
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.

(Avec deux Planches en phototypie.)

INTRODUCTION

Les formations pléistocènes (ou quaternaires) de la région delphino-savoisienne ont donné lieu, depuis le milieu du XIX^e siècle, à de nombreux travaux dont les plus importants sont signés des noms de M^{rs} Rendu, Billet, Chamousset, Vallet (l'abbé), Renoir, Rozet, Charles Lory, Alphonse Favre, Falsan et E. Chantre, Louis Pillet, Fontannes, Delafond et Depéret, Douxami, Lugeon, Hollande, Pierre Lory, Ed. Hitzel, Ch. Jacob, Maurice Gignoux, P. Combaz, Vivien, etc. L'étude de ces dépôts a été égale-

ment abordée par MM. Penck et Brückner dans un ouvrage fondamental intitulé « *Die Alpen im Eiszeitalter* ». Enfin, l'un de nous (W. K.) a publié un certain nombre de notes sur ce sujet dans les Bulletins des Services de la Carte géologique de France, ainsi que dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, tandis que l'autre (J. R.) leur a consacré un important chapitre de la monographie qu'il a consacrée à la *Géologie des chaînes jurassiennes et subalpines de la Savoie* (Chambéry, 2 vol., 1910-1913).

Le moment semble venu de tenter de tirer une synthèse de tous ces documents, de les compléter au besoin par de nouvelles recherches et d'ébaucher un essai de l'histoire de nos Alpes pendant les temps quaternaires.

Il ne peut toutefois être question de résumer ici dans leurs détails tous les travaux parus sur le sujet qui nous occupe, ni de reproduire les mémorables discussions auxquelles a donné lieu, par exemple, la dispersion et la répartition des blocs erratiques; ce résumé a été tenté par quelques auteurs auxquels nous renvoyons le lecteur ¹. Cependant, nous devons aux études de Charles Lory sur le Dauphiné, à celles de Louis Pillet et d'Alphonse Favre sur la Savoie, de Falsan et E. Chantre, ainsi que de MM. Depéret et Delafond sur la région lyonnaise, et surtout à celles de MM. Penck et Brückner sur les régions alpine et préalpine, plus qu'une simple mention; un rappel de ces recherches nous semble, en effet, nécessaire, car ce sont elles qui nous ont ouvert la voie; cet exposé aura d'ailleurs l'avantage de montrer où en était l'état de la question avant le travail que nous publions aujourd'hui.

¹ Voir surtout Falsan et Chantre, *Monographie des anciens glaciers et du terrain erratique dans la partie moyenne du bassin du Rhône*, Lyon, Pitrat, 1880, et A. Falsan, *La Période glaciaire étudiée principalement en France et en Suisse*, Paris, Alcan, 1889. Voir également W. Killian et M. Gignoux, *Les formations fluvioglaciales du Bas-Dauphiné* (*Bull. Serv. Carte géol. de France*, n° 129, t. XXI, 1909-1910).

SOMMAIRE

I. — *Historique.*

II. — *Généralités sur les phénomènes de la période quaternaire.*

- 1° Actions d'érosion et de creusement.
- 2° Actions de remblaiement et d'alluvionnement.

III. — *L'Avant-pays alpin.*

- 1° Région lyonnaise.
- 2° Région dauphinoise.
- 3° Région valentinoise et rhodanienne.

IV. — *Les régions subalpines et préalpines.*

- 1° Environs de Bellegarde.
- 2° Bas-Chablais.
- 3° Le Salève et le Bas-Faucigny.
- 4° Environs d'Annecy et de Rumilly.
- 5° Massif des Bauges.
- 6° Environs de Chambéry.
- 7° Vallée de Novalaise.
- 8° Massif de la Chartreuse.
- 9° Massif du Vercors.
- 10° Région grenobloise.
- 11° Vallée de la Durance.

V. — *Les vallées intra-alpines.*

- 1° Vallée de l'Arve.
- 2° Vallée de l'Isère.
- 3° Vallée de l'Arc.

VI. — *Conclusions.*

I. — HISTORIQUE

Dans son célèbre ouvrage intitulé *Description géologique du Dauphiné*, ainsi que dans plusieurs mémoires moins considérables¹, notre regretté maître, **Charles Lory**, a puissamment contribué au triomphe définitif de la théorie glaciaire. Le chapitre ix de son importante publication est, en effet, entièrement consacré aux « terrains de transport postérieurs aux soulèvements des Alpes » qu'il subdivise en :

- A. — ALLUVIONS ANCIENNES.
- B. — DÉPÔTS ERRATIQUES OU GLACIAIRES.
- C. — ALLUVIONS POSTGLACIAIRES et MODERNES.

A. — Les ALLUVIONS ANCIENNES, « nappes de cailloux roulés, de sables et de limon », ayant rempli les anciens bassins en partie étagés de nos vallées, présentent toujours une disposition en couches plus ou moins nettes mais peu continues, caractéristiques des dépôts formés par des cours d'eau. Ces alluvions forment des deux côtés de nos rivières des *terrasses* qui, parfois, les dominent de plusieurs centaines de mètres.

B. — Les DÉPÔTS ERRATIQUES consistent en *blocs erratiques* épars et en *dépôts boueux à cailloux striés*. Provenant des hautes chaînes des Alpes, les blocs ont été transportés sur les chaînes inférieures et sur les plateaux subalpins. Ils se rencontrent jus-

¹ Ch. Lory, *Description géologique du Dauphiné*, Paris, F. Savy, et *Bull. Soc. de Statistique des sciences naturelles et des arts industriels de l'Isère*, 1861-1864.

— Sur le plateau jurassique du Nord du département de l'Isère et sur les dépôts erratiques dont il est recouvert (*Bull. Soc. géol. de France*, 2^e série, t. IX, p. 48, 1851), — sur les variations du cours de l'Isère (*Académie de Savoie*, 1860), — sur les dépôts tertiaires et quaternaires du Bas Dauphiné avec carte des anciens glaciers (*Bull. Soc. géol. de France*, 2^e série, t. XX, p. 363, 1863).

qu'à l'altitude de 1200 mètres sur les montagnes situées au Nord et au Nord-Ouest de Grenoble. Quant aux dépôts boueux à cailloux striés, ce sont des amas confus de débris de toutes grosseurs, entassés pêle-mêle sans aucun calibrage et sans aucune stratification. Leur distribution est la même que celle des blocs erratiques.

Ces dépôts boueux et ces blocs erratiques témoignent, d'après Ch. Lory, de l'existence d'ANCIENS GLACIERS dont la nappe principale venait se terminer au pied des montagnes du Lyonnais. En même temps que cette nappe s'étendait ainsi vers Lyon et la Bresse, deux autres branches glaciaires s'engageaient dans deux dépressions de la partie occidentale du département de l'Isère : l'une vers la vallée de La Côte-Saint-André, l'autre vers Tullins et Saint-Gervais.

C. — Les DÉPÔTS POSTGLACIAIRES se sont constitués après le retrait des grands glaciers. Les courants provenant de la fusion de ces glaciers, ainsi que les eaux torrentielles, ont remanié plus ou moins les boues et les cailloutis glaciaires, tandis que les parties fines étaient entraînées, sous forme de limon, dans les dépressions. En résumé, conclut le savant professeur, l'époque glaciaire constitue dans nos Alpes une limite tranchée entre la période des Alluvions anciennes et celle des Alluvions postglaciaires, dont les Alluvions actuelles ne sont que la continuation.

— On voit que Ch. Lory attribuait, comme l'un de nous (W. K.) l'a déjà fait remarquer, toutes les moraines à *une seule et unique extension glaciaire*, mais qu'il n'avait point eu l'idée d'envisager les rapports de ces moraines avec les terrasses.

Ce sont les subdivisions de Lory qu'a adoptées **Louis Pillet** dans une notice publiée dans les Mémoires de l'Académie de Savoie sous le titre : *Les terrains quaternaires de l'arrondissement de Chambéry* (*Mém. Acad. de Savoie*, t. IX, p. 285, 1883).

Les ALLUVIONS ANCIENNES constituent, d'après cet auteur, la longue colline qui s'étend, à l'Est de la vallée, entre Chambéry et

Aix-les-Bains; elles y *supportent* des DÉPÔTS MORAINIQUES bien visibles à La Boisse et aux environs de Saint-Ombre. Elles se retrouvent aux environs de Montmélian, de Saint-Pierre-d'Albigny, mais font défaut dans les Bauges. Dans le canton d'Yenne (environs de Novalaise) existent des LIGNITES dépendant de la même formation [Il y a lieu de remarquer que cette attribution est inexacte, ainsi que l'a montré l'un de nous (J. R.) en collaboration avec H. Douxami, et que le combustible intercalé dans des couches que datent des fossiles déterminables est en réalité d'âge pontien¹, c'est-à-dire miocène supérieur.]

— Les vues de Pillet n'impliquent point encore l'hypothèse, aujourd'hui universellement admise, de plusieurs glaciations, dont nous avons depuis lors retrouvé nettement les traces dans tous nos massifs.

Une classification analogue aux précédentes a été adoptée par **Alphonse Favre** dans la monographie qu'il a consacrée à la Géologie savoisienne et intitulée : *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie et de la Suisse voisines du Mont-Blanc* (Paris (Masson et fils) et Genève, 1867).

« On ne peut étudier, écrit cet auteur, la Géologie des environs de Genève sans reconnaître *trois terrains* appartenant à la partie de l'époque quaternaire, c'est-à-dire à une époque où le régime des eaux était différent de ce qu'il est aujourd'hui. Ce sont l'ALLUVION ANCIENNE dans le bas, le DILUVIUM CATACLYSTIQUE¹ ou TERRAIN ERRATIQUE au-dessus et, plus haut, l'ALLUVION DES TERRASSES. Enfin, après cette dernière se sont formés les DÉPÔTS DE L'ÉPOQUE MODERNE composés de tourbes, de tufs, de roches éboulées et de l'alluvion des rivières. »

A. — L'ALLUVION ANCIENNE, très répandue sur les bords de

¹ J. Révil et H. Douxami, Existence d'assises appartenant au Pontique (Miocène supérieur) dans la vallée de Novalaise (Savoie) (*Bull. Soc. géol. de France*, 3^e série, t. XXIII, p. 98, 1898).

² Cette expression est due au géologue genevois Necker.

l'Arve et du Rhône, près de Genève, où elle repose sur la Molasse, paraît liée à l'ancienne extension des glaciers. Les matériaux qui la forment ont été charriés et *roulés* par les eaux torrentielles qui débouchaient des glaciers du Rhône et de l'Arve. Les cailloux auraient, d'après Favre, franchi la dépression des lacs à l'état de blocs et n'auraient pris leur forme actuelle qu'après avoir été remaniés par les eaux.

B. — Le TERRAIN GLACIAIRE repose sur l'alluvion ancienne et se compose de blocs parfois considérables associés au limon le plus fin, à des cailloux striés et à des roches polies. Par la distribution des blocs il est facile de distinguer ceux qui sont dus à la vallée de l'Arve de ceux qui proviennent du haut bassin du Rhône. L'examen des divers caractères présentés par cette formation conduit bien à l'hypothèse de l'ancienne extension glaciaire, hypothèse qui, d'abord ardemment combattue, a ensuite été adoptée par la plupart des naturalistes.

C. — L'ALLUVION DES TERRASSES se retrouve jusque dans les parties supérieures des vallées et *repose* sur les terrains précédents; elle passe par des transitions graduelles aux ALLUVIONS ACTUELLES.

On voit qu'A. Favre, lui aussi, n'admet qu'UNE SEULE GLACIATION; il a d'ailleurs combattu la manière de voir de quelques savants suisses (Morlet, Venetz, Heer) qui avaient émis la notion de plusieurs époques glaciaires.

Un ouvrage de la plus haute importance pour la question qui nous occupe est la *Monographie géologique des Anciens Glaciers et du Terrain erratique de la partie moyenne du Bassin du Rhône*, de A. Falsan et E. Chantre, dont la publication remonte à l'année 1880.

Les auteurs lyonnais ont consacré tout un volume, le premier, à un précieux catalogue des blocs erratiques et des surfaces de roches striées observés dans la partie moyenne du bassin du Rhône. Les descriptions y sont groupées par circonscriptions

géographiques, d'après les feuilles de la carte de l'Etat-Major. Elles servent de texte à une remarquable CARTE DE L'ANCIENNE EXTENSION DES GLACIERS, où les territoires que recouvraient les glaciers ainsi que la direction suivie par les courants glaciaires sont représentés d'une manière fort ingénieuse au moyen de lignes de diverses couleurs. De plus, une coupe longitudinale du Glacier du Rhône, depuis le Haut-Valais, en montre l'importance et permet de lui attribuer une longueur d'environ 395 kilomètres. Les blocs erratiques abandonnés par ce glacier sont d'excellents points de repère pour établir les niveaux supérieurs auxquels il s'est élevé pendant la période de sa plus grande extension (1200 m. dans les massifs subalpins).

Les auteurs distinguent soigneusement les dépôts glaciaires de la *période d'extension* de ceux de la *période de retrait* et signalent la présence de GLACIERS LOCAUX dans les massifs du Bugey, du Vercors et de la Chartreuse; ces glaciers ne se sont définitivement retirés qu'après la disparition des glaciers alpins.

— Le phénomène glaciaire n'est toutefois envisagé par les deux géologues lyonnais qu'au point de vue lithologique et descriptif. Comme leurs devanciers, ils ne songent pas à la *pluralité des extensions* glaciaires, et la notion si féconde des terrasses alluviales dans leurs rapports avec les moraines n'est pas abordée par eux.

Une étude qui marque une date significative dans les progrès de la science, au point de vue des RELATIONS ENTRE LES MORAINES ET LES TERRASSES, est le beau travail de MM. **Depéret** et **Delafond** ayant pour titre : *Les terrains tertiaires de la Bresse*¹. Cet ouvrage considérable a plus spécialement pour objet l'étude des terrains tertiaires et quaternaires de la vallée de la Saône. La région décrite s'étend de Vesoul à Givors sur une longueur d'environ 260 kilomètres et sur une largeur variable atteignant son

¹ *Mémoires pour servir à la Carte géologique de France, Gîtes minéraux, t. VIII et VIII bis, texte et atlas, Paris, 1893.*

maximum au Sud de Dôle (environ 65 kilomètres) et dont la superficie totale peut être évaluée à 9.500 kilomètres carrés. Trois subdivisions naturelles s'y reconnaissent : au Nord, la BRESSE s'étendant de Bourg à Dôle; au Centre, la DOMBES qui constitue un parallélogramme compris entre Lyon, Meximieux, Ceyzeriat et Thoissey; au Sud, le BAS-DAUPHINÉ qui comporte une série de plateaux de forme irrégulière découpés par de vastes plaines.

Bien que ne rentrant pas directement dans le cadre de notre travail, ce Mémoire a eu une trop grande influence sur la marche des idées pour que nous ne l'examinions pas avec soin. « Pour la première fois, a écrit l'un de nous¹, on y trouve une étude soignée et systématique des *terrasses alluviales définies altimétriquement* par leur hauteur au-dessus du thalweg actuel; la formation de ces terrasses est interprétée par des *changements survenus dans le niveau de la mer*; s'il y a quelques rectifications de détail à apporter dans l'explication proposée par ces savants auteurs, tout au moins l'idée d'ensemble qui les inspirait a subsisté et acquis depuis une importance spéciale..... De plus, MM. Depéret et Delafond reconnaissent que la terrasse d'alluvions qui, aux portes de Lyon, à Villeurbanne, domine le Rhône d'environ 15 mètres, vient, si on la suit en amont, *se raccorder topographiquement aux moraines frontales* si magnifiquement étalées en amphithéâtre aux environs d'Heyrieux. C'était là un exemple très net des *rapports entre moraines et terrasses* tels qu'ils ont été reconnus plus tard dans tout l'avant-pays alpin. »

— Nos confrères ne semblent cependant voir encore dans les divers complexes morainiques que les stades d'*une seule glaciation*; ils subdivisent le Quaternaire de la façon suivante :

A) CAILLOUTIS DE LA « PÉRIODE DE PROGRESSION » DES GLACIERS.

¹ W. Killian et M. Gignoux, Les formations fluvio-glaciaires du Bas-Dauphiné (*Bull. Serv. Carte géol. de France*, t. XXI, n° 129, 1911, p. 9 et 10).

- B) GLACIAIRE.
- C) ALLUVIONS DES « PÉRIODES DE REcul » DES GLACIERS.
- D) GRAVIERS DE FOND DE LA SAÔNE ET DU RHÔNE.
- E) LIMON DES PLATEAUX ET DES PENTES.

A) CAILLOUTIS DE LA PÉRIODE DE PROGRESSION DES GLACIERS. — Les dépôts de hautes alluvions quaternaires sont tous situés dans le périmètre de l'ancienne extension glaciaire et dans une zone ne dépassant pas 4 ou 5 kilomètres au delà de cette extension. MM. Depéret et Delafond citent comme appartenant à ce niveau les alluvions du plateau de Caluire, près de Lyon, *que recouvrent des amas morainiques*, celles d'Ambutrix, près d'Ambérieu, celles du plateau de Béligneux, entre Montluel et Meximieux, des plateaux entre Leyment et Lagnieu, des plateaux de Grenay, de Saint-Bonnet-de-Mure, de Satolas, de Chavanoz, de Pusignan, de Genas, etc. Partout existent des relations étroites entre ces alluvions et les glaciers qui ont envahi la région.

Les auteurs ont été amenés à penser que pendant la période qui a précédé immédiatement l'arrivée de ces glaciers dans la Dombes et le Lyonnais, le niveau du Rhône est demeuré à peu près stationnaire et ne dépassait que d'une quarantaine de mètres le niveau actuel. Ils signalent à la Demi-Lune, près de Lyon, des alluvions qui ont fourni des débris de l'*Elephas primigenius*.

B) GLACIAIRE. — Les Glaciers ont recouvert la Dombes presque tout entière, s'étendant jusqu'à Bourg. Leurs moraines paraissent avoir formé, dans la Dombes et sur les plateaux du Lyonnais et du Dauphiné, un manteau à peu près continu, mais relativement accidenté. Dans ce « Glaciaire » existent souvent des intercalations de cailloutis dues à des oscillations du front. De plus, les Glaciers auraient, dans toute la région située à l'Est de Lyon, occupé *deux fois* les mêmes points : une première fois pendant la période de progression, une deuxième fois pendant celle de recul. Les points de limite extrême de l'extension font seuls exception.

C) ALLUVIONS DES PÉRIODES DE REcul DES GLACIERS. — Ces dépôts constituent le sous-sol des vastes plaines caillouteuses de l'Est de Lyon; *elles ne sont pas recouvertes de Glacière* (Heyrieux, Saint-Fons, Meyzieux, Villeurbanne, La Valbonne, etc.). Ces cailloutis s'arrêtent en amont contre un vallum morainique, et il faut conclure de cette disposition que les alluvions de la plaine d'Heyrieux, Saint-Fons représentent des dépôts d'anciens cours d'eau qui s'échappaient du front des glaciers. Les plaines de Meyzieux et de Villeurbanne aboutissent à la moraine comprise entre Grenay et Anthon. La plaine de La Valbonne vient se souder à un front morainique compris entre Saint-Maurice-de-Gourdan et Leyment. Quant aux MORAINES, elles constituent un immense bourrelet qui s'étend presque sans discontinuité depuis Lagnieu jusqu'au delà de La Verpillière en passant par Chazey, Saint-Maurice-de-Gourdan, Anthon, Colombier, Grenay; elles se retrouvent encore à Saint-Georges-d'Espéranche. Il y a là incontestablement, comme l'avait déjà remarqué Ch. Lory, les restes d'une vaste moraine frontale.

D) GRAVIERS DE FOND DE LA SAÔNE ET DU RHÔNE. — Après le dépôt des terrasses de Villefranche et de Saint-Marcel, il s'est effectué dans la vallée de la Saône un creusement d'environ 32 à 35 mètres, puis la dépression ainsi formée a été remplie par des marnes et graviers à *Elephas primigenius*. Ce creusement s'explique encore par le recul des Glaciers.

E) LIMON DES PLATEAUX ET DES PENTES. — Sur les plateaux s'observent des limons résultant principalement de l'altération des terrains superficiels. Ils doivent être distingués d'autres limons de date interglaciaire, c'est-à-dire formés après le retrait des glaciers de la première extension quaternaire et avant le dépôt des graviers de fond des vallées.

— Ainsi que le montre ce court résumé, MM. Depéret et Delafond n'osent pas encore conclure nettement à la pluralité des Glaciations, mais leurs recherches laissent cependant prévoir la

nécessité de cette solution qui, soutenue en Suisse par Morlot, Deicke et Oswald Heer, et en France par Scipion Gras, ne devait être définitivement acquise à la science que quelques années plus tard.

En 1894 paraissait, en effet, à Neufchâtel un petit opuscule qui fit sensation dans la science; c'était le *Système glaciaire des Alpes*¹, de MM. A. Penck, L. du Pasquier et E. Brückner. A la suite d'études poursuivies tout le long des Alpes, en Italie et en Suisse, aussi bien qu'en Autriche, ces géologues avaient été amenés à des conclusions dont l'importance ressort de leur généralité même : partout ils ont pu constater l'existence de **plusieurs extensions glaciaires** indépendantes et successives, préciser les limites de ces diverses extensions et reconnaître l'importance des phases de retrait ou *périodes interglaciaires* qui les séparent. Etudiant enfin les rapports des moraines terminales avec les terrasses d'alluvion, ils arrivèrent à la conception fondamentale du « *complexe fluvio-glaciaire* » qui schématise si heureusement ces rapports. Ils furent ainsi conduits à distinguer des *hautes* et des *basses* terrasses qui viennent se raccorder respectivement à des *moraines anciennes* ou *récentes*, à matériaux diversement altérés. D'ailleurs, pour ces savants, ces terrasses devaient diminuer d'altitude vers l'aval, de manière à venir se confondre peu à peu avec le lit actuel du fleuve : les terrasses des fleuves avaient donc, dans cette conception, leur origine uniquement à *l'amont* et étaient exclusivement dues aux oscillations du front glaciaire².

Ces vues nouvelles ont été complétées, justifiées et vulgarisées dans un ouvrage considérable et véritablement fondamental, dû à MM. Penck et Brückner et intitulé : *Die Alpen im Eiszeitalter*³.

¹ Bull. Soc. hist. nat. Neufchâtel (Suisse), t. XXII, 1893-1894, 7 avril 1894.

² W. Kilian et M. Gignoux, *loc. cit.*, p. 10.

³ A. Penck et E. Brückner, *Die Alpen im Eiszeitalter* (Les Alpes pendant la période glaciaire). Leipzig, Ch. Herm. Tauchnitz, éditeur, in-8° raisin avec pl. en couleurs et en phototypies et nombreuses fig. dans le texte. 1^{er} fascicule 1901 et 2^e fascicule 1902. Le dernier fascicule a paru en 1909.

Le but des auteurs est d'établir une classification rationnelle des formations quaternaires alpines, de les répartir entre les diverses glaciations, de déterminer l'extension de ces dernières et l'altitude de la *limite des neiges persistantes* qui correspond à chacune d'elles, enfin de fixer les modifications topographiques subies par les Alpes et leur avant-pays principalement du fait des glaciers et de leurs émissaires.

Ce beau et intéressant ouvrage, dont les livraisons se sont succédé rapidement, est consacré aux *Alpes à l'époque glaciaire*. Il a contribué à dissiper complètement les idées erronées qui pouvaient encore subsister dans le public scientifique sur cette phase de l'histoire de nos Alpes à laquelle nombre de vulgarisateurs parmi les plus autorisés se sont plu, récemment encore, à prêter des caractères quasi-fabuleux par la soudaineté et par l'intensité avec laquelle seraient apparues dans nos montagnes des masses de neige et de glace absolument énormes et comparables à « l'Inlandsis » qui couvre aujourd'hui le Groenland. Les géologues savent, en effet, que c'est sous l'impulsion des auteurs de ce livre et d'un troisième savant prématurément enlevé à la science, Léon du Pasquier, qu'ont été publiés depuis une quinzaine d'années une série de remarquables études sur les formations glaciaires des Alpes, dans lesquelles était pour la première fois mise en lumière la liaison des « *terrasses* » d'alluvions anciennes, si développées dans nos grandes vallées alpines et dans les plaines qui bordent les Alpes, avec les *moraines* laissées par les anciens glaciers. Les premières ont été découpées dans des nappes de cailloutis formées par de grands cours d'eau qu'alimentaient les glaciers dont les secondes occupaient la région frontale. En suivant vers l'amont chacune de ces terrasses, on aboutit invariablement à un rempart morainique au delà duquel une dépression en amphithéâtre (dépression centrale ou « *cuvette terminale* ») marque l'emplacement d'un glacier aujourd'hui disparu qui constituait la source des courants producteurs d'alluvions. En appliquant cette méthode à différentes régions des Alpes, MM. du Pasquier, Penck et Brückner

ont pu démontrer l'existence d'une série de « systèmes fluvio-glaciaires » comprenant chacun une nappe d'alluvions et une suite de moraines indiquant un long stationnement des glaciers. Chacun de ces systèmes est en quelque sorte *emboîté* dans le précédent et en est séparé par les traces d'une période plus tempérée correspondant à un nouveau cycle de creusement des vallées.

En outre, il ressort de ces recherches que chaque système fluvio-glaciaire correspond à une phase distincte d'extension des glaciers, à une « *glaciation* », durant laquelle les glaciers ont stationné en des points que nous indiquent les moraines qu'ils ont laissées, la dépression centrale qu'ils ont abandonnée et, en aval, les nappes d'alluvions (découpées en « terrasses » par des érosions ultérieures) que leurs eaux de fonte ont déposées.

A l'épisode de creusement qui sépare chacun des systèmes fluvio-glaciaires du suivant, correspond une phase *interglaciaire*, période de retrait pendant laquelle les glaciers se retiraient assez loin dans l'intérieur de la chaîne, laissant, en reculant ainsi, le champ libre à l'action érosive de leurs eaux de fonte qui approfondissaient les vallées dans lesquelles la glaciation suivante devait ramener glaces et moraines.

On a conservé le nom d'*Epoque glaciaire* à la période assez longue qui comprend cette série de glaciations et d'*épisodes interglaciaires* et durant laquelle les glaces, d'abord répandues à une altitude considérable au-dessus des vallées actuelles, s'encaissèrent peu à peu, lors de leurs retours successifs dans les vallées qui s'approfondissaient toujours par des creusements réitérés.

La succession des phénomènes semble avoir été la même sur le versant nord des Alpes autrichiennes et bavaroises, en Suisse, dans les Alpes italiennes et françaises¹, ainsi qu'il résulte d'une série de monographies publiées par MM. Penck, Brückner, du

¹ W. Kilian et A. Penck, Les dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires de la Durance (*C. R. Acad. des Sc.*, 17 juin 1895).

Pasquier et par leurs élèves, mais aucune synthèse détaillée n'avait encore retracé à nos yeux une histoire complète dans la chaîne alpine pendant cette phase intéressante de son histoire.

— Les Glaciations successives, dont l'existence est admise actuellement par tous les observateurs sérieux, peuvent trouver leur explication dans des déplacements de la limite inférieure des neiges persistantes dans les Alpes. Beaucoup de montagnes extérieures de la chaîne montrent, en effet, des traces indéniables de leur ancienne couverture de glace. Il est important et curieux de rechercher avec les auteurs et dans toute l'étendue du massif alpin *combien de fois* et dans *quelle mesure* s'est déplacée la limite inférieure des neiges et comment l'action des neiges et des glaces a modifié dans le temps et dans l'espace le relief et les formes topographiques sous-jacentes.

Une série de questions importantes se rattachent, du reste, à ces recherches ; c'est ainsi que le « *surcreusement* » des grandes vallées, l'érosion glaciaire, la formation des lacs subalpins, le déplacement de certains cours d'eau, l'existence de mouvements du sol à l'époque pléistocène s'éclairent d'un nouveau jour à la lumière de la méthode employée par MM. Penck et Brückner.

En reconstituant l'histoire des anciens glaciers alpins et en délimitant les aires qu'ils ont successivement occupées, ces savants nous donnent l'explication d'une foule de particularités topographiques de nos montagnes. Ils nous font assister ainsi à l'évolution du réseau hydrographique et des formes orographiques que nous avons aujourd'hui sous les yeux, en même temps qu'ils nous permettent de comprendre dans une certaine mesure les causes du travail gigantesque et sans cesse renouvelé qui s'est accompli dans la chaîne alpine depuis la fin de l'époque pliocène, œuvre de démolition et de nivellement progressif qui se continue encore aujourd'hui et dont aucun alpiniste averti n'a le droit de se désintéresser.

On verra en parcourant ce beau livre qu'une fois encore le passé peut s'expliquer tout naturellement par le jeu de phénomènes identiques à ceux qui s'effectuent actuellement sous nos

yeux. Il suffit de supposer que leur intensité a été plus grande pendant l'époque pléistocène sans qu'il y ait lieu de faire intervenir des actions exceptionnelles ou des catastrophes soudaines qu'affectionnaient les anciens naturalistes.

L'ouvrage est abondamment illustré et d'une lecture attachante. Il est maintenant classique et devenu facilement accessible au public français à la suite de la traduction publiée sous la direction de l'un de nous (W. K.) par M. Schaudel¹, puis par M. Arbos², des chapitres qui intéressent les Alpes françaises.

Un certain nombre de faits rapportés dans la monographie de MM. Penck et Brückner sur le Dauphiné et la Savoie avaient déjà antérieurement été publiés par nous. D'ailleurs, l'un de nous (W. K.) avait accompagné M. Penck, lors de sa venue dans nos Alpes, dans la première de ces régions, tandis que l'autre (J. R.) l'avait guidé dans la seconde. Notre confrère avait reconnu la justesse de nos résultats et accepté les conclusions formulées devant lui. Nous jugeons inutile de les résumer ici, car toutes ces observations, complétées par celles faites ultérieurement, devront être reprises et développées dans la suite du présent Mémoire, et les références bibliographiques seront fournies aux diverses pages de cet exposé.

— Cependant les interprétations des deux auteurs allemands relatives aux diverses phases d'extension ne portaient que sur les *oscillations des fronts glaciaires*, c'est-à-dire sur des phénomènes se passant à *l'amont* des terrasses et des moraines. Or, on

¹ A. Penck et E. Brückner, Les Alpes françaises à l'époque glaciaire (traduction par M. L. Schaudel d'une partie de l'ouvrage intitulé *Die Alpen im Eiszeitalter*) (*Bull. Soc. hist. nat. de Savoie*, t. XI et t. XII, 2^e série, 1906, 1907, et *Travaux du Laboratoire de géologie de la Fac. des Sc. de Grenoble*, t. VIII, 1907).

² Penck et Brückner, Les glaciations dans les Alpes du Sud (traduction par M. P. Arbos d'une partie de l'ouvrage intitulé *Die Alpen im Eiszeitalter*) (*Bull. Soc. hist. nat. de Savoie*, t. XIII, 1909, et *Travaux Laboratoire de géologie de la Fac. des Sc. de Grenoble*, t. IX, 1909).

savait depuis longtemps que des terrasses quaternaires existaient également dans des vallées indemnes de toutes influences glaciaires et que ces terrasses s'étagaient à divers niveaux et se montraient pour ainsi dire *embottées* parfois les unes dans les autres. De plus, par de minutieuses études effectuées en Algérie, dans le bassin de l'Isser, le général **de Lamothe** démontrait bientôt que les terrasses quaternaires se reliaient à l'*aval* à d'ANCIENNES PLAGES MARINES d'autant plus anciennes qu'elles étaient à plus grande altitude. Ces terrasses n'étaient déterminées que par des phénomènes se produisant à l'*aval* et apparaissaient comme uniquement dues à des *oscillations du niveau de base*¹.

Exposant sa conception de la formation de ces terrasses, le même auteur s'efforça d'établir la généralité du phénomène en prenant ses exemples dans plusieurs grandes vallées de l'Europe (Rhône, Rhin, Moselle, Danube). Comme, d'autre part, les recherches de MM. Depéret, Caziot, Marcellin Boule et Gignoux ont établi que le niveau de la Méditerranée quaternaire, à une époque relativement récente, avait atteint, le long de nos côtes, des altitudes relativement élevées, les vues du savant français recevaient une éclatante confirmation.

Il y a là, en effet, un point de vue nouveau qu'a bien mis en

¹ Les mouvements *eustatiques* (Suess) de la surface de la mer auxquels on attribue les oscillations du niveau de base de nos fleuves, qui ont périodiquement réveillé l'action érosive des cours d'eau et provoqué le renouvellement des *cycles d'érosion*, se décomposent en *mouvements positifs* qui seraient dus à la lente accumulation des sédiments dans le fond des mers et se traduiraient par une élévation du niveau des eaux marines, et en *mouvements négatifs* attribuables à des effondrements plus ou moins étendus qui auraient affecté le fond des océans et entraîné un abaissement du niveau moyen de leurs eaux.

Il est réservé aux recherches de l'avenir de reconnaître si ces mouvements eustatiques se correspondent dans les différentes mers du globe ou s'ils sont localisés dans certains bassins; enfin s'ils se sont exercés simultanément partout. Une étude et une comparaison précise des terrasses de nos bassins fluviaux continentaux et des recherches détaillées sur le nombre et la date géologique des cycles d'érosion successifs dans les différentes régions pourrait seule nous fixer à cet égard, mais ce genre de recherches est encore trop peu avancé et manque encore trop d'homogénéité pour conduire, dans l'état actuel de nos connaissances, à des résultats décisifs.

évidence l'un de nous (W. K.) en soutenant que ces *actions d'aval* doivent être prises en sérieuse considération. Nous reviendrons sur ces conceptions dans le cours de ce travail, en cherchant à préciser la part qui revient aux divers facteurs tour à tour invoqués pour expliquer la formation des terrasses, le creusement des vallées et l'emboîtement des systèmes fluvio-glaciaires. Nous devons avouer que l'interprétation des phénomènes présente souvent de sérieuses difficultés; les divergences de vue qu'expriment les études parues sur ce sujet en France et en Suisse au cours de ces dernières années en sont une preuve convaincante. Des recherches de détail et surtout des études comparatives et synthétiques restent encore à effectuer avant que des conclusions définitives, réunissant l'adhésion de tous les observateurs, puissent être formulées.

Plus récemment encore, MM. **Kilian** et **Gignoux**, s'inspirant de ces considérations précédentes, ainsi que des travaux du général de Lamothe, de MM. Depéret, Doncieux et Roman, ont, comme on le verra plus bas, mis en évidence la *continuité des fronts glaciaires* successifs dans les régions du Lyonnais, du Bas-Dauphiné et du Valentinois, puis montré la *correspondance exacte des terrasses fluvio-glaciaires et fluviales* dans ces diverses contrées, ainsi que leurs relations altimétriques constantes avec le niveau du Rhône et les oscillations eustatiques de la Méditerranée.

On est ainsi amené à se demander jusqu'à quel point le phénomène des terrasses, c'est-à-dire la récurrence des creusements fluviaux succédant à des remblaiements, est lié aux oscillations glaciaires et si ces dernières ne sont pas plus ou moins complètement indépendantes des premiers; l'emboîtement des complexes fluvio-glaciaires serait dans ce cas simplement dû au retour des récurrences glaciaires dans des vallées préalablement modifiées par les creusements attribuables aux oscillations du niveau de base et ayant entamé les remblaiements fluvio-

glaciaires antérieurs se raccordant à un niveau de base précédent. Dans cette conception, il resterait à démontrer *jusqu'à quel point les déplacements du niveau de base*, c'est-à-dire les mouvements eustatiques des eaux méditerranéennes, *ont coïncidé avec les oscillations des fronts glaciaires* et, dans le cas de l'affirmative, quelles sont les causes physiques générales de cette corrélation des glaciations avec les mouvements positifs du niveau de la mer et des phases interglaciaires avec les déplacements négatifs de ce même niveau.

II. — GÉNÉRALITÉS

SUR LES PHÉNOMÈNES DE LA PÉRIODE PLÉISTOCÈNE OU QUATERNAIRE

L'étude des phénomènes qui se sont déroulés pendant les temps quaternaires soulève un certain nombre de problèmes intéressants dont deux surtout doivent retenir notre attention : le problème *morphologique* et le problème *stratigraphique*. Le premier relève des actions d'érosion et de creusement qui ont donné à nos vallées alpines leur forme actuelle; le second est relatif aux actions de remblaiement et d'alluvionnement, c'est-à-dire à la nature et aux diverses allures des « dépôts de transport » qui se sont constitués à cette époque. Nous aborderons successivement ces deux études.

1° ACTIONS D'ÉROSION ET DE CREUSEMENT ¹

L'histoire de nos vallées alpines ² comprend essentiellement — depuis l'époque ancienne où les premiers ruissellements descendant des reliefs montagneux en dessinèrent l'ébauche initiale et y déterminèrent les cirques et dépressions où devaient plus tard s'installer les glaciers — une série de creusements successifs alternant avec des façonnements et des remblaiements

¹ Voir E. de Martonne. L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines (*Annales de Géographie*, t. XIX (1910), p. 289-317, et t. XX (1911), p. 1-20).

L'évolution des vallées glaciaires alpines en particulier dans les Alpes du Dauphiné (*Bull. Soc. géol. de France*, 4^e série, t. XII, p. 516, 1912).

² W. Kilian, Questions mises à l'ordre du jour de la 8^e section de l'A. F. A. S., Congrès de Grenoble, 1907 :

Quelques réflexions sur l'érosion glaciaire et sur la formation des terrasses (*C. R. Assoc. fr. pour l'Avanc. des Sciences*, Congrès de Lyon, 1906, p. 1206).

Id. L'Érosion glaciaire et la formation des Terrasses (*La Géographie*, t. XIV, p. 261, novembre 1906).

Id. Sur les « Vallées glaciaires » (*C. R. Ass. franç. pour l'Avanc. des Sciences*, Congrès de Clermont-Ferrand, 1908).

glaciaires et fluvio-glaciaires. Ces actions se sont exercées alternativement et à plusieurs reprises avec des intensités et des modalités qui ont varié avec la dureté, la nature et la disposition tectonique des roches qu'elles entamaient, avec l'importance des bassins de réception glaciaires ou torrentiels, ainsi qu'avec les oscillations périodiques (*glaciations*) des glaciers.

Toutefois, et comme nous l'avons dit, il semble évident que les oscillations du niveau des mers et notamment les abaissements successifs du niveau de la Méditerranée, depuis le début des temps pléistocènes, déplacements dont la réalité sinon la généralité a été mise hors de doute par les beaux travaux de MM. de Lamothe, Depéret, Boule, Négris, Gignoux, etc., ont contribué à entretenir et à renouveler périodiquement la force érosive des cours d'eau alpins. Nous avons rappelé également que, dans une magistrale monographie consacrée au bassin de l'Isser (Algérie), le général de Lamothe a démontré de façon indubitable que ces oscillations ont eu pour effet, dans les *régions exemptes de glaciers*¹, la constitution de *terrasses* imputables à des remblaiements suivis de creusements nouveaux. Des terrasses analogues et correspondantes ont été constatées d'ailleurs par le même auteur dans le bassin inférieur de la plupart des grandes vallées d'Europe.

D'autre part, il est hors de doute que, si les glaciers exercent, dans des conditions exceptionnelles et exclusivement dans leur partie inférieure, une action érosive allant parfois jusqu'à occasionner des *contre-pentes*, la formation de cuvettes locales, etc.,

¹ « Le phénomène des terrasses d'origine non fluvio-glaciaire s'est produit non seulement dans les grandes vallées fluviales, mais aussi dans les vallées affluentes où il en subsiste souvent des traces très nettes. Dans la région située à l'Ouest du Rhône, par exemple, nous avons eu l'occasion d'en décrire dans la vallée du Doux (Ardèche), en amont de Lamastre; il en est de même aux environs d'Aubenas, de Balazuc, de la Villedieu, où toute une série de nappes de cailloutis étagées à diverses altitudes sont autant de témoins des creusements successifs dus au déplacement du niveau de base depuis l'époque pliocène. » (W. Kilian, Quelques réflexions sur l'érosion glaciaire et sur la formation des terrasses, *La Géographie*, novembre 1906.)

mais toujours incomparablement moins considérables que les effets désignés par le terme de « *surcreusement* », les névés et souvent même l'ensemble de la couverture glaciaire, agissent fréquemment comme conservateurs des formes topographiques.

Les phénomènes de *surcreusement* des vallées alpines en particulier ne nous paraissent pas avoir été interprétés de façon satisfaisante par les géographes contemporains. Contrairement à MM. Morris Davis¹ et Penck², nous ne pensons pas que ces phénomènes puissent être invoqués comme preuve de l'action érosive des glaciers³.

Du fait que les affluents de beaucoup de rivières alpines aboutissent à une altitude supérieure au thalweg actuel de ces rivières, — avec lequel elles se raccordent dans ce cas par une pente abrupte ou par une gorge de formation récente, — il semble en effet prématuré de conclure que la vallée principale n'a pu être approfondie *que* par des actions glaciaires.

Cette disposition peut être, en effet, expliquée *d'une façon également plausible* de la façon suivante :

1° La partie haute des vallons affluents représenterait le reste d'une topographie ancienne (préglaciaire) remontant à une époque où la vallée principale, beaucoup moins profonde, se raccorderait normalement avec eux ;

2° Cette partie haute, occupée par des névés et des glaciers, aurait été *préservée* pendant longtemps de toute érosion ultérieure de quelque importance par ce manteau glacé *permanent*, alors que la vallée principale et la partie basse des vallons affluents, se trouvant dans le périmètre d'action des érosions fluviales interglaciaires, auraient été profondément et à plusieurs reprises soumises à des *creusements* et approfondisse-

¹ K. Morris Davis, *Glacial Erosion in the valley of Ticino*. Appalachia, IX, 2, Boston, 1901. (Analysé par Ch. Rabot in *La Géographie*, I, p. 418.)

² Communication au Congrès géologique de Berlin, 1899.

³ Voir W. Kilian, *Bull. Soc. géol. Fr.*, t. XXVII (1901), et *Annales Univ. Grenoble*, t. XIII, n° 3, 1901.

ments *venant de l'aval*, d'origine « eustatique » ou *fluvio-glaciaire* (et non exclusivement glaciaire). Les actions franchement glaciaires ont, il est vrai, laissé dans les grandes vallées des traces indéniables dans certaines *formes du terrain* (verrous, roches polies, etc.), mais elles ne les ont pas creusées, si ce n'est par leurs eaux de fusion sous-glaciaires ou interglaciaires ;

3° A une époque relativement récente, la disparition du revêtement glacé des hautes vallées affluentes aurait mis à nu leur topographie ancienne qui se serait trouvée alors en désaccord avec la partie basse de formation récente. Cette disparition des névés et des glaciers aurait, d'autre part, *diminué* dans de grandes proportions et parfois supprimé presque totalement le débit des cours d'eau secondaires, arrêtant ainsi ou ralentissant notablement le cycle d'érosion dans ces vallons affluents qu'elle aurait ainsi empêchés d'arriver à *une maturité* aussi avancée que la vallée principale, en laissant subsister dans ces vallons deux tronçons de pente et de forme très différentes, séparés par une rupture de pente. La même rupture de pente peut se présenter, du reste, pour la vallée principale elle-même, dans la portion voisine de la source (voisinage du Col du Longet pour l'Ubaye).

La forme de ces tronçons, leur section et la façon dont le plus inférieur des deux se raccorde avec la vallée principale varient, du reste, suivant la consistance des roches encaissantes. (Ex. : vallées de Freyssinières, du Rioubel et du Guil dans le bassin de la Durance, Haute-Durance, près du Mont Genève; vallée de la Cerveyrette; vallée de la Buffe, près La Grave, etc., etc.)

Ainsi les phénomènes du surcreusement, loin de prouver l'action affouillante et érosive des glaciers, semblent, au contraire, si l'on admet la conception précédente, mettre en évidence l'influence *conservatrice* du manteau glacé, et l'altitude maxima des *paliers* qui caractérisent la plupart des vallons affluents de nos grandes rivières alpines peut être considérée comme indiquant la cote maxima qu'aient atteinte les phénomènes de recul interglaciaire. (Il arrive souvent que dans une

même vallée il existe *plusieurs ruptures de pente et plusieurs de ces paliers* correspondent à des creusements interglaciaires successifs d'âges différents.)

Il semble donc de plus en plus établi, par l'analyse détaillée de nos vallées alpines et par l'étude de leurs caractères morphologiques, que les Alpes se sont trouvées, depuis qu'a commencé à se dessiner leur modelé géographique, c'est-à-dire depuis la fin de la période tertiaire, soumises à DEUX INFLUENCES, EN QUELQUE SORTE CONTRAIRES. Pendant les phases interglaciaires et interstadiennes successives, l'érosion et le creusement des vallées *remontant vers l'amont* n'ont laissé subsister sous leur couverture conservatrice que des portions de plus en plus réduites des « anciennes topographies » préglaciaires et glaciaires. Il en est résulté pour les vallées actuelles une série très complexe de caractères topographiques dont la coexistence et la superposition, parfois contradictoires en apparence, ne sauraient être expliquées d'une façon trop simpliste.

Cette opposition est particulièrement nette lorsque d'un de nos hauts massifs alpins on considère le panorama qui s'offre aux regards (il est facile, dans la plupart des cas, de faire abstraction des gorges et des vallées profondes) : il semble que l'on ait devant soi et au-dessous de la *zone déchiquetée des sommets*, dont la désagrégation entretient sans cesse les formes hardies, un vaste relief aux formes relativement moins accentuées, adoucies et moutonnées par le poli glaciaire formant une *zone moyenne*, dans laquelle on distingue parfois *deux* séries de replats morainiques (flancs nord-ouest de la chaîne de Belledonne) et dont il est aisé de reconstituer la continuité au-dessus d'une certaine limite hypsométrique ; cette zone contraste vivement avec les pentes raides, les escarpements, les gorges qui caractérisent une *zone inférieure* aux deux précédentes, la région plus basse des vallées, d'une topographie plus abrupte.

La limite entre les deux dernières régions est d'ailleurs accusée en général par une rupture de pente très nette et facile à observer. L'impression ressentie par l'observateur est celle d'une

érosion progressant de bas en haut, d'une action rongeanne attaquant la montagne par l'aval, remontant les vallées et « montant pour ainsi dire à l'assaut » d'une ancienne chaîne à relief plus doux en faisant sans cesse progresser vers l'amont son cortège de ravinements, de cañons et de gorges étroites.

Ces trois zones sont particulièrement nettes dans le massif de Belledonne lorsqu'on le considère d'un des belvédères de la rive droite de l'Isère, du Saint-Eynard, par exemple.

Si nous revenons à la question du « surcreusement », il nous semble impossible d'attribuer *exclusivement* cette disposition à l'action glaciaire, non seulement parce que l'action approfondissante de la glace; très réelle, mais habituellement faible, n'a jamais été observée avec l'énorme intensité qu'il serait nécessaire pour expliquer ce surcreusement¹, mais, en outre, parce que la disposition en paliers, si caractéristique de la plupart des vallées « surcreusées » de nos Alpes, se retrouve, ainsi que l'a fait ressortir M. J. Brunhes, dans les vallées d'érosion purement torrentielles et indemnes de toute action glaciaire.

Le surcreusement des vallées principales de nos Alpes paraît donc pouvoir être attribué à deux phases distinctes :

1° *Erosion fluviale* ou torrentielle rapide, interstadaire ou interglaciaire, provoquée par une cause agissant de *l'aval vers l'amont*. Cette action, dont l'intensité devait être en raison directe de l'importance des cours d'eau et par conséquent du bassin de réception des glaciers qui les alimentaient, a approfondi les vallées principales. Son activité paroxysmale a pu être déterminée et entretenue par des déplacements du niveau de base (niveau de la mer).

2° *Façonnement glaciaire* dû au retour du glacier (*de l'amont vers l'aval*) dans la vallée surcreusée et parfois déjà encombrée

¹ Pour la vallée de l'Arc, près de La Praz (Savoie), l'approfondissement attribuable au surcreusement est de 1.024 mètres, différence entre l'altitude du seuil de la Bissortette, là où elle subit une brusque rupture de pente (2.031 m.) et le confluent de ce torrent avec l'Arc (957 m.). Cet approfondissement est en disproportion évidente avec les effets excavants observés chez les glaciers actuels.

de produits fluvio-glaciaires¹, ce façonnement s'effectuant en partie par les eaux sous-glaciaires, suivant le processus indiqué par M. Brunhes et produisant les formes topographiques spéciales considérées comme caractéristiques des vallées glaciaires, telles que le façonnement « en auge », les verrous, les contrepentes, etc.

Les vallées latérales, correspondant à des bassins de réception et à des glaciers moins importants alimentant par conséquent des torrents à débit plus faible, ont subi nécessairement une érosion fluviale (phase 1) notablement moindre. De plus, elles n'ont pu, pendant que la vallée principale était occupée par le glacier principal (phase 2), régulariser le « gradin de confluence » ainsi produit²; l'évolution de leur thalweg s'est donc trouvée *retardée* et ce serait là la cause des gradins de confluence si fréquents dans les grandes vallées des Alpes. En outre, dans leur partie amont, une couverture permanente de névés assurait la conservation des formes topographiques anciennes, antérieures au dernier surcreusement, et au réveil de l'érosion. Une fois la vallée principale dégagée et abandonnée par le glacier, l'érosion *régressive* se serait étendue dans les vallées latérales en creusant des « gorges de raccordement » dans les gradins de confluence. (Ex. : Domène, Lancey, Brignoud, etc., sur le côté gauche du Graisivaudan; La Roche-de-Rame (Hautes-Alpes), Mont-Genèvre, etc.) Il en serait résulté pour ces affluents ces ruptures de pente, parfois si importantes, qui vont du reste en s'atténuant par l'érosion régressive. Il est intéressant de faire remarquer que cette disposition est fréquemment utilisée pour l'aménagement d'installations hydro-électriques.

Plus ces ruptures de pente sont anciennes, plus le travail en a atténué les traces (ex. : gorge d'Asfeld à Briançon) qui sont, du

¹ Il est à noter que les vallées *surcreusées* (Isère, Durance, Drac, etc.) sont habituellement encombrées de puissantes alluvions qui masquent la partie inférieure de leur section.

² M. Penck a mis en évidence le rôle obstructeur du glacier occupant la vallée principale et provoquant le remblaiement partiel de la vallée latérale.

reste, appelées à disparaître lorsque les cours d'eau auront réalisé de façon définitive leur courbe d'équilibre.

L'altitude maxima des paliers les plus élevés, qui ont été habituellement façonnés par *d'anciens* glaciers, auxquels ils ont servi de cuvette terminale pendant une période de stationnements et qui caractérisent la plupart des vallons affluents (plaine de Bissorte, près de La Prâz [Savoie]) et même le cours supérieur des grandes vallées alpines¹, peut être considérée comme indiquant la cote maxima qu'aient atteinte les érosions torrentielles, c'est-à-dire les phénomènes de recul et d'érosions interglaciaires successives en aval du stationnement du glacier. Fréquemment, il arrive que dans une même vallée il existe plusieurs ruptures de pente et plusieurs de ces paliers correspondant à des creusements interstadias successifs et à des stationnements d'âge très différents. Dans certains cas, des érosions et des paliers d'origine plus récente ont entamé les dispositions topographiques anciennes, en « *interférant* » pour ainsi dire avec elles. Alors se présentent la superposition et l'emboîtement de deux modelés d'âge différent (exemple : région entre Bissorte et le glacier du Thabor, près de Modane).

Il est à remarquer que le creusement fluvial continue dans certaines vallées à s'effectuer presque sous nos yeux, mais il lui manque, pour offrir les caractères de ce qu'on a appelé le *sur-creusement* — lorsqu'il est postérieur à la dernière récurrence glaciaire — l'existence des gradins de confluence et le modelé spécial que, seuls, les glaciers peuvent donner et qui a conduit une Ecole géographique moderne à écarter d'une façon trop absolue toute origine fluviale ou torrentielle. C'est ainsi que dans beaucoup d'exemples d'épigénie, généralement liés aux

¹ C'est ainsi que dans la haute vallée de l'Isère on peut citer, en amont de Bourg-Saint-Maurice, les paliers de Sées - Sainte-Foy, des Brévières, de Tignes et de Val-d'Isère, séparés par des gorges à pente rapide. Ces paliers sont habituellement encombrés d'alluvions et de cônes de déjections d'âges divers dont la base a été parfois (Tignes) entamée et coupée par l'érosion récente de l'Isère.

paliers qui ont déterminé les stationnements glaciaires, le déplacement du cours d'eau s'est fait vraisemblablement d'une façon progressive et à une époque où le niveau du fond de la vallée était encore celui qu'indique le seuil glaciaire voisin qui représente l'ancien thalweg aujourd'hui abandonné. Un exemple de cette sorte de « MIGRATION » DE L'ENCOCHE FLUVIATILE, sur lequel nous reviendrons, est fourni par l'Ubaye, au Castellet ; ce cours d'eau a été peu à peu poussé vers la gauche par les apports d'un affluent torrentiel et il s'est enfin trouvé rejeté au pied même des pentes qui forment le flanc est de la vallée. Depuis lors, il a approfondi son lit et creusé dans les calcaires, qu'il ne pouvait plus éviter, la gorge étroite et profonde qui fait actuellement l'admiration de tous les touristes, gorge qui est bien en contre-bas du passage ancien poli et façonné par la glace. L'emplacement de l'ancien thalweg glaciaire est maintenant parcouru par la route de Maurin. Il est bien visible à droite du cañon du Castellet et est occupé par des moraines de la plus récente glaciation. Il en est de même pour les gorges d'Asfeld à Briançon, de Saint-Marcel en Tarentaise, de l'Esseillon et de Thermignon en Maurienne (Savoie), etc., etc.

Sur le versant suisse du Jura, une série de rivières se sont également creusé, depuis le retrait des grands glaciers, des gorges étroites et profondes (gorges de l'Areuse, vallon de Serrières, près de Neufchâtel, gorges de l'Orbe, etc.). Bien qu'il s'agisse dans ce cas de l'intervention de l'érosion souterraine agissant sur des masses calcaires jurassiques (Orbe), il paraît évident que cette érosion n'a pas pu s'effectuer sans un abaissement notable du niveau de base qui est ici le lac de Neufchâtel. Ce déplacement relatif a pu d'ailleurs être déterminé soit par un exhaussement épirogénique de la chaîne jurassique, soit par un abaissement du niveau du lac, soit, ce qui nous semble probable, par les deux causes réunies.

Dans l'explication que nous proposons, les caractères essentiels des vallées surcreusées, c'est-à-dire les gradins de confluence des torrents latéraux, le modelé glaciaire de la vallée

en U, la présence de paliers, s'interprètent aisément en combinant l'action érosive régressive des eaux torrentielles fluvio-glaciaires avec l'influence protectrice et le travail de façonnement purement superficiel des récurrences glaciaires. On voit que le rôle des glaciers comme « surcreuseurs » se trouve ainsi considérablement diminué.

La limite supérieure des vallées surcreusées semble donc indiquer la *limite supérieure* atteinte par les érosions préglaciaires, interglaciaires ou interstadias successives. Nous devons ajouter que le profil en long, si irrégulier, de la plupart des vallées de la région des Alpes doit cette irrégularité à ces mêmes phénomènes (érosion régressive, invasions glaciaires) s'exerçant sur un substratum géologique très hétérogène.

La grande différence de formes et d'aspects qui distinguent les vallées alpines des vallées extra-alpines paraît bien due à l'action *alternative* de l'érosion torrentielle et des invasions glaciaires. A ces dernières est attribuable le cortège des formes topographiques spéciales dites « glaciaires » dans les hautes vallées et l'existence dans les portions basses (aval) de terrasses fluvio-glaciaires multiples se rapprochant et se confondant vers l'aval lorsqu'elles n'ont pas correspondu à des oscillations du niveau de base. Cette alternance a occasionné dans le processus de l'érosion régressive fluviale une discontinuité très marquée et, dans les parties aval, une succession de maxima et de minima tout à fait caractéristique. Cette discontinuité n'existe pas au même degré pour les vallées extérieures au domaine des anciens glaciers dans lesquels les *variations du niveau de base* paraissent avoir seules et à peu près exclusivement exercé leur influence.

Ainsi, tout en reconnaissant que les glaciers ont, dans certaines conditions, déterminé une action érosive notable, en rapport surtout avec la délitabilité de leur substratum (contre-pentes en amont d'obstacles ou de paliers, ou de barres rocheuses dures, petites cuvettes lacustres, etc.), il ne semble pas possible de leur attribuer, dans toute son étendue, le *surcreusement* com-

plet des vallées alpines, et l'on se trouve amené à admettre dans ce phénomène, comme facteur principal, l'intervention, en même temps que des eaux sous-glaciaires, d'érosions véritablement torrentielles (fluviales) auxquelles le façonnement glaciaire n'aurait fait que se superposer et dont l'activité érosive aurait été déterminée et périodiquement renouvelée par les oscillations du niveau de base.

En résumé, les principales phases dont la résultante est représentée par l'aspect actuel de la plupart des vallées alpines seraient les suivantes :

1° Erosion préglaciaire; premiers ruissellements ayant, dès l'époque pliocène, entamé le bourrelet montagneux et y ayant établi un RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE INITIAL dont les bassins de réception devaient plus tard recevoir les premiers névés glaciaires;

2° Extension des glaciers anciens; polissage et façonnement des cirques et vallées préexistantes; établissement d'une « topographie glaciaire » dans les régions amont; formation de moraines anciennes et, en aval, de dépôts fluvio-glaciaires;

3° Alternance plusieurs fois répétée, dans les parties aval, de ces phénomènes avec des *érosions* torrentielles *interglaciaires* régressives (oscillations du niveau de base); phénomènes de capture, épigénies, etc.;

4° Retrait des glaciers précédents, suivi d'un rapide surcreusement fluvial, formation de gradins de confluence par suite de la prépondérance du cours d'eau principal;

5° Retour des glaciers occupant les vallées surcreusées, les façonnant (section en *auge*) et y déposant des moraines et, dans les parties aval, des formations fluvio-glaciaires; conservation

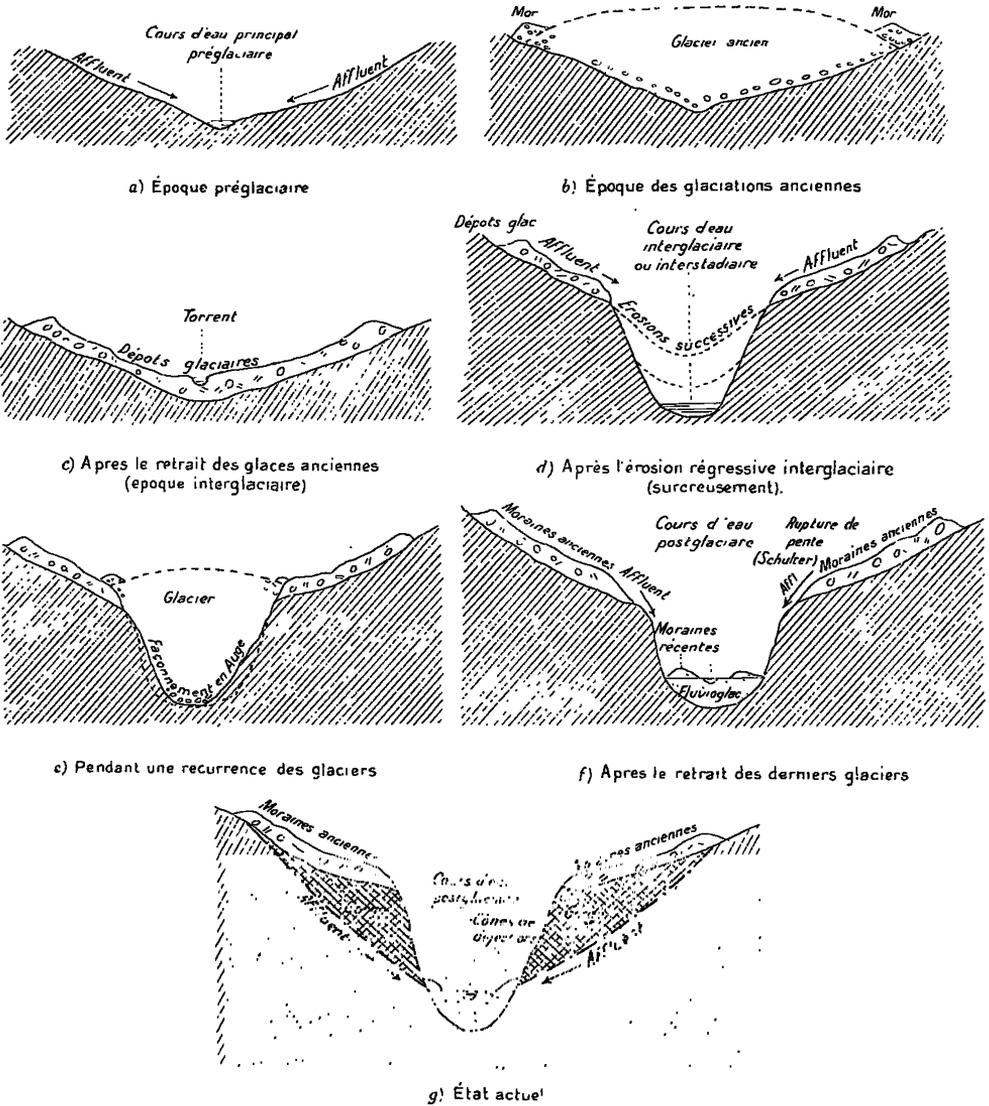


Fig. 1 (a-g). — Représentation schématique de l'histoire d'une vallée alpine.

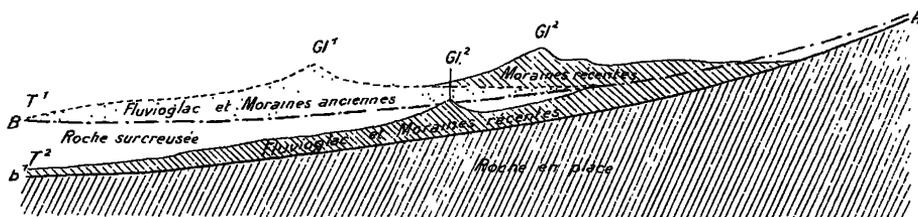


Fig. 2. — Schéma montrant la disposition produite par l'interférence des récurrences glaciaires et de l'érosion régressive causée par les déplacements du niveau de base (B, B').

AB, Ancien thalweg; AB', Thalweg après le creusement provoqué par l'abaissement du niveau de base; T¹, Terrasses fluvio-glaciaires anciennes (hautes terrasses); Gl¹, Moraines anciennes; T², Terrasses fluvio-glaciaires postérieures au creusement (basses terrasses); Gl², Moraines récentes (postérieures au creusement).

des gradins de confluence, la vallée principale étant comblée par le glacier;

6° Retrait définitif des glaciers vers les parties amont; les torrents affluents de la vallée principale creusent petit à petit par érosion régressive dans les gradins de confluence d'étroites gorges latérales (*gorges de raccordement*), au débouché desquelles s'édifient des *cônes de déjections* anciens;

7° Période récente; continuation de l'érosion fluviale régressive allant de l'aval vers l'amont et tendant à atténuer la rupture de pente des vallées affluentes; les cônes de déjections anciens sont entamés par des sillons qu'y creusent les cours d'eau devenus moins importants par suite de la diminution ou de la disparition de leurs glaciers nourriciers. De nouveaux *cônes de déjections de divers âges* sont édifiés par les affluents et devient parfois le cours d'eau principal.

L'intervention de *mouvements épirogéniques* expliquera peut-être certaines dispositions telles que la présence de la chaîne du

Vuache en aval du lac de Genève, celle du seuil mollassique de Rovon en aval de Grenoble qui, jusqu'à présent, ont constitué des arguments très importants et jusqu'à nouvel ordre très difficiles à réfuter en faveur de la théorie de l'affouillement glaciaire.

Nous nous contenterons, pour le moment, d'avoir attiré l'attention sur la possibilité et la *quasi-nécessité* de tenir compte, dans l'explication du modelé géographique alpin, de l'érosion régressive dont l'action agissant par *l'aval* a nécessairement débuté avant celle des glaciers, puis alterné plusieurs fois avec les phénomènes purement glaciaires, d'avoir mis en évidence l'extrême importance de cette action et d'avoir indiqué le rôle que ce phénomène, *périodiquement renforcé par les oscillations du niveau des mers*, paraît avoir joué dans le « surcreusement » des vallées et dans la formation des systèmes fluvio-glaciaires. Ainsi le modelé alpin actuel nous apparaît comme constitué par les restes d'une *série de topographies successives*, les unes purement glaciaires, les autres d'origine torrentielle et fluviale, qui sont actuellement combinées par suite de « l'interférence » des deux sortes de phénomènes à diverses époques et dont il est parfois malaisé de faire exactement la part dans l'extrême complexité des formes que nous avons sous les yeux.

Il est juste de rappeler ici que le problème si intéressant du processus de l'érosion glaciaire a été également abordé par un de nos géographes français les plus éminents, le professeur E. de Martonne¹, qui est arrivé à d'intéressantes conclusions qui complètent très heureusement les nôtres.

D'après ce savant, l'érosion glaciaire agit très inégalement sur les différentes parties du lit glaciaire. Sur les paliers, les traces en sont évidentes et il est rare d'y trouver une roche en

¹ E. de Martonne, L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines (*Ann. de Géographie*, 15 juillet 1910, t. XIX, n° 166, p. 289, et *id.*, 15 janvier 1911, p. 1, t. XX).

place qui ne soit *moutonnée, striée, cannelée*, ou ne présente des traces d'arrachement. Sur les gradins, au contraire, les stries, cannelures ou traces d'arrachement sont rares et les gorges torrentielles y sont le trait caractéristique. On voit souvent le glacier, pendant les périodes de recul, abriter au fond de ces gorges une « langue terminale » qui s'amincit d'années en années.

L'érosion glaciaire est donc *moins marquée sur les gradins que sur les paliers*. De plus, il se dégage pour l'observateur avisé une impression très nette, c'est que pendant les périodes de décrue, le torrent est plus actif que le glacier et que l'action du premier de ces agents joue un grand rôle dans le façonnement du lit glaciaire; il tend à décomposer le gradin en y sciant des gorges que le glacier peut ensuite élargir.

De ces considérations on peut déduire deux lois qui se formulent ainsi :

a) *Les parties supérieures du névé et l'extrémité de la langue sont des lieux d'érosion à peu près nuls;*

b) *Les lieux de frottement maximum se trouvent en aval et en amont des ruptures de pente*¹.

Un trait caractéristique du relief glaciaire est l'existence de *bassins* avec contre-pentes et de *verrous*² à l'aval. Les premiers

¹ E. de Martonne, *loc. cit.*

² Ces « verrous » constituent un des accidents les plus caractéristiques des vallées alpines; M. E. de Martonne en a indiqué la genèse probable, mais ils ont subi, depuis leur formation, des sorts différents en rapport avec le régime de creusement ou de remblaiement qui a prévalu dans la section de vallée où ils sont situés.

Certains d'entre eux, en partie *noyés* ou enterrés par le remblaiement post-glaciaire (dans les parties inférieures des vallées), d'autres, au contraire, plus ou moins complètement détruits par l'érosion fluviale, ne laissent subsister que des *amorces* plus ou moins anciennes, parfois à une grande altitude, sur les flancs de la vallée surcreusée; d'autres enfin, dans les hautes vallées, se montrent encore intacts avec leurs encoches et une partie de leur revêtement morainique et le creusement d'une gorge torrentielle épigénétique en accentue encore le relief (l'Esseillon, Pas du Roc) en *déchaussant* pour ainsi dire l'une de leurs extrémités.

M. Bénévent a fait remarquer (*Comptes rendus*, t. CLVIII (1914), p. 742)

correspondent à des *lieux d'érosion maximum*, les seconds à des lieux d'érosions moins importantes. Cette topographie spéciale est déterminée par les inégalités du profil du thalweg et des sections transversales des vallées préglaciaires. La Tarentaise et la Maurienne offrent, ainsi que nous le montrerons dans la suite du présent travail, les exemples les plus démonstratifs de verrous correspondant à un étranglement de la vallée préglaciaire dans la traversée des hauts massifs. (V. à ce sujet *C. R. Ac. des Sc.*, janvier 1917.)

L'influence que peut avoir eue, sur la formation des encoches qui accidentent les *Verrous* glaciaires, le côté d'insolation minima des vallées alpines. Cet auteur semble admettre la contemporanéité des diverses « encoches » qui accidentent ces verrous rocheux. Nous y voyons plutôt une série de lits épigéniques *successifs*, correspondant à des phases interstadières et par conséquent l'indice d'une sorte de *migration* de l'encoche fluviale ou torrentielle sous-glaciaire, correspondant aux diverses glaciations, la dernière servant de passage au cours d'eau actuel, alors que les autres, qui ont successivement joué le même rôle, ont été depuis façonnées par le passage de simples languettes glaciaires et même successivement abandonnées par la glace à mesure que l'importance du glacier diminuait et que le creusement de la vallée s'accroissait.

Les *encoches* parfois multiples des verrous glaciaires représentent donc pour nous des *thalwegs épigéniques* interglaciaires ou interstadières *successifs* dont le plus récent seul (situé en général du côté le moins ensoleillé de la vallée) fonctionne encore actuellement et a été approfondi en une gorge étroite par l'érosion fluviale postglaciaire, et dont les autres ont été successivement occupés par des languettes glaciaires de divers âges qui les ont façonnés et ont déblayé, pour y substituer des moraines, les alluvions torrentielles qui pouvaient y subsister. *Les plus élevées de ces encoches datent parfois de la période würmienne.*

Le rôle de l'insolation minima, ayant eu pour effet la conservation de l'appareil glaciaire dans la situation où a subsisté l'encoche épigénique actuelle, a été mis en évidence d'une façon plausible, mais on peut se demander s'il ne convient pas plutôt de voir dans l'emplacement si fréquent de cette gorge, au voisinage du flanc est des vallées, la simple manifestation d'une tendance générale ayant une cause purement mécanique dont il resterait à expliquer la nature, par exemple *l'influence de cônes de déjections*, plus importants du côté le plus ensoleillé et par conséquent le moins boisé de la vallée, qui auraient eu pour effet de rejeter progressivement le cours d'eau vers le côté opposé.

Dans la vallée de l'Arc, en particulier, on remarque une série de ces *verrous* rocheux accompagnés d'encoches glaciaires de divers âges et de gorges épigéniques récentes, le lit actuel postglaciaire se trouvant toujours sur le côté de la gauche de la vallée, c'est-à-dire, comme l'a ingénieusement remarqué M. Bénévent, au pied du versant le moins ensoleillé.

Deux faits ont, en outre, été mis en évidence par M. de Martonne, c'est que généralement les « vallées suspendues » sont situées au-dessus des verrous et que la profondeur des cuvettes lacustres subalpines est due moins à leur qualité de bassins terminaux qu'à leur formation en un point où le relief antérieur commandait le surcreusement. « Si convaincu que l'on soit, écrit l'auteur, de la prépondérance des influences glaciaires, le « style » des formes dépend davantage de la nature des roches que de l'importance plus ou moins grande de la Glaciation. » Dans certains cas ont prédominé les influences tectoniques.

Le creusement des vallées alpines serait donc bien, pour M. E. de Martonne *comme pour nous*, à la fois l'œuvre de l'érosion glaciaire et celle de l'érosion subaérienne. A cette dernière reviendrait, d'une part, l'enfoncement progressif des vallées tendant à établir un profil d'équilibre régulier et à maintenir le raccordement des thalwegs. A la première, c'est-à-dire aux influences glaciaires, seraient dus, d'autre part, les anomalies topographiques dont on retrouve la trace à différents niveaux (verrous et rétablissement à chaque nouvelle glaciation des gradins de confluence oblitérés).

En résumé, les formes que révèle l'analyse morphologique des vallées alpines seraient le produit d'un cycle d'érosion quaternaire, « le *cycle fluvio-glaciaire* alpin », qui se décomposerait lui-même en une série d'« *épicycles* » *fluviatiles* et *glaciaires* alternants.

Les vues que nous venons d'exposer confirment celles que nous avons nous-mêmes¹ formulées antérieurement. Nous reviendrons plus loin sur ces intéressantes questions en décrivant, d'après le même auteur, les niveaux d'érosion et de l'Arc et de l'Isère et en précisant d'après lui l'existence d'anciens thalwegs dans la Maurienne et le Graisivaudan, thalwegs dont les plus

¹ V. W. Kilian, *Quelques réflexions sur l'Erosion glaciaire et la formation des Terrasses*, 1906.

élevés se perdent vers l'amont et le plus bas vers l'aval, alors que seuls les niveaux inférieurs peuvent se suivre d'un bout à l'autre. Cette convergence des thalwegs vers l'aval indique, d'après notre confrère, que l'origine du creusement doit être cherchée dans le soulèvement de la montagne et dans les mouvements qui ont affecté les Alpes entre la fin du Pliocène et les débuts de la période quaternaire¹.

Ce dernier facteur viendrait donc s'ajouter aux oscillations du niveau de base et aux actions glaciaires, et il resterait à établir d'une façon précise le rôle qu'a joué dans la formation de nos vallées chacun de ces phénomènes.



Il est intéressant d'illustrer par quelques exemples les considérations que nous venons d'exposer; les Alpes delphino-savoisiennes présentent, on le sait, un grand intérêt au point de vue morphologique et l'un de nous (W. K.) a pu y recueillir quelques observations suggestives qu'il nous paraît utile de rappeler, car elles peuvent fournir sur le rôle respectif des phénomènes d'érosion torrentielle et fluvio-glaciaire des indications précises.

A. — LA GORGE DU CASTELLET DANS LA HAUTE-UBAYE²
(Basses-Alpes).

Nous signalerons en premier lieu un cas curieux de *surimposition* (épigénie) que présente le cours de l'Ubaye, non loin de Saint-Paul (Basses-Alpes³).

¹ E. de Martonne, L'évolution des vallées glaciaires alpines, en particulier dans les Alpes du Dauphiné (*Bull. Soc. géol. de France*, 4^e série, t. XII, fasc. 7, p. 516, 1912).

² Voir W. Kilian, Notes pour servir à la Géomorphologie des Alpes dauphinoises, 1896 (avec figures) (*La Géographie*, VI, 2, p. 17).

³ Voir à ce sujet le très intéressant mémoire de M. le professeur Lugeon sur la fréquence dans les Alpes de gorges épigénétiques et sur l'existence de barres

La rivière de l'Ubaye franchit, en amont des hameaux de Sérenne, une gorge profonde d'environ 120 mètres creusée dans l'épaisse muraille de calcaires jurassiques et triasiques que traverse la vallée. Cette gorge est située non dans l'axe, mais sur le côté gauche (le moins ensoleillé) de la vallée; du côté droit, la muraille rocheuse transversale présente une autre échancrure moins profonde et plus large où des assises de galets fluviatiles, ainsi que des dépôts morainiques très nets indiquent que l'Ubaye ancienne ainsi que les glaciers ont dû passer par là; la gorge de gauche dont il est parlé plus haut et que le chemin de Fouillouse franchit sur le pittoresque pont du Castellet (105 m. au-dessus du torrent) est donc de formation *récente*. Elle se trouve sur le côté de la vallée, c'est-à-dire dans le voisinage du versant le moins ensoleillé ¹.

Il est facile d'indiquer les causes qui ont motivé le déplacement de l'Ubaye et qui ont déterminé cette rivière à creuser une nouvelle gorge au lieu d'approfondir l'ancien passage qu'elle s'était frayé.

Sur la rive droite de la rivière et au point même où existait l'ancien thalweg, aujourd'hui abandonné, aboutit un torrent (torrent du Coulet) venant du Nord-Ouest et descendant par une pente très inclinée des montagnes dénudées qui entourent le col de Sérenne. Ce cours d'eau charrie une quantité considérable de blocs et de débris rocheux dont l'accumulation forme aujourd'hui, en amont du défilé, un important cône de déjections. Il paraît évident que c'est à l'influence de cet affluent et des matériaux apportés par lui qu'est dû le déplacement de l'Ubaye vers le flanc gauche de la vallée.

Ce déplacement s'est fait vraisemblablement d'une façon progressive et à une époque où le niveau du fond de la vallée était celui qu'indique le seuil du col qui représente l'ancien thalweg

calcaires dans certaines vallées suisses (*Bull. Lab. de géol.*, etc., de l'Université de Lausanne, n° 2. 1901, notamment p. 27. Collines de Chistos).

¹ V. plus haut.

aujourd'hui délaissé; l'Ubaye a été insensiblement poussée vers la gauche par les apports de son affluent et elle s'est enfin trouvée rejetée au pied même des pentes qui forment le flanc est de la vallée. C'est depuis lors seulement que la rivière a approfondi son lit et a creusé, dans les calcaires qu'elle ne pouvait plus éviter, la gorge étroite et profonde qui fait l'admiration des touristes et dont le fond est actuellement bien en contre-bas du passage ancien dont l'emplacement parcouru par la route de Maurin est encore bien visible à droite du canyon du Castellet.

B. — DURANCE ET CLARÉE¹.

Tous les géographes connaissent l'anomalie étrange de nomenclature qui a fait attribuer, en amont du village de la Vachette, le nom de Durance à un petit ruisseau descendant du Mont Genève qui se jette en ce point dans la Clarée (ou Clairée); anomalie par suite de laquelle cette dernière, qui est le cours d'eau principal et qui représente par son importance incomparablement plus grande le cours supérieur de la rivière désignée plus en aval sous le nom de Durance, a été frustrée, en faveur de son petit affluent, d'une dénomination qui devait naturellement lui revenir. Cette anomalie a vraisemblablement son origine dans la notoriété et le rôle historique du passage du Mont Genève, dont la route suit entre la Clarée et le village du Mont Genève le vallon de la haute Durance et a motivé l'importance exagérée attribuée depuis des siècles à ce torrent aux dépens du cours d'eau principal (la Clarée).

Il est intéressant d'examiner de près les rapports de la haute Durance avec la Clarée et les faits qui nous permettent de retracer l'histoire de ces deux torrents.

La Clarée prend sa source à 28 kilomètres environ de son confluent avec la Durance, sur le versant est du col des Rochilles; elle sort d'un petit lac (le lac de la Clarée), lui-même

¹ Voir W. Kilian, *La Géographie*, t. VI, p. 23 (1896).

probablement alimenté par le lac de la Plagnetta, situé un peu plus haut, près de la ligne de partage des eaux et à l'Est d'un troisième lac sans écoulement apparent.

Entre sa source et la Vachette, elle a creusé une profonde et large vallée, dans laquelle on distingue facilement — en aval d'une portion élargie et plate qui correspond au bassin de réception voisin de la source — deux tronçons bien nets :

1° En amont de Névache, une portion relativement étroite et dont le fond rocheux, dans lequel le torrent s'est creusé un lit encore très accidenté et souvent encaissé, porte encore des traces récentes du séjour des glaciers;

2° A partir de Névache, une partie élargie, dont le fond très plat, occupé par d'épais dépôts d'alluvions, de débris morainiques récents et de cônes de déjections torrentiels largement étalés provenant des ruisseaux affluents, dénote au contraire un régime fluvial installé depuis longtemps et préexistant au dernier séjour des glaciers.

Il semble évident, lorsqu'on parcourt ces deux régions si différentes, que la première a été longtemps et d'une façon permanente occupée par un glacier dont le front, à l'époque de la dernière glaciation, stationnait à Névache ou un peu en aval de ce village. Jamais, avant le recul définitif, la portion située en amont de Névache n'a dû être libre de glace. La pente primitive, *protégée* contre l'érosion par le glacier, a été ainsi conservée dans ce tronçon amont jusqu'à une époque relativement très récente, le torrent y est encore en travail et le thalweg n'y a pas encore, à l'heure qu'il est, atteint sa courbe d'équilibre définitive. Le tronçon aval, au contraire, situé en avant du front de ce glacier, a été, depuis les périodes déjà anciennes de progressions et de reculs interstadias et interglaciaires, soumis à des creusements et à des remblaiements successifs. De plus, il a été égalisé par le travail des eaux de fonte qui en ont comblé les inégalités par des alluvions fluvio-glaciaires et des dépôts morainiques. C'est sur ce lit qu'ont, pendant les crues des glacia-

tions récentes, cheminé les glaces dans leur mouvement de progression.

A son confluent avec la Durance, la vallée de la Clarée est formée d'une large plaine d'alluvions à pente douce et régulière; ce n'est que plus en aval, près de Briançon, qu'a dû exister à l'époque pléistocène une nouvelle rupture de pente, aujourd'hui sensiblement atténuée par le creusement de la gorge du pont d'Asfeld¹, avant le confluent de la Guisane; ce changement était dû sans doute à des causes de même ordre que celles qui ont motivé le précédent, mais agissant à une époque où le glacier stationnait plus bas, en amont de Briançon sur le *palier* de la Vachette et où le surcreusement agissait déjà dans la vallée de la Guisane.

Nous avons énoncé ailleurs² la supposition que ces sortes de *paliers* qui, dans beaucoup de vallées alpines, alternent avec des parties plus inclinées et encaissées peuvent avoir leur origine dans les stationnements des glaciers pendant les stades multiples des différentes glaciations et dans l'érosion régressive qu'ont exercée successivement les eaux de fonte en *avant* de ces stationnements, processus qui se montre actuellement d'une façon très nette entre la Romanche et les chalets de Chalvachère, au pied du glacier de la Meije.

Plus ces ruptures sont anciennes, plus le travail ultérieur en a atténué les traces (exemple : gorge d'Asfeld à Briançon), qui sont, du reste, appelées à disparaître lorsque les cours d'eau ont réalisé leur courbe d'équilibre.

Quant à la Durance, en amont de la Vachette, c'est un petit torrent qui se jette dans la Clarée par une gorge latérale ouverte dans le flanc nord de la large vallée que nous venons de décrire. Elle prend sa source à environ 6 kilomètres du confluent, dans

¹ Ici encore, comme dans la vallée de l'Arc (Esseillon, Thermignon) et celle de l'Ubaye (le Castellet), la gorge épigénétique récente est située sur le côté gauche, le moins ensoleillé de la vallée.

² V. plus haut.

un cirque de pâturages situé au Sud du village du Mont-Genèvre et au pied ouest du Chenaillet, entre cette montagne et la cime du Gondran, près du lac de Sorgue-Enfonza.

Son cours présente une rupture de pente remarquable : au sortir de son bassin de réception, aux environs et en aval du Mont-Genèvre, elle chemine sur une sorte de plateau gazonné d'une altitude d'environ 1840 mètres, à inclinaison très faible; puis la pente s'accroît brusquement, elle s'encaisse, et c'est par un étroit défilé qu'elle rejoint, à une altitude d'environ 1330 mètres, la vallée de la Clarée, près de la Fontaine Napoléon.

Nous avons donc ici un bel exemple de « surcreusement », c'est-à-dire que les choses se présentent comme si la Durance et la Clarée s'étaient jadis réunies à un niveau plus élevé; puis que, la vallée principale (vallée de la Clarée) s'étant rapidement creusée en abaissant son thalweg de plus de 500 mètres, la Durance, pour suivre ce mouvement, avait été conduite à s'encaisser profondément dans le voisinage du confluent sans que cet approfondissement ait eu le temps de gagner par érosion régressive le plateau du Mont Genèvre, temporairement protégé contre les progrès de l'érosion par la présence d'un glacier (dont l'existence a laissé, du reste, des traces dans les formes topographiques du terrain et dans des amoncellements morainiques importants), alors que le glacier de la Clarée stationnait en amont de Névache et que le torrent produit par son ablation exerçait depuis longtemps déjà son action érosive en abaissant le niveau du confluent.

Si nous examinons maintenant la gorge de la Durance elle-même, nous y trouvons des dépôts qui peuvent nous éclairer sur la marche de ces phénomènes.

Cette gorge est creusée en partie dans des assises régulières épaisses et horizontales d'alluvions fluviales, recouvertes elles-mêmes par des dépôts morainiques (boues à blocs et cailloux striés) très frais qui se raccordent avec ceux du plateau du Mont Genèvre. Les alluvions s'observent jusqu'à un niveau de

200 mètres plus élevé que celui de la Clarée. La provenance des éléments de ces alluvions interglaciaires, leur forme arrondie, leurs dimensions relativement petites, leur horizontalité indiquent qu'elles ont été déposées là par un cours d'eau bien plus important que ne l'est aujourd'hui en ce point la haute Durance et provenant de massifs-frontière (Collette Guignard, Collette Verte) *qui sont aujourd'hui tributaires d'un affluent de la Doire* (Dora Riparia) appartenant au bassin du Pô. On doit en conclure que *la ligne de partage des eaux s'est déplacée* depuis d'un ou deux kilomètres au profit de l'Italie. On voit aussi que la gorge actuelle de la Durance est creusée dans des dépôts de transport (alluvions interglaciaires et dépôts glaciaires) qui remplissaient un défilé plus ancien et plus large¹.

Des diverses observations que nous venons de relater, il est permis, nous semble-t-il, sans trop entrer dans le domaine de l'hypothèse, de tirer les conclusions suivantes :

1° A une époque relativement reculée, correspondant à une des phases de la période pléistocène (Quaternaire) moyenne et probablement à l'époque würmienne, la vallée de la Clarée, déjà dessinée par des érosions antérieures, mais occupée par des glaciers, était moins profondément creusée; son confluent avec la Durance se trouvait à un niveau plus élevé d'au moins 400 mètres. Il y avait à ce moment dans la région du Chenaillet et du Mont Genève un glacier qui rejoignait latéralement le glacier principal de la vallée de la Clarée de la façon dont le Glacier Blanc rejoint actuellement la vallée plus importante du Glacier Noir dans le massif du Pelvoux;

2° Au début d'une phase interglaciaire, les eaux provenant du glacier de la Clarée qui s'était retiré en amont, probablement près de Névache, ne tardent pas à approfondir la Clarée et la Durance pour se raccorder avec ce nouveau thalweg. Elles se trouvent ainsi amenées à creuser une gorge en arrière de la-

¹ Voir W. Killian, *La Géographie*, t. VI (1896) (figure).

quelle le plateau du Mont Genève était alors vraisemblablement occupé par des glaces et ainsi soustrait à l'action de l'érosion;

3° Alors survient une phase de *remblaiement* interglaciaire d'origine nettement fluviale; le fond de la vallée de la Clarée s'exhausse de nouveau de 150 à 200 mètres par des apports alluviaux; en même temps la Durance, dans le retrait du glacier du Mont Genève, ayant reporté la source à plusieurs kilomètres en arrière, au pied des massifs éruptifs de la Collette Guignard, remblaie la gorge et la remplit également d'alluvions sensiblement horizontales dans le bas du défilé. C'est l'époque où, en aval de Briançon, près de Villard-Meyer, Guillore, Embrun, des phénomènes de *remblaiement* interstadias appartenant à la même phase interglaciaire édifient de puissantes terrasses de cailloutis, dont on peut encore admirer aujourd'hui les restes à 150 et 200 mètres au-dessus du lit actuel de la rivière (Mont-Dauphin¹ est établi sur un témoin de ces alluvions qui sont là cimentées en un poudingue rocheux);

4° Une nouvelle glaciation (Gl. néowürmienne ?) survient alors, les glaciers envahissent les deux vallées et déposent ensuite en se retirant les boues et les cailloutis morainiques sur l'emplacement de l'ancienne gorge et sur le plateau du Mont Genève.

Enfin et en dernier lieu, le retrait définitif et la fusion des glaciers provoquent une *nouvelle période de creusement*, d'abord dans la vallée de la Clarée, parcourue par une masse d'eau plus considérable, puis dans celle de la Durance, qui est obligée, pour s'adapter à ce nouveau régime, de s'encaisser de nouveau et de déblayer en partie son ancien défilé, mettant ainsi à nu sous les boues morainiques les anciennes alluvions de remblaiement qu'elle y avait déposées dans une phase antérieure.

¹ Voir à ce sujet W. Kilian. La rue des Masques, près de Montdauphin (Hautes-Alpes) (*La Nature*, 14 juillet 1906, p. 104, avec nombreuses figures).

En même temps, l'érosion régressive des affluents de la Doire, s'exerçant en arrière de Cézanne, *déplaçait vers le Sud-Ouest*, c'est-à-dire vers la France, *la ligne de partage des eaux*; c'est, en effet, vers l'Italie que sont aujourd'hui charriées les variolites de la Collette Verte et de la Collette Guignard qui, à des époques antérieures, étaient, ainsi que nous en avons donné la preuve, entraînées vers la Clarée.

Ces considérations mettent en lumière le rôle directeur qu'a joué de tout temps, comme vallée principale, le cours de la Clarée vis-à-vis de la haute Durance et font ressortir ce qu'a d'artificiel et d'illogique la désignation de ces deux rivières en amont de la Vachette : il aurait été plus conforme au rôle et à l'importance relative de ces cours d'eau, soit de réserver le nom de Durance au torrent qui descend du Mont Genève et de donner celui de Clarée à la rivière principale, du col des Rochilles jusqu'au Rhône, soit d'appeler Durance ce dernier et de désigner alors son petit affluent par une autre dénomination.

On voit aussi par l'exemple de la haute Durance qu'« à une époque relativement récente la disparition du revêtement glacé des hautes vallées affluentes a mis à nu leur *topographie ancienne* (plateau du Mont Genève) qui s'est trouvée alors en désaccord avec la portion basse de formation récente et entamée par l'érosion fluviale venant de l'*aval* (gorge de raccordement en amont de la Fontaine Napoléon). La disparition des névés et des glaciers a, d'autre part, diminué dans de grandes proportions et parfois supprimé le débit des cours d'eau secondaires, arrêtant ainsi ou ralentissant notablement le cycle d'érosion dans les vallons affluents qu'elle a souvent empêchés d'arriver à *une maturité aussi avancée que la vallée principale*, laissant ainsi subsister dans ces vallons *deux tronçons de pente et de forme très différentes* séparés par une *rupture de pente*. La même *rupture de pente* peut se présenter, du reste, pour la vallée principale elle-même dans la portion voisine de la source (amont de Névache) » (v. plus haut).

C. — LA PLAINE DE BISSORTE.

Les phénomènes de « surcreusement » se rencontrent pour ainsi dire à chaque pas dans nos vallées alpines et mériteraient d'être étudiées avec soin. L'un des plus beaux exemples que nous puissions citer est fourni par la vallée de l'Arc, en amont de Modane, au confluent du torrent de Bissorte.

Ayant eu l'occasion de nous occuper plus spécialement de cette partie du massif en vue d'une installation hydro-électrique projetée, nous avons relevé une série de faits qui nous paraissent mériter d'être rapportés avec quelques détails.

Dans sa traversée de l'anticlinal houiller, entre Saint-Michel et Modane, l'Arc reçoit un certain nombre de torrents dont quelques-uns — et celui de Bissorte est du nombre — aboutissent à une altitude bien supérieure à celle du thalweg du cours d'eau principal avec lequel ils se raccordent alors par une pente abrupte (« gradin de confluence ») permettant de les utiliser comme force motrice.

Le cours du torrent de Bissorte offre une portion supérieure relativement peu rapide, puis une subite rupture de pente à laquelle fait suite un tronçon inférieur franchissant en cascade une hauteur de 800 à 1000 mètres.

Issu des glaciers du massif du Thabor, ce torrent est formé, dans son cours supérieur, par la réunion de plusieurs branches, dont la plus occidentale forme le lac des Bataillères (2683 m.), tandis qu'une autre provient de la Pelle, au pied nord-est de la pointe du même nom. En aval des moraines récentes de ces glaciers, le cours d'eau parcourt d'abord un vallon relativement étroit (la combe de Bissorte) où se dessinent plusieurs seuils, gradins et paliers que le torrent franchit en cascades ou dans de petites gorges étroites pour arriver ensuite dans une plaine tourbeuse (la *plaine de Bissorte*) située à 2031 mètres d'altitude et qu'entourent des sommets abrupts et dénudés. La déclivité de cette plaine vers l'aval est peu accentuée (extrémité amont 2071,34; extrémité aval 2025); sa longueur est de 212 m. 89, sa

largeur moyenne de 586 mètres. Au Sud de cette dépression, le torrent reçoit un affluent venant de la Roche des Marches, tandis que dans la plaine elle-même, il se grossit de plusieurs petits torrents descendant les uns de la Crête des Sarrazins et les autres des sommets formant le massif de la Sandoneire. La plaine tourbeuse (plaine de Bissorte) est dominée par une chaîne dite « Montagne des Sarrazins » (sommets de 2670 m., 2888 m., 2970 m., 2951 m., 3031 m., en allant du Nord au Sud) que franchissent les cols des Sarrazins et du Mont Thabor. A l'Ouest, elle est séparée du vallon de Valmeinier par des montagnes noires et arides, où l'on remarque du Nord au Sud : la Pointe de la Sandoneire (2782 m.) et ses contreforts, dont le plus occidental, le Gros-Crey (2600 m.) s'avance au-dessus de Valmeinier; le col des Marches (2700 m.), près du lac du même nom, la Roche des Marches (2797 m.), dont se détache à l'Ouest le Petit-Fourchon, la Roche-Noire (3064 m. et 3029 m.) et enfin la Roche de la Pelle (3008 m.).

Après avoir traversé la plaine, le torrent de Bissorte présente une subite rupture de pente, il franchit en cascades un barrage rocheux naturel pour arriver dans un cirque montagneux plus ou moins encombré d'éboulis et où se trouvent les chalets de Bissortette (rive droite), de la Prégnaç (Le Prégue) et de Combe Vaudron (rive gauche). Il a creusé son lit par érosion régressive après le retrait des glaciers qui occupaient la plaine de Bissorte, dans des bancs compacts qui sont de même nature sur les deux rives. Quelques mètres en aval de ce dernier chalet, il descend en chutes pittoresques les pentes raides et boisées de la vallée de l'Arc, pour atteindre le cours d'eau principal, en face de la station de La Praz, à 957 mètres d'altitude.

En résumé, le bassin du torrent de Bissorte se divise en quatre portions bien distinctes :

1° Une partie haute, en amont de la plaine de Bissorte, où des petits paliers et des barres rocheuses façonnées par les actions

glaciaires paraissent dus à des érosions antérieures et représentent les restes d'une topographie interglaciaire très ancienne datant *d'une époque antérieure à l'approfondissement* de la vallée de l'Arc et aux glaciations successives qui l'ont occupée postérieurement, ainsi qu'à la plaine de Bissorte elle-même;

2° Puis vient une partie plate, de pente très faible, ou « Plaine de Bissorte », ancienne cuvette glaciaire que n'a pas encore atteint l'érosion torrentielle régressive — motivée par l'approfondissement brusqué (*surcreusement*) subi par la vallée de l'Arc lorsque le glacier qui l'occupait s'est retiré — et qui présente encore tous les caractères d'une région que viennent d'abandonner les névés et les glaciers;

3° Une partie moyenne où le torrent s'est creusé un lit plus rapide et plus encaissé (cirque de la Prénaz);

4° Un cours inférieur à *pente très raide* par lequel le torrent rejoint le cours de l'Arc, à 850 mètres en contre-bas.

2° ACTIONS DE REMBLAIEMENT ET D'ALLUVIONNEMENT

Chacun sait que les matériaux charriés par les Glaciers viennent s'accumuler à leur extrémité inférieure pour former une *moraine frontale*; les gros blocs restent sur place, mais tous les éléments de petite dimension, boues glaciaires, sables, graviers, cailloux roulés ne tardent pas à être entraînés par les torrents qu'alimentent les eaux de fusion résultant de l'ablation de l'appareil glaciaire. Ces débris remaniés donnent d'abord, appuyés à la moraine même, des « *cônes de transition* » à stratification inclinée, mais assez désordonnée dans le détail; puis peu à peu, à mesure que l'on s'éloigne de la moraine, les cailloux striés caractéristiques disparaissent et passent à des dépôts d'allure purement fluviale pour constituer d'immenses nappes presque

horizontales, à pente très faible vers l'aval, parfois d'une grande épaisseur, qui couvrent le pays en avant du front des glaciers.

Dans ces dépôts épais et meubles ont été découpées ultérieurement des *terrasses* fluvio-glaciaires, par l'effet de l'érosion érosive des cours d'eau issus de ces mêmes glaciers, et dont l'action d'affouillement a été périodiquement réveillée par les déplacements successifs de leur niveau de base.

Nous avons dit que c'est à MM. Penck, Brückner et Léon Du Pasquier que l'on doit d'avoir mis en évidence cette liaison des terrasses d'alluvions alpines et subalpines avec les moraines : ces auteurs ont montré que les terrasses alluviales aboutissent généralement à l'amont à un rempart morainique (*vallum*), en amont duquel une dépression, appelée « dépression centrale » ou « cuvette terminale » (*Zungenbecken*), marque l'emplacement d'un glacier aujourd'hui disparu¹.

Les cailloutis des terrasses se répartissent en deux séries distinctes : les plus anciens occupent les *plateaux* sur lesquels ils s'étaient en nappes, tandis que les plus récents sont localisés dans les vallées actuelles, formant à diverses hauteurs sur leurs côtés des terrasses très nettes « emboîtées » les unes dans les autres.

Les niveaux de « cailloutis de nappes » ou *Deckenschotter* sont au nombre de deux : le *Deckenschotter supérieur* ou des hauts plateaux et le *Deckenschotter inférieur* ou des bas plateaux. Quant aux cailloutis des terrasses, ils se subdivisent en alluvions des « hautes terrasses » (*Hochterrassenschotter*) et alluvions des « basses terrasses » (*Niederterrassenschotter*). Chacun de ces systèmes, se montrant en quelque sorte *emboîté* dans le précédent dont le sépare un épisode de creusement des vallées, correspond à une phase distincte d'extension glaciaire, à une « glaciation », pendant laquelle les glaciers ont stationné aux empla-

¹ Nous avons également rappelé plus haut que des conclusions à peu près semblables avaient été *antérieurement* émises par MM. Depéret et Delafond dans leur ouvrage sur la Bresse.

cements où subsistent encore la dépression centrale et les moraines abandonnées par eux ; à ces dernières se subordonnent, plus en aval, le cône de transition et des couches d'alluvions.

Quatre glaciations ont été ainsi reconnues dans les Alpes autrichiennes et bavaoises par MM. Penck et Brückner : la plus ancienne a été appelée par eux *glaciation de Günz*, du nom d'un affluent du Rhin entre Ulm et Augsburg ; elle correspond au Deckenschotter supérieur. La deuxième a été appelée *glaciation de Mindel*, du nom d'un affluent du Rhin, en aval de Günz, et correspond au Deckenschotter inférieur. La troisième, dite *glaciation des Riss*, du nom d'un affluent de l'Isar, est en relation avec les « hautes terrasses ». Enfin, la plus récente, dite *glaciation de Würm*, en relation avec les « basses terrasses », est désignée d'après une rivière de ce nom située dans la plaine de Munich. Cette dernière correspond aux moraines qui ont été appelées *moraines internes*, tandis que celles de Riss correspondent aux « *moraines externes* ».

Chaque glaciation a comporté en outre des *oscillations* de moindre amplitude que MM. Penck et Brückner ont reconstituées seulement pour la plus récente des quatre glaciations et qu'ils ont appelées pour cette période postwürmienne : « Stade de Bühl », « Stade de Gschnitz » et « Stade de Daun ». Entre le maximum de la glaciation de Würm et le stade de Bühl se place « l'oscillation négative d'Achen ». Dans tous les massifs autrichiens, bavaois, suisses, français et italiens, la glaciation de Würm ne s'est pas étendue aussi loin que celle de Riss, qui est celle qui a présenté la plus grande extension. Quant aux glaciations de Mindel et de Günz, elles n'ont pas été retrouvées dans les Alpes françaises.

En ce qui concerne les Alpes françaises, les recherches de M. Depéret et de l'un de nous (W. K.) ont été négatives au point de vue des deux Deckenschotter, les cailloutis anciens des plateaux inférieurs à la grande nappe de cailloutis du Pliocène supérieur (Chambaran) n'ont pu être rattachés à des moraines. Dans l'avant-pays alpin français, on ne peut en effet distinguer

nettement, ainsi que nous le verrons plus loin, que *trois* stationnements glaciaires. Aux environs de Lyon, d'après M. Depéret¹, ces stationnements sont celui du plateau des Dombes (*Rissien*), celui du bord méridional des Dombes, de la plaine lyonnaise et des environs de Vienne (*Néorissien*) et celui de Saint-Quentin - Grenay - Anthon (*Würmien*).

Dans la région de la Bièvre - Valloire et de la basse Isère se reconnaissent également, d'après MM. W. Kilian et M. Gignoux², trois stationnements correspondant chacun à un système de terrasses. Ce sont: 1° la glaciation *rissienne*, la plus ancienne; 2° la glaciation de La Côte-Saint-André (rapportée d'abord par ces auteurs au *maximum de Würm*) (*néorissienne*); 3° la glaciation de Rives (attribuée au retrait de Würm) (*würmienne* proprement dite). Les trois glaciations de la région lyonnaise sont certainement contemporaines des trois glaciations de la Bièvre - Valloire et de la basse Isère, et le Néorissien de M. Depéret correspond au stade de La Côte-Saint-André de MM. Kilian et Gignoux. Les moraines frontales de ces trois complexes ont été d'ailleurs suivies pour ainsi dire pas à pas, en vue de l'établissement de la carte au 320.000^e par MM. Depéret, Kilian, Doncieux et Gignoux.

Il est à noter que le Glaciaire rissien est un « *Glaciaire des plateaux* » sans rapports avec le tracé des vallées récentes, tandis que le « Néorissien » se montre sous la dépendance étroite des vallées actuelles qui ont influencé nettement le tracé de son front morainique (au même titre qu'elles ont dévié les moraines des stades würmiens de Grenay et de Rives) et qu'une importante érosion le sépare du Glaciaire rissien.

¹ Depéret, L'histoire fluviale et glaciaire de la vallée du Rhône aux environs de Lyon (*C. R. Acad. des Sciences*, t. CLVII, Paris, 1913, p. 532 535 et p. 564-568).

² W. Kilian et M. Gignoux, Les formations fluvio-glaciaires du Bas-Dauphiné (*Bull. Serv. Carte géolog. France*, n° 129, t. XXI, 1909-1910, 84 p., carte et pl., Paris, 1911). — *Id.* Les fronts glaciaires et les terrasses d'alluvions entre Lyon et la vallée de l'Isère (*Ann. de l'Université de Grenoble*, t. XXVIII, n° 1, 1916).

Dans les environs de Grenoble, de Chambéry et de Genève, on reconnaît en outre les traces d'un important *stationnement intra-alpin postwürmien*. Il avait reçu de M. P. Lory, pour les dépôts des environs de Grenoble, le nom de « Stade d'Eybens ». C'est ce que l'un de nous a appelé la *récurrence néowürmienne*¹, dont sont contemporains les *glaciers locaux* décrits dans le Vercors par P. Lory, Ch. Jacob et V. Pâquier, sur le versant nord de la chaîne de Belledonne par P. Lory, dans le massif de la Chartreuse par W. Kilian, dans le massif des Bauges par J. Révil et l'abbé P. Combaz et dans le Jura méridional (Gex) par M. W. Kilian. L'un de nous (W. K.) a insisté, dans diverses publications que nous mentionnerons plus bas, sur la généralité que présente dans les Alpes françaises cette récurrence glaciaire NÉOWURMIENNE confinée dans les vallées actuelles. Elle y est séparée de la glaciation würmienne par une importante phase de retrait analogue à celle qu'ont décrite MM. Penck et Brückner sous le nom de « Laufenschwankung » et postérieure à l'abandon par les glaciers des « seuils de débordement ».

A la récurrence néowürmienne succèdent les moraines de retrait de Vizille, d'Albertville, de La Roche-sur-Foron (Stade de Bühl) et enfin les moraines de nos vallées intra-alpines (Stades de Gschnitz et de Daun) dont M. Girardin a reconnu des traces très nettes en Maurienne et en Tarentaise et qui seront décrites de façon détaillée dans le cours de ce Mémoire².

¹ Voir W. Kilian, Sur les « seuils de débordement » glaciaires, etc. (*Bull. Soc. géol. de France*, 4^e série, t. XI, p. 20 (1911)).

² Nous adoptons *provisoirement* dans le présent travail la nomenclature suivante, bien que ses termes soient empruntés à des noms de localités étrangères à notre pays et parce qu'ils ont été pour la plupart nettement définis et rendus classiques par les travaux de MM. Penck et Brückner qui en ont établi la succession constante sur tout le pourtour de la chaîne alpine.

Nous distinguerons, en ce qui concerne les formations fluvio-glaciaires postérieures à l'époque calabrienne (Pliocène supérieur), dix groupements, à savoir :

1. Dépôts de la Glaciation Günzienne et cailloutis du Deckenschotter supérieur (niveau de 145 m. au dessus du Rhône).
2. Dépôts de la Glaciation Mindelienne et cailloutis du Deckenschotter inférieur (niveau de 90 à 100 m. au-dessus du Rhône actuel).

Nous avons rappelé, dans le chapitre consacré à l'histoire des questions glaciaires, que des vues nouvelles s'étaient fait jour récemment pour expliquer les phénomènes d'approfondissement et de remblaiement de nos vallées. D'après ces conceptions, les terrasses, qui résultent de ces stades de creusement, devraient être attribuées uniquement à des changements du niveau de base résultant des variations générales (eustatiques) du niveau de la Méditerranée. Une école opposée, celle de MM. Penck et Brückner, explique ces mêmes stades dans les vallées des Alpes par les avancées et les reculs des fronts glaciaires, c'est-à-dire par des phénomènes *d'amont*, au lieu d'invoquer une cause agissant à *l'aval*.

-
3. Dépôts de la Glaciation Rissienne et cailloutis des « hautes terrasses » de l'avant-pays (niveau de 55 à 60 m. au-dessus du Rhône).
 4. Dépôts de la Glaciation Néorissienne (Dépéret) et cailloutis des « moyennes terrasses » de l'avant-pays (niveau de 30 à 35 m. au-dessus du Rhône).
 5. Dépôts de la Glaciation Würmienne et cailloutis des « basses terrasses » des grandes vallées de l'avant-pays alpin (niveau de 15 à 22 m. au-dessus du Rhône).
 6. Dépôts de la Glaciation *néowürmienne* (Kilian) et cailloutis des hautes terrasses *intraalpines*.
 7. Dépôts du Stade (stationnement) de Bühl et cailloutis des moyennes terrasses *intraalpines*.
 8. Dépôts du Stade (stationnement) de Gschnitz et cailloutis des terrasses et cônes de déjections des *hautes vallées* alpines.
 9. Dépôts du Stade (stationnement) de Daun et cailloutis des basses terrasses et cônes de déjections des *hautes vallées* alpines.
 10. Dépôts des Stades historiques et actuels et alluvions dites « modernes ».

(M. Gignoux et l'un de nous (W. K.) ont montré que l'évaluation exacte de l'altitude des anciennes terrasses rhodaniennes au-dessus du niveau actuel du fleuve est assez délicate, car il faut tenir compte, dans ce calcul, de *la pente des nappes fluvio-glaciaires affluentes* et de *l'emplacement exact du thalweg rhodanien aux diverses époques*.)

Il serait désirable qu'une *classification générale* des dépôts pléistocènes et une subdivision rationnelle de cette importante et intéressante période, basée, non pas seulement sur les phénomènes glaciaires, mais aussi sur les mouvements eustatiques et épirogéniques, sur les cycles d'érosion qui en sont les conséquences, ainsi que sur les caractères paléontologiques et anthropologiques (industries préhistoriques), c'est-à-dire d'une valeur plus synthétique et *internationale*, soient proposées et adoptées dans un avenir prochain.

D'après M. E. Römer¹, un autre ordre de facteurs aurait également joué un rôle dans les phénomènes fluvio-glaciaires : des MOUVEMENTS ÉPIROGÉNIQUES auraient affecté nos massifs pendant les temps quaternaires. Ces déplacements se seraient accomplis *normalement* à la direction des couches et d'une façon en quelque sorte *ondulatoire*, changeant souvent de direction, d'intensité et d'amplitude verticale. D'autre part, l'évolution tectonique et morphologique des Alpes, ainsi que celle de leur avant-pays, se serait effectuée pendant le Pléistocène dans des directions différentes et probablement même opposées : en même temps que le pays alpin se tassait, l'avant-pays était troublé par des ondulations. Ces mouvements se constateraient dans les bassins de la Singine, de la Sarine, de la Broye et dans la région de la molasse subalpine de Savoie. Par contre, pendant (et probablement aussi immédiatement avant) les périodes glaciaires, des soulèvements se seraient manifestés, tandis que l'avant-pays aurait été alors le théâtre de phénomènes d'accumulation et de remblaiements. La cause des périodes glaciaires serait en relation avec ces *mouvements tectoniques*. Ces périodes paraîtraient pouvoir être considérées comme les preuves d'une évolution *locale* et non pas d'une évolution commune à toute la surface du globe. « J'ai constaté dans le bassin du Rhône, conclut l'auteur, *quatre cycles de soulèvement* qui correspondent à quatre invasions des glaces : les périodes interglaciaires étaient accompagnées par un abaissement en bloc des montagnes..... Le soulèvement achevé, quand les montagnes commençaient à se tasser, l'invasion des glaciers cessait. »

Ces conclusions, d'ailleurs malaisées à comprendre clairement, nous paraissent prématurées : elles ne s'appuient que sur des documents peu nombreux qui ne présentent pas toute la précision désirable. « Rien ne s'opposerait toutefois, écrivait

¹ *Bull. Soc. Vaudoise Sc. nat.* (mars 1911).

l'un de nous ¹, à ce que les mouvements des époques antérieures se soient continués pendant les temps quaternaires, mais on peut se demander s'ils ont eu l'ampleur nécessaire pour surélever ou abaisser des massifs entiers et, suivant les cas, raviver ou arrêter les actions érosives dans une mesure appréciable. C'est ce qui nous semble devoir nécessiter de nouvelles recherches et ce que M. Römer ne paraît pas avoir pleinement démontré. Quoi qu'il en soit, cet observateur a ouvert une voie qui peut être fertile en résultats intéressants. »

M. E. de Martonne, cherchant à expliquer l'origine du « cycle fluvio-glaciaire alpin » et des « épicycles fluviaux et glaciaires » en lesquels il se décompose, croit pouvoir déduire de son côté de la convergence vers l'aval des anciens thalwegs des vallées glaciaires, que l'origine du creusement doit être cherchée dans le soulèvement de la montagne. Il fait remarquer que l'intensité de ce creusement est en décroissance dans les épicycles récents et s'accorde avec la théorie suivant laquelle l'approfondissement des vallées serait dû surtout à des creusements fluviaux déterminés par des *mouvements du sol*.

Notre confrère appelle l'attention, dans le dernier chapitre de son Mémoire, sur les mouvements qui ont affecté les Alpes entre la fin du Pliocène et les débuts du Quaternaire. Au Pliocène moyen, les Alpes auraient traversé une phase d'érosion ralentie correspondant à un relief de maturité avancé. Les dépôts sub-alpins de cette époque sont formés, sur tout le pourtour des Alpes occidentales et méridionales, d'éléments fins correspondant à cette phase d'érosion. Avec les temps quaternaires l'érosion aurait repris une nouvelle vigueur due au soulèvement du « bloc montagneux » ; l'âge de ce dernier soulèvement remonterait à l'époque où commence le dépôt des plateaux du Bas-Dauphiné (Calabrien de M. Gignoux).

¹ J. Révil, Revue annuelle de Géologie (*Rev. gén. des Sciences*, numéro du 30 septembre 1911, p. 726).

Le même auteur a encore insisté sur le fait que c'est seulement après le Pliocène moyen (Astien) que les MOUVEMENTS DU SOL paraissent s'être produits dans les Alpes avec une certaine intensité, donnant ainsi naissance au « grand cycle d'érosion alpin » qui se décomposerait lui-même en « épicycles » par suite des arrêts momentanés du mouvement et, au bout d'un certain temps, par l'effet des glaciations successives. En outre, ajoute-t-il, tout permet de supposer que l'érosion a marché plus vite que le soulèvement; dans l'avant-pays se succédèrent des périodes de remblaiement et de creusement, tandis que dans les vallées alpines se produisait un approfondissement graduel avec des formes où la sculpture glaciaire alterne avec une morphologie due aux érosions torrentielles.

Il est intéressant de rappeler en outre ce qu'écrivait, il y a quelques années, l'un de nous (W. K.) dans un article consacré à *l'érosion glaciaire et à la formation des terrasses*¹ : « Il serait désirable qu'on apportât des observations précises qui permissent de discerner la part qu'ont eue dans l'histoire des vallées alpines deux ordres de phénomènes et de déterminer en particulier si les phases de creusement qui ont produit l'*emboîtement* des différents systèmes fluvio-glaciaires sont une conséquence directe du *retrait des glaciers*, ou si, malgré leur coïncidence apparente avec les phases interglaciaires alpines, elles sont déterminées par un *changement du niveau* des mers. Il serait également du plus grand intérêt de rechercher dans quelle mesure se maintient ou se modifie, dans les grandes vallées des Alpes et dans la portion extra-alpine des mêmes vallées, la différence de niveau (signalée par diverses observations dans les basses vallées) qui sépare entre elles les diverses terrasses; s'il n'y a pas, d'autre part, fusion vers l'aval de terrasses fluvio-glaciaires emboîtées vers l'amont, et, de l'autre, fusion vers l'amont de terrasses fluviales distinctes dans les basses vallées; si, dans le

¹ *La Géographie*, novembre 1906.

profil en long de ces vallées, il n'y a pas à distinguer des paliers occasionnant des tronçons distincts, dans chacun desquels le phénomène des terrasses (remblaiement) pourrait avoir *des causes différentes*, ou si des terrasses de différentes sections se correspondent entre elles et sont attribuables à *une cause unique.* »

Quelques réflexions paraissent encore s'imposer : il semble que, trop souvent, on ait perdu de vue que l'existence des terrasses de nos vallées a pour origine *deux ordres de phénomènes distincts* et que rien n'empêche de concevoir indépendants l'un de l'autre quant à leur cause, savoir : 1° des creusements ou approfondissements successifs du thalweg; 2° un remblaiement de ce thalweg par des matériaux fluviatiles ou fluvio-glaciaires.

Dans une même vallée fluviale, quelle que soit la cause qui en ait produit les approfondissements successifs, il peut, en outre, y avoir théoriquement deux sortes de terrasses :

1° Des terrasses de la partie *aval* dues à un remblaiement provoqué par l'état stationnaire ou la surélévation progressive du niveau de base. Ces terrasses sont celles auxquelles M. de Lamothe a spécialement consacré son attention (vallées de l'Isser, du Rhône, du Rhin et qui ont été décrites dans le bassin du Danube par MM. Schaffer, Sévastos, etc.); ces terrasses ont une tendance à se raccorder *vers l'amont*;

2° Des terrasses de la partie *amont* dues au remblaiement glaciaire (terrasses fluvio-glaciaires) causé soit par les déplacements du front glaciaire, soit par des mouvements épirogéniques des massifs montagneux. Ces dernières n'existent pas dans les vallées non alpines (Isser, par exemple); elles peuvent avoir, en raison du front glaciaire qui les alimente, des pentes plus ou moins fortes et se raccorder entre elles *vers l'aval*.

A ces considérations viennent en outre s'ajouter des résultats d'un autre ordre empruntés à l'étude du littoral méditerranéen :

sur les côtes de l'Italie méridionale se développent en effet des FORMATIONS MARINES PLIOCÈNES ET QUATERNAIRES qui se font remarquer par la richesse de leur faune et la variété des facies. M. Maurice Gignoux en a repris récemment l'étude et leur a consacré en 1913 une remarquable monographie publiée dans les *Annales de l'Université de Lyon*¹. Ses conclusions concordent avec celles qu'ont formulées M. Depéret pour les côtes françaises et avec celles du général de Lamothe pour les côtes de l'Algérie. M. Gignoux n'a pas craint d'aborder l'intéressant problème des mouvements relatifs des terres et des mers. On sait que ce problème comporte deux solutions. Dans la première (*théorie épirogénique*), le niveau de la mer est supposé fixe et invariable, les déplacements des lignes de rivages étant attribués à des soulèvements ou à des affaissements des continents. Dans la seconde (*théorie eustatique*), les masses continentales n'auraient pas bougé et les déplacements des lignes de rivages seraient dus à des oscillations d'ensemble du niveau marin. D'après notre confrère, les deux théories peuvent toutefois se concilier, chacune représentant une part de vérité.

En effet, « l'eustatisme » ne semble pouvoir s'appliquer, dit-il, à la fin de la période pliocène, la transgression pliocène sur nos côtes françaises n'a pas dépassé 200 mètres, tandis qu'en Calabre elle est de 1000 mètres et qu'en Algérie elle atteint 500 mètres. Des *mouvements propres du sol* ont donc dû intervenir.

Toutefois, un fait général indéniable doit être signalé : « c'est l'existence d'un certain rythme d'ensemble dans les déplacements des lignes de rivages. Sur la côte nord de la Sicile, on ne peut manquer d'être frappé par la continuité de la ligne de rivage sicilienne [Quaternaire ancien] à une altitude de 80 à 100 mètres ». Cette ligne se retrouve sur de grandes longueurs des côtes italiennes. Pour le Quaternaire récent, contenant la

¹ Maurice Gignoux, Les formations marines, pliocènes et quaternaires de l'Italie du Sud et de la Sicile (*Ann. Université de Lyon*, 1913).

faune à *Strombus bubonius*, il correspond à une mer dont les lignes de rivage ont de 15 à 35 mètres.

Les terrasses fluviales, elles aussi, montrent un rythme d'ensemble et les études poursuivies fournissent des résultats concordants.

Quoi qu'il en soit de la nature de ces mouvements, l'histoire des phases récentes de la Méditerranée occidentale peut se résumer ainsi : le Pliocène débute partout par une grande transgression qui amène la ligne de rivage à une altitude qui, dans la suite, ne sera pas dépassée, mais qui est *variable avec les diverses régions*. Postérieurement et jusqu'à l'époque actuelle s'est produit un *abaissement général des lignes de rivage* qu'interrompent des transgressions, momentanées mais d'amplitudes toujours décroissantes.

Il semble juste de faire remarquer que les glaciéristes alpins ont par trop négligé, dans les essais de synthèses qu'ils ont tenté d'établir, le rôle de ces déplacements du niveau de base; l'emboîtement des systèmes fluvio-glaciaires en contre-bas les uns des autres ne prouve pas, en effet, d'une façon absolue que le creusement ait eu pour *unique cause* la régression du front glaciaire. Par contre, relativement aux parties amont, rien ne semble s'opposer à ce que des moraines récentes soient venues se superposer à des systèmes glaciaires d'âge différent.

Nous sommes ainsi amenés à conclure que le creusement des vallées et la formation des terrasses qui en est la conséquence n'est pas *dû partout à la même cause* que le remblaiement : le premier a pu être motivé soit (et cela en particulier pour les vallées de l'avant-pays alpin) par des *déplacements du niveau marin*, soit, dans les parties amont, par un *déplacement du front glaciaire* ou encore par des *mouvements épirogéniques des massifs montagneux*, tandis que le second a pu être déterminé, tantôt par les apports de matériaux provenant des glaciers, tantôt par un alluvionnement normal dû au changement du niveau de base ou à des *affaissements des massifs de l'amont*. On peut,

dès lors, se demander, d'autre part, si les oscillations marines, et notamment celles qui consistent en abaissement de niveaux, ont été concomitantes des actions qui ont amené les affaissements ou les soulèvements épirogéniques des massifs montagneux et si l'on doit admettre une coïncidence¹ chronologique quelconque entre elles et le phénomène des glaciations?? « L'on « arrive ainsi à une manière d'envisager la question bien différente de celle qui, à la suite de M. Penck, a été appliquée « d'abord aux études de détail dans le Glaciaire du Bas-Dauphiné : les *différenciations des stades glaciaires* dans l'avant-pays, au lieu de nous sembler liées aux avances et aux reculs des Glaciers, c'est-à-dire à des *phénomènes d'amont*, nous apparaissent comme dues à des alternatives d'érosion ou de remblaiement, c'est-à-dire à des phénomènes dont la cause est *en aval*. Si l'on ne prenait pas, comme point de départ, les terrasses rhodaniennes, puis les « cônes de transition » qui y aboutissent et qu'on peut suivre jusqu'aux moraines, il est donc bien probable qu'on ne pourrait jamais arriver à la distinction de stades glaciaires bien nets. »

Quoi qu'il en soit, les considérations qui précèdent montrent nettement que le problème est complexe et que les facteurs qu'il comporte sont encore loin d'être exactement appréciés dans leur valeur relative, le rôle que chacun d'eux a joué n'ayant pas été suffisamment établi dans chaque cas particulier.

¹ Kilian et Gignoux, *loc. cit.*, p. 12 (*Annales de l'Univ. de Grenoble*, t. XXVIII, n° 1).

III. — L'AVANT-PAYS ALPIN

Bien que ne faisant pas en réalité partie des Alpes, l' « avant-pays alpin », c'est-à-dire le pays de plaines, de collines et de plateaux qui s'étend sur la rive gauche du Rhône de Bourg à Valence, mérite d'être étudié ici, car l'histoire des terrains qui s'y développent se rattache intimement, pendant les temps quaternaires, à celle de notre grande chaîne européenne. En effet, les formations alluviales qui constituent en grande partie le sous-sol de ces plaines et plateaux proviennent des cours d'eau et des glaciers sortant de nos massifs, et les diverses phases d'alluvionnement qu'elles représentent ne peuvent être séparées ni de l'évolution des agents d'érosion qui leur ont donné naissance, ni de l'histoire des glaciers qui ont fourni les matériaux de ces dépôts.

Nous avons rappelé plus haut que M. Penck a, le premier, affirmé de façon nette l'existence dans notre région de dépôts dus à plusieurs glaciations. Cet auteur reconnaît toutefois que l'aperçu qu'il a fourni des formations fluvio-glaciaires du bassin du Rhône ne s'appuie pas sur un ensemble d'observations personnelles comparables à celles qu'il a faites dans le bassin du Danube. « J'ai dû me borner, écrit-il, à faire connaître des résultats — ou parfois seulement des impressions — réunis au cours de quelques excursions qui ont pu, il est vrai, être rattachés aux précieuses indications de la Carte géologique détaillée et qui m'ont été d'ailleurs facilités par l'accueil amical des géologues français ¹. » Dans le bassin du Rhône, ajoute-t-il, apparaissent *quatre terrasses distinctes* d'alluvions qui sont toutes plus récentes que les couches pliocènes les plus jeunes de la

¹ Les Alpes françaises à l'époque glaciaire (traduction Schaudel) (*Bull. Soc. Hist. nat. de Savoie*, 2^e série, t. XI, p. 178, et *Travaux du Labor. de Géolog. de Grenoble*, t. VIII).

région. Il avoue, toutefois, qu'il est souvent difficile de séparer nettement les uns des autres les dépôts du Pliocène de ceux du Quaternaire et qu'une distinction tout à fait satisfaisante des deux complexes ne lui a pas été possible. Par contre, dans le Bas-Dauphiné¹, la séparation est plus nette, le Pliocène couronnant des hauteurs, tandis que les pentes présentent des gradins formés de dépôts roulés (alluvions) contemporains de l'époque glaciaire.

Quoique très suggestives, les observations du savant glaciériste, dans tout le détail desquelles nous ne pouvons entrer ici, étaient encore trop imprécises et laissaient trop de questions en suspens pour ne pas nécessiter de nouvelles recherches; elles constituaient surtout un remarquable essai de synthèse et en quelque sorte un *programme* appelant le contrôle de nouveaux travaux. Ces derniers n'ont pas tardé à être réalisés et consignés dans de nombreux mémoires qui sont dus, pour la région lyonnaise à MM. Depéret et Doncieux, pour les environs de Belley à MM. Gignoux et Combaz, et pour la région dauphinoise à MM. Kilian et Gignoux. Ce sont les recherches de ces auteurs qui serviront de base à cet exposé; une mention est due cependant aux descriptions purement morphologiques publiées par M. le professeur Raoul Blanchard et par plusieurs de ses élèves sur divers points de la région, bien que ces auteurs semblent avoir systématiquement négligé d'aborder les questions géologiques, cependant indispensables à la compréhension complète et *rationnelle* de la *géomorphologie* et de l'histoire des temps quaternaires.

Nous terminerons en consacrant quelques pages à un très important mémoire du général de Lamothe sur les terrasses du Rhône et de l'Isère dans la région de Valence et à une notice de M. Roman sur les terrasses rhodaniennes développées sur les territoires des feuilles d'Orange et d'Avignon de la Carte géolo-

¹ M. Penck a été accompagné dans cette région par l'un de nous (W. K.), qui avait déjà publié (1893-1911) un certain nombre de notes diverses sur les dépôts fluvio glaciaires du Dauphiné (in *C. R. Collab. Carte géolog. de France*).

gique détaillée au 80.000^e et concernant une région où ces terrasses sont nettement fluviales et manifestement en dehors de toute influence glaciaire¹.

1° REGION LYONNAISE

Aux environs de Lyon, la vallée du Rhône se fait remarquer par la variété des terrains de transport d'âge récent qui s'y développent et recouvrent presque partout un substratum de terrains néogènes et plus anciens.

M. Depéret² en a récemment repris l'étude détaillée; il est arrivé à d'importantes conclusions. En remontant des temps pliocènes à l'époque actuelle, ce savant a pu reconnaître les formations suivantes :

I. — ALLUVIONS PLIOÈNES. — Les alluvions de la fin du Pliocène consistent en trois terrasses de graviers étagées, répondant à des temps d'arrêt dans le creusement progressif de la vallée :

1° *Terrasse* de 215 mètres (au-dessus du Rhône), dont les principaux lambeaux se rencontrent sur la rive droite du fleuve à Montagny et au-dessus de Sainte-Colombe (360 m.), ainsi que sur la rive gauche au télégraphe de Seyssuel (357 m.).

2° *Terrasse* de 140-155 mètres. Sur le plateau gneissique lyonnais existe une terrasse alpine qui atteint à Champagne, à Marcy-l'Etoile, à Craponne l'altitude maximum de 307 mètres, soit environ 145 mètres au-dessus du Rhône actuel.

3° *Terrasse* de 120-125 mètres. Elle couvre le plateau de la Dombes, sous une couverture glaciaire, aux altitudes de 294 mètres à Beynost, 290 mètres à Saint-Maurice-de-Beynost, 285 mè-

¹ Nous ne mentionnerons ici que pour mémoire les données fournies par M. Assada (*C. R. Acad. des Sc.*, t. XLV, p. 1196, 1912) et D. Faucher (*Recueil Trav. Inst. Géogr. alpine Univ. de Grenoble*, t. II, p. 179, Grenoble, 1913) sur les terrasses lyonnaises et valentinoises qui n'ont qu'un intérêt morphologique local et n'ont aucune signification géologique.

² Ch. Depéret, L'histoire fluviale et glaciaire de la vallée du Rhône aux environs de Lyon (*C. R. Acad. des Sc.*, t. CLVII, p. 532 et p. 564, 1913).

tres à Mas-Rillier. Elle traverse la Saône, passant au pied du Mont Ceindre pour former les plateaux de la Duchère, de Saint-Genis-Laval, etc., etc. D'origine purement fluviale, ces terrasses dessinent d'anciens cours du Rhône qui empiétait alors sur le Plateau Central¹.

II. — ALLUVIONS QUATERNAIRES. — Le Quaternaire débute par une période de remblaiement qui édifie une *haute terrasse* de graviers gris dominant de 95 mètres le thalweg actuel. Elle se suit par la cluse de l'Albarine à Ambérieu jusqu'à La Valbonne.

Le cours de ce Rhône quaternaire suivait à peu près le tracé du fleuve actuel. En effet, il s'agit encore d'une terrasse fluviale indépendante de l'intervention glaciaire.

M. Depéret en conclut « qu'à l'époque où le glacier *rissien* a atteint Lyon, la haute terrasse non seulement existait déjà, mais avait été ravinée presque jusqu'au niveau du Rhône actuel par des érosions corrélatives d'un fort abaissement du niveau de base ».

La question de savoir si ces cailloutis de la « haute terrasse » sont contemporains des glaciations Günzienne et Mindelienne signalées par les auteurs dans d'autres régions subalpines n'a pas été envisagée par M. Depéret².

III. — PREMIÈRE GLACIATION : MORAINES RISSIENNES ET TERRASSES DE 55 ET 60 MÈTRES. — Le glacier rissien (3^e Glaciation de M. Penck) s'est étalé sur les plaines de la Bresse et de la Dombes, puis, franchissant le Rhône, s'est établi sur les terrasses de la rive droite.

En se retirant, il a abandonné une épaisse *moraine de fond* qui a recouvert la plaine actuelle du Rhône, le plateau de la Dombes et les collines du Bas-Dauphiné. Elle a été découpée postérieurement par les érosions würmiennes en une série de

¹ Il se peut que ces cailloutis représentent le « Deckenschotter supérieur » de M. Penck et doivent être rattachés au Pléistocène le plus ancien (W. K.).

² Cette terrasse de 95 mètres correspond sans doute à la terrasse de 104 mètres distinguée par M. de Lamothe dans le Valentinois.

collines allongées; à cette époque, écrit le savant professeur de Lyon, *la source du Rhône était aux moraines des Echets*; les moraines rissiennes se relieut à une TERRASSE DE 60 MÈTRES au-dessus du Rhône actuel (« *terrasse moyenne* » quaternaire).

IV. — DEUXIÈME GLACIATION (4° GLACIATION DE M. PENCK) : MORAINES INTERMÉDIAIRES OU NÉORISSIENNES ET TERRASSE DE 30 MÈTRES. — Entre le front des moraines rissiennes et l'amphithéâtre des moraines plus récentes (würmiennes) s'observent les traces très nettes, mais très morcelées, d'un stationnement glaciaire, *non encore distingué jusqu'à ce jour*, que notre éminent confrère désigne sous le nom de « *glaciation néorissienne* ». Il y a lieu de se demander avec M. Depéret si cette glaciation est vraiment indépendante ou si elle ne doit pas être simplement considérée comme un simple stade de recul de la glaciation rissienne. Cette seconde solution ne paraît pas admissible, car il s'est produit entre les deux stationnements un creusement de la vallée. Il paraît donc plus simple de voir dans les moraines néorissiennes les traces d'une nouvelle avancée glaciaire qui se serait étendue au delà des limites attribuées au glacier würmien que nous allons étudier.

V. — TROISIÈME GLACIATION (5° GLACIATION DE M. PENCK) : MORAINES WÜRMIENNES ET TERRASSE DE 15-18 MÈTRES. — Un amphithéâtre morainique frontal très net, datant de cette glaciation, se suit à partir de Saint-Jean-de-Niost et Saint-Maurice-de-Gourdan, sur la rive droite du Rhône, et se poursuit dans la plaine du Bas-Dauphiné par Janneyrias, Colombier, Grenay, Saint-Quentin, Diémoz et Artas. De ce rempart se détachent des *nappes alluviales* qui aboutissent au Rhône pour former la *terrasse de Villeurbanne*. En arrière de la moraine frontale se sont édifiées des moraines de retrait donnant, elles aussi, naissance à des terrasses de gravier.

Depuis le retrait du glacier würmien, le creusement de la vallée du Rhône n'a été que d'environ 15 mètres; aucune terrasse n'indique un arrêt dans l'intervalle de ce creusement.

— M. L. Doncieux¹ s'est également occupé des alluvions de la région lyonnaise et est arrivé à d'importants résultats qui complètent très heureusement ceux de M. Depéret.

1° Il a rencontré des alluvions quaternaires correspondant à la *terrasse de 95 mètres* entre Saint-Fons et Sérézin, le long des Balmes qui dominant à l'Est la vallée du Rhône. Il les a encore observées au Sud de Sérézin, près Crapon, ainsi que sur le flanc nord de la vallée de l'Ozon, entre Sérézin et Saint-Symphorien-d'Ozon. A cette « haute terrasse » quaternaire se relient les *alluvions grises* qui affleurent à la base des collines de Toussieu-Mions, de Chassieu-Genas-Meyzieu, de Pusignan et de la croupe allant de Bron à Grenay. Elles se montrent encore à l'Ouest de la Fouillouse (Sud-Est de Saint-Priest), sur près de 500 mètres de long. Enfin, des lambeaux plus importants existent dans les vallées de la Seveines et de la Véronne.

Le glacier *rissien* s'est étalé sur les hauteurs de la rive droite du Rhône jusqu'au Nord de Givors; il a traversé le fleuve au niveau de Grigny et Ternay. Toutefois, entre Chasse et Pont-Evêque (Mont-Plaisir), son front se montre peu distinct du front *néorissien* et les deux glaciers semblent avoir eu la même extension.

2° A la moraine de fond *néorissienne* doit être attribué, en outre, tout le Glaciaire compris entre la moraine frontale würmienne à l'Est et le Rhône à l'Ouest. Tous les reliefs isolés, écrit notre confrère, et découpés dans la haute terrasse par les érosions würmiennes, ainsi que les plateaux prolongés au Nord par le plateau de Saint-Symphorien à Saint-Fons, sont recouverts d'un manteau de Glaciaire, le plus souvent altéré et « ferrétisé ». La moraine frontale du glacier néorissien suit le bord de l'escarpement de Saint-Fons à Solaise, et au Sud de Sérézin

¹ L. Doncieux, Révision de la feuille de Lyon au 80.000^e (*Bull. Serv. Carte géol. France*, t. XXIII, p. 100, 1914). (*Id.*, campagne 1912; *id.*, campagne 1911).

donne naissance à une *terrasse de 28 mètres*. A Ternay et à Communay s'en échappe, au niveau de Morzes, un cône de transition qui aboutit, près de la gare de Chasse, à une *terrasse de 30 mètres*.

3° Entre Heyrieux et Meyzieu se développe la *moraine frontale würmienne*, dont le trajet est très sinueux entre la première de ces localités et Janneyrias. En montant au village de Grenay on observe nettement un contact entre des moraines nécorissienne (moraine de fond) et würmienne (moraine frontale).

Incurvé en demi-cercle entre Satolas et Saint-Quentin, l'*amphithéâtre morainique würmien* domine de 35 à 80 mètres la cuvette terminale où coule la Bourbre. Par contre, du côté externe du vallum, on passe *insensiblement*, par l'intermédiaire du cône de transition, à une nappe de graviers qui se poursuit jusqu'au Rhône, constituant la basse terrasse ou « *terrasse de Villeurbanne* ».

De leur côté, MM. Maurice Gignoux et l'abbé Paul Combaz ont repris l'étude des dépôts quaternaires de la région de Belley et sont arrivés, eux aussi, à d'importants résultats qui confirment les données des deux professeurs de Lyon et de Grenoble¹ et de leurs élèves. Nos confrères ont reconnu trois STADES DE RETRAIT du glacier alpin qui avait recouvert alors la région. Ces stades viennent se placer entre la glaciation *würmienne* (stade de Lagnieu de M. Depéret) et la glaciation *néowürmienne* (stade de Collonges - Fort l'Ecluse de Kilian) :

I. — A l'entrée de la gorge des Hôpitaux, c'est-à-dire de la cluse qui s'étend de Virieu-le-Grand à Ambérieu², se dévelop-

¹ M. Gignoux et P. Combaz, Sur l'histoire des dernières glaciations rhodaniennes dans le bassin de Belley (*C. R. Ac. des Sc.*, t. CLVIII, p. 1536, 1914). — M. Gignoux, Le Quaternaire de la région de Belley (*Bull. Serv. Carte géol. de France*, t. XIII, p. 109, 1914).

² Voir au sujet de cette cluse les observations de MM. Depéret et Kilian dans *Bull. Carte géol. France*, t. X, p. 540-541.

pent des barrages morainiques d'une certaine importance. De beaux *vallums* se montrent à l'entrée de la cluse entre Rossillon et Contrevoz. Les formes topographiques correspondent à un retrait du glacier, à un moment où il ne pénétrait plus dans la cluse elle-même.

Au même stade correspondent des traces glaciaires qui s'observent, à l'entrée du Valromey, entre les villages de Belmont et de Chavornay. Près du premier de ces villages se montrent un vallum, puis une série d'autres qui barrent transversalement la direction des cours d'eau.

Un autre stationnement glaciaire se retrouve dans la dépression suivie par le chemin de fer entre le Mont de Cordon et la montagne d'Izeu. Le lac de Pulvis (12 m. de profondeur) présente les caractères d'un lac de « cuvette terminale ». Il est dominé par des moraines qui, à l'aval, passent à une terrasse fluvio-glaciaire. Elle se suit le long du Rhône jusqu'à Brégnier, dominant le fleuve de 10 à 15 mètres.

Ce stade peut être désigné sous le nom de stade de *Brégnier - Cordon* ou de *Virieu - Rossillon*, car il marque l'abandon par les glaces de la cluse des Hôpitaux et du Valromey.

II. — Une phase ultérieure correspond à une époque où le glacier avait abandonné les plateaux et restait confiné dans les vallées qui les découpent. L'un de nous (W. K.) avait attiré l'attention sur cette phase et sur la possibilité d'un stationnement glaciaire à la sortie des cluses de Pierre-Châtel (Virignin) et du lac de Barre. Ce stade, probablement le dernier pendant lequel le glacier du Rhône ait pénétré dans le bassin de Belley, devait remplir la cuvette d'Artemare - Cerveyrieu. A ce stade, qui peut être appelé *stade de Virignin - Belley*, se rapportent le vallum de Nattages et les replats morainiques des collines entre Creyssin - Rochefort et Ceyzérieu.

III. — Une phase plus récente encore correspond à l'abandon par les glaces des cluses du lac de Barre et de Pierre-Châtel. La langue glaciaire restait confinée dans les environs de Culoz

(marais de Lavours). A ce *stade de Charbonnod*, près Massignieu, correspondent les terrasses d'Artemare et de Talissieu.

Il y a lieu de mentionner ici, bien qu'elles sortent des limites de la région envisagée dans le présent travail, les recherches de M. Mazeran¹ sur les terrains quaternaires de la rive droite de la Saône. *Quatre systèmes* de terrasses, d'âge quaternaire, ont pu y être distingués.

Dans la région comprise entre la Turdine, la Brévenne et l'Azergues se développe le *système le plus ancien* à l'altitude moyenne de 85-90 mètres au-dessus des thalwegs actuels. Cette terrasse supporte le village de Saint-Germain et les hameaux des Guérets et de Boyeu².

Un système de terrasses, datant de la *glaciation rissienne*, est de beaucoup le plus développé dans la région, surtout dans la vallée de la Brévenne, qui aurait joué le rôle de cours d'eau principal.

Une terrasse *néorissienne* se développe sur les deux rives de l'Azergues, à l'*altitude moyenne de 30 mètres* au-dessus du lit de la rivière.

Enfin, un système de *terrasses würmiennes* existe dans la vallée de la Brévenne où n'ont été observés que deux lambeaux très restreints : l'un, très démantelé, à l'Ouest de L'Arbresle, dominant le thalweg de 11 mètres, l'autre au Pont de Dorieu, dont le bord est à 20 mètres du niveau Brévenne-Azergues.

2° REGION DAUPHINOISE (BAS-DAUPHINE)

Le Bas-Dauphiné, c'est-à-dire la région de plaines et de plateaux qui s'étend des premières chaînes subalpines à la vallée

¹ Mazeran, Feuille de Lyon au 80.000^e et au 320.000^e (*Bull. Serv. Carte géol. France*, t. XXIII, p. 114, 1914).

² Ces dépôts appartiennent sans doute au Pléistocène ancien (« Gûntz-Mindel »).

du Rhône, entre Valence (Drôme) et Saint-Rambert-d'Albon, est actuellement bien connu, grâce aux nombreux travaux que leur ont consacrés les géologues de l'école de Grenoble : MM. le professeur W. Kilian, Maurice Gignoux¹, Edmond Hitzel, Raoul Blanchard, A. Boissieux.

Les données recueillies par l'un de nous (W. K.), avec la collaboration de M. Gignoux, concordent remarquablement avec celles qu'ont publiées nos confrères de Lyon ; elles concordent également, comme nous le verrons plus loin, et *si l'on tient compte de certaines corrections nécessitées par les déplacements anciens du Rhône fluvio-glaciaire*, avec les conclusions du général de Lamothe pour la région valentinoise.

Grâce à toutes ces recherches, il est possible de retracer assez exactement l'histoire de cette partie du bassin du Rhône pendant les temps quaternaires et la rattacher à celle de la région méditerranéenne que des travaux, non moins nombreux et importants, ont récemment élucidée.

— Dans le Bas-Dauphiné existent des dépôts alluviaux formés antérieurement aux plus anciennes extensions glaciaires connues. On peut y distinguer une grande nappe de cailloutis attribuable au Pliocène supérieur, puis des alluvions plus récentes, d'âge probablement quaternaire (pléistocène) ancien.

I. — ALLUVIONS DU PLIOCÈNE SUPÉRIEUR (CALABRIEN). — Les points culminants de la région du Bas-Dauphiné constituent les restes d'un *immense plateau*, sorte de plan incliné qui s'éten-

¹ W. Kilian et M. Gignoux, Les niveaux de cailloutis et les terrasses de Saint-Rambert-d'Albon (Drôme) et de Beaurepaire (Isère) (*C. R. Acad. des Sc.*, t. CLJ, 5 décembre 1910).

Id., Les terrasses fluvio-glaciaires de la Bièvre et de la Basse-Isère (*ibid.*, 12 décembre 1910).

Id., Essai de coordination des niveaux de cailloutis et des terrasses du Bas-Dauphiné (*ibid.*, 27 décembre 1910).

Id., Les formations fluvio-glaciaires du Bas-Dauphiné (*Bull. Serv. Carte géol. France*, t. XXI, 1911, n° 129).

Id., Les fronts glaciaires et les terrasses d'alluvions entre Lyon et la vallée de l'Isère (*Ann. de l'Univ. de Grenoble*, t. XXVIII, n° 1, 1916).

dait autrefois d'une coulée continue des Alpes au Rhône et dont les forêts de Bonnevaux et de Chambaran représentent deux fragments bien nets s'élevant au Nord et au Sud de la Bièvre-Valloire. Il s'agit là d'une ancienne plaine alluviale d'âge pliocène supérieur (Calabrien); à Chambaran et à la Digonne, la surface de ce plateau est recouverte par des *cailloutis de quartzites* roulés, « emballés » dans une terre argileuse rougeâtre; ce sont de véritables alluvions « appauvries »; on retrouve d'ailleurs sur les flancs du Massif central des cailloutis tout à fait analogues à ceux de Chambaran.

Antérieurs au creusement des vallées, ces plateaux de Chambaran et de Bonnevaux « témoignent de l'altitude maximum atteinte par le niveau de base dans la vallée du Rhône depuis le Pliocène inférieur ». L'analogie de ces cailloutis des plateaux avec les Gravieres du Sundgau est remarquable et ne peut laisser de doute; ces derniers ont été affectés, d'après M. Brückner, de *mouvements épirogéniques préquaternaires* et il pourrait bien en avoir été de même des cailloutis de Chambaran. Ajoutons que des dispositions stratigraphiques analogues s'observent sur tout le pourtour des Alpes et que, d'après M. Gignoux, l'étude du Pliocène et du Quaternaire marin conduit à des conclusions semblables : la fin du Pliocène (Calabrien de M. Gignoux) correspond manifestement à une *altitude maximum du niveau de base*.

II. — ALLUVIONS QUATERNAIRES ANCIENNES. — Ainsi que nous l'avons déjà dit, on ne connaît, dans les Alpes françaises, AUCUNE TRACE DES DEUX PREMIÈRES GLACIATIONS (Güntz et Mindel) des géologues austro-allemands. Par contre, on rencontre, en différents points, des traces de *cailloutis* plus anciens que les terrasses et moraines rissiennes, mais plus récents que les alluvions du Pliocène supérieur et qui se présentent en contre-bas de ces derniers. Entre les quartzites roulés du Pliocène supérieur et la terrasse rissienne affleure souvent le Miocène, et sur ce Miocène s'observent, à des hauteurs diverses, des replats portant des galets de quartzite. Ces cailloutis, le plus souvent étalés

sur le Miocène à des altitudes variables, constituent aussi des plaines alluviales d'une certaine étendue (ex. : plateaux de Roussillon - Auberive à 260 mètres et de Chonas à 320 mètres près de Condrieu, et diverses terrasses des environs de Saint-Marcellin, de Vatilieu, etc.) indiquées soit par le général de Lamothe, soit par l'un de nous ¹. Nous sommes disposés à y voir les représentants du Quaternaire le plus ancien (*Sicilien* de M. Gignoux).

Les cailloutis anciens du Bas-Dauphiné se raccordent à *des replats entaillés sur la rive droite du Rhône*, sur les pentes du Massif central (régions de Pélussin, Châteaubourg, Tournon et environs de Cornas), à 150, 180 et jusqu'à 300 mètres au-dessus du Rhône.

Il y a donc lieu de retenir, pour le Bas-Dauphiné comme pour le Lyonnais, l'existence de ces traces de creusement et d'alluvionnements successifs dans une période comprise entre le Pliocène supérieur et la terrasse rissienne et qui montrent que, dans nos régions, le Quaternaire débute par des creusements intenses.

III. — TERRASSES ET MORAINES PLÉISTOCÈNES DE LA BIÈVRE-VALLOIRE. — Au sortir des chaînes subalpines, le glacier de l'Isère débouchait dans le bassin de Moirans, vaste « *dépression centrale* », actuellement comblée par des alluvions modernes. Deux bras s'en détachaient : l'un suivant le cours actuel de l'Isère, l'autre s'engageant dans la dépression de la Bièvre - Valloire, aujourd'hui transformée en « vallée morte ». Dans cette dernière s'observent les traces de la plus ancienne glaciation connue dans notre région (*Glaciation rissienne*); elles constituent le rempart morainique de *Faramans - Beaufort - Thodure* qui barre transversalement la vallée de la Bièvre. En amont de ce rempart morainique, on en rencontre un autre de beaucoup postérieur : ce

¹ W. Kilian, *C. R. des Collab. (Bull. Serv. Carte géol. de Fr., t. XII, n° 85, 1900-1901)*.

sont les *moraines de Rives* qui, d'une part, s'élèvent de quelques mètres au-dessus de la plaine de la Bièvre qui vient se raccorder à elles et, de l'autre, dominant de près de 300 mètres le fond du bassin de Moirans. Ces moraines marquent la fin de l'occupation de la Bièvre par les courants fluvio-glaciaires. En effet, le fond plat de la vallée de Bièvre - Valloire, « vallée morte » où ne circule aujourd'hui plus aucun cours d'eau important, constitue en réalité « une basse terrasse » qui se termine vers le Rhône par un abrupt dominant le thalweg actuel. Cette nappe (würmienne) a été désignée par MM. Kilian et Gignoux sous le nom de *terrasse de Saint-Rambert*. En amont, elle se relie aux *vallums* morainiques qui dominent la gare de Rives, à l'Ouest. Les vallums sont d'ailleurs multiples entre Miplaine et cette gare; il serait oiseux de les décrire en détail ici¹.

Revenons aux environs de Beaurepaire pour étudier les cailloutis *antérieurs à la terrasse de Saint-Rambert-d'Albon* et qui forment un abrupt auquel est adossée la petite ville de Beaurepaire. Cet abrupt est constitué par des alluvions antéwürmiennes que MM. Kilian et Gignoux ont appelées *terrasses de la Peyrouse* et qu'ils rattachent à la glaciation néorissienne. Au-dessus de cette terrasse en existe une autre, plus ancienne encore, la *terrasse de Tourdan* (correspondant à la *glaciation rissienne*) qui, elle, se rattache aux moraines de Faramans-Thodore, tandis que celle de la Peyrouse continue les moraines de La Côte-Saint-André. Cette dernière se montre donc nettement « enserrée » entre la terrasse rissienne de Tourdan, qui correspond aux moraines de Faramans, et la terrasse würmienne de Saint-Rambert qui provient des moraines de Rives; nous la considérons donc comme NÉORISSIENNE. De plus, il existe encore d'autres preuves d'un stationnement néorissien à une époque où

¹ D'après M. R. Blanchard, les moraines frontales de ce que l'un de nous a appelé le « Stade de Rives » seraient, à l'entrée de la plaine de la Bièvre, au nombre de six.

le glacier s'avancait en aval de Rives : ce sont les collines morainiques observées par le capitaine Hitzel, entre la Côte-Saint-André et Le Grand-Lemps, ainsi que les moraines latérales du versant ouest d'Izeaux, dont les vallums contournent la montagne de Parménie bien au-dessus, à un niveau supérieur à celui des moraines würmiennes de Rives.

Les terrasses de la Bièvre - Valloire, que nous venons d'étudier, se rattachent dans les environs de Saint-Rambert-d'Albon aux terrasses rhodaniennes. La terrasse (würmienne) de Saint-Rambert se suit sans interruption jusqu'aux environs d'Andancette, où elle domine le Rhône de 25 mètres. Plus au Sud, à Offorel, des cailloutis forment un seuil (altitude 150 m.) où se reconnaît un prolongement de la même terrasse. Enfin au Sud de Tain, M. Depéret a encore constaté l'existence d'une terrasse à 25 mètres au-dessus du fleuve et qui, pour nous, prolonge également celle de Saint-Rambert.

Quant aux terrasses plus élevées, elles ne suivent plus aussi facilement, et les parallélismes, comme nous le verrons plus loin, ne peuvent s'établir que par les évaluations altimétriques précises.

IV. — TERRASSES DE LA BASSE-ISÈRE ENTRE VALENCE ET SAINT-MARCELLIN. — Dans la Basse-Isère, il est possible de distinguer deux régions, au point de vue de la disposition des terrasses fluvio-glaciaires : dans la partie aval se développent *trois terrasses* (terrasse de Romans (würmienne), terrasse du séminaire de Valence (néorissienne), terrasse de Foullouse (rissienne) de M. Depéret). Ces terrasses se continuent de façon bien nette, et leurs pentes sont sensiblement parallèles à celles de l'Isère actuelle. C'est la ZONE DES TERRASSES RÉGULIÈRES de MM. Kilian et Gignoux. Plus en amont, les influences glaciaires se font sentir plus nettement et on arrive à la ZONE DES CÔNES DE TRANSITION FLUVIO-GLACIAIRES. Toutefois, en passant d'une zone à l'autre et en traversant le défilé de Saint-Lattier, la plupart de ces terrasses subissent une interruption ; seule la terrasse (würmienne) de Romans fait exception et constitue ainsi un repère précieux.

Entre « Pont-de-l'Isère » et la région de Tèche - Rovon, cette terrasse se poursuit d'une *manière continue* sans qu'il soit nécessaire d'établir des raccordements hypothétiques. Sa pente est régulière et son altitude relative au-dessus de l'Isère augmente légèrement vers l'amont.

Quant aux terrasses plus anciennes, bien que les raccordements soient plus difficiles, MM. Kilian et Gignoux ont pu arriver à des conclusions assez précises par l'étude simultanée des moraines et des terrasses qui leur correspondent.

1° Les traces de la glaciation rissienne ne sont représentées le plus souvent que par des amas de blocs erratiques et ne donnant pas lieu à la disposition en *vallums*. Ces formations glaciaires élevées ont été signalées par Ch. Lory autour du signal de Morsonnas et par l'un de nous (W. K.) sur le sommet de la colline de Parménie (734 m.), ainsi qu'au-dessus de Renage et de Beacroissant et à la Bergeraudière.

A cette extension glaciaire *correspond la terrasse la plus élevée que l'on puisse reconnaître dans la région*, terrasse que l'on peut suivre nettement à Notre-Dame-de-l'Osier, au Château de Saint-Marcellin, le Pinée, les Reynauds et qui s'arrête à Saint-Lattier. On doit en voir le prolongement dans la terrasse de Foulouse. « En effet, puisque la nappe de Foulouse correspond à « la haute terrasse » de la Bièvre, il est nécessaire qu'elle corresponde à la « haute terrasse » de la Basse-Isère. »

2° La terrasse de la Basse-Isère, qui se montre immédiatement inférieure à la haute terrasse que nous venons d'étudier est celle que l'un de nous a appelée « terrasse de Saint-Marcellin ». Elle se prolonge sans interruptions jusqu'un peu au delà de Saint-Hilaire, et un dernier lambeau s'en retrouve tout près de Saint-Lattier (le Fayet). Vers l'amont, elle se retrouve dans les collines à l'Est de Vinay. Une branche latérale s'en détachait, à partir de cette dernière localité, pour s'engager dans la vallée étroite conduisant à Notre-Dame-de-l'Osier, où elle est bien visible, en contre-bas de la « haute terrasse » plus ancienne. Elle vient ensuite former le fond plat du vallon, qui aboutit au Nord-

Est du château de Cumane; elle s'y raccorde avec des moraines signalées pour la première fois par MM. Depéret et Kilian.

Ces moraines sont d'âge *néorissien*; la moraine de ce glacier a laissé des traces entre Chantesse et Rives sur les flancs du plateau de Chambaran. Ce sont les replats morainiques signalés par M. Gignoux et par l'un de nous à Fugères, au Nord de Cras, sur les versants ouest du signal de Morsonnas et de la montagne de Parménie.

Une chose paraît certaine, c'est que les terrasses qui sortent des moraines qui marquent dans la Bièvre et dans la Basse-Isère le front glaciaire *néorissien* doivent être contemporaines. « Donc la terrasse de Saint-Marcellin est du même âge que celle de la Peyrouse; et comme cette dernière se retrouve à Valence dans la terrasse du Séminaire, nous sommes donc nécessairement amenés à raccorder la terrasse de Saint-Marcellin à celle du Séminaire de Valence¹ », que nous rapportons au *Néorissien* de M. Depéret.

3° En contre-bas se trouve la terrasse *würmienne* de Têche-Romans (v. plus haut).

— En résumé, on peut suivre dans la Basse-Isère *trois terrasses* qui sont le prolongement des *trois terrasses* de Valence. L'observation montre toutefois que, dans la « zone des cônes de transition fluvio-glaciaires », il en existe d'autres, « et nous sommes ainsi conduits à penser que ces TERRASSES SURNUMÉRAIRES de la Basse-Isère sont des nappes « subordonnées » qui, avant d'atteindre la ville de Valence, viennent *se fusionner* chacune avec une des trois terrasses de Valence² ». Ces conclusions sont établies par les études de détail consignées dans le Mémoire

¹ Kilian et Gignoux, *loc. cit.*

² *Id.*, *loc. cit.* — A ces terrasses correspondent, dans les bassins de la Bourne et de la Lyonne, tributaires de l'Isère, les *terrasses du Royans* étudiées également par MM. Kilian et Gignoux (*loc. cit.*, p. 71). Des dépôts de *tufs* et des cônes de déjections anciens (*ibid.*, p. 73), qui mériteraient une monographie spéciale, leur sont également subordonnés.

souvent cité de MM. Kilian et Gignoux et auquel nous renvoyons le lecteur.

V. — FORMATIONS FLUVIO-GLACIAIRES ET GLACIAIRES DES ENVIRONS DE RIVES, DE MOIRANS ET DE VOIRON. — Si nous remontons la vallée de l'Isère à l'amont entre Rives et Moirans, nous retrouvons « les traces des extensions glaciaires postérieures à l'abandon du *seuil de Rives* », c'est-à-dire correspondant aux PHASES DE RETRAIT DE LA GLACIATION WÜRMIENNE. En descendant des moraines de Rives à la plaine de l'Isère, nous traversons ainsi une succession de replats (*terrasses*) formés d'alluvions et couronnés chacun de vallums glaciaires. On doit y voir d'anciennes moraines latérales accompagnées de cailloutis qui témoignent d'autant de stationnements du glacier de l'Isère, au cours de la période de décrue. Ces observations, relatées il y a longtemps déjà par l'un de nous ¹, ont été complétées par MM. Hitzel ² et Blanchard ³. Ce dernier en particulier s'est placé plus spécialement au point de vue exclusivement morphologique et descriptif.

A la gare même de Rives, une vaste nappe de cailloutis probablement interglaciaires ou « de progression » forme le « *seuil de Rives* »; elle porte des dépôts glaciaires, notamment les *vallums* morainiques de Miplaine, des Blaches et ceux que l'on peut suivre nettement entre la gare de Rives et Apprieu. Aux Quatre-Chemins, près d'Apprieu, les alluvions ont 50 à 60 mètres d'épaisseur et se terminent par un lit de blocs roulés. Ces cailloutis *interglaciaires* ont été ultérieurement entamés par l'érosion de la Fure et découpés en replats successifs dont l'interprétation morphologique a été fournie par M. Raoul Blanchard. On y distingue des terrasses, au nombre de cinq, recon-

¹ W. Kilian, *C. R. Collab. pour 1901 (Bull. Serv. Carte géol. de France, t. XXII, p. 161, 1902)*.

² Ed. Hitzel, *Sur la limite d'extension des glaciers pléistocènes dans la vallée de l'Isère inférieure (C. R. de l'Ass. française, Congrès de Grenoble, 1904)*.

³ R. Blanchard, *Le seuil de Rives. Étude de morphologie glaciaire (Zeitschrift für Gletscherkunde, Band VI, Heft 5, août 1912)*.

nues et dénommées *depuis de longues années* par l'un de nous (W. K.) et qui sont, en allant des plus anciennes aux plus récentes :

a) *Terrasse de Charnècles*, également couverte de moraines qui atteignent 350 à 380 mètres d'altitude. Cette nappe alluviale, avec les dépôts glaciaires qu'elle supporte a été découpée par les érosions de la Fure et de plusieurs autres ruisseaux;

b) *Terrasse de Criel*; elle porte aussi des moraines et se poursuit en un gradin *continu* de Vourey - Bois-Vert aux environs de Voiron. Les dépôts glaciaires qu'elle supporte s'observent au-dessus de Voiron vers le Barrio;

c) *Terrasse de Mangualy-le-Guillon*. Cette terrasse, sur laquelle est établi le champ d'expériences agricoles de l'Ecole nationale de Voiron, domine de chaque côté la gorge de Paviot. Elle renferme parfois des galets de spilite du Drac et supporte quelques placages de glaciaire (au-dessus de Paviot). En aval de Moirans, au-dessus de Vourey et de Fures, elle porte le cimetière de Fures et une partie de la ville de Tullins; elle passe *en dessous* des moraines de Poliéna¹;

d) *Terrasse de Lérigny*, un peu plus basse que la précédente, s'observe dans les parties basses de la ville de Voiron, ainsi qu'au-dessus du Saix, derrière le village de Saint-Jean-de-Moirans (230 m.). Elle est aussi surmontée de blocs erratiques et de quelques placages glaciaires. « Elle paraît représenter une nappe de cailloutis interstadias immédiatement antérieurs aux moraines du Stade de Rovon qui la recouvrent en amont². »

e) *Terrasse du cimetière de Moirans*, supportant le village de Saint-Jean-de-Moirans, le hameau de Saint-Jacques, près Moirans, adossée à la terre précédente. On y constate parfois des lits d'alluvions inclinées; *nulle part elle ne semble supporter des dépôts glaciaires bien authentiquement en place*. MM. Ki-

¹ Kilian et Gignoux, *loc. cit.*, p. 68.

² *Id.*, *loc. cit.*

lian et Gignoux l'ont considérée comme postérieure au « Stade de Rovon » et correspondant à la terrasse de Saint-Gervais, de Saint-Quentin - Echaillon - Vourey, décrite par l'un de nous. Elle est d'âge postglaciaire et sans doute NÉOWURMIENNE.

Quant à la « cuvette terminale » ou *dépression centrale* de Grenoble - Moirans - Rovon, que domine à l'Ouest « le seuil de Rives », elle se révèle comme un « bassin de surcreusement » de la glaciation würmienne, sur les bords de laquelle des replats fluvio-glaciaires témoignent des étapes successives du retrait glaciaire après l'abandon du « seuil de débordement » de Rives et la disjonction de la branche septentrionale (Saint-Laurent-du-Pont, Saint-Etienne-de-Crossey); ces diverses étapes ont précédé la « régression de Laufen » et la « récurrence néowürmienne » dont nous étudierons plus bas les traces et les dépôts en amont de Grenoble.

3° REGION VALENTINOISE

Les terrasses du Rhône et de l'Isère, en aval de Valence, ont fait l'objet de *nombreux* travaux de la part du général de Lamothe¹ dans le but de les comparer, au point de vue altimétrique, avec les terrasses des vallées algériennes de l'Isser en Algérie. Ces comparaisons ne peuvent, d'après lui, laisser aucun doute sur l'origine *eustatique* d'une partie au moins des anciennes nappes d'alluvions du cours d'eau français.

Quelques considérations générales développées dans le plus récent des mémoires publiés par notre savant confrère méritent d'être rappelées : c'est, en premier lieu, la possibilité de distin-

¹ Général de Lamothe, *Etude comparée des systèmes de terrasses des vallées de l'Isser, de la Moselle, du Rhin et du Rhône (Bull. Soc. Géol. Fr. (4-5), t. I, p. 297, 1901).*

Id., Les terrasses de la vallée du Rhône (*C. R. Acad. des Sc.*, 14 mai 1906).

Id., Note préliminaire sur les terrasses des environs de Valence (*C. R. som. Soc. géol. Fr.*, t. X, 19 décembre 1910).

Id., Les anciennes nappes alluviales et les terrasses du Rhône et de l'Isère dans la région de Valence (*Bull. Soc. géol. de Fr.*, 4^e série, t. XV, p. 3, 1915).

guer dans toute grande vallée deux zones différentes : l'une *inférieure*, partant de l'embouchure et comprenant la partie où le profil d'équilibre est à peu près atteint; l'autre *supérieure*, débutant en aval du premier obstacle interrompant la continuité de la pente et dans laquelle le lit présente des seuils ou des dépressions.

En second lieu, l'auteur définit, sous le nom de « *fausses terrasses* », des replats et falaises alluviales produites par le sectionnement du cône de déjections d'un affluent. « Elles doivent être exclues, écrit-il, avec le plus grand soin de la série des terrasses régulières de la vallée principale. »

Les nappes alluviales des environs de Valence sont classées de la façon suivante ¹ :

I. — NAPPE PRINCIPALE DU RHÔNE, DE 21-22 MÈTRES. — Dans la vallée du Rhône, en aval de Valence, s'observent les traces d'une nappe d'alluvions qui s'élève de 21 à 22 mètres au-dessus de l'étiage actuel. Pendant que le fleuve coulait à cette altitude, l'Isère édifiait la *nappe de Romans*, puis le Rhône a entaillé l'extrémité de cette nappe et créé les « *fausses terrasses* » de Conflans, Saint-Georges, Combeaux et de la ville de Valence ².

II. — NAPPE PRINCIPALE DU RHÔNE, DE 34-35 MÈTRES. — Au-dessus de la nappe précédente, on voit dans la vallée du Rhône, toujours en aval de Valence et à 34-35 mètres au-dessus de l'étiage, des traces d'une autre nappe. Pendant que le Rhône la créait, l'Isère édifiait la *nappe d'Alixan*. Au cours de la période postérieure de creusement, le fleuve a créé la *fausse terrasse* du Séminaire, ainsi que les terrasses *principales* des lacs des Pécollets, de Saint-Genys, et l'Isère les terrasses *régulières* de l'Ecoucière, des Audouards et des Bayanins ³.

III. — NAPPE PRINCIPALE DU RHÔNE, DE 59-60 MÈTRES. — A envi-

¹ De Lamothe, *loc. cit.*

² Cette nappe correspondrait à notre terrasse würmienne.

³ Cette nappe correspondrait à notre terrasse néorissienne.

ron 25 mètres au-dessus de la nappe II se rencontre, sur la rive gauche du Rhône, en aval des Bariaux et jusqu'à Livron, des traces presque continues d'une nappe, dont l'altitude au-dessus de l'étiage est de 59-60 mètres. A la même époque, l'Isère a édifié la nappe de Foullouse - Léore et *refoulait le Rhône contre le côté droit* de la vallée. Pendant la période de creusement, ce dernier cours d'eau, coupant le cône de déjections de l'Isère, a créé les *fausses terrasses* qui limitent vers l'Ouest les plateaux de Foullouse et de la Léore. Quant à l'Isère, elle a donné naissance aux terrasses *régulières* de Saint-Marcel, des Grands-Aillers, des Tiollets, etc. ¹.

IV. — NAPPE PRINCIPALE DU RHÔNE, DE 104 MÈTRES. — Au Sud de Valence (vallée du Rhône) existent, au-dessus de la nappe précédente, des traces d'une nappe alpine de 104 mètres. Au même moment se formait dans l'Isère une nappe qui est représentée par les terrasses de Méanes, de Chatuzange et de Malosanes.

V. — NAPPES ALLUVIALES SUPÉRIEURES A CELLE DE 104 MÈTRES. — Au-dessus de la nappe de 104 mètres se rencontrent à divers niveaux des amas de cailloutis. Dans la vallée du Rhône, sur la rive droite, les pentes jurassiques et granitiques sont interrompues entre Châteaubourg et Cornas par un *replat* découpé en plusieurs tronçons; « c'est là, d'après l'auteur, un des traits les plus remarquables de la topographie de la région ². » De ce fait ainsi que d'autres observations relevées par M. de Lamothe et d'autres géologues, on peut conclure à l'existence, dans toute la vallée du Rhône en aval de Lyon, d'une nappe alluviale très voisine de 148 mètres. De plus, on doit admettre encore un niveau de *cailloutis de 184 mètres*, un autre *de 242 mètres* et enfin le niveau de cailloutis du sommet de Crussol (406 m.) ³.

¹ Cette nappe serait d'âge rissien; la nappe IV correspondrait à la haute terrasse de 95 mètres du Lyonnais.

² De Lamothe, *loc. cit.*

³ Ces niveaux sont probablement pliocènes.

Dans la vallée de l'Isère et au-dessus du niveau des Méanes - Chatuzange existent, sur la rive gauche, plusieurs terrasses isolées dont l'étude autorise le rattachement à deux niveaux distincts : le niveau des *Petits-Aillers* (pouvant se rattacher à la nappe du Rhône de 140-150 m.) et le niveau des points 359 et 358, pouvant se rattacher au niveau de 184 mètres du Rhône.

En résumé, la vallée du Rhône permet de constater l'existence de terrasses appartenant à *huit niveaux* différents. Si on les compare à celles de l'Isère, on voit que la formation des nappes inférieures du Rhône s'est effectuée dans les mêmes conditions que celles du fleuve algérien et sous l'influence d'oscillations de la ligne de rivages alternativement positives et négatives, les premières produisant des comblements, tandis que les secondes provoquent des creusements.

Il importe de remarquer que les recherches de notre confrère ont été conduites en partant d'un point de vue tout à fait différent de celui qu'avaient adopté MM. Depéret, Kilian et Gignoux¹, puisqu'il ne s'est préoccupé en aucune façon de dater les terrasses par rapport aux phénomènes glaciaires. « Il n'en est que plus remarquable de constater », ont écrit MM. Kilian et Gignoux, « que dans le domaine des faits, c'est-à-dire en ce qui concerne la classification des terrasses les unes par rapport aux autres, et le raccordement de leurs divers lambeaux, le général de Lamothe est arrivé à *des résultats tout à fait comparables aux nôtres.* » De plus, les chiffres donnés par le savant auteur pour les altitudes relatives concordent presque parfaitement avec ceux de M. Depéret pour les terrasses des environs de Lyon.

Deux méthodes pouvaient, en effet, être employées pour ces synchronismes : leur altitude relative par rapport au Rhône, c'est celle qu'a utilisée le général de Lamothe ; leur place dans la

¹ W. Kilian et M. Gignoux, Les fronts glaciaires et les terrasses d'alluvions entre Lyon et la vallée du Rhône (*Ann. Univ. de Grenoble*, t. XXVIII, loc. cit., 171, 1916).

chronologie glaciaire, c'est la méthode suivie par MM. Depéret, Kilian et Gignoux. Ces deux méthodes ont conduit à des résultats que des corrections indiquées par MM. Kilian et Gignoux permettent de faire concorder entre eux très exactement et d'une façon véritablement démonstrative.

Dans la partie méridionale de la vallée du Rhône, M. Roman ¹ a décrit les terrasses rhodaniennes qui se développent sur les feuilles d'Orange et d'Avignon de la Carte géologique détaillée de la France au 80.000^e, c'est-à-dire dans une région où elles sont d'origine exclusivement fluviales et en dehors de toute influence glaciaire. Ce géologue a cherché à les synchroniser avec celles qu'ont étudiées plus en amont MM. Kilian et Gignoux; il est arrivé à d'intéressants résultats qui se résument comme suit :

1° Les cailloutis pliocènes (calabriens) du plateau de Chambaran qui, à la Feyta, dominant le Rhône de 269 mètres n'ont pas laissé de traces plus au Sud, si ce n'est sur les feuilles de Privas quelques lambeaux très restreints de galets et sur la feuille d'Orange les cailloutis du sommet de la colline de Saint-Paul-Trois-Châteaux;

2° Des lambeaux observés aux environs de Bourg-Saint-Andéol, et surtout le plateau de Rochefort - Domazon, se rattachent aux alluvions du plateau d'Auberives qui s'élèvent de 140 à 145 mètres au-dessus du thalweg actuel;

3° Le niveau de 100 mètres au-dessus du Rhône débute par le plateau de Charveyron, au-dessus de Saint-Marcel-d'Ardèche et se continue par le lambeau de Codolet dans la vallée de la Cèze. On est ici sur le prolongement de la terrasse de la Foullouse (feuille de Valence), puis de la terrasse des Trappistines de Montélimar (« haute terrasse pré-rissienne du Lyonnais »);

¹ Roman, Feuille d'Avignon au 320.000^e (*Bull. Serv. Carte géol. France*, t. XXII, p. 200, 1913).

4° Une terrasse de 80 mètres s'observe au-dessus des Angles et de Pont-d'Avignon; elle paraît se relier à un lambeau conservé dans la vallée de la Tave, près de l'Ardoise. M. Roman rattache à ce niveau les cailloutis qui s'étendent entre Bédarides et Châteauneuf-du-Pape;

5° La terrasse de 60 mètres, très nette au Nord-Ouest des Granges-Gontardes, se poursuit jusqu'à la colline de Saint-Resstitut. Entre Beaucaire et Nîmes, cette terrasse est très étendue; elle constitue la majeure partie de la Costière de Nîmes;

6° Au niveau de 45 mètres correspondant, d'après l'auteur, à la terrasse du Séminaire de Valence, il faut rattacher la terrasse dominant Pont-Saint-Esprit sur la rive droite et la terrasse du champ de manœuvres d'Orange;

7° Le niveau de 25-30 mètres n'est représenté dans la vallée principale que par des lambeaux très restreints, entre autres par la terrasse de la ville de Beaucaire qu'entaille la voie ferrée;

8° Une terrasse de 15 mètres est très constante sur les deux rives du Rhône et presque partout visible. Sur la rive gauche, on la suit depuis le défilé de Donzère jusqu'à Bollène; sur la rive droite, elle s'étend depuis la vallée de l'Ardèche jusqu'au delà de Pont-Saint-Esprit.

Si nous essayons de synchroniser ces terrasses¹ et de les dater dans la mesure du possible, en modifiant toutefois certaines des interprétations de M. Roman, nous rapporterons au Pliocène et au Quaternaire ancien les terrasses n° 2 et 3; au Rissien les terrasses n° 4 et 5; au Néorissien la terrasse n° 6; au Würmien la terrasse n° 7, et peut-être au Néowürmien la terrasse n° 8.

Il convient toutefois de ne pas nous dissimuler que ces assimilations concernant la région méridionale de la vallée du

¹ L'un de nous a signalé dans les environs d'Aubenas, de Ruoms et de La Voulte (Vivaraïs) plusieurs niveaux de Cailloutis qu'il serait aisé de raccorder avec les niveaux décrits par M. Roman (v. plus haut).

Rhône sont essentiellement *provisoires* et que, dans la portion de cette vallée située en aval de Valence, les altitudes au-dessus du Rhône, données par M. Roman pour chaque terrasse, paraissent être *progressivement* de 15 à 20 mètres *plus fortes* que dans la portion amont. Grâce à tous les travaux qui viennent d'être résumés, nous avons pu néanmoins essayer de donner une idée synthétique des renseignements qui ont été recueillis jusqu'à ce jour sur les terrasses développées entre Lyon, Valence, Nîmes, et de rattacher ces nappes alluviales aux moraines laissées dans l'avant-pays alpin par les glaciations successives.

« Ainsi se trouve réalisé, au moins pour une partie du bassin rhodanien, le mutuel appui que doivent toujours se prêter les deux méthodes d'étude des terrasses alpines : l'altitude relative de ces terrasses au-dessus des thalwegs actuels et leur rattachement à des formations glaciaires¹. »

IV. — LES RÉGIONS SUBALPINES ET PRÉALPINES²

Les territoires situés dans les parties aval des vallées alpines, ou régions subalpines (et préalpines), se signalent tous par

¹ W. Kilian et M. Gignoux, Les fronts glaciaires et les terrasses d'alluvions, etc., *loc. cit.*

² *Note ajoutée pendant l'impression.* — Au cours de l'aperçu historique qui figure dans la première partie de ce travail, les auteurs se sont efforcés de résumer l'évolution des idées successivement émises au sujet des formations fluvio-glaciaires et des terrasses d'alluvions anciennes de la région du Sud-Est de la France, évolution qu'a motivée la prise en considération de plus en

un développement plus ou moins considérable des moraines et des formations fluvio-glaciaires, ainsi que par le modelé spécial des massifs qui les constituent; leur histoire quaternaire est particulièrement intéressante et mérite d'être examinée avec quelques détails.

Il serait intéressant de déterminer, entre autres, jusqu'à quel point les actions résultant d'oscillations du niveau des mers et étudiées dans un précédent chapitre, ont pu atteindre ces vallées et se *combinaient avec celles qu'ont exercées les phénomènes alternatifs de recul et de progression des glaciers*. La soudaineté et la rapidité relative qu'ont présentées certains creusements dans les vallées alpines pourraient bien s'accorder, en effet, avec l'intervention d'une cause agissant de l'aval vers l'amont.

plus grande de notions autrefois complètement négligées ou ignorées, telles que celles des glaciations successives, des mouvements épirogéniques et des oscillations du « niveau de base » (mouvements eustatiques). Ce rapide exposé n'a pas toutefois la prétention d'être complet; nous n'avons pas cru pouvoir notamment y discuter et y analyser les pages consacrées dans divers traités généraux de géologie au système pléistocène. Une mention spéciale est due cependant au magistral chapitre que M. Haug a consacré dans son beau *Traité de géologie* à cette période de l'histoire du Globe. Renfermant une « mise au point » tout à fait remarquable de l'état actuel de nos connaissances, ces pages, si richement documentées, représentent une des premières et la plus heureuse des tentatives qui aient été réalisées dans la synthèse des nombreux matériaux relatifs à la période pléistocène.

Bien qu'elles ne contiennent pas une classification qui réponde entièrement au vœu que nous exprimons à la page du présent mémoire, et bien que nous pensions que les idées et les subdivisions exposées par le maître de la Sorbonne susciteront encore bien des discussions; enfin, quoiqu'en ce qui concerne le Quaternaire du bassin du Rhône nous ne partagions pas complètement les conclusions exprimées dans le traité de M. Haug, nous sommes heureux de rendre ici hommage à cet exposé à la fois substantiel et synthétique. On y trouve en particulier, très nettement posés, les problèmes si importants qui constituent une des difficultés particulières et aussi l'intérêt passionnant qui s'attache à l'étude des terrains quaternaires.

Nous rappellerons également que M. Marcellin BOULE a, dès 1889 (*Essai de paléontologie stratigraphique de l'homme*, p. 41, 43, 95 et 96), pressenti la pluralité des phases glaciaires dans les Alpes et, en ce qui concerne les environs de Lyon, l'existence des produits de plusieurs extensions des glaciers.



Nous nous proposons donc d'exposer ici, successivement et en allant du Nord au Sud, l'état actuel de nos connaissances sur les formations pléistocènes des environs de Bellegarde et du pays de Gex, du bas Chablais, du Gênois et du bas Faucigny, des environs d'Annecy et de Rumilly, du massif des Bauges, des environs de Chambéry et de Novalaise, des massifs de la Grande-Chartreuse et du Vercors, de la région grenobloise et de la vallée de la Durance.

1° ENVIRONS DE BELLEGARDE

Les environs de Bellegarde (Ain) et de Collonges (Haute-Savoie) offrent un intérêt particulier au point de vue des dépôts quaternaires; aussi ont-ils été étudiés par de nombreux savants, parmi lesquels il convient de citer A. Favre, G. Benoit, E. Renevier, G. Maillard, H. Aeberhardt, Penck et Brückner, H. Douxami¹, etc.

Les auteurs qui se sont plus spécialement préoccupés des dépôts pléistocènes de cette région sont, outre notre regretté confrère H. Douxami, dont nous discuterons les vues plus loin, MM. Penck et Brückner, qui ont examiné le problème du « non-surcreusement » de la vallée du Rhône entre Bellegarde et Seysse: d'après ces derniers auteurs, « le long du Jura, la pente devait être très minime de la cime du glacier au Grand-Crédo; *il devait y avoir là un angle mort du glacier, animé d'un mou-*

¹ On trouvera, dans le mémoire de l'un de nous sur le défilé de Fort-l'Écluse cité plus bas, des indications bibliographiques détaillées sur les recherches de nos prédécesseurs, relatives au Pléistocène de cette région, ainsi que des figures et des vues photographiques représentant les particularités de cette portion de la vallée du Rhône. Une bibliographie complète sera donnée à la fin de la présente étude.

vement très lent, tandis que près de Seyssel, où les masses glaciaires de l'Arve, déviées par le Salève, atteignaient la vallée du Rhône et se trouvaient aussitôt comprimées entre les chaînes du Grand-Colombier et du Gros-Foug, l'érosion devait atteindre son maximum d'intensité¹ ». Plus récemment, l'un de nous (W. K.) a consacré, dans les *Annales de Glaciologie*², un travail spécial à cette partie de la vallée du Rhône. Nous croyons devoir en rappeler ici les données essentielles, car elles doivent nous servir de point de départ et de termes de comparaison pour l'étude rationnelle des territoires voisins. Nos observations, qui confirment les interprétations qu'ont formulées MM. Penck et Brückner pour d'autres parties des Alpes, nous conduiront d'ailleurs à formuler des conclusions d'une part suffisamment établies sur des faits difficilement contestables et de l'autre assez précises pour servir de base à une synthèse rationnelle du Pléistocène subalpin.

L'analyse de la disposition des dépôts fluvio-glaciaires aux environs de Bellegarde et de Collonges ainsi que l'interprétation des formes topographiques du profil transversal de la cluse du Rhône, près du fort de l'Ecluse, fournissent en effet des preuves manifestes de la *pluralité* des *glaciations alpines* en même temps qu'elles offrent de remarquables exemples de la *superposition* répétée de « *cycles d'érosion* » comportant chacun les traces combinées de l'érosion glaciaire et de creusements fluviatiles interstadias et postglaciaires.

Elles montrent également que la traversée du Jura à Fort-de-l'Ecluse, par le glacier alpin ou ses émissaires, remonte au début de l'époque Pléistocène. D'autre part, un examen attentif des

¹ Penck et Brückner, Les Alpes françaises à l'époque glaciaire, traduction L. Schaudel. (*Bull. Soc. hist. nat. Savoie* (2^e s.), t. XII, *loc. cit.*, p. 6, 1907.)

² W. Kilian, Contribution à l'histoire de la vallée du Rhône à l'époque pléistocène. Le défilé de Fort-l'Ecluse (Ain). (*Ann. de Glaciologie*, t. VI, p. 31, 1911, 36 p., 6 fig.)

V. aussi Douxami, Les formations tertiaires et quaternaires de la vallée de Bellegarde. (*Bull. de la Soc. d'Hist. nat. de Savoie*, 1901.)

formations quaternaires dans le voisinage du pont Carnot (Pont-de-Savoie) permet de constater la trace indiscutable de *mouvements du sol* assez récents, quoique relativement peu importants.

L'un de nous a montré, en 1911, que si l'on examine de près, au point de vue de l'histoire des temps quaternaires, la vallée du Rhône entre Genève et Bellegarde et spécialement dans la région où le fleuve franchit, dans un défilé pittoresque et bien connu, la grande chaîne jurassienne du Crêdo-Vuache, à Fort-l'Ecluse, on peut faire les observations suivantes (voir les figures et photographies du mémoire précité de W. Kilian) :

a) *Ruptures de pente.*

Le profil transversal des parois de la cluse permet de reconnaître, aussi bien à droite qu'à gauche du Rhône, une série de « *ruptures de pente* » qui représentent les traces d'une suite « d'auges glaciaires » et de vallées interglaciaires ou interstadiennes (cette même disposition se retrouve d'ailleurs dans la vallée du Borne, près de Saint-Pierre-de-Rumilly).

La succession de ces ruptures de pente qui se correspondent de part et d'autre est analogue à celles qui se reconnaissent dans diverses hautes vallées intérieures des Alpes. Il ne semble pas cependant, malgré cette analogie, qu'elles doivent être rigoureusement synchronisées avec ces dernières, les vallées intra-alpines ayant dû être encore soumises à des creusements glaciaires ou interglaciaires à une époque où les glaciers avaient abandonné les pays subalpins et jurassiens, dès lors soumis au remblaiement et à l'érosion purement fluviales. Les cycles d'érosion dont nous avons ici les traces seraient donc *plus anciens* que la plupart de ceux dont l'un de nous a signalé les vestiges dans les hautes vallées de l'Oisans, par exemple.

L'un de ces épaulements, celui qui correspond à la rupture de pente du Fort supérieur et qui marque le début du cycle d'érosion préwürmien, se suit d'ailleurs tout le long du Jura vers le canton de Vaud.

Nous ferons remarquer en outre que ces ruptures de pente successives ne représentent pas pour nous les *bords* emboîtés *d'auges* purement glaciaires comme le voudrait M. Hess. Chacune d'elles indiquerait le début d'un cycle d'érosion interglaciaire (ou interstadiaire) plus ou moins façonné et *surcreusé* ultérieurement par l'érosion glaciaire qui a marqué la fin du même cycle. Il y a lieu de rappeler aussi, comme nous l'avons dit plus haut, que, dans les régions subalpines comme celle dont il s'agit ici, ces ruptures de pente correspondent probablement à des cycles d'érosion anciens, motivés par les glaciations et les oscillations négatives *antérieures au stade de Bühl*, les seuls qui se soient manifestés dans l'« avant-pays » subalpin, alors que dans les vallées intra-alpines les ruptures de pente correspondent surtout à des cycles d'érosion plus récents, qui ont pu effacer plus ou moins ou faire disparaître les traces des cycles préwurmien. Il y a donc lieu, pour ces motifs, d'apporter la plus grande circonspection dans le synchronisme à établir entre ces épaulements, malgré les rapprochements que pourrait parfois suggérer l'identité de leur nombre. Comme l'a fait d'ailleurs justement remarquer M. de Martonne¹, ces ruptures de pente sont souvent localisées dans des bassins de surcreusement et se raccordent quelquefois en amont avec les thalwegs actuels.

b) *Dépôts fluvio-glaciaires.*

I. — MM. Renevier et Schardt² ont signalé, dans le défilé même de Fort-de-l'Ecluse, au-dessous du Fort inférieur, c'est-à-dire à un niveau très bas dans la gorge et à une altitude voisine du thalweg actuel, sur la rive droite, des argiles lacustres

¹ De Martonne, *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 8 nov. 1909.

² Voir Hans Schardt (*Bull. Soc. Vaud. Sc. nat.*, 1883, XVI et XVII, 1891, et *Ecl. géol. Helv.*, t. II, n° 3).

et des alluvions lacustres et fluviales (sablonneuses) supportant des dépôts morainiques.

Il en est de même au-dessous de Longeray, près du viaduc du chemin de fer d'Annemasse, où des dépôts d'alluvions alpines peu élevées au-dessus du niveau actuel du fleuve supportent des *cailloutis morainiques*. En outre, sur la rive gauche, un peu en amont dudit viaduc, s'observent des dépôts analogues : alluvions et dépôts morainiques alpins, à une altitude inférieure à celle qu'atteignent plus en aval les alluvions anciennes et les moraines de Bellegarde et de Léaz.

Ces dépôts qui occupent le fond de la cluse et qui, par conséquent, sont *postérieurs à sa formation*, méritent d'être examinés de très près. M. H. Schardt a signalé en 1891, comme nous l'avons dit plus haut, d'après un rapport inédit de E. Renevier, *au-dessous* du Fort inférieur de l'Ecluse, des *argiles lacustres* surmontées d'un « sablon fluviale » qui, à son tour, supporte des dépôts glaciaires alpins. Ce complexe occupe une altitude notablement inférieure à celui des formations fluvioglaciales de Bellegarde et se présente en contre-bas de ces dernières, situées cependant en aval.

D'autre part, M. Schardt et Henri Douxami indiquent sur les deux rives du Rhône, près de Longeray, l'existence d'alluvions fluvioglaciales. Douxami a retrouvé ces alluvions, surmontées de dépôts glaciaires, plus en aval encore, au pied du rocher de Léaz; le même auteur a décrit encore un placage d'alluvions à 420 mètres d'altitude, sur la route de Collonges au Fort-de-l'Ecluse. Il y est recouvert par des moraines.

Les observations de l'un de nous (W. K.) ont montré également la présence, à une altitude assez basse, d'alluvions alpines supportant des moraines sur les deux rives du Rhône, dans le défilé même du Fort-de-l'Ecluse, au voisinage du grand viaduc de la ligne d'Annemasse.

Il résulte de ces données que l'on voit se succéder de bas en haut, à partir du Rhône, au droit du Fort inférieur :

a) Argile lacustre, à l'altitude de 330 mètres, dans le lit même du Rhône (épaisseur inconnue);

b) « Sablon » et alluvions alpines (alluvions fluvio-glaciaires de retrait) horizontales, passant vers le haut (alt. 400 à 420 m.);

c) Dépôts glaciaires indiquant une récurrence des glaciers et atteignant, près du village de Collonges, une altitude supérieure à 550 mètres.

Tout ce complexe est certainement postérieur à un autre complexe fluvio-glaciaire, développé plus en aval dans la région de Bellegarde-Vanchy-Léaz, *qui le domine en contre-haut* et dans lequel il se montre comme « emboîté ».

D'autre part une *inclinaison très nette vers l'amont* (c'est-à-dire vers le Nord-Est) des alluvions anciennes continuant celles du Fort inférieur (sables et graviers alpins) peut être constatée sur la rive gauche, en amont du Pont-de-Savoie, et semble indiquer, si elle est (comme tout porte à le croire) d'ordre tectonique, un soulèvement de la chaîne ou un affaissement de la région amont ayant eu lieu après le dépôt de ces alluvions, *elles-mêmes plus récentes que les moraines de Bellegarde*. Mais la disposition générale relative des complexes fluvio-glaciaires ne paraît pas avoir été notablement modifiée par ce mouvement qui, vraisemblablement, n'a pas eu une grande importance.

II. — On a signalé depuis longtemps en aval du défilé de Fort-l'Ecluse, entre Léaz et Bellegarde, des alluvions plus ou moins cimentées, contenant des matériaux alpins reposant de chaque côté de la gorge où coule actuellement le Rhône, sur les mollasses miocènes et passant vers le haut, par l'intermédiaire d'alternances répétées, à des moraines très importantes. H. Douxami a reconnu la même succession dans la vallée des Usses. Cet ensemble, qui présente la structure classique d'un « cône de transition » et se relie aux vallons morainiques des flancs du

Crédo et du Vuache, est nettement antérieur au creusement de la gorge du Rhône.

D'après le regretté professeur de Lille, il existe là quatre ou cinq niveaux morainiques alternant avec les alluvions anciennes qui, jusqu'à l'altitude de 600-700 mètres, constituent les hauteurs du Petit-Crédo (780 m.), de Guillemard, etc. Ce « cône de transition », pourtant si nettement fluvio-glaciaire, a été considéré par M. Schardt (*loc. cit.*, p. 77) comme un cône de déjections du Rhône primitif, se jetant dans un ancien lac qui aurait occupé une partie du bassin de Bellegarde.

L'altitude de la base de ces alluvions, entre Bellegarde et Seyssel, est au moins supérieure d'une trentaine de mètres à celle du Rhône actuel et, en moyenne, de 300 à 330 mètres.

En ce qui concerne l'*âge* de cette importante formation, il convient de remarquer tout d'abord que les alluvions de Bellegarde ne peuvent appartenir à la glaciation rissienne qui a atteint la région lyonnaise et les plaines de la Dombes; elles sont incontestablement plus récentes que ces dernières et doivent être considérées comme *würmiennes*; leur fraîcheur, la forme topographique encore nette de leurs *vallums*, l'altération relativement peu avancée de leurs éléments, enfin leur altitude et leur position géographique en constituent des preuves indiscutables. D'autre part, il est absolument impossible de considérer (avec Douxami ¹) ces alluvions de Bellegarde comme ayant été en continuité avec les alluvions de Collonges, puis ultérieurement portées, par l'effet de dislocations plus récentes, à l'altitude supérieure qu'elles occupent. Les deux systèmes se montrent en effet nettement *emboîtés* (entre Longeray et Grézin) *dans un même profil transversal* et l'on ne voit pas quelles dislocations auraient pu produire une telle disposition.

Il est à remarquer que les traces possibles de mouvement du sol constatées par l'un de nous, d'après l'inclinaison des allu-

¹ *Bull. Serv. Carte géol. de Fr.*, t. XII, n° 81, 1891.

vions en amont du Pont-de-Savoie, affectent une région située nettement en amont de celle occupée par le complexe de Bellegarde et dans lequel le système des alluvions de Collonges occupe un niveau inférieur à celui du complexe de Bellegarde.

Le système fluvio-glaciaire de Bellegarde-Vanchy-Eloise appartient, comme celui du Mont de Sion, situé un peu plus à l'Est, à une **phase de retrait de la glaciation würmienne**, postérieure au maximum d'extension de cette dernière et notamment au stade de Lagnieu. Partout, en effet, entre Annecy, Rumilly, les Usses et Bellegarde, les moraines de cet âge se continuent en avant des vallums de Bellegarde et du Mont de Sion, *reposant toujours sur les mêmes alluvions de progression würmiennes* et nettement intérieures à des moraines frontales qui forment une *deuxième ligne de vallums frontaux* plus extérieurs encore (Lagnieu, Virignin, etc.).

En outre, il y a lieu de tenir compte du fait que, tandis que, lors de la glaciation rissienne, une masse continue de glace s'étendait vraisemblablement jusque dans le bas Bugey et dans la Dombes, *l'individualisation progressive* des différents glaciers, déjà ébauchée au cours de la glaciation néorissienne, ne s'effectua que pendant la glaciation würmienne et surtout après l'extension maxima de cette dernière; à ce moment, une branche du glacier de l'Isère débouchait par Chambéry, remplissait le bassin actuel du lac du Bourget, tandis qu'une autre occupait le lac d'Annecy et s'avancait vers Rumilly.

C'est vraisemblablement à une **seconde phase de retrait** et de stationnement des **glaciers würmiens** qu'appartient le complexe fluvio-glaciaire de Bellegarde-Vanchy. A ce moment, le front de retrait des glaces würmiennes séjourna pendant un certain temps au débouché sud du défilé de l'Ecluse et y édifia les vallums morainiques du Petit-Crédo et le cône de transition Vanchy-Bellegarde, qui se relie par sa base aux alluvions würmiennes de Bellegarde. Un ancien « amphithéâtre morainique » dû à ce stationnement est d'ailleurs conservé aux environs de Clarafond et tout porte à croire que la gorge du Rhône, en aval

de Longeray. n'était pas creusée aussi profondément qu'elle l'a été plus tard, les alluvions indiquant partout un ancien fond de vallée *entamé* sur une hauteur de plus de 60 mètres par la vallée actuelle. A la même phase appartient la remarquable circumvallation morainique qui constitue le Mont de Sion et dont nous reparlerons dans la suite de ce travail.

Contrairement aux vues de M. H. Schardt et de H. Douxami et en conformité de celles de M. Brückner, nous pensons donc que les moraines de Léaz, situées en contre-haut d'au moins 60 mètres du complexe (néowürmien) de Longeray-Collonges, mettent bien en évidence l'existence d'au moins *deux invasions glaciaires* dans le défilé rhodanien.

Ajoutons que, près de Léaz, on remarque, au Sud du village et du rocher de Léaz, les traces d'un *stade intermédiaire* entre le stade de Bellegarde-Vanchy et le stade de Collonges, sous la forme d'une *dépression* très accusée dans le premier de ces complexes et occupée par des moraines qui semblent un peu plus récentes et dénotent une diminution du glacier würmien. Ce « stade de Léaz » semble correspondre au début du creusement d'une vallée postwürmienne entamant le complexe de Bellegarde, mais, elle-même, antérieure au complexe de Longeray. C'est dans cette vallée que, plus tard, se sont déposées en amont les moraines de Longeray; mais à partir de Léaz, vers l'aval, une *épigénie* curieuse est à signaler : le cañon actuel du Rhône décrivant une courbe vers l'Est, alors que la dépression postwürmienne, dont nous venons de parler, coupe directement ce contour en passant par le village de Léaz.

On voit que les faits qui précèdent conduisent nécessairement à admettre l'existence très nette en aval de Collonges, c'est-à-dire dans la portion jurassienne de la cluse de Fort-l'Écluse, de *deux complexes fluvio-glaciaires emboîtés l'un dans l'autre*¹,

¹ Le complexe de Bellegarde a été décrit par M. DOUXAMI dans plusieurs publications. Nous ne partageons pas les interprétations de cet auteur qui assi-

c'est-à-dire séparés par les indices d'une phase importante de creusement, à savoir :

1° Un complexe ancien de plus de 300 mètres de puissance, le système des alluvions et moraines de Bellegarde-Léaz. Ces formations atteignent et dépassent l'altitude de 600 mètres dans la vallée de la Valsérine et sur la croupe du Petit-Crédo; elles descendent jusqu'à 300 mètres en aval de Bellegarde et y dominent encore le Rhône de 400 mètres. Les moraines qui s'y rattachent montent jusqu'à 780 mètres près du Petit-Crédo (Schardt), à 1140 mètres au Sorgia, où M. Schardt a signalé d'ailleurs, à 1250 mètres, des blocs erratiques probablement plus anciens.

2° Un *complexe plus récent*, situé en contre-bas du précédent et comprenant les alluvions du Fort inférieur et le Glaciaire du Longeray (équivalent du Néoglaciare de M. Aeberhardt), qui sont évidemment la continuation vers l'aval des dépôts fluvio-glaciaires de Collonges-Bois-de-la-Bathie.

Cette constatation mène à conclure que la cluse, moins profonde qu'actuellement et aboutissant en aval à la cuvette glaciaire würmienne, a été franchie « par débordement » à l'époque du maximum des glaciers würmiens par des glaces qui ont, en se retirant, donné naissance au complexe plus élevé de Léaz-Bellegarde.

Quant au complexe d'alluvions du défilé de Fort-de-l'Ecluse et du Longeray, qui pénètre dans la gorge rhodanienne en contre-bas de Léaz, il se raccorde aisément en amont avec les alluvions et les moraines du Pont-de-Savoie et de Collonges, dont la continuité avec les alluvions du Bois-de-la-Bathie, près de

mile les alluvions du Bois de la Bathie, de Pougny, etc., avec celles de la vallée de Bellegarde et qui voit dans les dépôts fluvio-glaciaires du fond de la Cluse (Longeray, Pied du Rocher de Léaz, etc.) une preuve du creusement de la cluse « avant la grande extension glaciaire ». (V. la liste bibliographique du mémoire (W. Kilian) cité plus haut.)

Genève, et les dépôts glaciaires qui les surmontent semble évidente.

En outre, la présence des *alluvions anciennes sous-glaciaires* de Fort-de-l'Ecluse-Collonges-Bois-de-la-Bathie, en contre-bas du système de Bellegarde dans lequel elles viennent nettement s'emboîter, avec les dépôts morainiques qui les surmontent en aval de Longeray et sous Léaz, constitue la preuve évidente d'une **oscillation négative** importante (retrait du front glaciaire jusqu'en amont d'Hermance) suivie elle-même *par une phase de creusement* accentuée par l'établissement d'un régime lacustre, puis par un dépôt « d'alluvions de progression » fluvio-glaciaires (Bois-de-la-Bathie, Collonges, Fort-de-l'Ecluse inférieur), préluant à une nouvelle *récurrence glaciaire*, elle-même plus ancienne que le « Stade de Bühl » de MM. Penck et Brückner, que l'on s'accorde à considérer comme limité à la partie du Valais voisine de Saint-Maurice (Monthey), c'est-à-dire en amont du Léman. Cette oscillation, dont les effets, comme nous le dirons, se sont fait sentir également à l'entrée de la vallée de l'Arve (La Roche-sur-Foron), dans celle de l'Isère (*Oscillation du Graisivaudan*, de M. P. Lory, 1911) et dans la trouée de Chambéry-Montmélian, paraît comparable à l'oscillation de Laufen (*Laufenschwankung*), décrite par M. Penck, dans les Alpes orientales; les éléments nous manquent cependant pour affirmer d'une façon absolue qu'elle ait été exactement synchronique de cette dernière. Quoi qu'il en soit, elle a suivi de près, dans les Alpes françaises, l'abandon par les glaces des *seuils* de débordement de Rives (Isère), Veynes (Hautes-Alpes), du col Bayard (Hautes-Alpes), de Léaz-Bellegarde, du Mont de Sion, etc., correspondant à une diminution très notable des glaciers.

Quant à la *récurrence* qui a suivi, qui comprend les moraines de Valleiry, de Saint-Julien et de Collonges et a atteint les environs de Léaz et de Grézin, l'un de nous (W. K.) l'a désignée sous le nom de **récurrence néowürmienne**. Nettement antérieure au « Stade de Bühl » qui n'a pas dépassé la partie intra-alpine

des vallées, elle se distingue de la glaciation würmienne proprement dite, avec le dernier stade de laquelle (stade de Rovon) elle a été parfois confondue, par le fait qu'elle est restée confinée dans le fond des dépressions würmiennes surcreusées qu'elle a tapissées de moraines et qu'elle n'a plus franchi les « *seuils de débordement* ». Nous verrons plus loin que l'on trouve l'équivalent de cette récurrence néowürmienne dans le bassin de l'Arve (La Roche-sur-Foron, les Rocailles), dans la trouée de Chambéry-Montmélian (La Trousse, Chignin, etc.), dans la vallée de l'Isère (Barraux-Chapareillan) et dans celle de la Romanche (Glaciaire du plateau de Jarrie-Tavernolles ; « Stade d'Eybens », de P. Lory), enfin dans le bassin de la Durance (« *récurrence* » décrite par H. Haug aux environs de Gap). Son importance justifie son élévation au rang de *glaciation* ; la faune et la flore contenues dans les argiles à lignites qui la précèdent (environs de Chambéry, d'Eybens) indiquent, ainsi que l'a fait remarquer M. Penck (*loc. cit.*), un climat tempéré voisin de celui de l'époque actuelle correspondant plutôt à une période interglaciaire qu'à un simple épisode interstadiaire.



Les *mouvements du sol*¹, que les alluvions inclinées vers l'amont du Pont-de-Savoie paraissent indiquer, sont donc nécessairement *postérieurs à la récurrence néowürmienne*. Néanmoins la constatation de la trace de ces mouvements, qui

¹ L'inclinaison des alluvions du Pont de-Savoie vers l'amont pourrait suggérer l'idée d'une formation de delta d'origine torrentielle sur le bord du glacier rhodanien ou d'un cône de déjections torrentiel venu du Sud. Toutefois, la nature alpine des matériaux et leur *continuité manifeste* avec les alluvions de Collonges-Bois de-la-Bathie rend une telle explication peu vraisemblable. L'on ne voit pas bien à quel *processus* seraient dus ces lits de graviers reposant directement sur les calcaires mésozoïques et assez fortement inclinés vers l'amont.

ont probablement contribué à provoquer le creusement postglaciaire, par érosion régressive, du cañon rhodanien en aval de Léaz, peut conduire à admettre l'existence de *mouvements* analogues *plus anciens* (dont nous ne possédons pas de traces) et qui auraient eu pour effet l'encaissement progressif du glacier du Rhône dans le défilé de Fort-de-l'Ecluse pendant le cours de la période pléistocène.

En outre, il y a lieu de remarquer que la présence de l'*argile lacustre* et du « sablon » fluviatile signalés au fond de la gorge du Rhône, en contre-bas du fort inférieur de l'Ecluse, par E. Renavier (v. plus haut), montre très nettement que ce soulèvement du Crédo, par rapport à la région lémanienne d'amont (ou affaissement de cette dernière relativement à la cluse du Crédo), n'a pu avoir une grande amplitude. On sait d'ailleurs que des argiles lacustres et des couches ligniteuses de même nature supportent, près de Genève, les alluvions du Bois-de-la-Bathie. Du reste, la pente tout à fait normale qu'affectent les alluvions sous-glaciaires et le complexe morainique ancien entre Seyssel et le Crédo s'opposent également à l'hypothèse de mouvements du sol brusques et importants ayant amené ces dernières formations bien au-dessus de leur niveau originel, d'autant plus que près de Léaz elles existent *dans le même profil transversal* et en contre-bas des dépôts de la récurrence néowürmienne.

Tout porte donc à croire que les mouvements en question ont eu *peu d'amplitude*. Ils ont été progressifs et datent d'une époque postérieure à la dernière récurrence. Ils sont *postglaciaires* et pourraient avoir contribué à déterminer ou à accélérer (ainsi que l'admet le général Bourdon, dont nous ne partageons pas, du reste, les idées fort exagérées sur la mobilité actuelle du sol dans la région) les phénomènes d'érosion régressive qui ont creusé la partie nettement récente du cañon rhodanien en aval de Bellegarde.



En tenant compte de tous les faits observés dans la région

par les géologues, et en particulier des travaux de MM. Renevier, Schardt, Douxami, Penck et des observations que l'un de nous (W. K.) a consignées en détail dans le mémoire cité plus haut, on est amené à reconstituer comme il suit l'histoire de la vallée du Rhône, entre Collonges et Seyssel, pendant les temps quaternaires :

a) Après le plissement du Jura et les mouvements épirogéniques de l'époque pliocène, les glaciers alpins, lors de leurs premières avancées (*Glaciations*), ont recouvert la région genevoise et franchi le Jura à un niveau très élevé de la chaîne Crêdo-Vuache, par une dépression *beaucoup moins profonde* que la cluse actuelle de Fort-de-l'Ecluse-Léaz et dont le niveau paraît indiqué par une des ruptures de pente les plus élevées du profil transversal ¹.

Le passage des glaciers rhodaniens par la trouée du Fort-de-l'Ecluse est donc *très ancien*; il date au moins de l'époque risienne et n'a cessé de fonctionner qu'après la récurrence néo-würmienne, époque après laquelle la dépression est devenue définitivement une « cluse » exclusivement fluviale. Tout porte à croire que ce passage n'était d'abord qu'un *seuil* relativement élevé, sorte d'« ensellement » ou de col d'origine préglaciaire. Ensuite, il s'est approfondi graduellement pendant le cours des temps pléistocènes, par l'effet alternatif des érosions glaciaires et interglaciaires, ainsi que l'indiquent les ruptures de pente de son profil transversal.

b) Cette sorte de col auquel aboutissent encore actuellement les hautes moraines de Bellegarde et du flanc du Sorgia, qui formaient, de ce passage à la plaine de Culoz, un vaste cône de déjections fluvio-glaciaire, a subi au cours des glaciations successives et des périodes d'érosion fluvio-glaciaires (interglaciaires) des approfondissements successifs. Il ne cessa de

¹ Qu'il est facile de reconstituer aujourd'hui par les parties qui en subsistent entre Léaz et Bellegarde.

fonctionner comme déversoir (vers l'Ouest) du grand glacier valaisan ou de ses eaux de fonte, même lorsque au cours de ses retours successifs ce glacier ne fut plus assez puissant pour déborder le relief du Vuache. La pente tout à fait normale (mesurée par M. le professeur Penck qui, le premier, a mis en évidence l'existence de l'ancien thalweg préwürmien des dépôts *antérieurs au creusement* manifestement postglaciaires du cañon), les dépôts glaciaires plus récents découverts par Renevier dans l'intérieur de la cluse (sous le Fort intérieur) et près du rocher de Léaz, témoignent d'une façon *irréfutable* de la persistance et de l'approfondissement graduel du défilé de l'Ecluse pendant les diverses glaciations. Ils constituent notamment une réfutation péremptoire des vues du général Bourdon qui admet un soulèvement *actuel* et lent de toute la région.

C'est ainsi que le niveau, théoriquement prolongé, des moraines de la glaciation *würmienne* irait passer au-dessus du gradin marqué par le Fort supérieur, tandis qu'un autre épaulement, celui qui porte le Fort inférieur, correspondrait au domaine des moraines néowürmiennes.

c) Selon toute probabilité, c'est au moment où les glaces de l'époque würmienne se furent retirées que l'érosion commença son œuvre de creusement en aval de Léaz, en entamant l'ancien et large fond de vallée würmien. Le thalweg du Rhône actuel commença alors à se dessiner; à l'époque de la récurrence néowürmienne les glaciers revinrent dans un défilé qui, près de Collonges et de Fort-de-l'Ecluse, devait avoir à peu près la profondeur actuelle¹ et se continuait vers Grézin et Bellegarde; la récurrence suivante (du stade de Bühl) a été vraisemblablement restée confinée en amont du Léman, ainsi que l'a démontré M. Brückner.

Pendant la phase de retrait qui a précédé la récurrence néo-

¹ Ainsi qu'en témoignent les dépôts de sables et d'alluvions (de l'âge de celles du Bois de la Bathie) surmontés par des moraines récentes dans le fond même du défilé.

würmienne, il s'était établi, dans la cuvette terminale abandonnée par le glacier würmien, un ou plusieurs *lacs* temporaires, que les alluvions de progression du glacier de l'Arve, annonçant la récurrence néowürmienne, ainsi que l'Arve post-würmienne, n'ont pas tardé à combler; l'écoulement étant devenu ensuite plus facile, *il ne s'est plus formé de lac en aval du Léman* après la récurrence néowürmienne.

d) Puis, lorsque les glaciers se furent définitivement retirés en amont de Genève, le Rhône primitif (postglaciaire) qui s'en échappait continua à couler dans le défilé et utilisa en aval la vallée déjà dessinée, mais notablement moins profonde, de la Valserine, pour gagner les régions plus basses de Culoz et de Belley. *Alors seulement commença le creusement du cañon* : le fleuve tendant à établir son profil d'équilibre débaya d'abord les terrains mollassiques, mit à nu, entre Bellegarde et Seyssel, le dôme des calcaires urgoniens qu'il entama à son tour et qu'il élargit. *L'érosion régressive* entra en jeu en déplaçant sans cesse vers l'amont l'origine de la chute et ainsi se forma la gorge grandiose que nous admirons aujourd'hui, dans laquelle M. Lugeon a mis en évidence l'existence de *contre-pentes* intéressantes du fond rocheux en divers points et dont il convient maintenant d'analyser succinctement les caractères.

(A suivre.)
