ÉTUDES
SUR LA PÉRIODE PLÉISTOCÈNE
(QUATERNAIRE)
DANS LA
PARTIE MOYENNE DU BASSIN DU RHONE

Par M. W. KILIAN,
Correspondant de l'Institut
Professeur à la Faculté des Sciences

Et M. J. RÉVIL,
Docteur ès Sciences de l'Université de Grenoble
Lauréat de l'Institut

(3me PARTIE [1])

Le cañon du Rhône en aval de Grésin.

Après avoir analysé, dans les pages qui précèdent, les formations pléistocènes des environs de Bellegarde et avant de passer à l'examen des dépôts fluvio-glaciaires de la région lémanienne et du Chablais, il convient de consacrer quelques pages au profond défilé que s'est creusé le Rhône à travers les chaînons

[1] V. les *Annales de l'Université de Grenoble*, t. XXIX, n° 1 (1917), et t. XX (1918).

jurassiens, entre la frontière franco-suisse et Pyrimont. Une portion célèbre de cette gorge, connue sous le nom de « Perte du Rhône », a fait l'objet, depuis quelques années, de descriptions et de travaux particulièrement nombreux : l'attention des naturalistes et des ingénieurs s'est en effet portée, d'une façon toute spéciale, sur ce cañon grandiose à l'occasion de divers projets de barrage, de navigabilité et de régularisation du Haut-Rhône, conceptions dont l'importance pour les relations internationales et pour l'utilisation des forces naturelles de notre pays est de tout premier ordre.

Depuis longtemps déjà, et bien avant la mise à l'étude de ces projets industriels, le pittoresque, étroit et prestigieux couloir d'érosion, que s'est creusé le fleuve dans les calcaires urgoniens en amont de Pyrimont et jusqu'au-dessus de Bellegarde, avait d'ailleurs donné lieu à de nombreux mémoires parmi lesquels nous citerons, après les travaux de de Saussure, Renevier, Lenthéric, Vallot, etc., une curieuse monographie du général Bourdon et toute une série d'articles récents [1].

---

[1] Voici la liste bibliographique des principales publications relatives au cañon du Rhône et à son aménagement industriel :

1787. De Saussure. — *Voyage dans les Alpes*, édit. in-4°, t. II, p. 401-414 ; édit. in-8°, t. I, p. 90-104.

An III. Boissel. — *Voyage pittoresque de navigation exécuté sur une partie du Rhône*, in-4°, 156 p. et 14 pl.

1808. Malte-Brun. — (*In Annales des voyages*).

1852. Eug. Renevier. — *Mémoire géologique sur la Perte du Rhône*. Genève, in-4°.

1894. Général Bourdon. — Le cañon du Rhône et le lac de Genève (*in Bull. trimestriel de la Soc. de Géographie*, t. V, 7e série, 1er trimestre, p. 70-134).

1883-1900. H. Schardt. — Ouvrages divers et notamment : La récurrence des glaciers jurassiens après le retrait des glaciers alpins (*Arch. Sc. phys. et nat.*, Genève, 4e Per., VI (1898), p. 492, et *Bull. Soc. Vaud. Sc. nat.*, 1883 et 1891 ; v. aussi *in Eclogae geologicae Helvetiae*, t. II, n° 3).

1901-1902. H. Douxami. — Etude sur la vallée du Rhône et de Bellegarde (*in Bull. des Serv. de la Carte géol. de France*, n° 81, t. XII, 1901, et *Annales de Géographie*, t. XI, 1902).

1904. Martel. — (*In Journal officiel*, 6 avril, p. 2157).

1904. Martel. — (*In Spelunca*, n° 37, juin, p. 228).

C'est un peu en aval du pont Carnot (ou pont de Savoie) que le Rhône quitte la région glaciaire et fluvio-glaciaire, accidentée

---

1905. J. Révil. — (*In Revue générale des Sciences*, 30 mai, p. 468).

1905. J. Corcelle. — (*In La Nature*, n° 1685, 9 sept.).

1902-1905. Blondel, Harlé et Maehl. — *Projet de transport d'énergie électrique du Rhône à Paris avec aménagement du Haut-Rhône pour la navigation internationale*. 1 vol., Paris.

1907-1909. Penck et Brückner. — Les Alpes à l'époque glaciaire (*Die Alpen im Eiszeitalter* [Leipzig, Tauchnitz]) et résumés français d'une partie de cet ouvrage, par MM. Schaudel et Arbos (*in Trav. Lab. de Géol. Fac. des Sc. de Grenoble*, t. VIII [1907] et IX [1910]).

1907. A. Alby. — Note sur l'industrie de l'énergie électrique (*Bull. de la Soc. d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, juillet).

1907-1908. Blondel, Harlé, Maehl. — Le nouveau projet de transport à Paris de l'énergie du Rhône (*La Houille Blanche*, janvier et avril 1907, mai et novembre 1908, etc.).

1908. Armand. — Amélioration de la navigabilité du Rhône (*C. R. Assoc. franç. Avancement des Sciences*, 37e session, p. 98).

1908. Ville de Paris. — *Rapport de la Commission sur le projet de Génissiat*. Paris, 1908.

1908. *Nivellement général de la France. — Répertoire des emplacements et altitudes des repères*, Polygone R, 1er fasc. (impr. Schwob, à Nantes).

1908. H. Schardt. — Dérivations glaciaires de cours d'eau (*IXe Congrès géologique international de Genève*).

1908. De La Brosse. — Aménagement de l'énergie du Haut-Rhône en vue de l'alimentation de Paris (*C. R. Assoc. franç. Avanc. des Sciences*, 37e session, p. 168 et suiv.).

1909. Martel. — (*In La Nature*, n° 1878, 22 mai).

1910. L. Jacquemet. — *Les intérêts de la région de Bellegarde*, in-8°, 12 p., Bellegarde.

1910. Abbé J.-B. Martin. — Le Jura méridional (*in Revue de Géographie*, t. IV, p. 78 [Paris, Delagrave]).

1911. W. Kilian. — Contribution à l'histoire de la vallée du Rhône à l'époque pliocène. Le défilé de Fort-l'Ecluse (*in Zeitschrift für Gletscherkunde*, t. VI, p. 31-67, Berlin, *avec Bibliographie*).

1911. Lugeon. — Sur une inversion locale de pente du lit rocheux du Rhône (*in C. R. Acad. des Sciences*, 19 juin, Paris).

1911. Lugeon. — Le barrage de Génissiat. (Conférence faite le 10 mai 1911 devant la Soc. d'Agriculture de Lyon [*La Houille Blanche*, juin 1911].)

1911. De Valbreuze. — Production et transmission de l'énergie. (Conférence faite le 10 mai 1911 devant la Soc. d'Agriculture de Lyon [*La Houille Blanche*, juin 1911].)

1911. E. Römer. — Mouvements épirogéniques dans le haut bassin du Rhône et évolution du paysage glaciaire (*Soc. vaudoise des Sciences nat.*, t. XLVII, p. 65-200).

de quelques seuils de mollasse, du bassin du Léman, pour s'encaisser dans la cluse de Fort-de-l'Ecluse, puis s'enfoncer dans

---

1911. Dr PIQUET. — *Conférence sur le Haut-Rhône français et son avenir*, faite dans la salle d'école de Génissiat (Ain) le 19 février 1911. Bellegarde, libr. Lucien Michaux.

1911. P. MAUVERNAY. — *Aménagement du Haut Rhône français. Bellegarde et Malpertuis. Exposé général. Caractéristique des projets proposés.* (Conférence faite le 8 nov. 1911 à la Soc. d'Agriculture, Sciences et Industrie de Lyon.)

1911. COUTAGNE. — *Aménagement du Haut-Rhône français. Bellegarde et Malpertuis. Apports et ensablement du Haut Rhône. Leurs conséquences sur la durée et l'efficacité des réservoirs créés par les barrages sur le fleuve.* (Conférence faite le 8 nov. 1911 à la Soc. d'Agriculture, Sciences et Industrie de Lyon.)

1911. MARTEL. — *Aménagement du Haut-Rhône français. Bellegarde et Malpertuis. Etude hydrologique et géologique de l'emplacement des barrages projetés sur le Haut-Rhône.* (Conférence faite le 8 nov. 1911 à la Soc. d'Agriculture, Sciences et Industrie de Lyon.)

1911. IIIe Congrès de Navigation intérieure (*La Houille Blanche*, p. 310, décembre).

1911. WAHL. — Rapport au IIIe Congrès de Navigation intérieure en juin 1911 à Lyon (*in Les Travaux publics*).

1912. MARTEL. — Sur le déplacement de sources thermales à la Roosevelt Dam (*in C. R. Acad. des Sc.*, Paris, 23 décembre).

1912. MARTEL. — Sur le profil en long et l'alluvionnement du cañon du Rhône (*in C. R. Acad. Sc.*, Paris, 8 janv.).

1912. MARTEL. — (*In La Géographie*, XXV, 5, p. 384, 15 mai). (Conférence du 19 avril.)

1912. MARTEL. — *Forces hydro-électriques du Haut Rhône, projet de tunnel* de MM. Marcellot, Monnot, Faget et Coulon, in-12, 16 p., sans date, 31, rue Daru, Paris (*Journal officiel*, 25 avril, p. 4008).

1912. MARTEL. — Le cañon et les barrages du Rhône (*in La Montagne*, décembre).

1912. LUGEON. — Etude géologique sur le projet de barrage du Haut-Rhône français à Génissiat, 38 coupes et pl., 136 p., in-4° (*Mém. de la Soc. géolog. de France*, 4e série, t. II, 20 août).

1912. BOCHET et M. LUGEON. — *Utilisation du Haut-Rhône français. Etude sur le projet de Génissiat. Rapport présenté par M. l'ingénieur Bochet à l'Association française pour le développement des travaux publics.* (Conférence faite à Genève par Maurice Lugeon devant l'Association des Anciens Elèves de l'Ecole polytechnique. Observations du Comité d'Etudes. Paris, avril.)

1913. A. SOULEYRE. — L'aménagement industriel du Rhône (*in Revue scientifique*, 18 et 25 janv., 1er et 8 févr.).

1913. L. HOULLEVIGUE. — (*La Science et la Vie*, septembre).

1914. J. LEVAINVILLE. — L'aménagement hydraulique du Haut-Rhône français (*in Annales de Géographie*, 15 janvier).

le cañon de Bellegarde sur une longueur de 12 kilomètres. Sans vouloir entrer ici dans le détail des observations et des discussions contenues dans les plus récents des divers mémoires consacrés, en particulier par MM. Lugeon et Martel [1], à cette gorge si réputée et qui concernent surtout les conditions d'étanchéité et de solidité des calcaires dans lesquels le Rhône s'est encaissé, ainsi que la profondeur de son thalweg rocheux, nous nous contenterons de ne retenir ici que les données qui intéressent l'histoire et la genèse du célèbre cañon dans lequel le cours du Rhône serait, d'après M. Martel, « d'horizontal devenu vertical » (*sic*).

Les résultats qui semblent acquis et démontrés à la suite de l'ensemble de ces recherches et malgré leur caractère parfois contradictoire, peuvent être résumés comme suit :

1) Ainsi que nous l'avons démontré plus haut, le cañon du Rhône est nettement « *postglaciaire* », c'est-à-dire postérieur à la récurrence néowürmienne et à la glaciation würmienne; les dépôts de cette dernière se montrent, aux environs de Bellegarde, bien en contre-haut de la gorge et les formations néowürmiennes du Longeray et de Léaz, situées en amont de cette dernière, paraissent également antérieures à l'érosion régressive

---

1914. Martel. — La Perte et le cañon du Rhône (1910 et 1911) (*Le Tour du Monde* 18 avril).

1918. G. Lecarpentier. — La guerre et les voies maritimes françaises (*La Ligue Maritime*, XX[e] année, n° spécial juin 1918, p. 9 14).

1918. H. Hauser. — L'opinion suisse et le canal du Haut Rhône (*La Ligue Maritime*, XX[e] année, n° spécial E, juin 1918, p. 14-19).

[1] M. Lugeon, notamment, a consacré un beau et remarquable mémoire au projet de barrage du Haut Rhône français à Génissiat (v. ci-dessus, 1912).

L'auteur étudie dans cet ouvrage l'hydrologie détaillée de la région et les conditions nécessaires pour l'établissement d'un ou de plusieurs barrages (conditions géographiques et topographiques, conditions géologiques, étanchéité du bief de retenue, nature des appuis rocheux latéraux, limite inférieure des fondations accessibles aux travaux pneumatiques, travaux de défense à exécuter), l'avenir du lac de retenue, etc.

qui lui a donné naissance et qui se manifeste actuellement encore en amont du pont de Lucey.

En tenant compte de tous les faits observés par les géologues dans la région, et en particulier des travaux de Renevier, Schardt, Douxami, Penck et des propres observations de l'un de nous (W. K.), on est en effet amené à reconstituer l'histoire de la vallée du Rhône, entre Collonges et Seyssel, comme nous l'avons exposée plus haut.

Nous avons vu qu'à une époque relativement récente le fleuve, après avoir mis à nu les calcaires urgoniens entre Bellegarde et Seyssel, a entamé, *par surimposition,* les calcaires urgoniens sous-jacents qui dessinaient un bombement sous-mollassique. Cette « érosion régressive » progresse d'ailleurs actuellement encore près de Bellegarde d'environ 70 mètres par siècle et la chute qui s'observe en amont du pont de Lucey rétrograde peu à peu.

2) Le cañon est donc creusé, par une sorte d'*épigénie* (surimposition), dans les assises d'une voûte surbaissée de calcaires urgoniens que le Rhône anteglaciaire ou interglaciaire n'avait vraisemblablement pas entamées. C'est une vallée d'érosion « surimposée » par suite des dispositions d'une topographie anteglaciaire et dont le tracé est, comme le pense M. Lugeon, absolument indépendant des dispositions tectoniques de l'Urgonien et des failles qui peuvent le traverser.

3) La marche actuellement observable de l'érosion dans différents affluents du Rhône, qui sont en voie d'encaissement dans des calcaires urgoniens identiques à ceux de la « Perte du Rhône », autorise à rejeter *à priori* l'hypothèse de *diaclases longitudinales* préexistant dans le lit du fleuve, bien que cette hypothèse ait été admise et défendue avec ardeur et persistance par M. Martel.

Nous avons dit plus haut, et il est en effet avéré, que le fleuve agit encore actuellement par *érosion régressive* sur les calcaires

urgoniens et que l'origine du cañon s'est déplacée vers l'amont de 50 à 80 centimètres par an, *mais il n'est pour cela aucunement nécessaire d'admettre la présence d'une fisssure (diaclase) préexistante* de ces calcaires; on peut du reste constater que ses affluents les plus minimes, comme le ruisseau d'Arlod [1], s'encaissent ainsi par la *seule érosion régressive* dans les calcaires, *sans que cette érosion ait été déterminée par la présence d'aucune cassure* ni faille importante et *par le seul fait de l'abaissement du niveau de base* (confluent) [2]. Le recul de l'origine du cañon ne peut néanmoins se continuer aussi facilement que par le passé en amont du barrage de Bellegarde par suite de la pente vers l'*amont* des bancs calcaires et à cause des travaux d'art qui y ont été exécutés; de plus, l'établissement d'un barrage nouveau *arrêterait sûrement la marche du processus.*

Ajoutons que ce creusement (résultant sans doute de la combinaison de l'érosion mécanique, de la corrosion chimique et de la pression hydrostatique dans des proportions qu'il serait intéressant de déterminer exactement) ne peut se produire avec une telle rapidité que dans les calcaires urgoniens chimiquement purs, dépourvus de silice et particulièrement solubles et attaquables par l'érosion ; or l'épaisseur de ces calcaires est de 90 mètres environ au Mont Vuache (d'après M. Schardt); leur puissance entre le pont de Lucey et Génissiat doit être sensiblement la même, mais comme ils ne sont pas horizontaux et se présentent obliquement à l'érosion du Rhône, ce dernier pourrait donc y creuser une gorge de 110 mètres environ de profondeur si le creusement n'était arrêté lorsque le profil en

---

[1] Non loin de la passerelle d'Arlod, un affluent de la rive droite offre le spectacle très instructif d'un cañon étroit *en voie de creusement* dans les calcaires urgoniens et débouchant par une *cascade* dans la gorge du Rhône. On peut constater là avec *certitude et évidence* qu'aucune diaclase préexistante n'a motivé le creusement de ce cañon latéral dont le seuil montre une constitution homogène et continue et *ne laisse apercevoir aucune solution de continuité de quelque importance.*

[2] Il en est de même de la Valserine qui ne correspond qu'à des diaclases très problématiques.

long approche de sa courbe d'équilibre, du reste sans cesse détruite vers l'amont par le déplacement de la chute (amont de la « Perte ») qui est animée (comme il a été dit), jusqu'à présent, d'un mouvement de recul continu.

En ce qui concerne l'existence de *cassures directrices,* on est amené à admettre comme absolument fondées les propositions suivantes, formulées par M. Lugeon.

a) « Il est possible qu'en quelques rares points du cañon il puisse exister des fissures dans le cañon et parallèlement à celui-ci, mais, grâce au fait que ce cañon est sinueux, on devrait alors voir quelque part dans les parois la trace de la prolongation de ces fissures plus qu'hypothétiques. Or, on ne la voit pas. »

b) « Mais, au contraire, on peut démontrer nettement l'indépendance du cañon et des quelques failles ou diaclases visibles. » (*Loc. cit.*, p. 24.)

c) « Le procès des vallées déterminées par des cassures est jugé depuis bien longtemps par les géologues et les géographes. » (Rutimeyer, Heim, Tietze, Davis, Penck, de la Noé, de Margerie, etc...) ; il serait oiseux de le discuter encore.

Si l'on tient compte de la hauteur des falaises (30 à 40 m.) de calcaire urgonien qui dominent le niveau du fleuve de leurs parois, on peut donc constater que l'ensemble de l'Urgonien, bien que formant une série d'ondulations du Sud au Nord et nettement incliné vers l'Est où il s'enfonce sous la Mollasse, forme, entre la Perte et Pyrimont, un *bombement* [1] entaillé par le Rhône, mais *en général* le fleuve n'a pas encore *traversé toute l'épais-*

[1] M. Lugeon a étudié les conditions tectoniques de ce bombement et en a fait un exposé remarquable : on doit considérer le cañon, dans la partie située en amont du confluent des Usses, comme une vallée monoclinale ; le synclinal (sous-mollassique) de Seyssel passe à environ 2 kilomètres à l'Est de la gorge dans laquelle les assises urgoniennes ont un très léger plongement vers l'Est.

seur de ce terrain dont la puissance, prise normalement aux couches, est de 90 mètres. Au Nord de Malpertuis cependant et près de Génissiat, le cañon a presque atteint la base de la masse calcaire.

Rien n'autorise d'ailleurs à penser que le cañon ne s'est pas creusé, comme le pense M. Lugeon, dans la roche saine et non fissurée, les diaclases observables dans les parois de la gorge pouvant être d'origine récente et dues à la désagrégation superficielle des calcaires et n'ayant certainement joué aucun rôle important dans la formation de la vallée.

Nous partageons toutefois absolument la manière de voir de M. Martel lorsqu'il voit dans la gorge du Rhône un « *phénomène inachevé* » et d'après laquelle le fleuve dans sa Perte et son cañon en aval du pont de Lucey, est « *beaucoup plus profond et moins achevé* » qu'on ne l'a cru jusqu'à présent. Dans ce parcours, le Rhône, dont la vallée est « inachevée, jeune et évoluante » (Martel), se trouve confiné dans une gorge verticale et étroite des calcaires urgoniens [1], occupée presque jusqu'à son sommet — par suite de l'*approfondissement insuffisant* de la vallée en aval et de l'existence de contre-pentes du thalweg rocheux — par l'eau courante (et peut-être (?), d'après M. Martel, en profondeur par des masses considérables d'eau non courante).

---

[1] Cette fissure, ou plutôt cette incision, peut théoriquement atteindre une profondeur égale à l'épaisseur totale des calcaires urgoniens, c'est-à-dire de plus de 90 mètres. Elle devra s'arrêter au plafond de calcaires plus marneux (Hauterivien) qui supporte l'Urgonien.

Des phénomènes analogues s'observent dans une foule de vallées jurassiennes postglaciaires creusées dans des masses calcaires suprajurassiques de nature et de consistance analogues à celles de l'Urgonien. Mais il s'agit de *ne pas confondre l'érosion superficielle* avec *l'érosion souterraine*. La vallée de l'Orbe notamment, avec la résurgence et l'ancien émissaire de l'Orbe (grottes des Fées), offre de beaux exemples d'érosion et de marmites de géants (le Saut du Day, près de Vallorbe) et montre nettement que, dans beaucoup de cas, les cañons actuels ne représentent que le résultat de l'effondrement de vallées et de boyaux d'érosion aquifères souterrains dont le plafond s'est affaissé. Ces boyaux, comme ceux que le percement du tunnel du Mont-d'Or a permis d'étudier, ne correspondent d'ailleurs fréquemment à aucune diaclase et sont dus uniquement à l'érosion souterraine.

Le niveau moyen du fleuve en amont de la Perte, au point du barrage projeté par la Société de Bellegarde, est environ à la cote 300 mètres; il est de 264 mètres en aval de Génissiat, au sortir des gorges, et de 246-244 mètres plus en aval, près d'Anglefort. Cette disposition du profil en long est due sans doute au fait que le Rhône n'a rencontré les calcaires urgoniens qu'après avoir, pendant la période d'établissement de son thalweg post-glaciaire, traversé les terrains tertiaires et supracrétacés dans lesquels l'érosion suivait une marche fort différente.

On peut admettre à la rigueur que, comme le suppose M. Martel, le fleuve a pu rencontrer *fortuitement* dans ces calcaires urgoniens sous-jacents une fissure verticale (diaclase) dans laquelle (ainsi que l'un de nous en a émis la supposition) il a pu s'engouffrer, mais qu'il a élargie *en même temps qu'il la prolongeait en amont* par *l'érosion régressive* (cette dernière s'étant exercée au point où les eaux, roulant des galets siliceux d'origine alpine, pénètrent dans la fissure) dans la roche non fissurée; mais il est bien peu vraisemblable que cette diaclase initiale, *si elle a existé,* ait été autre chose qu'un *accident insignifiant et tout à fait localisé* [1].

En revanche, nous ne sommes plus d'accord avec M. Martel lorsqu'il admet l'existence de diaclases longitudinales « conjuguées en deux systèmes obliques » dans les calcaires urgoniens, diaclases qui auraient préparé, pour ainsi dire, le tracé du futur cañon du Rhône en offrant au fleuve des fissures qu'il n'aurait eu qu'à suivre et à élargir, réalisant la préparation du tracé du cours d'eau par de grandes cassures.

Ce mécanisme, qui a pu fréquemment se produire dans les cas d'érosion souterraine [2], ne peut que difficilement, ainsi que

---

[1] La présence d'un « lit mineur » étroit, atteignant 60 mètres à la Perte du Rhône, 28 mètres près de Malpertuis et 15 mètres dans la Valserine, d'après M. Martel, n'est pas contestable, mais ne constitue aucunement une *preuve* de l'existence d'une cassure *préexistante.*

[2] On a beaucoup parlé, à propos de l'hydrologie du tunnel du Mont-d'Or (Jura) et des accidents survenus pendant sa construction, des « *lois de l'hydro-*

l'a lumineusement démontré M. Lugeon (*loc. cit.*), être invoqué lorsqu'il s'agit, comme c'est ici le cas, d'un phénomène d'érosion superficielle manifestement « surimposée », dans lequel on *conçoit mal la nécessité d'un chemin préparé d'avance* dans l'intérieur de la roche. Il serait d'ailleurs bien improbable d'admettre l'existence d'une fissure aussi longue et surtout aussi sinueuse, même en la supposant formée de tronçons empruntés à deux systèmes conjugués.

Les *cinq stades* successifs de la formation du cañon du Rhône (érosion des bancs durs, élargissement causé par l'érosion de bancs plus tendres, remblaiement, etc.) ont été nettement exposés et représentés par des figures suggestives (*loc. cit.*, fig. 12-16) par le professeur de Lausanne; ce dernier a mis également en évidence le rôle joué par les bancs de dureté inégale dans les contractions et les élargissements de la « veine liquide », les variations du profil en long et les *contre-pentes* qui en sont la conséquence (*loc. cit.*; fig. 17); il a montré en outre l'indépendance très nette du tracé du cañon par rapport aux quelques failles et diaclases qui ont été réellement constatées dans l'Urgonien par divers observateurs.

L'étude de la « Perte de la Valserine » (pont des Oules) et

---

logie souterraine » que M. Fournier n'a cessé d'invoquer pour en tirer les prévisions les plus pessimistes et les plus fantaisistes. L'étude que l'un de nous a eu l'occasion de faire de cette question, en collaboration avec MM. Collot et Zürcher, a montré que ces lois gagneraient à être précisées et que leur complexité est beaucoup plus grande qu'on ne le suppose généralement.

D'autre part, nous voyons M. Martel lui-même, l'éminent spéléologue, après avoir affirmé que la fissuration est « la loi *universelle* des calcaires de tous âges et de tous pays », citer dans les Alpines (à Orgon) et près de Fontaine-l'Evêque des calcaires « extrêmement compacts ». Du reste les faits constatés dans le tunnel du Mont-d'Or et au Val du Fier établissent nettement l'imperméabilité de certains calcaires. M. Martel lui-même admet et démontre la présence de seuils rocheux dans le profil en long de la vallée du Rhône, en amont de fissures d'érosion très profondes; il constate également l'existence et la marche de *l'érosion régressive*, ainsi que la profondeur des cañons étroits immédiatement à l'aval de ces seuils. Tous ces faits nous paraissent inconciliables avec l'hypothèse de *diaclases directrices préexistantes* de quelque importance, qu'elles soient simples ou « conjuguées ».

d'intéressantes constatations faites récemment par l'un de nous dans le thalweg rocheux du Fier (v. plus loin) ne font, d'autre part, que confirmer les vues de ceux qui se refusent à admettre le rôle directeur et l'importance des diaclases longitudinales dans la genèse du cañon.

4) La largeur du cañon est variable et l'on y remarque plusieurs rapides décrits par M. Lugeon. La *pente moyenne* du fleuve est de 1 m. 53-1 m. 95 par kilomètre entre Genève et la frontière, de 2 m. 07 dans le tronçon compris entre la frontière et Grésin et de 3 m. 42 entre la Perte du Rhône et Génissiat, pour n'être plus que de 0 m. 75 entre Génissiat et Pyrimont. Le *profil en long* du thalweg rocheux présente d'ailleurs de nombreuses inégalités et des *contre-pentes* accentuées dues à l'inhomogénéité du massif de calcaires urgoniens et à la dureté inégale des bancs entamés par l'érosion; il en résulte des étranglements et des élargissements successifs de la veine liquide, correspondant à des approfondissements et à des relèvements du fond rocheux (10 m. 43 à Malpertuis, 8 m. en amont de la Perte), des cascades ou rapides ayant déterminé des affouillements et des portions approfondies de ce même fond rocheux (28 m. en aval du seuil de Malpertuis, 60 m. à la Perte du Rhône) succédant à des « seuils » plus sains et plus résistants.

La jeunesse relative du cañon explique, à notre avis, suffisamment ces inégalités qui seront appelées à s'atténuer et à disparaître lorsque le cours d'eau aura réalisé son profil d'équilibre si aucun ouvrage d'art ne vient interrompre la marche des phénomènes.

M. Martel a publié (*La Montagne*, 1912, fig. 1) un profil en long des profondeurs reconnues par lui (et dont l'exactitude a été d'ailleurs, peut-être à tort, contestée par certains auteurs); il a constaté 60 mètres au pont de Lucey, 28 mètres en aval de Malpertuis et d'autres irrégularités du fond (26 à 12 m.) en *onze* points différents.

M. Lugeon (fig. 5-6, *loc. cit.*) a du reste signalé de son côté des

inégalités et des contre-pentes analogues qui doivent leur existence à la présence d'assises calcaires de dureté inégale, à l'érosion régressive et aux contractions et aux élargissements successifs de la veine liquide.

5) Le même auteur a publié, d'après les résultats de sondages faits avec beaucoup de soin, le *profil en travers* du thalweg à la hauteur de Génissiat. On y constate, outre un certain nombre d'inégalités, un *lit mineur* emboîté dans un *lit majeur;* ce lit mineur est d'ailleurs peu large. (Les irrégularités du fond rocheux, que M. Martel compare aux cavités d'une dent cariée, ne peuvent d'ailleurs qu'assurer un meilleur ancrage des fondations d'un barrage éventuel.)

6) Rien n'indique d'une façon certaine un *exhaussement récent général et progressif* du seuil des calcaires urgoniens de Bellegarde, comme l'admet le général Bourdon. En effet, les sédiments glaciaires et fluvio-glaciaires qui forment autour de Bellegarde une ancienne topographie et une série de terrasses *ne paraissent en aucune façon dérangés de leur situation primitive* et les recherches de M. Douxami ont montré que le thalweg de la Valserine était déjà dessiné, à l'époque oligocène, avant d'avoir été « capturé par le Rhône ».

Cependant, M. Lugeon paraît admettre, pour le régime aval de Bellegarde, un « mouvement lent de surélévation du sol » qui, pendant le creusement de la gorge, aurait accéléré l'encaissement de la veine liquide dans les calcaires urgoniens.

L'un de nous a signalé, d'autre part, près du pont de Savoie, à quelques kilomètres *en amont* de Bellegarde, des alluvions néowürmiennes *inclinées* dont nous avons parlé plus haut et dont la disposition indique des mouvements du sol, mais ces derniers n'ont pu être que *très localisés, de peu d'amplitude* et nettement postglaciaires; ils ont pu cependant être suffisants pour accélérer et accentuer le creusement du cañon.

7) Il convient de rappeler que l'origine de la Perte du Rhône se déplace incontestablement vers l'amont par suite de l'érosion régressive, ainsi que l'a fait remarquer M. le général Bourdon et comme l'ont fait voir avec plus de précision les observations effectuées lors de la construction des barrages successifs de la Compagnie, immédiatement en amont de la Perte.

8) Des observations nouvelles viennent encore éclairer la question et fournissent des éléments précieux pour la connaissance des gorges et cañons d'érosion [1] comme celui que nous étudions ici :

C'est ainsi que de récents et importants travaux exécutés par la Société hydro-électrique de Lyon [2] pour l'établissement d'un barrage de retenue dans le val du Fier, près de Seyssel (Haute-Savoie), ont permis de faire des observations intéressantes sur la forme et la profondeur du thalweg rocheux de cette rivière et de prendre une série de photographies qui constituent des documents géologiques d'un grand intérêt. L'un de nous a présenté à la Société géologique de France quelques-unes de ces vues, qui ont été prises par M. Gignoux (Service photographique du Laboratoire de Géologie de l'Université de Grenoble) grâce à l'amabilité de M. Menjou, directeur-ingénieur de cette Société, qui a bien voulu nous inviter à visiter, avant l'établissement des fondations en maçonnerie, les travaux en cours.

Ces photographies représentent un tronçon de la vallée du Fier qui a été, au moyen d'une dérivation provisoire et de la construction de deux caissons-barrages à air comprimé, complètement vidé de son eau et des graviers qui le remplissaient sur plus de 20 mètres de hauteur. Le fond rocheux de la vallée

---

[1] Analogues à celles que M. Martel a décrites au pont des Oules (Valserine), dans le lit du Var à Daluis, dans le lit du Verdon, etc.

[2] Voir W. Kilian, Sur l'existence de « contre-pentes » dans le profil en long du Fier, près de Seyssel (Ain, Haute Savoie) (*C. R. somm. Séances Soc. géol. de France*, 8 avril 1918).

ainsi mis à nu présente un grand nombre de « marmites de géants » et d'anfractuosités très complexes causées par l'érosion torrentielle, mais permet de constater avec une grande netteté qu'il ne présente [1] *aucune faille, fracture ou diaclase* importante et que la *roche calcaire* (calcaire portlandien) *s'y montre en parfaite continuité dans tout le profil transversal.*

De plus, on peut constater dans le profil en long de ce tronçon du thalweg rocheux l'existence d'une *contre-pente* très nette, remontant de l'amont vers l'aval; cette contre-pente correspond à un léger élargissement de la gorge vers l'aval.

Il y a lieu de remarquer, en outre, que dans le lit rocheux ainsi déblayé entre les deux caissons amont et aval, on n'observe aucune venue d'eau importante pouvant être attribuée à une fuite des eaux d'amont; on constate seulement la présence de quelques minces jets d'eau sortant sous pression de petites cassures du calcaire, mais que leur température, sensiblement différente de celle des eaux du Fier et beaucoup plus constante, ne permet pas de considérer comme des « fuites » du Fier, mais qui doivent provenir des montagnes voisines.

Les observations qu'on vient de lire permettent de formuler les conclusions suivantes :

1° Les étranglements de la gorge correspondent à des *maxima de profondeur* du thalweg rocheux;

2° Les élargissements de la gorge correspondent, au contraire, à des *relèvements du lit rocheux,* c'est-à-dire à des sortes de « *seuils* » dans le profil en long du thalweg rocheux;

3° Il résulte de ces faits l'existence, dans le profil en long du lit rocheux, de *contre-pentes* comme celles dont M. Lugeon [2] a signalé l'existence dans le cañon du Rhône, entre Pyrimont et

---

[1] Contrairement à ce qu'admettent certains auteurs et notamment M. Martel pour les cañons creusés dans les roches calcaires.

[2] M. Lugeon, Sur une inversion locale de la pente du lit rocheux du Rhône en aval de Bellegarde (Ain) (*C. R. Ac. Sc.*, CLII, p. 1798, 19 juin 1911).

Bellegarde, et l'on voit que cette disposition correspond à une loi générale dans les cañons d'érosion.

Ces faits confirment les prévisions qu'avait formulées l'un de nous (W. K.), en se basant sur le cas décrit par M. Lugeon, d'une contre-pente située en aval de l'étranglement de la gorge du Fier choisi pour l'établissement du barrage et dont la profondeur s'est montrée, à quelques centimètres près, conforme aux prévisions établies par lui pour la Société hydro-électrique de Lyon dans un rapport préliminaire.

On doit en conclure qu'*il n'est pas toujours opportun de choisir les parties les plus étroites des gorges torrentielles pour établir les barrages industriels importants;* l'avantage présenté dans ce cas par le moindre développement du barrage en largeur et la dureté plus grande de la roche étant le plus souvent supprimé par la plus grande profondeur du thalweg rocheux et la plus grande difficulté d'établir les fondations du barrage.

Enfin, ces observations permettent d'affirmer qu'il est *tout au moins possible* (sinon facile) de réaliser efficacement, à une profondeur de 30 mètres au moins au-dessous du niveau de l'eau, des travaux de fondation en caisson à air comprimé. Les travaux du Fier ont néanmoins montré qu'un travail de cette nature ne s'exécute pas sans des risques et sans des dangers dont les ingénieurs et entrepreneurs considèrent comme un *succès exceptionnel* d'avoir triomphé.

Il y a lieu de remarquer que le val du Fier est un cañon d'érosion postglaciaire, *partiellement remblayé* par suite de l'élévation progressive de son niveau de base, c'est-à-dire du remblaiement post-glaciaire de la vallée du Rhône en aval du cañon de Génissiat.

Ainsi, l'exploration du thalweg rocheux du Fier a permis de confirmer par un nouvel exemple les observations faites par M. Lugeon dans le cañon voisin du Rhône et établissant que « lorsque la veine liquide se contracte en largeur, l'érosion est proportionnellement plus profonde » et que « la section rocheuse gagne en profondeur ce qu'elle perd en largeur ».

Il y a lieu d'ajouter que ce phénomène paraît d'ailleurs être la règle dans les gorges ouvertes en terrain calcaire, qu'elles soient récentes, interglaciaires ou antéglaciaires, que ces cañons soient remblayés par des graviers torrentiels (Fier) ou par des dépôts glaciaires (Durance à Serre-Ponçon [Hautes-Alpes]) ou qu'elles n'aient pas encore été atteintes par le remblaiement (Rhône à Bellegarde) se propageant de l'aval vers l'amont (le cañon du Rhône « s'enlise de l'aval vers l'amont », comme l'a dit M. Lugeon [1]).

On peut également conclure de ces observations que les calcaires, lorsqu'ils ne sont ni fissurés ni parcourus par des « boyaux aquifères », se montrent *parfaitement imperméables* aux eaux, ainsi que MM. Collot, Kilian et Zürcher ont été d'ailleurs conduits à l'admettre comme conclusion de leurs études hydrologiques sur le tunnel du Mont-d'Or, près de Pontarlier (Doubs), et comme le croit également M. Lugeon.

9) Des phénomènes de remblaiement se propageant de l'*aval vers l'amont* ont déterminé la présence d'alluvions, sur une plus ou moins grande épaisseur, dans le lit rocheux du cañon.

Si l'on examine la portion du thalweg situé en *aval* du cañon, vers Pyrimont et Seyssel, on constate que le Rhône *ne remblaie pas,* mais qu'il *entame la roche mollassique* de son lit (à la cote 255 m. environ); on ne peut donc pas admettre avec M. Martel un « approfondissement insuffisant vers l'*aval* », la roche étant tendre et n'opposant aucun obstacle à l'érosion; cependant, plus bas, dans la « Chautagne », près de Culoz, la pente du fleuve est moins forte et il remblaie légèrement (cote 240 environ). Or, *il est impossible de ne pas admettre* qu'entre ce niveau de 240 mètres à peu près fixe et les rapides amont reculant sans

[1] M. Martel attribue cet alluvionnement au fait que le cours d'eau torrentiel sortant d'une cluse étroite « s'apaise » dans une vallée élargie et passe de l' « allure transportante » à l' « allure déposante ». Nous y voyons simplement une conséquence de l'exhaussement du niveau de base.

cesse, il ne s'établisse, par la répartition des alluvions, une *sorte de profil d'équilibre provisoire* et il est *tout à fait improbable* que la profondeur de l'eau dans le cañon descende notablement *au-dessous* de ce profil comme semble l'admettre M. Martel.

En ce qui concerne les alluvions et matériaux meubles qui peuvent garnir le fond du thalweg, s'il est bien difficile d'en prévoir l'épaisseur exacte de l'aval jusqu'à Génissiat, nous croyons cependant qu'elle ne *doit pas dépasser 10 à 15 mètres* dans les points, *en amont de Génissiat,* où elle atteint son maximum par suite du remplissage et du remblaiement d'anciennes dépressions du lit rocheux dont il est plausible d'admettre l'existence. Ces irrégularités du fond sont possibles, *bien que rien ne permette d'en affirmer l'existence;* elles seraient dues à l'affouillement produit à l'aval d'anciennes chutes ou cascades du Rhône.

Quant à la partie *remblayée du thalweg* rocheux, nous pensons qu'elle ne pourrait être très considérable que s'il s'agissait d'une gorge d'origine glaciaire ou dépourvue d'un seuil rocheux en aval; or, le cañon du Rhône en aval de Bellegarde est nettement *postglaciaire* et le fait que la roche en place (mollasse) est visible dans le lit du fleuve, entre Pyrimont et Seyssel, *exclut absolument la possibilité d'une ancienne gorge* ou fissure descendant au-dessous du niveau de 230 mètres à Génissiat et de 245 mètres à Bellegarde, et qui serait aujourd'hui comblée par les alluvions, comme aussi la présence de siphons anciens d'origine préglaciaire dont certains auteurs ont supposé l'existence.

Tout en admettant, avec M. Martel, que la profondeur du cañon dans lequel coule le Rhône est beaucoup plus grande qu'il est généralement admis, l'un de nous (W. K.) pensait ne pas devoir admettre qu'elle descende, en amont de Malpertuis, au-dessous de la cote 245-255 mètres, ce qui donnerait *8 à 18 mètres* en amont de Génissiat [1], y compris *les siphons* (une érosion active

[1] A l'emplacement projeté du barrage de Génissiat, on rencontre, d'après M. Lugeon :

et la formation de siphons *au-dessous* de la cote 245 m. ne saurait se comprendre), *13 à 23 mètres* à la passerelle d'Arlod, *25 à 35 mètres* près de l'usine actuelle de Bellegarde. En amont du pont de Lucey, la profondeur *diminuerait progressivement.*

Or, M. Lugeon nous a appris que les sondages faits depuis lors à Génissiat ont donné 3 à 6 mètres d'eau et 21 à 29 mètres de graviers, ce qui donne pour le fond du thalweg rocheux l'altitude de 233 mètres (la surface de l'eau étant à environ 260 m.), soit une profondeur de *27 à 31 m. 10,* c'est-à-dire de 11 à 13 mètres supérieure au chiffre de 18 mètres qui avait été prévu par l'un de nous en 1910, il est vrai, pour des portions de la gorge *situées plus en amont,* il s'agit donc sans doute à Génissiat d'une espèce de « fosse » remblayée par les graviers.

Les travaux exécutés dans le val du Fier ont montré, d'autre part, que cet affluent du Rhône a remblayé sa gorge de graviers sur une hauteur *de plus de 20 mètres* qu'il a fallu déblayer pour asseoir les fondations du barrage.

10) MM. Martel et Lugeon se sont, en outre, préoccupés du *colmatage* éventuel du bief déterminé par les barrages projetés et du « danger d'alluvionnement » pour le bassin de retenue; nous n'avons pas à nous occuper ici de cette question.

La question des *apports et ensablements* observés dans les cours d'eau alpins a fait d'ailleurs l'objet d'intéressants travaux de la part de Coutagne, Wilhelm, Martel, Léon-W. Collet, Müntz et Lainé (*C. R. Ac. des Sc.,* 17 mars 1913), auxquels nous renvoyons le lecteur sans l'examiner ici en détails.

Nous nous abstiendrons de prendre parti pour ou contre l'un quelconque des projets récemment présentés pour l'amé-

---

3 m. 60 à 6 mètres d'eau,
21 mètres à 27 m. 60 d'alluvions.
Le fond rocheux est inégal et présente, emboîté dans un lit majeur, un lit mineur assez étroit et asymétrique; sa profondeur maxima est de 31 m. 10 pour le lit rocheux au droit de ce lit mineur.

nagement du Haut-Rhône français, au point de vue géologique, car nous les croyons tous *exécutables,* avec des difficultés et des risques plus ou moins grands, malgré les affirmations contradictoires émises dans une série de publications parfois tendancieuses.

***

La question des *fondations* d'un ou de plusieurs *barrages* n'offre que des difficultés d'ordre technique, car on est assuré à Génissiat, comme à Malpertuis et à Bellegarde, de pouvoir ancrer ces ouvrages sur la roche en place ; ce problème technique se pose, il est vrai, avec plus d'importance à Génissiat, où cette roche ne peut être atteinte, dans une partie du profil transversal (le lit mineur), qu'à une profondeur supérieure à 30 mètres.

La considération de l'*étanchéité du bassin de retenue,* lorsque ce dernier sera « mis en charge », la crainte que les eaux ne se frayent alors un chemin vers l'aval en contournant l'ouvrage, est plus délicate et sort du cadre du présent travail. Il en est de même de celle des *apports solides* qui pourraient plus ou moins rapidement combler une portion du bief, et il faut avouer qu'à ces deux points de vue la solution des deux barrages offre une part d'incertitude beaucoup moindre que celle d'une retenue unique incomparablement plus importante.

M. Maurice Lugeon envisage particulièrement, dans le travail monographique que nous avons cité plus haut, le cours du Rhône entre la frontière et Génissiat, la constitution géologique des parois du bief, le site de Génissiat au point de vue géologique, les résultats des sondages exécutés en ce point dans le lit du Rhône, l'avenir du lac de Génissiat (qui serait créé par le barrage), puis il examine les emplacements de Bellegarde et de Malpertuis, discute les opinions opposées à la construction d'un barrage à Génissiat et arrive aux conclusions suivantes :

1° Le bief qui sera créé est imperméable ;

2° La création de ce bief ne causera aucune perturbation sur les terrains riverains ;

3° Le lit rocheux est accessible à Génissiat et ce lit rocheux est sain ;

4° La partie étudiée des parois émergées se montre prête à soutenir les culées du vaste ouvrage ;

5° Le canal de fuite pourra s'étendre sur un sol rocheux.

La lecture des divers documents publiés depuis 1910 nous suggère cependant les réflexions suivantes :

En ce qui concerne les projets de barrage et la création d'un bief de retenue en amont de Génissiat, M. Lugeon affirme que le bassin ainsi créé serait *imperméable ;* M. Martel soutient l'opinion contraire.

Outre une carte au 20/000e, de fort curieuses descriptions pittoresques du

cañon et de très intéressants documents géographiques remarquablement illustrés, M. Martel (1912 et 1914) a publié de nombreux détails et des photographies fort précieuses dans le but de démontrer la *fissuration* des calcaires urgoniens dans les parois du cañon et dans les tranchées voisines du chemin de fer, l'existence de sources et de diaclases et la présence de blocs éboulés. Ce même auteur produit des vues représentant le lit très étroit, *linéaire* et profond du fleuve à la Perte du Rhône et à Malpertuis en le qualifiant de « diaclase » (ce qui n'est d'ailleurs pas démontré). M. Lugeon admet de son côté l'existence de petites diaclases dans l'Urgonien.

Pour notre part, nous ne songeons pas à nier ces faits que M. Martel appelle avec raison des « évidences définitivement acquises », ni la présence de sources, comme celle de Chantavril, sur la rive droite et même sur la rive gauche, dont M. Lugeon, après les avoir d'abord négligées ou révoquées en doute, a lui même reconnu l'existence et sur lesquelles M. Martel a donné de très intéressants détails, mais *nous croyons qu'il n'y a pas lieu d'en tirer les conclusions pessimistes* que formule M. Martel au sujet des « fuites » possibles et de la non-étanchéité du bassin de retenue.

En effet, tout en admettant avec M. Martel que, dans les calcaires, « la fissure est un accident plus ou moins fréquent, mais dont la rencontre, toujours possible, est d'autant plus redoutable que rien ne l'annonce », nous ferons remarquer que les résultats acquis par les études faites au tunnel du Mont-d'Or ont nettement établi que les cavités rencontrées dans les massifs calcaires ne sont fréquemment que des *boyaux aquifères* produits par l'érosion chimique et non des *fissures;* des récents travaux exécutés dans le thalweg du Fier, en amont de Seyssel, il résulte également que le calcaire se comporte, lorsqu'il n'est, comme dans le thalweg du Fier, ni fissuré, ni parcouru par des « boyaux aquifères », comme une roche *imperméable aux eaux;* aucune fuite provenant de la retenue amont n'a, en effet, été constatée dans la portion du thalweg mise à nu par les travaux de fondation, malgré la mise en charge de la partie amont, et les quelques petits jets d'eau sous pression qui sortaient de petites fissures de la roche, dans le fond du tronçon déblayé par les travaux, attestaient par leur température qu'ils provenaient des montagnes voisines et non de la retenue du Fier.

Malgré la fissuration superficielle et l'existence de nombreuses diaclases dans les affleurements de calcaires urgoniens voisins du cañon, il nous semble donc que les conditions tectoniques, l'absence dans le voisinage de la gorge de *points bas* d'affleurement des calcaires urgoniens et le fait que ces calcaires urgoniens s'enfoncent de toutes parts sous un manteau imperméable de mollasse miocène qui en colmate les issues vers l'Est et vers l'Ouest, semblent s'opposer, ainsi que l'ont montré M. Lugeon et l'un de nous, à la fuite des eaux du bassin de retenue et *réalisent très vraisemblablement l' « imperméabilité de fait » du cañon actuel, pour le présent, et d'un bief de retenue mis en charge, pour l'avenir.*

Il ne subsisterait de craintes que pour la portion de la gorge urgonienne située *en aval* du futur barrage de Génissiat et l'on pourrait craindre que les eaux du bassin de retenue ne puissent, en suivant des fissures ou des joints des calcaires, *contourner le barrage* et trouver en partie une issue dans la portion aval du cañon. Or, M. Lugeon a mis en évidence la nature des sources observées dans le cañon; celles de la rive droite n'inspirent aucune crainte; quant à celles de la rive gauche, nous pensons, sans cependant pouvoir l'affirmer d'une façon

absolue, que la mise en charge du bief de retenue serait impuissante à leur créer une issue vers des *points bas qui n'existent pas dans le voisinage* et même vers l'aval, où le *pendage*[1] *des bancs urgoniens semble devoir s'opposer à ces fuites* et où les assises imperméables de la Mollasse qui recouvre, vers Pyrimont, les calcaires urgoniens s'opposeraient à leur écoulement en dehors des parois mêmes du cañon et de points *très localisés* qu'il est facile de soumettre à une prospection préalable.

Pour ces raisons, nous ne pensons pas que la « mise en charge » du bief déterminé par le barrage de Génissiat puisse déterminer des fuites hydrologiques importantes, mais il est toutefois prudent de renouveler et de souligner les doutes émis à cet égard par la Commission de géologues chargée d'étudier cette question.

Quant à l'*érosion chimique* des calcaires et aux craintes qu'elle peut inspirer (étant donné le rôle que peut avoir la pression hydrostatique dans ce phénomène qui, à notre avis, est *encore trop peu connu pour permettre aucune affirmation péremptoire*), M. Lugeon a mis en évidence la lenteur de son action.

Rappelons aussi que M. Delafond a tiré du peu d'importance des venues d'eau constatées dans la mine d'asphalte du Volant, près de Pyrimont, situées à un niveau inférieur et séparées du Rhône par une épaisseur de 300 mètres de calcaire urgonien, un argument important en faveur de l'*imperméabilité* de fait du thalweg rocheux du Rhône en amont de Génissiat.

Il est à remarquer, d'autre part, que la création d'un ou de plusieurs barrages dans un point quelconque *arrêtera sans doute les progrès de l'érosion régressive;* il est par conséquent erroné de prétendre, comme l'a fait M. Lugeon, qu'un barrage établi sur le seuil de Malpertuis ou de Bellegarde, « au-dessus d'un gouffre qui régresse et en un point où l'érosion régressive remonte sans cesse », constituerait un danger, l'établissement même de l'ouvrage devant nécessairement supprimer la cause du phénomène.

Enfin M. Martel se complait à citer un certain nombre de prévisions erronées émises par des géologues (tunnel du Simplon, Lœtschberg, puits de Breteuil, sables du tunnel de Meudon, etc.) qu'il oppose aux succès évidents qui ont confirmé dans d'autres cas, d'une façon éclatante, des déductions géologiques, pour démontrer combien, d'après lui, il conviendrait de n'accepter qu'avec réserves les indications fournies par notre science. Il ne pourra donc être surpris de nous voir discuter les conclusions qu'il a formulées dans ses nombreux mémoires en prétendant s'appuyer sur la géologie.

Il convient aussi de rappeler que M. Martel considère surtout l'aménagement hydrologique du Haut-Rhône au point de vue de l'esthétique et du tourisme et n'hésite pas à voir un acte de « vandalisme national » dans la réalisation du projet de barrage de Génissiat. Nous n'avons pas à envisager ici ce point de vue, ni la discussion de détail des différentes solutions techniques proposées pour utiliser dans un but de prospérité nationale l'énergie que représente le cours du Rhône entre la frontière suisse et Seyssel.

---

[1] Ce pendage vers l'aval fait en effet affleurer en aval de Génissiat des bancs urgoniens, supérieurs, pour la plupart, à ceux que baigneraient les eaux du bassin de retenue, ces derniers s'enfonçant rapidement en profondeur; *les fuites ne trouveraient donc pas d'issue de ce côté.*

⁂

2° REGION DU LAC LEMAN

Les formations fluvio-glaciaires que nous venons d'étudier dans la région du Haut-Rhône français se relient en amont, d'une part aux dépôts pléistocènes de même origine du pied du Jura, du bassin du Léman et de ses affluents, et de l'autre à celles des vallées de l'Arve, du lac d'Annecy et de la Savoie. Il convient donc, avant d'étudier ces dernières, de dire quelques mots du Quaternaire des environs de Genève.

Aux données sur le Pléistocène du Haut-Rhône français, il convient d'ajouter que des constatations très analogues peuvent être faites sur la rive helvétique de ce lac et au pied du Jura; il est désirable que les nombreux travaux publiés par nos confrères suisses et que nous ne pouvons pas tous citer ici [1], sur les formations fluvio-glaciaires du canton de Vaud, fassent l'objet d'un résumé synthétique et soient coordonnées d'une façon *plus précise* avec les résultats que nous venons d'exposer. Un pareil travail sortirait néanmoins du cadre du présent mémoire.

Nous nous contenterons de faire remarquer que, d'après les observations de l'un de nous, le complexe *néowürmien* se montre très développé et bien distinct des formations würmiennes dans le pays de Gex, aux environs de Collonges et Crassier et

---

[1] W. Kilian, *in Bull. Serv. Carte géol. de France* (*C. R. des Collab.* pour 1911, t. XXI, p. 140, et *C. R. somm. Soc. géol. de Fr.*, 1914). — Outre les recherches d'Alph. Favre, Desor, Jaccard, de Mortillet, Studer, Schardt, Sarasin, on consultera également les travaux de M. Brückner (*die Alpen im Eiszeitalter*) et de M. Aeberhardt sur l'histoire glaciaire du Léman et notamment sur les *Alluvions glaciaires des environs de Genève* (*Ecl. geol. Helv.*, t. II, n° 4, 1903), v. aussi : Bourgeat (l'abbé), Quelques mots sur le Glaciaire du Jura (*Annales scientif. de Bruxelles*, t. XXI, 2e partie (*Archives des Sciences phys. et naturelles*, 3e période, t. XXXII) ; — Preller, Pliocène glacio-fluviatile Conglomerates in subalpine France and Switzerland (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. LVIII, 1902).

près de Divonne, aux environs nord-ouest et nord de Genève, entre Collonges et Crassier, et en aval du Léman vers Valleiry, à Viry, Saint-Julien, La Plaine, etc.

Dans toute cette région on distingue au pied du Vuache et du Jura un *Glaciaire inférieur* reposant sur des *alluvions* assimilables à celles de l' « Oscillation de Laufen » et que nous considérons comme des cailloutis de progression de la glaciation néowürmienne : le plateau que l'on traverse de Frangy, dans la vallée des Usses, à Viry, en passant par le hameau de Malpas, Minzier, Jonziers et Vers, est formé par des dépôts glaciaires (moraines de fond) würmiens qui dominent manifestement les formations *néowürmiennes* de la gare de Viry, de Valleiry et de Saint-Julien, synchroniques des dépôts du Bois-de-la-Bathie [1].

Des *moraines locales* jurassiennes très bien conservées se montrent à Gex, en connexion avec les formations néowürmiennes les plus récentes.

Près de Crassier, ce dernier système est également dominé en contre-haut par des *cailloutis plus anciens,* probablement würmiens.

D'autre part, M. Aeberhardt distingue sur la rive suisse du lac les formations suivantes (*Ecl. geol. helv.,* t. VII, 4, p. 271) postérieures à l'époque où l'ancienne vallée du Rhône aurait passé par la Venoge, le lac de Neuchâtel ou la vallée de la Broye:

1) *Alluvions* anciennes *de la Côte,* au pied du Jura, datant d'une époque où le Jura n'aurait pas encore, d'après cet auteur, atteint son altitude actuelle [2] et où le Rhône venait de prendre sa direction nouvelle.

---

[1] Alphonse Favre a décrit, dans le tome I de son grand ouvrage, les alluvions anciennes et les marnes à Lignites du Bois de la Bathie.

[2] L'importance de ces mouvements du Jura paraît avoir été exagérée par M. Aeberhardt : on a vu, en effet, par l'étude que l'un de nous (W. K.) a faite du défilé de Fort-l'Ecluse, de ses formations fluvio-glaciaires et des ruptures de pente que présente son profil transversal, qu'un relief jurassien devait déjà exister à l'époque *rissienne* et que les mouvements ultérieurs postérieurs au néowürmien paraissent avoir été localisés et de *peu d'amplitude,*

2) Dépôts glaciaires (*Mésoglaciaire*) de moraines profondes surmontant les Alluvions de la Côte (le Jura était alors, d'après M. Aeberhardt, complètement formé).

3) Formations de retrait; l'érosion avait creusé le bassin lacustre du Léman; c'est l'époque du dépôt des *marnes à Lignites* du *Bois-de-la-Bathie* dans le bassin lacustre. Le Jura aurait continué à se soulever.

4) Alluvions (Bois-de-la-Bathie) provenant du bassin de l'Arve et s'étendant dans la région de Genève.

5) Dépôts glaciaires (Néoglaciaire). Période de dénudation intense pour le Jura, retrait lent du Glacier principal, formation de « Kames »; à ce moment se seraient individualisés les petits *glaciers jurassiens*.

6) Dépôts de la période actuelle.

Il n'est pas difficile de reconnaître dans cette série les alluvions de progression würmiennes (n° 1), le Glaciaire würmien (n° 2), puis le complexe néowürmien comprenant les marnes à lignites interstadiaires (n° 3), des Alluvions de progression (n° 4) et des formations glaciaires (n° 5).

A cette dernière phase semblent appartenir, d'après nos observations, les belles moraines qui s'observent près de Renens et de Lausanne et le système fluvio-glaciaire d'Hermance, près de Genève. Il serait du plus grand intérêt que ces divers complexes soient distingués et suivis dans la Suisse centrale et que l'âge exact des beaux *vallums* morainiques observables entre Arnex et Romainmotiers soit fixé définitivement par rapport aux données que nous avons établies en aval de Genève, en Savoie et en Dauphiné.

On voit que la dépression lacustre lémanienne date en somme de la Glaciation néowürmienne et est partout dominée en contrehaut par le Glaciaire würmien (Divonne, flancs du Vuache, Mont de Sion, Voirons, etc.). Elle a été envahie par la récurrence néowürmienne.

3° LE BAS-CHABLAIS
ENVIRONS D'EVIAN-LES-BAINS ET DE THONON

Les villes françaises d'Evian-les-Bains et de Thonon (Haute-Savoie) sont dominées par une ligne très régulière de collines et de plateaux verdoyants et fertiles qui dessinent, ainsi que l'a écrit A. Favre, « comme une espèce de grande digue le long du lac ». Les dépôts quaternaires qui les constituent ont fait l'objet de nombreuses recherches : les plus importantes sont dues à Alphonse Favre [1], dont les publications seront toujours fructueusement consultées, à Eugène Renevier [2], à MM. Hans Schardt [3], Henri Douxami [4] et surtout à M. Charles Jacob [5], alors préparateur à la Faculté des Sciences de Grenoble. C'est en utilisant les données publiées par ce dernier auteur et complétées par celles de l'un de nous (J. R. [6]), — qui a eu à s'en occuper en vue d'un rapport consacré aux eaux minérales d'Evian, — qu'il nous sera possible de faire un tableau complet de ces formations et de rattacher leur histoire à celle des autres parties du bassin du Rhône.

Il importe d'abord de noter que les formations de transport pléistocènes qui, en certains points, paraissent si épaisses, ne forment, en d'autres, qu'un « revêtement » relativement mince

---

[1] A. Favre, *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie voisines du Mont-Blanc*. Genève, 1887, t. I, chap. I à IX.

[2] E. Renevier, *Notice sur la feuille géologique de Thonon au* 1/80.000. Paris, 1884.

[3] H. Schardt (*Archives Sc. phys. et nat. de Genève*, t. XXXIII, 1895, p. 280).

[4] H. Douxami (*C. R. Acad. des Sc.*, 8 février 1904).

[5] Ch. Jacob, Note sur les terrains de transport des environs de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie) (*Ann. Univ. de Grenoble*, t. XVI, n° 2), 1904.

[6] Joseph Révil, Les sources thermo-minérales de la Savoie (*Revue générale des Sciences*, n° du 30 octobre 1908, p. 832).

Id., *Rapport géologique* (inédit) *sur les eaux minérales de la Société Cachat, à Evian les-Bains*, 1908.

aux collines de cette région. Elles y recouvrent, en effet, des terrains secondaires appartenant aux divers étages du Trias et du Lias. Outre les gypses exploités sur la rive gauche de la Dranse à Armoy, on rencontre des affleurements triasiques à Feterne (gypses de Thiéze), à Laringes et à Vinzier. Ces couches sédimentaires se superposent, comme l'ont établi les travaux de M. Lugeon eux-mêmes, par *renversement* et *charriage*, aux grès tertiaires du Flysch et aux grès mollassiques, dans les bancs tendres et délitables desquels la cuvette du lac de Genève a pu facilement s'établir.

I. — Les terrains de transport les plus anciens de cette région sont « *les poudingues de la Dranse* ». Stratifiés horizontalement à leur partie supérieure, ces dépôts se présentent dans le bas en bancs inclinés. Constitués presque exclusivement par des éléments d'origine chablaisienne, ils sont assez souvent fortement cimentés, mais présentent parfois des parties sableuses (Grotte des Fées, par exemple). Nous les avons spécialement étudiés en montant du pont de Bioges au hameau de Véringes, où ils se présentent en bancs horizontaux surmontant les bancs triasiques *redressés*. Nous les considérons comme des alluvions de progression de l'époque *würmienne*, provenant d'une branche glaciaire chablaisienne qui débouchait dans la vallée du Rhône avant l'arrivée du glacier valaisan [1].

II. — En amont du « Pont de la Douceur » ou « Pont des Français », sur la Dranse, ces poudingues sont directement surmontés par des *argiles glaciaires* à cailloux polis et *striés*. Les argiles s'observent le long de la route remontant de la Dranse à Féterne, où le torrent de Maravent et les eaux descendant de Châteauvieux s'y sont creusé des lits très profonds. On les rencontre

[1] J. Révil, *loc. cit.* — Nous y avons rencontré quelques éléments alpins que nous considérons comme repris aux dépôts d'une glaciation antérieure (*glaciation rissienne*).

encore près des hameaux de Véringes, Flon, la Plantaz. Ces dépôts glaciaires constituent notamment le sous-sol de la partie supérieure du plateau régulier qui domine Evian et se suivent par Féterne, Champange, Laringes, Saint-Paul et Thollon; ils se font remarquer par le nombre et la grosseur des blocs erratiques. Ces blocs sont les uns d'origine valaisane, les autres d'origine chablaisienne, et témoignent du passage de branches glaciaires provenant l'une de la vallée du Rhône et l'autre de celle de la Dranse du Chablais. Du côté de Thonon (rive gauche de la Dranse), la traînée de blocs a été signalée, par M. Charles Jacob [1], au Lyaud, à Orcier, Drailland, etc.

III. — Cet auteur a encore indiqué, toujours sur la rive gauche, près de la ferme de Planaise, un revêtement consistant en cailloux arrondis et reposant, en ce point, sur le Glaciaire que nous venons d'étudier. D'après notre confrère, on serait là en présence d'une formation qui possède tous les caractères d'un *ancien cône de déjections* et l'ensemble des terrasses de cette partie élevée du plateau doit être considéré, non pas comme un unique ancien cône de déjections de la Dranse, mais comme un « système de cônes » emboîtés les uns dans les autres et séparés par des talus [2].

Tout ce complexe, en superposition directe sur du Glaciaire, domine d'autres *dépôts glaciaires plus récents,* situés en contre-bas, et qui en sont séparés par une très forte dénivellation. Notre confrère en conclut que, postérieurement au cône de déjections de la Chavanne, la région bordière d'Evian et de Thonon a subi une phase de creusement et que les formations situées ainsi en contre-bas sont de date postérieure. Il distingue, en conséquence, les produits de deux Glaciations distinctes qu'il désigne sous les noms de *Glaciaire élevé* et de *Glaciaire inférieur,* ces

---

[1] Ch. Jacob, *loc. cit.*

[2] Ch. Jacob, *loc. cit.* — Consulter A. Favre pour les renseignements ayant trait à la constitution du fond du lac dans le port de Thonon.

Glaciations correspondent, pour nous, l'une à la Glaciation *würmienne* et l'autre à la Glaciation *néowürmienne.*

Les recherches de l'un de nous (J. R.) aux **environs d'Evian** confirment les données acquises par M. Jacob. Directement en contre-bas du « Glaciaire élevé » (*Würmien*) se développe une nappe d'alluvions d'origine également glaciaire mais nettement remaniée par les eaux (*alluvions fluvio-glaciaires*). Ces alluvions, comprenant des dépôts sableux et graveleux, sont particulièrement développées au Nord du château de Laringes, en amont des marais de « Chéry » ; elles ont été entamées par des fouilles effectuées en amont de ces marais et destinées à des recherches d'eaux potables. Elles sont de même âge que le cône de déjections de la Chavanne et sont manifestement « *emboîtées* » dans la nappe erratique supérieure et, par suite, de formation plus récente.

IV. — Bien en contre-bas encore existe un autre gradin formé par le « Glaciaire inférieur » (*Néowürmien*) qui se suit jusqu'à la Dranse par Maxilly, Neuvecelle et Publier. Sur l'autre rive, il se retrouve au-dessus de Thonon, à Morillon et Margencel. « Il constitue, écrit M. Jacob, le plateau d'Anthy et va vraisemblablement se raccorder avec la célèbre moraine d'Excenevex et d'Yvoire dont les portions élevées ont l'altitude de 450 mètres environ. »

V. — Sur le *Glaciaire inférieur* (*Néowürmien*) reposent des terrasses lacustres formées de cailloux de petite dimension et de lits de sables dont les couches plongent vers le lac. Aux environs de Thonon, on distingue nettement quatre niveaux correspondant à la *terrasse de Crète* (77 m. au-dessus du lac) dominant directement la ville, à la *terrasse de Thonon* (55 m. au-dessus du lac), à celle qui supporte *Concise* et enfin à un petit gradin situé en dessous du *château de Thuiset.*

Aux environs d'Evian, des terrasses se développent à environ 7, 15, 30 et 55 mètres au-dessus des eaux. La terrasse de 30 mè-

tres se suit de façon bien nette de Publier aux environs de Meillerie. Tous ces graviers reposent, ici encore, sur les argiles très épaisses du Néowürmien et correspondent à d'anciennes extensions du Léman.

VI. — Pour terminer l'énumération des terrains de transport de la région, M. Jacob cite encore le promontoire de Ripaille et Saint-Disdille, représentant un *delta de la Dranse* et, en contrebas dans sa vallée actuelle, le nouveau lit de la rivière amenant au lac les *alluvions modernes.*

Si nous essayons de raccorder les formations glaciaires et fluvio-glaciaires de Bellegarde et du pied du Jura avec celles dont nous venons de reprendre l'étude aux environs d'Evian et de Thonon, nous arrivons aux assimilations suivantes :

a) Le complexe de Bellegarde-Vanchy correspondrait à une phase de la glaciation de Würm dont le recul aurait donné les cônes de déjections de la Chavanne, les alluvions de Chéry et l'ensemble du « *Glaciaire élevé* » de M. Jacob, comme les moraines frontales de Gimel, la moraine de Draillant, les moraines latérales de Thollon signalées par M. Brückner et le Mésoglaciaire de M. Aeberhardt, postérieurs aux conglomérats de la Dranse. Ces derniers, comme nous l'avons dit, datent du stade de début de la progression würmienne (*Paléowürmien*) et paraissent pouvoir être assimilés aux alluvions de la Côte, dans le canton de Vaud;

b) Le complexe de Longeray-Collonges, qui commence par les argiles lacustres interstadiaires du Fort-de-l'Ecluse, correspond, comme les fameux lignites du Bois-de-la-Bathie, à une phase de retrait et se continue par les alluvions de Collonges-Bois-de-la-Bathie; il se termine par la récurrence néowürmienne (*Glaciaire inférieur* de M. Jacob, *Néoglaciaire* de M. Aeberhardt) représentée par des moraines de fond. Il a son équivalent dans le « Glaciaire inférieur de Thonon, d'Evian, du

plateau d'Anthy ». Les moraines sous-lacustres d'Yvoire sont de la même phase. Ces dépôts glaciaires néowürmiens reposent sur *des terrasses* de progression néowürmiennes correspondant à l' « oscillation de Laufen » et qui prennent un grand développement près d'Hermance;

c) Enfin aux *terrasses inférieures* (lacustres) de Thonon et d'Evian, qui sont postérieures à la récurrence néowürmienne et antérieures au cônes de déjections récent de la Dranse, — datant d'une époque où le niveau du lac était sensiblement (30 m. environ) plus élevé qu'actuellement, — correspond le début de l'érosion postglaciaire qui a entamé le complexe des alluvions du Bois-de-la-Bathie et aboutira plus tard au creusement du célèbre cañon de Bellegarde.

Ajoutons qu'aux environs d'Evian les argiles néowürmiennes très épaisses et à *surface ondulée* [1] donnent naissance à de nombreuses sources et servent de lit à des eaux qui ont circulé dans les alluvions des terrasses postglaciaires souvent minéralisées; ces eaux doivent leurs principes alcalins à la décomposition et à la kaolinisation des roches feldspathiques si abondantes dans les moraines, leur pureté et leur digestibilité exceptionnelles sont dues à leur filtration dans des sables d'origine lacustre, ainsi qu'à la présence au-dessus de ces derniers d'une argile également lacustre qui met les eaux minérales entièrement à l'abri de tout ruissellement superficiel.

4° LE SALEVE ET LES VALLEES DU BAS-FAUCIGNY

A l'aval de la vallée de l'Arve, à sa sortie des chaînes du Faucigny et à l'Ouest du plateau des Bornes, — qui constitue vers le Sud-Ouest la continuation géologique de la « plaine suisse », — se dresse le Mont Salève, chaînon jurassien isolé, sur les ver-

[1] Ce fait a été constaté par E. Renevier et vérifié par l'un de nous (J. R.).

sants duquel les anciens glaciers ont laissé, comme trace de leur passage, une excessive abondance de blocs erratiques; cette particularité a frappé les nombreux géologues qui se sont occupés de cette montagne [1].

Alphonse Favre, qui a consacré au Salève un ouvrage spécial et un des plus importants chapitres de ses célèbres « Recherches géologiques dans les parties de la Savoie voisines du Mont-Blanc », attribue, après Ch. Martins, cette abondance de blocs à la confluence, en ce point, des glaciers de l'Isère, de l'Arve et du Rhône. MM. Joukowski et Jules Favre, qui se sont occupés longuement du Quaternaire de cette chaîne dans leur belle « Monographie géologique et paléontologique du Salève », tout en accordant une grande importance aux matériaux provenant de la vallée du Rhône, se rallient cependant également à l'opinion précédente et qui semble assez plausible [1].

D'après ces deux derniers savants, les formations quaternaires du Salève comprendraient les dépôts suivants : *Moraine alpine, Fluvio-glaciaire alpin, Moraine de fond salévienne, Groise.*

La « *Moraine alpine* » comprend soit des moraines de fond, soit des moraines superficielles. Les premières sont formées d'argile avec blocs et cailloux anguleux ou à angles émoussés souvent *striés*. Les secondes sont à blocs anguleux.

Les alluvions désignées par MM. Favre et Joukowski sous le nom de « *Fluvio-glaciaire alpin* » contiennent des cailloux d'origine alpine associés, sur le pourtour de la montagne, à des galets calcaires de différents âges.

Les « *Moraines de fond salévienne* » sont limitées aux parties hautes (environs des Treize-Arbres, de l'Abergement). Elles occupent presque toujours des dépressions reposant sur le Sidérolithique, le Barrémien, l'Hauterivien et même en quelques points sur le Calcaire roux (Valanginien). Ces moraines avaient

---

[1] De Saussure, Godefroy, A. Favre, Ch. Martins, Guyot, Blanchet, Falsan, Maillard, Penck et Brückner, Douxami, Kilian, Joukowski et Jules Favre (voir la bibliographie dans l'ouvrage de ces deux derniers auteurs).

déjà été signalées par Alphonse Favre, qui indique « l'ancienne présence d'un glacier spécial au Salève, descendant à peu près au niveau de 800 mètres ».

Enfin les « *Groises* » correspondent aux *moraines d'éboulis* de MM. Penck et Brückner et consistent en dépôts superficiels occupant le pied des pentes; elles sont formées d'une accumulation de cailloux calcaires à angles vifs empruntés aux assises des sommets voisins.

Cherchant à établir l'âge de ces formations, nos confrères de Genève adoptent les conclusions de M. Brückner et de l'un de nous (W. K.) et « *considèrent le complexe fluvio-glaciaire du Mont-de-Sion comme représentant le deuxième stationnement würmien* [1] ». Dans la région de Cruseilles, il aurait existé, d'après les deux auteurs genevois, *trois nappes d'alluvions* convergeant vers l'aval. Ces nappes auraient subi, pendant la période interglaciaire, les effets de l'érosion des Usses de façon qu'il n'en subsiste actuellement que des lambeaux reposant sur les Mollasses de Cernex, Andilly et Ronzier.

Le fond de la dépression aurait été ensuite comblé par de la moraine de fond, dont la surface forme le plateau des Ertes et de Châtillon. Cette masse morainique emboîtée dans l'ancienne vallée des Usses est néowürmienne [2].

1° Des traces de ce que nos deux confrères appellent le « deuxième stationnement glaciaire würmien » s'observent toujours, d'après eux, sur le côteau d'Esery, sur le versant sud du Grand et du Petit Salève, ainsi que dans le vallon de Monêtier. Les blocs étant moins nombreux sur le plateau déterminant la ligne de faîte des Bornes, entre la source des Usses et celles du Viaison, ils croient que le Glacier était, à ce moment, déjà individualisé dans le bassin de cette rivière [?].

---

[1] Joukowski et J. Favre, *loc. cit.*
[2] *Ibid.*

D'autre part, on rencontre dans le vallon de Monêtier, de part et d'autre du village, les restes d'une moraine frontale. Il s'agirait, d'après les deux auteurs genevois, d'un stationnement dû à une « langue glaciaire » pénétrant dans le vallon sans le traverser entièrement. A ce stationnement pourraient être encore attribuées les moraines de fond comblant l'ancienne vallée du Viaison et qu'un cycle d'érosion plus récent aurait entamées vers l'aval à partir du pont du Loup.

2° Quant aux alluvions fluvio-glaciaires de la région avoisinant l'extrémité orientale du Salève, toutes proviennent de la vallée de l'Arve. Les plus élevées se trouvent à Mornex (600 m.), à Bas-Mornex (540 m.); elles semblent pouvoir être rapportées à un recul (interstadiaire) du glacier de l'Arve, postérieur au deuxième stationnement würmien.

3° La terrasse de Pont-Notre-Dame est néowürmienne, comme l'a déjà dit l'un de nous (W. K.).

4° Celle de Gaillard -- à laquelle correspondent celles de Veyrier et d'Etrembières — qui domine le Rhône de 30 mètres, dépendrait en revanche du stade de Bühl [1].

5° Les éboulis n'offrent rien d'anormal et ne montrent pas de limites tranchées avec les dépôts décrits sous le nom de *Groise*.

5° LA « PLAINE DES ROCAILLES » PRES LA ROCHE-SUR-FORON ET SES RAPPORTS AVEC LES STADES FLUVIO-GLACIAIRES DU GENEVOIS

La « plaine des Rocailles », sur laquelle est édifiée la petite ville de La Roche-sur-Foron, a frappé tous les naturalistes qui ont visité cette pittoresque région. Albanis Beaumont [2] en 1836,

---

[1] Nous la croyons un peu plus ancienne (v. plus bas), bien que postnéowürmienne.

[2] Albanis Beaumont, *Alpes grecques et cottiennes*, 1806, 2e partie, II, 213.

de Luc [1] en 1837, s'en sont occupés. Ce dernier a prouvé nettement que toutes ces masses calcaires étaient erratiques et reposaient sur la Mollasse. Guyot en 1846, Ch. Martins en 1847, en ont aussi parlé, mais c'est A. Favre [2] qui, à la même époque, a attiré l'attention sur cette remarquable localité où, écrit-il, « se présente un phénomène erratique dont la beauté scientifique n'a pas d'égale. On voit bien ici, ajoute-t-il, la jonction de la moraine superficielle du glacier formée par ces blocs avec la moraine profonde composée de glaise. »

Plus récemment, MM. Delebecque [3], Douxami et Kilian ont eu occasion de la décrire. D'après le premier de ces auteurs, cette plaine ne peut être assimilée à une moraine ordinaire. Elle serait le résultat d'un éboulement qui, à l'époque glaciaire, se serait détaché de la paroi urgonienne de la vallée du Borne. Les matériaux auraient été ensuite transportés par le mouvement du glacier a l'état de *moraine superficielle*. Cette interprétation est acceptable, bien que notre confrère avoue lui-même ne pouvoir préciser le point d'où se serait détachée cette gigantesque traînée d'éboulis.

De nouvelles observations effectuées dans la région subalpine et jurassienne, qui s'étend de Bellegarde (Ain) à Bonneville et Annecy (Haute-Savoie), ont permis à l'un de nous (W. K.) de compléter, de préciser et de rectifier sur certains points les conclusions publiées antérieurement par lui [4] sur l'existence et

---

[1] De Luc, Mémoire sur les roches calcaires innombrables éparses dans les environs de La Roche (*Soc. phys. hist. nat. Genève*, 1837).

[2] A. Favre, *Recherches géologiques, etc.*, t. I, p. 148.

[3] A. Delebecque, *Bull. Services Carte géol. de France* (*C. R. Collab.* pour 1909, t. XX, p. 76, 1910).

[4] Voir W. Kilian, Contributions à l'histoire de la vallée du Rhône à l'époque pléistocène. Défilé du Fort de l'Ecluse (Ain) (*Ann. Glaciologie*, t. VI, 1911, p. 31).

W. Kilian, J. Révil, M. Le Roux, Histoire de la dépression du lac d'Annecy à l'époque pléistocène (*C. R. somm. Soc. géol. de France*, n° 11, juin 1913).

W. Kilian, Les formations fluvio-glaciaires de la région du Faucigny (Haute-Savoie) (*C. R. somm. Soc. géol. de France*, séance du 9 nov. 1914).

l'étendue des complexes fluvio-glaciaires dans cette partie de la France et de mettre ainsi en évidence le rôle important qu'a joué dans l'histoire des temps quaternaires **la ride anticlinale Salève-Cruseilles-Lovagny.**

D'après W. Kilian, il est possible de reconnaître dans cette région (outre des traces de *ruptures de pente* du profil transversal particulièrement nettes dans la cluse du Rhône à Fort-l'Ecluse (v. plus haut), dans celle du Borne en amont de Saint-Pierre-de-Rumilly) et dans celle de la Filière, près de Thorens, des indices bien nets de deux anciens thalwegs indiqués par E. Brückner à 1100-1200 mètres et à 800-900 mètres, le thalweg actuel étant à 250-300 mètres. Le premier pourrait correspondre à la vallée prérissienne et le second au thalweg préwürmien.

Des dépôts morainiques et fluvio-glaciaires se montrent bien développés; ils appartiennent aux complexes suivants [1] :

A. — *Stade de la fin de la Glaciation würmienne* (= Würm II) (contemporain du *Stade de Rives* en Dauphiné) (on sait, d'après les travaux de MM. Depéret, Gignoux et Combaz, etc., que les moraines de la Glaciation würmienne (Würm) ont atteint Lagnieu dans le Bugey) représenté :

a) Pour le glacier du Rhône, par les moraines frontales des environs de Bellegarde, attribuables à une branche du glacier ayant franchi le passage de Fort-l'Ecluse et, plus à l'Est, par le beau *vallum* frontal (amphithéâtre morainique) continu observable entre le Vuache et le Salève, auquel appartient le Mont-de-Sion [2] ;

---

[1] W. Kilian, Sur l'âge exact de la « Plaine des Rocailles », près de La Roche-sur-Foron (Haute-Savoie) et sur les stades fluvio-glaciaires du Genevois (*C. R. Acad. des Sc.*, t. CLXIII, p. 474, 30 octobre 1916).

[2] La moraine du Mont-de-Sion appartient nettement, ainsi que l'ont encore récemment fait remarquer MM. Favre et Joukowski, au Glaciaire rhodanien. A l'époque würmienne, les moraines frontales du glacier de l'Arve ne rejoignaient par la région de Menthonnex, La Chapelle-Rambaud qu'au Sud du Mont-de-Sion et de l'extrémité méridionale du Salève. Les moraines du Mont-de-Sion elles-mêmes appartiennent nettement au complexe rhodanien et non, comme l'un de nous (W. K.) l'avait pensé un moment, à celui de l'Arve.

b) Pour le glacier de l'Arve, par le Glaciaire du plateau des Bornes (Saint-Laurent-Menthonnex-La Chapelle-Rambaud) et les moraines des environs sud-est de Cruseilles ;

c) Pour le glacier de l'Isère-Doron-Arly, par les moraines des environs d'Annecy, Alby et Rumilly.

Ces dépôts glaciaires sont accompagnés d'*alluvions de progression* et d'alluvions de fonte subordonnées (Bellegarde, vallée des Usses, Frangy, Jussy près Cruseilles, Brassilly près Annecy, Rumilly).

Au même complexe que les moraines des flancs du Salève et de l'extrémité nord du Môle appartiennent celles du plateau des Bornes, c'est-à-dire celles qui se développent entre Saint-Laurent-sur-la-Roche, La Chapelle-Rambaud et Menthonnex, celles du massif des Voirons, — dont l'étude reste à faire pour y distinguer les moraines locales de celles dues aux Alpes, — celles du Faucigny et du Môle. Toutes paraissent contemporaines des moraines du Mont-de-Sion et de Bellegarde.

L'un de nous [1] sépare de ce complexe, tout en les considérant encore comme würmiennes, les moraines des environs de Saint-Jeoire-en-Faucigny et les *nappes d'alluvions* (terrasses) subordonnées des environs de Saint-Jeoire (La Tour), de Fillinges-Loëx, Couvette par Findrol, laissées par la *régression* d'une branche glaciaire occupant la vallée de la Menoge. Cette branche a dû, à *la fin de l'époque würmienne,* fonctionner simultanément avec un glacier de la vallée de l'Arve également en régression. En aval de Loëx, ses dépôts ont été enlevés dans les points où se sont déposés ceux du système suivant.

B. — *Un stade néowürmien,* en contre-bas de « seuils de débordement » glaciaires, les glaciers restant désormais (comme à Rovon en Dauphiné) confinés dans les cuvettes terminales désormais individualisées et bien délimitées et comprend :

---

[1] W. Kilian, Les formations fluvio-glaciaires de la région du Faucigny (Haute-Savoie) (*C. R. somm. des séances de la Soc. géol. de France,* n° 14, p. 167-169, séance du 9 novembre 1914).

a) Pour le glacier du Rhône, la partie sud du bassin du Léman (basses moraines du pied du Jura, de Collonges, Valleiry, Saint-Julien) ne s'écoulant plus que par le seul défilé de Fort-l'Ecluse, où elles recouvrent des dépôts interstadiaires, ainsi que le « Glaciaire inférieur » de Thonon (Jacob). Notons que dans le bassin du lac Léman les complexes würmien et néowürmien peuvent encore être aisément distingués entre Collonges et Crassier, au Nord-Ouest et au Nord de Genève, aux environs de Gex et de Divonne. Nous avons vu qu'à Gex de belles *moraines locales* descendant du Jura se montrent en connexion avec les formations néowürmiennes les plus récentes ;

b) Pour le glacier de l'Arve (cuvette terminale de Bonneville), les moraines de Saint-Laurent, de la gare de La Roche-sur-Foron, de Marcinge, de Loisinge, de Findrol ;

c) Pour les environs d'Annecy, les moraines de Veyrier et de Sévrier et de La Balme-de-Sillingy.

Vers l'aval, ces moraines néowürmiennes se montrent dans la vallée de l'Arve en relation avec des *terrasses de progression* qu'elles ont en partie recouvertes dans un mouvement de récurrence et avec des *terrasses d'ablation* auxquelles les relie un cône de transition. On peut observer ces terrasses aux environs de Pont-Notre-Dame (terrasses d'Arthaz, de Reignier, de Vétraz, de Nangy, de Cornier).

Ce système fluvio-glaciaire néowürmien est très net dans la vallée de l'Arve. Ses moraines et terrasses sont distinctes et placées en *contre-bas* des formations fluvio-glaciaires plus anciennes (würmiennes), en particulier entre Saint-Laurent et l'embouchure du Borne et la gare de La Roche-sur-Foron, à Reignier, Loisinge, Saint-Sixt, Arthaz, etc., ainsi qu'à Nangy, Cornier, Vétraz-Monthoux, etc., et en général sur le pourtour aval de la « cuvette terminale » de Bonneville.

Ces dernières formations atteignent en aval de cette dernière, autour d'Arthaz, les altitudes de 460 à 500 mètres, alors que les dépôts datant de la régression würmienne sont compris entre 520 (Loëx) et 600 mètres (Saint-Jeoire).

B[1]. — Le système de la *moraine des Rocailles,* nettement « encaissé » et situé en contre-bas du Glaciaire würmien, *est nettement relié aux dépôts néowürmiens* dans la ville de La Roche-sur-Foron et à Crédoz, Saint-Ange, Boringe, Saint-Pierre-de-Rumilly, Le Châtelet.

A l'aval, et comme nous l'avons dit, on observe en outre des terrasses d'alluvions plus récentes encore *en dessous* de Vétraz, à Monêtier-Mornex (gare) et aux environs du pont d'Etrembières, où ces basses terrasses sont dominées, comme aux environs de Genève, par celles qui correspondent au système B (néowürmien). Nous reparlerons plus bas de ces alluvions qui font partie de notre complexe C.

Cette prodigieuse traînée de blocs urgoniens[1] de très grande taille connus sous le nom de « *Plaine des Rocailles* » et qui, ainsi que l'a montré M. André Delebecque, ne peut s'expliquer que par un gigantesque éboulement dont les débris ont été convoyés par le glacier du Borne et s'étendent des environs de Saint-Laurent jusqu'au Nord-Est de Reignier, se rattachent à la PÉRIODE DE RETRAIT DE CETTE RÉCURRENCE NÉOWURMIENNE, équivalente du stade d'Eybens de P. Lory dans le bassin de l'Isère, car on voit nettement au château de Pierre, près de Findrol, ses derniers blocs encastrés dans le complexe qui se continue plus en aval par les terrasses d'Arthaz (491 m.). Ces formations sont contemporaines du complexe néowürmien de Thonon, du bas Chéran, pont de l'Abyme et des environs de Chambéry — lac du Bourget, décrits par MM. P. Combaz et J. Révil.

---

[1] Les énormes blocs calcaires de cette traînée, dont le plus septentrional (Château de Pierre, près Findrol) a été interprété comme un pointement urgonien en place par les auteurs de la feuille d'Annecy, se montrent, par places, nettement mélangés à des dépôts morainiques d'origine alpine. Au Nord de Saint-Laurent, on les voit distinctement former le couronnement d'un vallum glaciaire (moraine latérale) dont la partie profonde contient des blocs intra-alpins. Ils appartiennent à un *stade de retrait du glacier néowürmien* et dominent nettement d'autres moraines alpines plus récentes encore, situées en contre-bas et appartenant au stade de Bühl (Saint-Pierre-de-Rumilly).

C. — Un *stade de retrait,* en contre-bas du précédent, témoigne d'une régression encore plus accentuée des appareils glaciaires. Pour le glacier du Rhône, il faut en chercher les traces en amont de Genève et du Léman; pour le glacier de l'Arve, dans les moraines basses et « Drumlins » de la magnifique « cuvette terminale » de Bonneville (avec beaux verroux rocheux de Mollasse) aux environs de Saint-Pierre-de-Rumilly et dans les parties basses de La Roche-sur-Foron et de Scientrier; elles ont, à l'aval, donné naissance à des *terrasses* alluviales situées à un niveau inférieur à celles d'Arthaz; on les voit au pont d'Etrembières, à Monetier-Mornex, Veyrier, etc.; elles correspondent aux phases de retrait qui ont succédé à la récurrence néowürmienne du Bois-de-la-Bathie et ont été en partie étudiées par M. A. Delebecque; elles forment notamment les plateaux de Gaillard et de Moellesulaz-Annemasse et ont été appelées « *postglaciaires* » par Alphonse Favre. On y a décelé les traces d'un changement du cours de l'Arve.

Les observations qu'on vient de lire se raccordent parfaitement avec les faits observables aux environs de Salève et de Collonges ainsi qu'avec les conclusions formulées, il y a quelques années par l'un de nous (W. K.), à la suite d'une étude sur le défilé du « Fort-de-l'Ecluse », dans les *Annales de Glaciologie* (t. VI, 1911) et dont toutes les données importantes ont été reproduites plus haut. De plus, elles montrent que la glaciation néowürmienne comporte plusieurs niveaux de terrasses (B, B^1 et C ci-dessus) dont les dernières (dites postglaciaires) correspondent aux *phases de retrait* succédant à la récurrence néowürmienne du Bois-de-la-Bathie.

D. — Quant aux restes du stade *bühlien,* ils doivent être recherchés pour la vallée de l'Arve, non à Nangy, Cornier, comme on l'a prétendu, mais bien en amont de Cluses, vers Sallanches et, pour la vallée du Rhône, en amont de Villeneuve, dans le bas

Valais [1]; pour la branche d'Annecy, les dépôts de ce stade doivent être étudiés près de Faverges et d'Ugine (**stade d'Ugine** avec terrasses et cône de transition), c'est-à-dire bien en amont du lac d'Annecy et, pour le glacier de Chambéry-Chapareillan, en amont de Montmélian, où ils constituent à Chamousset un amphithéâtre très net et bien conservé (Kilian et Révil).

E. — Enfin des stades encore plus récents du glacier de l'Arve ont laissé des traces en amont de Chedde, dans la vallée de Chamonix (stades de Gschnitz et Daun [2]), près des Houches, des Tines (stade de Daun) et d'Argentière; il en est de même pour le glacier du Rhône (Haut-Valais) ainsi que pour ceux de la Tarentaise (Saint-Marcel, Tignes, Val-d'Isère) et de la Maurienne. — Dans le livret des excursions scientifiques du neuvième Congrès international de Géographie (Genève, 1908), MM. Bruckner et F. Nussbaum ont étudié la morphologie glaciaire des environs de Chamonix, du Valais et de l'Oberland (p. 120); on consultera utilement leur travail.

Ainsi l'étude de la vallée de l'Arve (il existe des terrasses d'érosion, peut-être würmiennes, aux environs de Cluses, à Araches et Nancy, à 950-1100 m.) nous apprend que le glacier de l'Arve communiquait, à l'époque würmienne, avec la région du Haut-Rhône français par un seuil comparable à celui de Rives dans le Bas-Dauphiné et pouvait ainsi pousser ses moraines « par débordement » jusque vers Evires; ce seuil fut abandonné avant l'époque néowürmienne et le glacier, désor-

---

[1] Notamment près de Monthey, dont M. Schardt a décrit en 1908 (*Ecl. geol. Helv.*, t. X, n° 4) la grande moraine de blocs.

[2] W. Kilian, *C. R. des Coll. Serv. Carte géol. de France, C. Rendu des Collaborateurs*, 1907. — Il est intéressant à ce propos de signaler les *erreurs* d'attribution qui ont récemment conduit M. Hollande à attribuer au Würmien les glaciers locaux de Gresse (Isère) et aux stades de Daun et de Gschnitz de simples stades de retrait de ces mêmes glaciers du Vercors. (V. Kilian, *in Bull. Soc. géol. de Fr. — C. R. somm.*, 24 juin 1918.)

mais moins puissant et plus encaissé, revint en contre-bas de ce seuil pour s'écouler vers Régnier et Annemasse; ainsi cessa également de fonctionner la confluence de ce glacier avec celui d'Annecy. Du haut du Salève, le panorama grandiose et instructif qui s'offre aux yeux du géologue permet de se rendre compte d'une façon tout à fait saisissante de ces phénomènes.

L'AXE ANTICLINAL tronçonné, de calcaires mésozoïques (SALÈVE-CRUSEILLES - PONT-DE-LA-CAILLE-ALLONZIER-MANDALLAZ-LOVAGNY), dont les irrégularités (décrochements, abaissements d'axe, etc.) ont été décrites par Maillard, par M. Schardt, puis par MM. Favre et Joukowski, a joué un rôle important dans l'histoire des glaciers pléistocènes.

Un de ses ensellements a été franchi près de Cruseilles par une branche du glacier *würmien* de l'Arve, alors que la partie principale de ce glacier s'écoulait dans la direction de Rumilly en franchissant, près de Lovagny, la partie la plus basse de ce même bombement calcaire et en accumulant de ce côté ses alluvions de progression.

A l'époque *néowürmienne* ce même accident a joué un rôle directeur dans la disposition des cuvettes terminales et l'écoulement des fronts glaciaires; le glacier de l'Arve ayant écoulé ses alluvions de fonte par Etrembières en contournant l'extrémité du Salève et le glacier du lac d'Annecy s'étant épanché par une brèche de ce même axe anticlinal à la Balme de Sillingy.

Enfin c'est aux progrès de l'érosion régressive dans les calcaires urgoniens de ce même ridement, près de Lovagny, qu'est due, *après le Néowürmien*, l'émersion de la « Plaine des Fins » et la réduction du lac d'Annecy provoquée par l'épigénie du Fier (v. plus bas).

— A l'Ouest de cette barrière naturelle, le glacier du Rhône édifiait, à la fin de l'époque würmienne, entre Salève et Vuache, le magnifique talus frontal (amphithéâtre morainique) du Mont-de-Sion et, entre Vuache et Credo, les vallums des environs de Bellegarde, reposant sur les alluvions de progression des vallées des Usses et du Rhône, et s'écoulant, par de beaux *cônes de*

transition fluvio-glaciaires, par Frangy et Seyssel vers Culoz, tandis qu'à l'époque de la « récurrence néowürmienne » le *seul* passage de Fort-l'Ecluse servait d'issue au glacier réduit qui occupait encore le bassin du Léman (Bois-de-la-Bathie, Saint-Julien, Collonges).

6° LE LAC D'ANNECY ET SES ENVIRONS LE BASSIN DE RUMILLY

L'origine des lacs subalpins a depuis longtemps préoccupé de nombreux géologues et donné lieu à de multiples controverses dont l'exposé nous entraînerait trop loin [1]. Nous rappellerons seulement que pour certains savants, à la tête desquels se placent le professeur Albert Heim, de Zurich, et son élève M. Aeppli, tous ces lacs seraient dus à un *affaissement* du massif alpin. Le premier de ces auteurs, notamment, a précisé cette interprétation dans la phrase suivante : « De cette manière, nous avons prouvé que les lacs de bordure alpins sont dus à un affaissement en bloc des Alpes et que cet affaissement s'est produit pendant la première époque interglaciaire [2]. »

Cependant, MM. Penck et Brückner, en établissant les premiers que nos lacs subalpins occupent des « vallées surcreusées », en ont indiqué nettement l'origine glaciaire et fait voir que leur histoire ne date que de la fin des temps pléistocènes. C'est également la conclusion à laquelle nous a conduits en 1913 [3] l'examen des formations quaternaires des environs d'An-

---

[1] Voir sur ce sujet A. Falsan, *La période glaciaire étudiée principalement en France et en Suisse*. Paris, Alcan, 1889. — Voir également A. Delebecque, *Les Lacs français*, Paris, Chamerot et Renouard, 1898, où l'histoire du Lac d'Annecy, telle qu'on la comprenait en 1891, est remarquablement bien exposée.

[2] A. Heim, *Geologische Nachlese*, p. 16 du tirage à part.

[3] W. Kilian, J. Révil et M. Le Roux, Histoire de la dépression du lac d'Annecy à l'époque pléistocène (*C. R. somm. des séances de la Soc. géol. de France*, 2 juin 1913, p. 106).

necy dont nous avons repris l'étude, il y a quelques années, en collaboration avec notre confrère M. Marc Le Roux, conservateur du Musée d'Annecy.

De direction sensiblement Nord-Ouest - Sud-Est et établi entre les chaînes du Genevois à l'Est et la montagne du Semnoz à l'Ouest, **le lac** actuel d'**Annecy** [1] n'est que le reste d'un bassin lacustre plus important qui (après le retrait du glacier würmien) s'étendait jusqu'à la chaîne de Mandallaz (= montagne de la Balme) à l'Ouest, au Nord jusqu'à Pringy et à l'Est jusqu'à la colline d'Annecy-le-Vieux. La plaine des Fins, qui porte les restes de l'ancienne *Boutae* et qui limite actuellement le lac au Nord-Ouest, représente, comme l'a d'ailleurs démontré M. Marc Le Roux, un vaste delta fluvio-lacustre interstadiaire de l'époque néowürmienne qui a comblé une portion de cette ancienne « cuvette terminale » (dépression centrale). On peut affirmer, en outre, qu'antérieurement à la Glaciation würmienne (*quatrième glaciation*) le lac n'existait pas et que les eaux devaient à ce moment s'écouler par la vallée d'Annecy (alors moins profondément creusée) et par la cluse de Mandallaz, car les dépôts de la période d'extension de cette glaciation würmienne se retrouvent sur toutes les collines mollassiques des environs et sont supportés, en certains points, par des « alluvions de progression » *nettement fluviatiles*. La cuvette lacustre ne s'est donc individualisée que peu de temps avant la « récurrence néowürmienne », ainsi qu'en témoigne un *complexe fluvio-glaciaire récent* installé dans la dépression qu'avait occupée le Glacier plus ancien. En effet, on constate, en certaines localités, comme à la « Sablière Brachon », sur la rive gauche du Fier, *à une faible hauteur au-dessus du lit* de la rivière, l'existence de dépôts à *cailloux striés* parfois cimentés et montrant franchement, par leurs couches inclinées et discordantes entre elles, les allures d'un

[1] Voir pour les données orographiques et hydrographiques relatives à ce lac J. Révil, Géologie des chaînes subalpines et jurassiennes de la Savoie (*Mémoires de l'Académie de Savoie*, 5e série, t. I, 1911), et Delebecque, *loc. cit.*

« cône de transition » certainement fluvio-glaciaire et qui ne peut dater que de l'époque néowürmienne.

D'autre part, d'importants dépôts glaciaires plus anciens (würmiens), évidemment antérieurs aux premiers dépôts lacustres qui les surmontent, existent également sur l'autre rive de la même rivière, en aval du pont de Brogny. En ce dernier point, la berge droite, qui présente une certaine élévation au-dessus du lit du cours d'eau, montre, en effet, de bas en haut : 1° à la base des alluvions bien litées, avec cailloux, les uns *anguleux* et les autres *roulés,* constituant ce que MM. Penck et Brückner appellent une « moraine à graviers » (Schottermoræne); 2° vient ensuite une « moraine argileuse » à blocaux (Blockmoræne); 3° puis revient une assise de cailloux roulés avec tous les caractères d'un « cône de transition » et passant plus au Nord à du Fluvio-glaciaire (plaine de Genève).

Des dépots glaciaires du même âge se voient près du village de Metz, où une gravière montre aussi des lits caillouteux dont les allures indiquent un cône de transition. On les retrouve près du hameau de Bromines (lieu dit Crèt-Saint-Paul) où existent aussi des argiles à *cailloux striés* et à lentilles sableuses formant morphologiquement une série de petites collines allongées (*drumlins*) à topographie nettement morainique.

Les mêmes dépôts, toujours avec *cailloux striés* caractéristiques, s'observent au Nord-Ouest des marais d'Epagny, dans le voisinage de Chaumontet, en contre-bas de la montagne de Mandallaz et à l'entrée de la cluse de Sillingy, formant également de petites buttes dont les couches chaotiques *à strates inclinées* et lentilles sableuses passent à l'aval, par l'intermédiaire d'un cône de transition, à des formations franchement fluvio-glaciaires et alluviales.

Mais, en aval du barrage que constitue la moraine de Chaumontet, les « beaux *vallums* » *plus récents* (néowürmiens) de la Balme de Sillingy s'étendent en travers dans le thalweg de la vallée creusée par l'écoulement du lac d'Annecy postwürmien. Plus en aval encore, on rencontre des affleurements de

Mollasse dans le même thalweg. Ce dernier système est nettement *emboîté en contre-bas* dans des dépôts fluvio-glaciaires plus anciens qui forment d'ailleurs dans toute la région préalpine, jusqu'aux premiers chaînons jurassiens et à Lagnieu dans le Bugey, un manteau presque continu de dépôts fluvio-glaciaires würmiens.

La vallée des Usses est donc creusée dans un système ancien qui présente, sur la Mollasse, des « alluvions de progression » würmiennes plus ou moins cimentées en poudingues et surmontées elles-mêmes par de la moraine de fond; mais en *contre-bas* et dans le thalweg actuel, on constate, à Frangy, l'existence de *basses terrasses* plus récentes probablement néowürmiennes et se reliant en amont aux moraines de la Balme de Sillingy.

Nous avons vu que, dans toute cette région, un premier complexe (Würmien ancien), constitué par des alluvions de progression (environs de Pringy) supportant des formations glaciaires (Moraines de fond), s'étend sur les plateaux et collines, formant un vaste plan incliné d'Annecy et du bord subalpin vers Rumilly et Aix d'une part, et de l'autre vers la ligne du Rhône (Bellegarde-Seyssel) qui en draine pour ainsi dire la périphérie.

La vallée des Usses et celle du Fier sont postérieures à ce complexe qu'elles ont entamé et en *contre-bas* duquel s'emboîte nettement vers l'amont un deuxième complexe fluvio-glaciaire (Néowürmien), celui d'Annecy et de Sillingy, qui laisse voir des *moraines frontales* en vallums caractéristiques (Balme de Sillingy) postérieures aux moraines frontales de Bellegarde et du Mont de Sion (Würm II).

Les moraines de l'époque néowürmienne ont également laissé des traces sur les bords du lac actuel en amont d'Annecy, à Veyrier et Sevrier; à Faverges on commence à rencontrer les vestiges d'un stationnement postérieur (stade de Bühl) et à Ugine se montre le cône de transition d'un stade plus récent encore **(stade d'Ugine).**

En résumé les amas morainiques de Metz, Epagny, Chaumon-

tet, etc., nous semblent dus à un stationnement de *retrait würmien,* ils ont dû obstruer complètement la cluse de Mandallaz et y former barrage, permettant ainsi postérieurement (à la phase interstadiaire qui a précédé la récurrence néowürmienne) l'établissement d'un lac très étendu qu'ont ensuite comblé partiellement les alluvions du Fier. Cette dernière rivière a vu son lit rejeté peu à peu vers l'Ouest par ses propres alluvions et a laissé entre Brogny et Cran *plusieurs niveaux* de basses terrasses d'âge récent dont la plus élevée est le prolongement de la plaine des Fins. Les plus basses de ces diverses terrasses sont certainement de date plus récente que le dernier épisode glaciaire, c'est-à-dire franchement *postglaciaires.*

En continuant l'examen de la bordure occidentale de l'ancienne cuvette lacustre, nous rencontrons d'ailleurs d'importants dépôts würmiens au chef-lieu du village de Sillingy, où la moraine est caractérisée par des *cailloux striés* typiques, des couches de sables inclinées et par une cimentation de sa partie supérieure qui forme une sorte de béton très compact et d'une certaine épaisseur reposant sur la Mollasse. Ces dépôts se poursuivent vers Nonglard et Lovagny, où se montrent d'assez nombreux blocs erratiques et où existent, en contre-bas du premier de ces villages, des couches graveleuses formant un cône de transition.

En aval du village on observe un grand encombrement de blocs erratiques.

Ce sont encore des formations glaciaires du même âge qui constituent le sous-sol des environs de Poisy, village que domine à l'Ouest une barre urgonienne, laquelle, plus au Sud, vient se terminer, par suite d'un abaissement de l'axe anticlinal, à la chaîne de Mandallaz. Cette barre est entamée par le Fier qui s'y est creusé, par érosion régressive, un lit très profond lorsqu'il ne fut plus possible à ce cours d'eau de rejoindre le Rhône par la vallée des Usses.

Une localité particulièrement intéressante, au point de vue qui nous occupe, est celle de Brassilly, où des *alluvions de pro-*

gression (Würm II) sous-jacentes aux moraines würmiennes présentent un magnifique développement : sur la rive gauche du Fier, non loin de l'usine hydro-électrique, se montrent des conglomérats bien lités avec intercalations de bancs sableux que surmontent des amas morainiques (Würm II) relativement épais. Des alluvions plus récentes du Fier se sont déposées bien en contre-bas de ce complexe dans la vallée d'érosion post-glaciaire.

De tous ces faits, nous pouvons conclure que le lac d'Annecy actuel n'est que le reste de la « dépression centrale » ou « cuvette terminale » d'un glacier néowürmien. Ainsi que nous l'avons dit, le lac s'est étendu pendant la phase interstadiaire würm-néowürmienne jusqu'à la chaîne jurassienne de Mandallaz, dont la cluse, d'origine tectonique, s'est trouvée fermée par les dépôts d'une glaciation plus ancienne (Moraine de Chaumontet). A la fin de l'époque néowürmienne et alors que le glacier déposait les moraines de Veyrier et de Sevrier, une partie de l'ancienne cuvette a été ensuite progressivement comblée par le cône de déjections du Fier néowürmien et postglaciaire; puis ce dernier, ne pouvant plus trouver un écoulement facile par la région des Usses et de Frangy, s'est ensuite frayé un passage par Lovagny pour se diriger vers Rumilly, Saint-André et Seyssel, et rejoindre, en aval de cette dernière localité, le grand cours d'eau valaisan. Ce n'est vraisemblablement qu'à ce moment (après le Néowürmien) que, par suite de l'*érosion régressive,* la Fier a creusé le célèbre cañon de Lovagny et que l'abaissement de son niveau de base lui a permis d'entamer le delta de la plaine des Fins, de s'y creuser une vallée (en aval du pont de Brogny) et d'y former des *basses terrasses* postglaciaires que l'on retrouve aussi le long d'un de ses affluents, le ruisseau d'Epagny, dont M. Gorceix a décrit la curieuse « capture ».

Dans la vallée du Fier ces terrasses se montrent à 436 et 439 mètres, alors que le Fier coule à l'altitude de 432 mètres en aval de Brogny et que le niveau du lac d'Annecy est à 450 mètres, la plaine des Fins atteignant 468 mètres.

C'est ce Fier postglaciaire qui est venu rejoindre le Chéran, dont le tronçon aval est connu sous le nom de val du Fier [1] (v. plus haut) et porte des traces très nettes de creusements et de remblaiements postglaciaires.

On a vu plus haut, en effet, que le cañon postglaciaire du val du Fier, près de Seyssel, est occupé par des dépôts de remblaiement d'une épaisseur d'une vingtaine de mètres en certains points, formés de cailloutis de graviers et de blocs empruntés aux formations glaciaires remaniées du voisinage.

Ainsi, avant et pendant l'époque würmienne, les eaux et les glaces s'écoulaient par la cluse de Mandallaz; le lac d'Annecy prit naissance après le Würmien et fut comblé dans sa portion orientale par un delta de matériaux amenés par le Fier (plaine des Fins); enfin ce n'est qu'à l'époque postglaciaire que le Fier approfondit la gorge de Lovagny et se creusa sa vallée en contre-bas de la plaine des Fins [2].

---

[1] En réalité, le Chéran *seul* s'est écoulé vers le Rhône antérieurement à la formation des gorges de Lovagny par la vallée connue sous le nom de Val du Fier et par le défilé, alors moins profond, des Portes du Fier.

Ce n'est que postérieurement que, par suite d'un phénomène de *capture* postglaciaire, ce tronçon a été utilisé par le Fier qui lui a donné son nom.

Quant au Fier supérieur (Fier de Thônes) (étudié par M. Gorceix), avant sa *capture* par le Fier de Lovagny, il s'écoulait par la vallée des Usses, par la Balme de Sillingy et Frangy. — Le Fier actuel (postglaciaire) est donc formé de plusieurs tronçons d'âges différents réunis par des tronçons de capture. (Nous nous proposons de représenter par une carte le mécanisme de ce curieux phénomène.)

En ce qui concerne l'histoire de la vallée du Fier, voir aussi Gorceix (*C. R. Acad. des Sciences*, août 1918). — V. aussi Ch. Gorceix, Marc Le Roux et Morel, Formation des gorges du Fier (*Revue savoisienne*, 1918).

[2] M. Gorceix (*C. R. Acad. des Sciences*, t. CLXVII, p. 236, 5 août 1918) a consacré une note intéressante au « Fier postwürmien ». Ce travail, basé surtout sur des considérations morphologiques et sur des nivellements, contient des faits intéressants, mais n'est pas entièrement d'accord avec un certain nombre de notions que nous a révélées l'étude d'ensemble des formations fluvio-glaciaires préalpines et subalpines.

L'auteur distingue avec raison *plusieurs tronçons* dans la vallée actuelle du Fier, bien que ses interprétations diffèrent sensiblement des nôtres.

En outre, MM. Gorceix, Leroux et Moret ont consacré une étude de détail fort intéressante au tronçon inférieur de cette vallée qui constitue les fameuses

La dépression lacustre (cuvette terminale) du lac d'Annecy, intérieure à la limite d'extension des moraines würmiennes de retrait (stade de Rives) est donc l'homologue de celles du Léman et de celles de la région Grenoble-Moirans et du lac du Bourget, toutes postérieures à la glaciation würmienne aux glaciers de laquelle elles doivent leur origine.

Les glaciers du Rhône, de l'Arve, d'Annecy-Sillingy, de Chambéry-La Trousse, ne paraissent s'*être individualisés qu'à l'époque néowürmienne,* comme aussi le glacier de Gap dans le bassin de la Durance, les seuils de confluence et de diffluence

---

Gorges du Fier. Nous renvoyons le lecteur à cette monographie très soignée, tout en faisant observer que certaines allégations des auteurs (âge « au moins pliocène » du premier des Fiers successifs, existence d'une « vallée » würmienne remblayée et déblayée plusieurs fois, *âge interglaciaire* des terrasses de Lovagny) soient manifestement sujettes à caution et qu'on y retrouve, mal comprises ou mal interprétées, des idées émises il y a quelques années par l'un de nous. En revanche, on ne saurait trop louer l'analyse des phénomènes récents de remblayage et d'érosion que les auteurs ont mis en évidence; un profil en long très intéressant montre l'existence de *contre-pentes* dans le lit rocheux.

M. Gorceix a démontré, d'autre part (*loc. cit.*), l'existence de *captures* aux environs de Saint Jean-de-Sixt pour le Fier supérieur, le Borne et le Nom, ainsi que pour le Fier, le Viéran (ruisseau d'Epagny), pour le Val du Fier et pour le Sierroz.

En ce qui concerne les environs de Rumilly et les formations glaciaires et fluvio-glaciaires de la région, nous croyons devoir émettre des doutes et des réserves explicites sur les points suivants :

1° Les moraines de Lovagny ne sont pas néowürmiennes comme le pense l'auteur, mais appartiennent à une phase de retrait de l'époque würmienne (Würm. II) ;

2° Les alluvions de progression de Brassilly et les cailloutis de Rumilly ne peuvent représenter, comme il le dit, « le lit du fleuve *sous-glaciaire* de la régression würmienne » ;

3° Il n'y a aucun dépôt permettant d'admettre l'existence d'un *lac* dans cette région à l'époque de la régression würmienne;

4° La Glaciation néowürmienne n'a jamais dépassé la cuvette du lac d'Annecy, et M. Gorceix a tort de lui attribuer une influence sur la capture du Val de Fier;

5° Dans le synclinal de Rumilly, nous n'avons vu nulle part les alluvions fluvio-glaciaires « *reposer sur le Würmien* », dont elles constituent un des éléments et aux moraines duquel elles sont reliées par de nombreux passages latéraux (cônes de transition) (v. plus haut).

étant désormais abandonnés et les appareils glaciaires, devenus moins importants, restant désormais confinés dans les bassins et vallées surcreusées.

⁂

Les moraines würmiennes, qui reposent directement sur la mollasse près de Nonglard, passent progressivement à *des alluvions fluvio-glaciaires stratifiées* vers Marcellaz-Hauteville et Rumilly.

Les alluvions de progression antewürmiennes de Brassilly se retrouvent avec un remarquable développement dans les environs de Rumilly. Au Nord de cette ville, elles constituent une terrasse (*terrasse de Vallières*) où les lits de cailloux roulés reposent directement sur les Mollasses burdigaliennes du Miocène. Par place *elles passent, latéralement* ou par le haut, à de la moraine de fond datant de l'extension würmienne. Ce fait s'observe en particulier au sommet de la montée qui conduit de « Pont-Mollet » à Vallières. Nous y avons recueilli de nombreux blocs nettement *striés*. On voit la terrasse de Vallières s'accidenter au Nord et *passer à des moraines topographi*ques ; c'est un bel exemple de transition entre moraine frontale et des alluvions fluvio-glaciaires.

Plus au Nord, à l'Est et dans le voisinage du village de Sion, se voit un « cône de transition » à inclinaison ouest. Ici encore les blocs *striés* sont abondants et ne laissent nul doute sur leur origine glaciaire. Le Fier postglaciaire coule en contre-bas de ces cailloutis et a creusé son lit dans la Mollasse. Un autre cône de transition fluvio-glaciaire non moins net existe aux environs immédiats de Rumilly, aux abords de la voie ferrée (lieu dit « La Pérouzaz »). En ce point, on observe des sables très inclinés et des argiles glaciaires à cailloux *striés*.

La partie méridionale du bassin de Rumilly présente des caractères morphologiques un peu différents et montre, entre Bloye et Grésy-sur-Aix, en contre-haut de la plaine d'alluvions

würmiennes, une région de « *vallums* » et une série de « paysages morainiques » dominés à l'Est et à l'Ouest par des crêtes mollassiques portant parfois un revêtement glaciaire plus ancien. A la hauteur du premier de ces villages on rencontre une *moraine transversale* d'une faible élévation au-dessus de la plaine alluviale et qui semble avoir son origine dans un ancien *stationnement du front würmien.*

Au Sud la région s'ondule plus franchement et offre plusieurs vallonnements dont les parties hautes sont formées par des amas morainiques et les parties basses et marécageuses par des *lits alluviaux intra-morainiques.* Quelques cônes de transition en relation avec les moraines se rencontrent en un certain nombre de points. Un cône de transition des plus nets se voit encore en contre-bas du hameau d'Illory, près de la voie du chemin de fer, et montre des bancs de sables fins et de graviers à cailloux striés inclinant vers la partie basse du vallon [1].

Près d'Albens existent de vastes prairies marécageuses, sorte de « vallée morte », d'où s'écoule actuellement un paresseux cours d'eau, la « Daisse », qui, en amont de Grésy, va rejoindre le Sierroz. On reconnaît ici un vallon postglaciaire creusé dans les dépôts mollassiques et alluviaux et dont le sous-sol est constitué par des formations de transport plus ou moins remaniées.

Nous signalerons encore plus au Sud et sur les hauteurs dominant à l'Ouest le vallon de Grésy (lieu dit « La Croix-Noire) » et à La Biolle (église), un magnifique *cône de transition* würmien, avec blocs erratiques nombreux à la partie inférieure. Les lits supérieurs *plongent* en pente douce *vers la vallée d'Aix,* indiquant nettement que les formations que nous venons d'étudier provenaient du Nord, étant dues à une branche glaciaire affluente de celle *qui s'écoulait par Chambéry et Aix-les-Bains* [2].

---

[1] Au Sud de Rumilly, dans la plaine, des sablières permettent de constater la présence de dépôts fluvio glaciaires à lentilles sableuses avec quelques cailloux striés et de gros blocs alpins noyés dans la masse.

[2] La ville d'Aix est établie sur un cône de déjections torrentiel venant de l'Est et encaissé dans du Glaciaire würmien.

En avant s'étendait une vaste nappe alluviale; en aval de Biolle, vers Grésy, l'érosion *postglaciaire* a entamé les formations würmiennes.

⁂

En aval de Seyssel, une terrasse fluvio-glaciaire domine le Rhône de 20 mètres environ; on distingue également un niveau plus élevé supportant des dépôts glaciaires, tandis que le Rhône, encore en pleine érosion à Seyssel, a édifié un vaste *cône de déjections* vers Culoz.

Il serait facile de suivre vers le Nord-Ouest et l'Ouest les formations fluvio-glaciaires de la Haute-Savoie et du Haut-Rhône ; les nappes d'alluvions würmiennes et néowürmiennes s'y poursuivent en contre-bas de formations glaciaires plus anciennes que nous décrirons plus bas ou qui ont été décrites dans des travaux divers ; à Lagnieu, près d'Ambérieu, d'Ambutrix et de Lyon s'observent des traces de stationnement du Würmien, du Néorissien et du Rissien [1]. Près de Virieu-le-

---

[1] Les environs d'*Ambérieu* permettent de faire des observations intéressantes; on y distingue les niveaux suivants :

I. Au Nord de Jujurieu et dans le bois de Charmontal, et se développant à l'altitude de 400 mètres environ, des alluvions probablement *pliocènes;*

II. Un système fluvio-glaciaire ancien (*Rissien*) formé d'alluvions anciennes supportant les dépôts glaciaires d'Ambutrix;

III. Une moyenne terrasse (Bois de Servettaz, Leyment), probablement *néorissienne;*

IV. Des *basses terrasses* (15 m. au-dessus du Rhône) appartenant à un système plus récent (glaciaire de Leyment) (*Würmien*) et aboutissant vers Lagnieu à des *moraines topographiques* très nettes reliées à ces terrasses par un « cône de transition ». Ces moraines forment un bel amphithéâtre morainique constitué par deux lignes de vallums concentriques encaissées en contre-bas d'alluvions plus anciennes observables à l'Est de Lagnieu ;

V. Près d'Ambérieu (Saint-Germain) existent plusieurs cônes de déjections de l'Albarine emboîtés les uns dans les autres. La gare d'Ambérieu est à l'altitude de 247 mètres.

Aux environs de la Valbonne et de Bélignien, les formations fluvio-glaciaires

Grand, MM. Gignoux et Combaz ont observé, à l'entrée de la gorge des Hôpitaux, des formation glaciaires que nous avons décrites d'après ces auteurs, dans la première partie du présent mémoire, sous le nom de *Stade de Brégnier-Cordon* ou de *Virieu-Rossillon*. Ces mêmes géologues ont distingué les stades plus récents (Würm II) de *Virignin-Belley* (déjà soupçonnés par l'un de nous) et de Charbonnod, près Massignieu ; ces trois stades, ainsi que celui de Prouilleu et près de La Balme, qui s'observent dans une zone intérieure à la ceinture frontale du maximum de Würm (Würm I), viennent se placer entre la Glaciation würmienne et la Glaciation néowürmienne. Les moraines frontales de cette dernière n'ont pas dépassé la région sud du lac du Bourget, la cuvette du lac d'Annecy, celle du Léman et La Roche-sur-Foron dans la vallée de l'Arve.

Mais il existe dans cette région des cailloutis plus anciens, équivalents de la *haute terrasse* lyonnaise et remontant à une époque antérieure à la Glaciation rissienne. D'après M. Depéret[1], en effet, le Rhône préglaciaire (Anterissien) a déposé, au début du Quaternaire et avant l'arrivée des glaciers dans la région, une *haute terrasse de graviers alpins gris* s'élevant à plus de 120 mètres au-dessus du thalweg du Rhône actuel. Ce

---

rissiennes des Dombes sont également, sur le bord Est du plateau, RAVINÉES par des dépôts *néorissiens* qui dominent la terrasse *würmienne* (de 15 m.).

La « Vallée morte » ou gorge de Rossillon à Ambérieu, longue de 35 kilomètres et parcourue actuellement en partie par l'Albarine à partir de Tenay, a été creusée par un puissant cours d'eau. On y remarque un seuil (les Hôpitaux) à 360 370 mètres d'altitude, produit par de petits cônes de déjections, de puissants dépôts d'éboulis et de tufs calcaires ; plus au Sud-Ouest, en aval de Torcieu, de petites terrasses (30 m.) à éléments surtout locaux et calcaires ; à Rossillon, on voit les alluvions de progression (alt. 370 m.) sous glaciaires (*würmiennes*) de Virieu-le-Grand s'engager dans le défilé ; elles sont fines et présentent des lits sableux inclinés vers l'aval.

A Contrevoz elles occupent les altitudes de 340 et 375 mètres et supportent des blocs erratiques alpins (Amphibolites, Quartzites).

En amont de cette région, on distingue près de Virieu-le-Grand une « dépression centrale » assez nette, datant vraisemblablement de l'époque würmienne.

[1] Voir *C. R. des Collaborateurs du Service de la Carte géologique de France*, t. X, p. 72, 1898.

Rhône quaternaire s'engageait vers l'Ouest dans la cluse d'Artemare et de Virieu-le-Grand. Il empruntait la cluse suivie aujourd'hui par le chemin de fer d'Ambérieu à Culoz et on retrouve le long de ce trajet plusieurs lambeaux importants d'alluvions, dont un énorme au Nord du village de Contrevoz. M. Depéret croit pouvoir avancer que le Rhône, au début du Quaternaire, a passé par la cluse du chemin de fer de Culoz à Ambérieu et ne s'est détourné que plus tard vers le Sud, dans la direction du bassin de Belley.

A Virieu-le-Grand des dépôts glaciaires reposent sur des alluvions de progression à l'altitude d'environ 337 mètres. Ce complexe daterait néanmoins, d'après MM. Gignoux et Combaz (v. plus haut), de l'époque *würmienne*. Quant aux terrasses d'alluvions qui s'observent entre Virieu-le-Grand et Belley, soit plus à l'Est le long du trajet actuel du fleuve, elles sont plus basses encore et appartiennent à des époques plus récentes (phases de retrait du Würmien et Néowürmien).

Dans toute cette région, il existe en outre sur les plateaux élevés, — en dehors de la gorge des Hôpitaux et de la Burbanche ainsi que des terrasses locales de l'Albarine observables près de Saint-Rambert-en-Bugey et de puissants dépôts de *tufs calcaires*, — des dépôts morainiques *plus anciens* que ceux des environs de Virieu-le-Grand. Il serait intéressant de rechercher s'il n'y a pas là des moraines rissiennes et, plus haut encore, des témoins d'alluvions mindeliennes (Dekenschotter) ou pliocènes.

7° LE MASSIF DES BAUGES

Le massif des Bauges (Savoie), que l'un de nous (M. Joseph Révil) a décrit en collaboration avec l'abbé Paul Combaz [1], fournit, lui aussi, des preuves indiscutables de *plusieurs glaciations*.

---

[1] Joseph Révil et Paul Combaz, Les formations pléistocènes du massif des Bauges (*Bull. Serv. Carte géol. de France*, t. XXII, p. 131, 1913).

Outre les traces d'une glaciation alpine, d'*âge rissien,* qui aurait envahi à peu près tout le massif et dont il ne reste que des blocs erratiques disséminés à de plus hautes altitudes que celles des glaciations suivantes, on distingue nettement : 1° *une glaciation alpine würmienne;* 2° *une glaciation* locale (*récurrence néo-würmienne* [1]).

1° **Glaciation alpine würmienne.** — Plusieurs branches du glacier alpin ont envahi le massif et deux d'entre elles se suivent nettement dans la région étudiée par les deux auteurs [2] : l'une s'avançait par le col du Frêne, dans la vallée du Chéran, pour déboucher ensuite par le col de Leschaux, — où elle se réunissait à la branche arrivant par le seuil de Faverges, — et par la cluse de Banges; l'autre, débordant par le col de Marocaz, dans la vallée de la Laysse de la Thuile, ne prenait qu'en écharpe le bord sud-est du massif et rejoignait, à sa sortie du vallon de la Boiserette et du plateau de Saint-Jean-d'Arrey, la branche du glacier de l'Isère arrivant par la Combe-de-Savoie.

I. Au *Glacier du Chéran* peuvent être rapportées : *a*) des « alluvions de progression » observées dans la grotte de Banges; *b*) des moraines avec cailloux alpins — provenant du massif de Beaufort et des chaînes de la Tarentaise — et mêlés à des roches locales. Elles se trouvent accumulées en contre-bas du col de Leschaux (rive gauche), sur le territoire de la commune de Bellecombe, où elles sont très ravinées et remaniées, donnant lieu aux dépôts de sables (aurifères) bien connus du Chéran. De l'altitude de 1000 mètres, elles descendent jusqu'au niveau du Chéran actuel, où elles offrent les caractères typiques d'une moraine de fond; *c*) des alluvions subordonnées : 1° un cône

[1] *Id.*, Glaciaire et Fluvio Glaciaire du massif des Bauges (*Soc. Hist. nat. Savoie,* 2e série, t. XVI, p. 81, 1913). (Cette monographie renferme une *bibliographie* des travaux consacrés aux formations pléistocènes du massif.)

[2] La branche arrivant par le col de Tamié est restée en dehors de leurs recherches.

de transition à la Charniaz en relation *sous* la terrasse locale de Lescheraine avec les moraines de Bellecombe; 2° des lambeaux d'une ou plusieurs terrasses de retrait, continuant la formation précédente, sur les deux rives du Chéran dans la cluse de Banges.

La morphologie complète ces attributions; des *épaulements* jalonnent les bords de l'auge würmienne et se reconnaissent nettement : 1° dans la vallée de Sainte-Reine, au-dessus de Routhennes et des Arables; 2° au pied du Trélod (plate-forme rocheuse de Jarsy); 3° à l'extrémité septentrionale du Margéniaz, au-dessus du hameau de « Villaret-Rouge; 4° à l'entrée de la cluse de Banges, au-dessus de la Charniaz.

De plus, on observe des cuvettes « surcreusées » qu'accidentent des torrents descendus des replats dont il vient d'être question : telles sont les cuvettes surcreusées de la Compôte et de Lescheraine, que sépare le « verrou » du Châtelard.

II. Au *Glacier de la Laysse* se rapportent : *a*) les cailloutis de progression de Saint-Jean-d'Arvey [1], — dont MM. Révil et Combaz ont rencontré de nombreux lambeaux non observés avant leurs explorations, — qui se montrent en bordure du plateau de Saint-Jean dans les ravins plus ou moins cultivés de la rive droite du cours d'eau; *b*) les moraines de la Thuile, de Puigros, de Curienne, de Thoiry et de Saint-Jean-d'Arvey. Elles forment, à Puigros et à la Thuile, deux *vallums* de retrait nettement reconnaissables; *c*) des alluvions subordonnées : nappe de transition au Nord-Est de Puigros, en dépendance du *vallum* le plus externe.

III. Aux *glaciers et névés locaux d'âge würmien peuvent* être rapportés: *pour le bassin du Chéran*, le glacier du vallon de Bellevaux et du synclinal des Arbets, celui de la vallée d'Aillon, des combes de la Fully et de Lourdens; pour le bassin de la

---

[1] Déjà signalées par MM. Depéret, Kilian et Révil.

Laysse, les névés du cirque de la Thuile et ceux de la vallée des Déserts.

2° Glaciation locale (récurrence néowürmienne).

I. *Bassin du Chéran.* — Le glacier néowürmien du Chéran résulte de la jonction momentanée de lobes terminaux appartenant à plusieurs glaciers locaux qui, lors de leur retrait, retrouvent progressivement leur individualité. Ce sont : les glaciers de Bellevaux, de Routhennes, des Aillons et de Saint-François. Au moment du maximum, ils se réunissaient en une langue glaciaire unique qui n'a pu s'étendre, en dehors du massif, au delà de Cusy dans l'Albannais, où on trouve, *sous la moraine,* des alluvions de progression.

A ce glacier se rapportent :

a) Des « alluvions de progression », que surmontent des matériaux morainiques, en aval du pont de l'Abyme;

b) Les *moraines terminales* de Cusy, avec amorces de « cônes de transition » et de terrasses subordonnées.

De plus, les auteurs ont pu distinguer un certain nombre de stades de retrait :

c) Le *Stade du pont de l'Abyme,* avec moraines bien conservées sur la rive gauche du Chéran et terrasse de Cusy se conservant en aval avec les cailloutis de progression (sur les deux rives);

d) Le *Stade du Châtelard,* avec, sur la rive droite : moraine de la Motte, cône de transition du Rocher et terrasse de Lescheraine. Sur la rive gauche : moraine du bois dit « de la Cure » et cône de transition d'Atilly;

e) Le *Stade de Bellevaux,* avec moraine de Bellevaux, lambeaux de cône de transition près du hameau de Carlet, terrasses d'Ecole et de la Compôte qui, en aval, s'emboîtent en contre-bas de la terrasse de Lescheraine;

f) Le *Stade des Arbets,* synclinal de l'Arclusaz. Au stade du pont

de l'Abyme s'individualisent : les glaciers de Saint-François et des Aillons, tandis qu'à celui du Châtelard s'individualise le glacier de Routhennes. Ces glaciers présentent également leurs stades de retrait qui sont : dans la vallée de Saint-François, les moraines du « Moulin Monod », un lambeau de cône de transition au Chêne et la terrasse d'Arith se raccordant à celle de Lescheraine. Dans la vallée des Aillons se reconnaît le stade d'Aillon-le-Vieux, dont la moraine est oblitérée par les cônes de déjections, mais dont le cône de transition s'observe au lieu dit « Sous-Révollin » et vers le hameau de Villaret-Rouge. Cette terrasse se raccorde encore avec celle de Lescheraine.

Les vallées latérales montrent encore un stade plus récent correspondant à celui de Bellevaux : ce sont, dans le vallon de Saint-François, le « stade de la Magne » (moraine de Plainpalais et terrasse sous le cimetière de Saint-François); dans la vallée des Aillons, le « stade de Montpellat » (moraines de la Frassette et moraines de la Correrie, terrasse de Montpellat); dans le vallon de Sainte-Reine, le vallum terminal d'Epernex, la moraine de Routhennes et la terrasse de la vallée d'Ecole.

Nous indiquerons, d'autre part, dans le massif des Bauges, comme dispositions morphologiques bien observables: 1° le profil en U de la vallée de Sainte-Reine; 2° à l'entrée de la cluse de Banges, le seuil d'un glacier local (Néowürmien) *emboîté* dans un seuil würmien.

II. *Bassin de la Laysse.* — La partie supérieure de ce bassin ne se signale par un glacier local néowürmien que dans la vallée haute des Déserts. Les moraines se voient sous le village même, tandis que le cirque glaciaire s'observe en amont et qu'en aval la vallée présente l'*emboîtement* caractéristique du thalweg d'un glacier récent dans celui d'un glacier plus ancien.

⁂

Les développements qu'on vient de lire sont instructifs; ils

nous montrent que lorsque l'on sort des chaînes subalpines, jurassiennes et bugeysiennes pour atteindre leur « avant-pays » de coteaux et de plateaux, on constate, en faisant abstraction de quelques témoins isolés de cailloutis anciens, la présence d'une vaste *couverture würmienne* (alluvions de progression supportant des dépôts morainiques) qui a été entamée par une série de *vallées d'érosion*. Ces vallées contiennent à leur tour, en contre-bas, des basses terrasses *néowürmiennes* correspondant en amont à des moraines postwürmiennes (Collonges, Fort-l'Ecluse pour le Rhône; Annecy, Veyrier pour les Usses; Cusy pour le Chéran; la Trousse pour la Laysse) et plusieurs d'entre elles (Rhône, Fier) montrent des *cañons postglaciaires* dus à l'érosion régressive progressant encore actuellement vers l'amont et partiellement en voie de remblaiement vers l'aval (Génissiat, etc.). Quant aux vestiges des stades glaciaires plus récents, ils doivent être recherchés dans les hautes vallées intraalpines [1].

---

[1] M. V. Novarese [*Il quaternario in val d'Aosta e nelle valli di Canavese* (*Boll. R. Comitato geol. d'Italia*, t. XLV, 1916) et *Gli stadi postwürmiani nella Valle d'Aosta* (*La Geografia*, anno VI, febbraio-marzo 1916, Novara)] est arrivé à des conclusions fort analogues pour la vallée d'Aoste et ses résultats confirment de la façon la plus heureuse et la plus remarquable ceux que l'un de nous a exposés en 1911 et complétés dans la présente note, relativement aux oscillations glaciaires postwürmiennes.