLACIOLACUSTRES

Pour évoquer le caractère essentiellement argileux de nos moraines wurmiennes, les géologues français se sont contentés jusqu'à présent de les qualifier de « *moraines de fond* ». Comme l'a fort bien dit JOUKOWSKI (p. 32), « nous ne connaissons rien, dans les glaciers actuels, qui soit un équivalent de nos puissantes moraines de fond ». Mais cette affirmation ne s'applique qu'aux glaciers actuels « alpins »; or nos glaciers quaternaires ne sont comparables qu'aux grands glaciers de vallée ou de piedmont du type alaskien, avec leurs cours d'eau et leurs lacs marginaux ou sous-glaciaires; c'est en effet seulement dans des *lacs* qu'ont pu se déposer les épaisses accumulations de vases argileuses, souvent *régulièrement*

stratifiées (varves), caractéristiques de nos « moraines de fond »; les cailloux striés et blocs erratiques isolés qu'elles contiennent sont tombés des masses de glace qui flottaient sur ces lacs ou les bordaient; JOUKOWSKI remarque lui-même que l'on voit souvent les feuillettes des argiles se déprimer sous ces cailloux, venus ainsi surcharger le fond vaseux; et le terme de « glaciolacustre » (voir 8, p. 660) a été employé pour la première fois par les géologues genevois FAVRE et JOUKOWSKI.

Pour comprendre ce phénomène, il n'est que de s'imaginer le Glacier du Rhône actuel s'avancant jusque sur le Léman; on voit ainsi que ces faciès lacustres sous- ou péri-glaciaires se développeront surtout lors des arrivées ou, plus encore, des retraits du front glaciaire (voir plus haut, p. 141); ils seront donc plus ou moins liés aux « complexes interglaciaires »; de fait, les « glaises rubanées » des géologues genevois (= argiles à varves) surmontent souvent directement les moraines rissiennes ou wurmiennes. Comme le dit JOUKOWSKI (p. 34), « dans la plupart des sondages où elle (la moraine rissienne) a été rencontrée, elle a, dans sa partie supérieure marquant le retrait du glacier, un faciès stratifié formé de glaises rubanées »; et (p. 49), « la moraine wurmienne passe presque toujours, vers le haut, à des glaises rubanées...; de telles couches, sur 7 à 10 m. d'épaisseur, forment, dans le Petit Lac, le support de la craie lacustre épaisse, elle aussi, d'une dizaine de mètres ».

Dans le domaine que nous avons étudié, il n'est évidemment rien de comparable à la « craie lacustre » postwurmienne du pourtour du Léman actuel. Les couches argileuses et les « sablons » de la cluse du Rhône entre le Pont Carnot et Longeray, situés sous « l'alluvion ancienne » peuvent être attribuées, soit au retrait de Riss, soit au début de l'interglaciaire Riss-Wurm. Et quant aux « moraines de fond » wurmiennes, leur caractère *glaciolacustre* a été montré d'une façon impressionnante par les travaux effectués dans le *promontoire morainique* qui, dominant à l'W le chantier de *Génissiat*, a pour soubassement les alluvions caillouteuses de la Valserine préwurmienne. Un puits vertical creusé au sommet de ce promontoire (voir fig. 3) a traversé 60 m. d'argiles bleues litées, avec très peu de galets striés et de blocs erratiques. La plate-forme culminante de ce promontoire a été écrêtée pour y asseoir les bâtiments du Poste de transformation, et les fouilles et tranchées ont permis d'observer nettement ces argiles, avec très minces et rares intercalations de couches plus sableuses.

Rappelons que ces argiles wurmiennes sont éminemment peu résistantes et *fluentes*; les versants du promontoire étaient revêtus d'anciens glissements stabilisés, mais qui se sont remis en mou-

vement dès que des apports de déblais y apportaient de nouvelles surcharges (voir 10, phot. n° 19 et 20) ¹⁶.

IV. — LES TERRASSES POSTGLACIAIRES

En amont du Pont Carnot, la vallée du Rhône s'élargit et le fleuve est souvent bordé par des replats horizontaux, des « terrasses d'alluvions »; la plus typique est la « *terrasse de Collogny* »; elles sont repérées avec beaucoup de soin sur la carte au 1/25.000 de PARÉJAS; et ces alluvions ont été indiquées par L. DONCIEUX sur la feuille Nantua par la lettre et le figuré *a1e* et qualifiées de « terrasse de 8-15 m. ».

Ces alluvions sont évidemment *postglaciaires*, puisque leur surface supérieure a gardé la forme topographique régulière d'une ancienne plaine alluviale, d'une véritable « terrasse », au sens topographique de ce terme, terrasse qui n'a plus été recouverte par aucun glacier, mais seulement revêtue localement par des limons de ruissellement descendus des collines voisines.

Ces alluvions reposent, en les ravinant, soit sur les moraines wurmiennes, soit, le plus souvent, sur nos complexes interglaciaires; et quand ces derniers sont formés par des « alluvions anciennes » caillouteuses analogues, la *distinction* de ces deux formations alluviales devient parfois difficile; il est vrai que les alluvions postglaciaires ne sont jamais conglomérées en poudingues, comme le sont souvent les alluvions préglaciaires; néanmoins ce critère empirique n'a pas une valeur générale.

Mais les anciens géologues genevois avaient remarqué depuis longtemps que, le long du contact, s'intercale souvent ce qu'ils nommaient un « *lit de boulets* ». D'ordinaire les galets de nos deux sortes d'alluvions ont des dimensions maxima comparables, celles d'un œuf ou du poing; au contraire les « boulets » sont de gros blocs dont le diamètre atteint plusieurs décimètres; et on a tout de suite l'impression qu'ils n'ont pu être apportés par les courants où se sont déposés les alluvions anciennes qu'ils surmontent, ni les alluvions postglaciaires dans la base desquelles ils sont enrobés. La seule explication possible est que ce sont des « *blocs résiduels* »

¹⁶ Ce sont surtout les assises supérieures de ces argiles qui sont particulièrement meubles et peu résistantes et semblent n'avoir jamais été beaucoup « précomprimées ». Elles doivent en effet avoir été déposées alors que le glacier wurmien en recul était sur le point de quitter la région et devait être d'épaisseur fort réduite; on n'avait plus que des lobes de glaces mortes flottant sur des lacs peu profonds, ce qui s'accorderait bien, nous semble-t-il, avec les idées des glaciologistes américains (voir plus haut, p. 141).

(voir 8, p. 661). Les alluvions préglaciaires ont été, après leur dépôt, recouvertes par la puissante accumulation des moraines wurmiennes; après le retrait des glaces, l'érosion a commencé à nettoyer ces moraines; mais les plus gros blocs n'ont pu être entraînés et sont restés sur place, comme témoins, résidus. Puis, quand un nouveau remblaiement est venu déposer les alluvions postglaciaires, ces « blocs résiduels » ont été enrobés dans la base de ces alluvions, par rapport auxquelles ils font figure d'éléments étrangers.

Un de ces lits de boulets est nettement visible dans une grande gravière qui entame le promontoire de Bilet, dominant le Rhône entre L'Etournel et l'Usine de Chancy-Pouigny; la base de la carrière est dans l'alluvion ancienne, et le sommet dans l'alluvion postglaciaire.

D'autres exemples analogues ont été observés dans les tranchées ou sondages de la CNR en amont du Pont Carnot (voir la fig. 4).

V. — RESUME ET CONCLUSIONS

1° Histoire du Glaciaire rhodanien.

Nos observations sont ainsi venues s'insérer très naturellement dans le schéma d'ensemble du Glaciaire rhodanien (voir fig. 8) :

A) Les témoins d'une ancienne glaciation, que nous convenons d'appeler *rissienne*, sont réduits à une couche discontinue de moraine de fond argileuse, le plus souvent cachée sous les dépôts postérieurs du bassin du Léman, mais dont l'affleurement le plus typique et le plus visible est celui du *Pont Carnot*, jusqu'à présent méconnu.

B) A l'interglaciaire *Riss-Wurm* nous rapportons nos « *complexes interglaciaires* », réduits à l'aval de Longeray à des alluvions caillouteuses, mais sous lesquelles, dans le défilé du Fort L'Ecluse et dans le bassin du Léman, s'intercalent des sables fins et des bancs argileux, avec lits de *lignites* dans la banlieue de Genève. Avec nos confrères suisses (Albert HEIM en particulier), nous leur assimilons les « *charbons feuilletés* » (Schieferkohlen) des environs de *Zurich* qui ont fourni, à Dürnten, une flore (*Brasenia purpurea*) et une faune (*Elephas antiquus*; *Rhinoceros Mercki*, pas de Mammouth) chaudes qui prouvent leur âge *vraiment interglaciaire*, antéwurmien et non wurmien ni postwurmien.

C) Enfin, dans la *glaciation wurmienne*, nous n'admettons que des « *stades de retrait* », dont l'individualisation régionale dépend de

circonstances locales et dans lesquels nous nous refusons à distinguer la « glaciation néowurmienne » admise par W. KILIAN et L. DONCIEUX.

2° Comparaison avec le glacier Isère-Drac.

La synthèse précédente apparaîtra encore plus raisonnable si l'on remarque que des dépôts glaciaires et interglaciaires identiques se retrouvent dans le domaine du glacier Isère-Drac (voir 8, p. 704, et 13).

A nos moraines rissiennes du bassin du Léman correspondent des témoins isolés de *moraines de fond rissiennes* du bassin du *Bas Drac*, du *Grésivaudan*, et de la *cluse de Chambéry*.

Celui dit du *Cap de Marcelline* (13, p. 177, fig. 33 d et fig. 75), apparaissant dans le soubassement du plateau de Champagnier (sur la rive droite du Drac, à 10 km. au S de Grenoble), ressemble d'une façon surprenante au pointement de moraines rissiennes du Pont Carnot. Ce sont, là encore, des moraines de fond très argileuses, compactes, avec très peu de cailloux; elles affleurent dans un talus à pentes raides, dominant la voie ferrée et ne donnant aucun glissement; la cohérence et la résistance de ces argiles sont telles qu'un géologue venant du Jura avait cru y reconnaître un pointement de « marnes oxfordiennes », impression d'ailleurs bien vite rectifiée. Elles sont recouvertes et ravinées par les alluvions sous-morainiques (à lits de poudingues) du Plateau de Champagnier, que nous considérons ainsi comme antéwurmienne¹⁷.

Non loin de là, les célèbres *argiles d'Eybens* (grande carrière à 5 km. au SSE de Grenoble), très régulièrement litées, sont unanimement considérées comme *antéwurmiennes* (voir 13, p. 174, 302); elles représentent peut-être des dépôts dans un grand lac du Grésivaudan, ayant succédé au glacier rissien; elles ne montrent de glissements que dans leurs couches superficielles altérées et ayant réabsorbé de l'eau, en particulier dans la région des carrières, où elles sont entaillées par des fronts de taille verticaux hauts de plus de 10 m.; sur la rive droite du vallon d'Eybens, le premier lacet de la route de Vizille a été établi (au témoignage de P. LORY) sur le prolongement de ces argiles et ne montre aucun indice de glissements en masse, malgré la pente assez forte.

¹⁷ P. LORY au contraire a proposé de cette coupe du Cap de Marcelline une interprétation analogue à celle que W. KILIAN avait donnée pour son Néowurmien de Bellegarde; il attribue au Wurm les moraines argileuses inférieures; les alluvions qui les surmontent seraient, non interglaciaires, mais interstadias, supportant à leur tour des moraines dont il a fait son « stade d'Eybens », tout à fait analogue au Néowurmien de W. KILIAN.

Plus en amont, les coupes du *Quaternaire du Drac* (43, p. 318), entre Jarrie-Vizille et Corps (barrage du Sautet), nous montrent des *alluvions caillouteuses*, souvent conglomérées en poudingues, identiques à notre « alluvion ancienne » du Rhône, et remplissant une ancienne vallée qui serpente autour de celle (fréquemment épigénique) du Drac actuel; elles sont surmontées par les « *moraines de fond* » *wurmiennes* (avec faciès glaciolacustres de sables fins et d'argiles rubanées); et ces puissantes formations argileuses, fluentes, avec très peu de cailloux et de blocs erratiques, forment de grands plateaux d'où elles descendent, même sur des pentes très faibles, en gigantesques coulées, identiques à celles des grands plateaux morainiques sous lesquels passait notre Rhône préwurmien de Bange-Les Usses.

Entre Grenoble et Chambéry (voir 4 et 43, p. 179-180), sur les deux bords du *Grésivaudan*, et dans la *cluse de Chambéry* (entre Montmélian et le Lac du Bourget), on retrouve des témoins de *complexes interglaciaires* identiques à ceux que nous avons décrits entre Longeray et Genève; ils montrent d'épaisses couches de sables fins, analogues à nos « sablons » du Fort L'Ecluse, et des lits de *lignites* exploités à *Voglans* (entre Chambéry et Aix); ils sont surmontés par des *alluvions anciennes caillouteuses* (grandes carrières au N de Chambéry), puis par des *moraines* que nous attribuons au *Wurmien* et à ses stades de retrait. Sous ces complexes on a signalé, à Voglans et à la sablière du Pont de La Gache (rive droite de l'Isère en face de Pontcharra) des moraines très argileuses entièrement comparables à nos « *moraines rissiennes* » du bassin du Léman.

Ainsi les interprétations proposées ici nous permettent de grouper, de la façon la plus simple et la plus cohérente, tous les faits observés dans ces deux domaines, Rhône et Isère-Drac; cette coïncidence constitue, non une preuve formelle, mais tout au moins un « argument de sentiment », en faveur de ces interprétations. Et enfin, nous laisserons à F. BOURDIER le soin de les confirmer encore par une étude plus poussée des flores et faunes de ces complexes interglaciaires, étude qu'il publiera prochainement dans un travail d'ensemble sur le Quaternaire du SE de la France.

LISTE DES OUVRAGES CITÉS

1. BOURDIER (F.). — Stratigraphie des alluvions quaternaires antéwurmienne du Grésivaudan et de la vallée de Chambéry (*C. R. Acad. Sc.*, 201, 1935, p. 977).
2. CAROZZI (A.). — Les zones isopiques de l'alluvion ancienne (*C. R. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève*, 63, n° 2, 1946).
3. CAROZZI (A.). — Essai sur la géographie glaciaire du bassin de l'Arve genevois (« *Le Globe* », 84, Genève, 1946).
4. DONCIEUX (L.). — Sur un ancien passage du Rhône antéwurmien à travers le plateau de Clarafond (Haute-Savoie) (*C. R. Acad. Sc.* 173, 1921, p. 162).
5. DONCIEUX (L.). — Revision de la feuille de Nantua au 1:80.000 (*Bull. Serv. Carte géol. France*, n° 151, t. 27, 1922-1923).
6. GIGNOUX (M.). — Découverte d'alluvions anciennes, peut-être interglaciaires, aux environs de Rovon, entre Grenoble et St-Marcel-lin (*C. R. Soc. géol. France*, 1934, p. 98).
7. GIGNOUX (M.). — Phénomènes de karstification et d'injections naturelles d'argiles et de sables dans l'Urgonien des environs de Bellegarde (Ain) (*Ibid.*, 1944, p. 74).
8. GIGNOUX (M.). — Géologie stratigraphique (4^e édit., Masson, Paris, 1950).
9. GIGNOUX (M.) et BOURDIER (F.). — Les formations fluvioglaciaires rhodaniennes des environs de Bellegarde (Ain) et le Glaciaire « néowurmien » (*C. R. Acad. Sc.*, 204, 1937, p. 212). — Histoire de l'ancien glacier du Rhône à sa sortie du bassin de Genève (*Ibid.*, p. 310).
10. GIGNOUX (M.) et MATHIAN (J.). — Les conditions géologiques de l'aménagement hydro-électrique du Rhône entre Genève et Seyssel (38 p., 12 fig., 20 phot., in « Génissiat », Numéro hors série de « *La Houille Blanche* », Grenoble, 1950).
11. GIGNOUX (M.) et MORET (L.). — Sur l'origine des asphaltes du Jura méridional et sur les migrations descendantes des hydrocarbures (*Trav. Lab. Géol. Univ. Grenoble*, 14, 1925).
12. GIGNOUX (M.) et MORET (L.). — L'Oligocène du Bassin du Rhône entre Genève et Seyssel (*Les Etudes rhodaniennes*, 15, Lyon, 1939).
13. GIGNOUX (M.) et MORET (L.). — Géologie dauphinoise (2^e édit., Paris, Masson, 1952, 391 p., 91 fig., 3 pl.).
14. GOGUEL (J.). — Dislocations dans le Quaternaire près de Bellegarde (Ain) (*Bull. Soc. géol. France*, 5^e sér., 13, 1943, p. 261).
15. JAYET (A.). — Sur la présence de terrains glaciaires et interglaciaires dans la partie Nord du Canton de Genève (*Eclogae geol. Helvetiae*, 26, 1933).

16. JAYET (A.). — Sur la présence de dépôts quaternaires rissiens à Bellegarde (département de l'Ain) (*C. R. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève*, 55, n° 2, 1938).
 17. JAYET (A.). — Glaciologie quaternaire et préhistoire. Quelques vues nouvelles (*Archives suisses d'Anthropologie générale*, 11, n° 2, Genève, 1945).
 18. JAYET (A.). — Origine et âge de l'alluvion ancienne des environs de Genève (*C. R. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève*, 62, n° 1, 1945).
 19. JAYET (A.). — Une nouvelle conception des glaciations quaternaires; ses rapports avec la Paléontologie et la Préhistoire (*Eclogae geologicae Helvetiae*, 40, n° 2, 1947).
 20. JOUKOWSKI (E.). — Géologie et eaux souterraines du Pays de Genève (110 p., 22 fig., Imp. Kundig, Genève, 1941).
 21. KILIAN (W.). — Contributions à l'histoire de la vallée du Rhône à l'époque pléistocène. Le défilé de Fort l'Écluse (Ain) (*Zeitschr. f. Gletscherkunde*, 6, 1911, p. 31-67, 5 fig.).
 22. KILIAN (W.). — Sur un ancien lit glaciaire du Rhône (vallée des Usses, Haute-Savoie) (*C. R. somm. Soc. géol. France*, 1921, p. 67).
 23. LOMBARD (Aug.). — Sondages pour les fondations du pont de la Jonction (C.F.F.) à l'aval de Genève (*Eclogae geologicae Helvetiae*, 37, n° 2, 1944).
 24. LORY (Ch.). — Alluvions anciennes et dépôts glaciaires du Bois de La Bâthie (*Bull. Soc. géol. France*, 3^e sér., 3, 1875, p. 723).
 25. LUGEON (M.). — Etude géologique sur le projet de barrage du Haut-Rhône français à Génissiat (*Mém. Soc. géol. France*, 4^e sér., t. 2, mém. n° 8, 1922).
 26. LUGEON (M.). — Barrages et Géologie (Dunod, Paris, 1933).
 27. LUGEON (M.) et VILLEMAGNE (J.). — Sur un ancien lit glaciaire du Rhône entre Léaz et le Pont-Rouge des Usses (*C. R. Acad. Sc.*, 172, 1921, p. 109).
 28. PARÉJAS (E.). — Notice explicative, feuille 12 de l'Atlas géologique de la Suisse au 1 : 25.000 (*Commission géol. Soc. helvétique Sc. Nat.*, 1938).
 29. PARÉJAS (E.). — Essai sur la géographie ancienne de la région de Genève (*Rev. Fac. Sc. Univ. Istanbul*, n. s., t. 3, fasc. 2, 1938).
 30. PRUVOST (P.). — Filons clastiques (*Bull. Soc. géol. France*, 5^e sér., 13, 1945, p. 9).
 31. SKEMPTON (A. W.). — Notes on the compressibility of clays (*Quart. Journ. geol. Soc. London*, 100, p. 119, 1944).
 32. SKEMPTON (A. W.). — A study of the geotechnical properties of some postglacial clays (*Géotechnique*, 1948, vol. I, n° 1, p. 7-22).
-