

LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques
et de leurs applications

6^e Année. — Décembre 1907. — N^o 12.

La Houille noire a fait l'Industrie moderne ;
la Houille blanche la transformera.

Creusement des Vallées et Érosion Glacière

Communication faite par M. E. A. MARTEL, au Congrès de Lyon de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, au cours de la séance du 7 Août 1906.

Le deuxième question de la section de géologie (phénomènes de creusement et de remblaiement des vallées ; leurs relations avec les déplacements des rivages marins) et la deuxième question de la section de géographie (rôle et action comparés de l'érosion fluviale et de l'érosion glaciaire) doivent nécessairement être fondues en une seule, ou du moins traitées ensemble ; si l'on veut augmenter les chances de parvenir, sur leur compte, à l'expression de la vérité et surtout à l'extinction des controverses qu'elles ont provoquées jusqu'ici.

Si grands que soient les avantages de la subdivision du travail et si nécessaire que soit cette subdivision analytique des recherches, il ne faut pas oublier qu'elle conduit parfois à perdre de vue les notions générales d'ensemble, et que l'étude trop soignée des détails risque de mener à l'omission des ensembles : jamais la synthèse ne doit abdiquer ses droits, surtout en France, où l'heureuse tournure des esprits lui a fait produire tant de féconds résultats.

En compilant avec abondance — dans une autre publication (1), où l'on trouvera les références bibliographiques que je ne saurais rapporter ici — aussi bien mes propres recherches que celles d'autres spécialistes en matière d'hydrologie et de glaciologie, il m'a paru qu'il se dégageait spontanément, des opinions contradictoires en présence, une majorité pour certaines croyances qu'il serait bon de mettre en évidence ; en outre, une exploration faite en 1905 et 1906 dans une extraordinaire vallée de France, le grand canon du Verdon (Basses-Alpes), que nul n'avait pu examiner encore, m'a permis de prendre sur le vif des faits d'érosion aqueuse incomparablement gigantesques et convaincants ; enfin, un nouveau séjour en Briançonnais et Dauphiné, au mois de juillet 1906, a tellement augmenté, après ce que m'a fait voir le Verdon, mon scepticisme sur la soi-disant érosion glaciaire, que je n'hésite plus à formuler ici et avec netteté mon opinion personnelle sur ce sujet.

Les géologues dont je conteste les idées ne manqueront point, certes, de me trouver audacieux et absolu, comme les hygiénistes l'ont fait au Congrès de Bruxelles (1903), quand j'ai nié l'existence de vraies sources dans les terrains calcaires. Du moins me laisseront-ils revendiquer, pour mes manières de voir, l'avantage de n'être embarrassé d'aucune idée doctrinale préconçue, et de devoir une absolue indépendance à cette particularité qu'elles m'ont été imposées uniquement par l'observation directe des phénomènes naturels eux-mêmes.

Il y a deux ans déjà j'énonçais, ici-même (Congrès de Grenoble, 8 août 1904 : *Bulletin mensuel de l'association*, novembre 1904, p. 251), que les cluses ou Klamme étaient l'œuvre,

non pas des glaciers eux-mêmes, mais des eaux torrentielles et tourbillonnantes, ces eaux pouvant produire ces effets et creuser des *Klamme* sous les glaciers ; je faisais remarquer que la vallée de la Durance à Briançon (Pont d'Asfeld) et à l'Argentière (Pertuis Rostand), montre trois niveaux successifs de trois cours progressivement réduits et que, bien souvent, on a dû prendre pour des résidus glaciaires de véritables dépôts lacustres, fluviaux et torrentiels. Je m'étais même demandé si le large bassin de la Vachette était un ancien lac ou un ancien glacier (*La Nature*, 4 juin 1904).

Au même Congrès de Grenoble, M. Fabre (*Bulletin mensuel de l'Association*, novembre 1904, p. 252), a revendiqué, pour le creusement des vallées pyrénéennes et leurs phénomènes fluvio-glaciaires, l'influence des variations de niveaux de la mer. Cela est conforme aux études du général de Lamotte sur lesquelles je reviendrai plus loin.

Il y a loin de là aux vues des professeurs allemands Penck et Brückner, les grands apôtres de la glaciation et de la force creusante de la glace même. Malgré l'autorité de leurs noms, je m'inscris formellement contre la plupart de leurs conclusions, car elles ont conduit leur disciple Frech à déclarer que les glaciers ont été, dans le passé, l'agent le plus efficace de la formation des vallées, que les vallées actuelles seules sont dues à l'érosion de l'eau pendant la retraite des glaciers, et que le tracé originaire et antique des vallées paraît l'œuvre des forces antérieures (1). Il ajoute même une cinquième période glaciaire aux quatre reconnues par Penck et Brückner.

Une réaction se dessine fortement, depuis quelques années, contre l'école allemande de la glaciation toute puissante.

MM. Carez (à propos de la catastrophe de Bozel), Stanislas Meunier (stries des galets calcaires), A. Guébbard (vallée de la Siagne), M. P. Girardin (vallées de la Maurienne), Ch. Rabot (débâcles glaciaires de Norvège, etc.), revendiquent formellement pour l'érosion aqueuse, pour les éboulements, beaucoup de manifestations attribuées aux glaciers. M. Kilian, plus circonspect, me paraît chercher une bonne voie dans une conciliation entre les extrêmes, il ne voit pas dans le *surcreusement* une preuve de l'action érosive de la glace, il attribue à ce phénomène une origine fluvio-glaciaire et il pense que les glaces et névés protègent au contraire la topographie primitive des hautes vallées. Tout en admettant, ainsi que M. Penck (2), plusieurs périodes glaciaires, il n'est pas, en somme, contrairement à ce dernier, partisan de l'action excavante de la glace elle-même, et il a avoué même que la présence des galets striés n'est pas toujours démonstrative. En Amérique, M. Davis estime que les « méthodes d'érosion du glacier ne sont pas encore parfaitement comprises » et M. Tarr en cherche encore les preuves ! De son côté M. H. Howorth, dans un récent ouvrage (*Ice or Water*, 3 vol., in-8, Londres, 1905-1906), va

(1) Cette troisième proposition est juste, en tant qu'elle désigne l'influence des mouvements tectoniques et des cassures.

(2) *La Géographie*, 1902, t. II, p. 20 ; 1906, t. II, p. 260, il y a beaucoup de points communs entre ce mémoire de M. Kilian (novembre 1906) et mes idées ci-dessus, envoyées au Congrès de Lyon à la fin de juillet précédent, mais je trouve que mon savant confrère laisse encore trop large la part excavante du glacier.

(1) *La Spéléologie au XX^e Siècle*, 1 vol. in-8^o, 812 p. — (*Mém. Soc. Spel.* 41 à 47, 1905-1906) ; Paris, Hermann, 25 fr.

certainement beaucoup trop loin en cherchant à démontrer l'inexistence de toute période glaciaire.

Quant à l'unité de la période glaciaire, elle est soutenue par MM. Martin, Geinitz, etc., en contestation sur ce point avec Penck, Brückner, de Lapparent, Kilian, etc.

Mais de ce chef, je ne saurais rien dire.

Tout récemment, M. J. Brunhes (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 28 mai 1906, 5 juin 1906, 29 avril 1907) a de nouveau posé la question de l'érosion par le glacier « tantôt grandiose, tantôt très faible »; il a, avec une certaine réserve, montré que le profil en U ne caractérise pas seulement les vallées d'origine glaciaire, mais est aussi celui des canons; enfin, il a indiqué, après D. Martin et moi-même, que des Klamme pouvaient se produire ou, tout au moins, se continuer sous les glaciers.

Pour nous en tenir, quant à présent, à ces citations, on voit quelle intime liaison réunit l'étude du creusement des vallées et de l'action des glaciers. Regardons où nous en sommes des discussions sur ces sujets.

Comme MM. Fabre, Boule, Schardt, D. Martin, F. Mazaurie, Varen, Upham, etc., j'ai partout constaté que le creusement des vallées a commencé bien avant le quaternaire, contrairement à ce qu'on enseignait jadis.

On ne conteste plus, en somme, que l'érosion soit antérieure à l'époque dite glaciaire.

J'en ai trouvé la preuve dans les cavernes et les abîmes que j'explore depuis dix-neuf ans à travers toute l'Europe et, dès 1894, je faisais remarquer (*Les Abîmes*) combien les régions de grottes abondaient en preuves de la fuite progressive des eaux dans les sous-sols calcaires, et de l'abandon de thalwegs préexistants. A propos de Vaucluse, j'ai expliqué comment la célèbre Fontaine et la vallée de la Nesque peuvent remonter à l'époque tertiaire (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 27 janvier 1902 et *La Nature*, 2^e semestre 1903). A propos des lapiaz du Parmelan, j'ai exprimé l'idée que cet accident a été élevé en l'air, depuis sa formation, par des mouvements tectoniques, et qu'il représente un tronçon de vallée tertiaire suspendue.

Maintenant, je tiens pour certain que les anciens lits tertiaires du Tarn et de la Jonte, retrouvés par M. G. Fabre dans les Causses, ne sont nullement des exceptions et que partout de pareils thalwegs se rencontrent au moins par tronçons. Le phénomène de la descente et, en même temps, du rétrécissement des vallées est universel; à mesure que la terre vieillit, ses sillons se creusent en diminuant. L'Ouysse, dans le Lot (v. *La Géographie*, 1902), la Cesse à Minerve (Hérault), (v. *La Nature*, 21 mars 1903), et nombre d'autres cours d'eau m'en ont fourni les plus formelles preuves. Le Verdon m'a donné le plus bel et irréfutable exemple de ces *crans de descente* successifs, dont les Causses déjà avaient fourni tant d'exemples.

Tout l'aspect du lit et des rives du Verdon atteste la grande jeunesse relative du cañon actuel; il pousse rapidement son approfondissement vers le niveau de base la plus proche qui est, pour le moment, la plaine des Salles entre 410 et 450 mètres d'altitude.

L'ouverture du canon ne doit pas remonter plus haut que le pléistocène; MM. de la Noë et de Margerie ont noté, il y a longtemps, que, dans le bassin des Salles, les poudingues miocènes de Riez ont refoulé le Verdon tertiaire vers le sud; or ces dépôts pénétrèrent jusqu'à 900 mètres d'altitude à l'entrée nord du grand plan de Canjuers. Plus récents, certes, sont les amas de terre cultivés dans le creux de ce plan et qu'*a priori* je crois pliocènes. Dès le Miocène, tout au moins, les avens ont commencé la capture souterraine des grandes eaux courantes, qui ont laissé leurs traces topographiques très nettes parmi les larges et hautes dépressions (900 à 1.000 mètres) de la Palud et de Canjuers, aujourd'hui remplacées par les canons étroits du Verdon et de l'Artuby; les érosions et captures postérieures, de plus en plus décroissantes, ont fait le reste; elles continuent leur travail de déblaiement et d'af-

fouillement, toujours de plus en plus affaibli, entre 200 et 500 mètres plus bas qu'autrefois.

C'est, comme dans tous les plateaux et les vallées analogues, la consécration de la déchéance hydrologique des terrains calcaires par l'effet des absorptions fissurales, combinées avec la réduction des précipitations atmosphériques (1). Bref, pour le Verdon, le terrain environnant montre nettement trois stades d'approfondissement: d'abord le courant passa sur les hauteurs de la Palud, vers 1.000 mètres d'altitude, puis sur les terrasses du sommet du grand canon (Grèzes, petit Canjuers, vers 800 et 850 mètres), et, enfin, il creusa l'étroit sillon qui existe aujourd'hui, entre 603 et 450 mètres d'altitude. En tout cas, le creusement s'est manifestement effectué sans aucun concours glaciaire, mais il s'est réalisé par tous les facteurs suivants combinés: fractures du sol, — érosion et corrosion à la fois de surface et souterraines, — éboulements et parois et même écroulements de cavernes, — tourbillonnements et marmites, — captures souterraines et abaissement progressif depuis le miocène.

Les *vallées mortes* attestent, sans controverse possible, la plus grande abondance des eaux courantes et par conséquent la majeure puissance des érosions aux époques antérieures à la nôtre. Depuis 1894, j'insiste sur l'importance de cette considération (2). D'ailleurs, M. Stanislas Meunier est à peu près le seul à soutenir le contraire et à refuser aux « rivières anciennes des dimensions supérieures à celles des courants d'aujourd'hui ». Si je partage ses vues sur l'exagération des théories glaciaires, je me sépare, au contraire, tout à fait de lui sur cette question des anciens cours d'eau.

Il est donc certain qu'il y eut des vallées au moins miocènes, sans doute éocènes et probablement crétacées. Les gouffres de Belgique me l'ont démontré aussi (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 19 juin 1905 et 14 mai 1906).

Ainsi la question de l'âge des vallées est, d'une façon générale, résolue.

Quant à leur mode de formation, on n'a pas fini de discuter. Le rôle des cassures de tous ordres est certainement prépondérant dans l'établissement du tracé de début des vallées (3); celui des simples diaclases est sans doute plus important encore que celui des failles; il n'est, en réalité, une amorce Klamme ni aucun canon calcaire, dans lequel il ne soit possible de reconnaître l'amorce, le témoin de la fente ou de la succession de fentes coudées ou conjuguées entre elles, qui a été le point de départ et la directrice automatique de l'approfondissement. Ce sont surtout les rivières souterraines (Bramabiau, Padirac, Bétharram, etc.), qui nous ont instruits à ce sujet. M. Sevasbos trouve que les Portes de Fer et le cours inférieur du Danube sont empruntés à une grande dislocation de l'écorce terrestre.

M. de Martonne préconise, au contraire, la prééminence de l'affouillement seul, des élargissements par érosion dans les couches moins résistantes. Il est clair que la force tourbillonnante de l'eau (si bien mise en lumière par M. J. Brunhes) et des matériaux qu'elle entraîne est le réel outil de l'érosion; mais on ne saurait nier la loi générale qui, dans les torrents, comme dans les cavernes, sur terre et sous terre, fait de la *cassure préexistante* l'amorce originaire, le fil conducteur de tout creusement, quel qu'il soit! Le Verdon encore est un des plus instructifs à cet égard. Et il faut aussi, comme nous l'avons fait en 1905 et 1906, passer des journées dans le lit, ou plutôt dans le courant même d'une telle rivière torrentielle (débit de 6 à 1.400 mètres cubes par seconde; pente voisine de 1 p. 100) pour apprécier véritablement ce que peut l'érosion aqueuse en présence des fractures des roches.

L'intervention des rivières souterraines et de leurs écroulements progressifs ne peut plus être niée relativement à la

(1) Voir C. R. Acad. scienc., 11 décembre 1905 et 2 mars 1903.

(2) *Les Abîmes* (passim) et *Padirac*, 1901.

(3) Je ne parle pas ici des plissements; il est trop bien acquis et incontestable que maintes vallées se sont établies dans des synclinaux et même dans des anticlinaux rompus.

formation de beaucoup de Klamme et canons. Depuis vingt ans je cite comme topique à ce sujet le Bramabiau du Gard, qui se démolit de plus en plus et qui, actuellement, encore véritable Trient couvert, sera certainement ouvert à plein ciel d'ici à quelques siècles tout au plus; les exemples de ce genre sont multipliables à l'infini et le Verdon nous en fournit un spécimen accompli. En effet, en un point *au moins* ce n'est pas seulement sous des éboulis (comme au Pas-de-Souci du Tarn) que le Verdon disparaît; au Pas-de-l'Imbut, il passe complètement *sous la roche en place*, sur plusieurs décimètres de longueur; la perte est absolue; certains des écroulements qui font le barrage paraissent être les ruines récentes de dispositifs semblables. Il y a donc lieu, comme je l'ai indiqué, il y a longtemps (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 décembre 1888), de faire intervenir (sans généraliser cependant) les affaissements de passages souterrains, les véritables effondrements de cavernes comme l'un des facteurs du creusement des cañons.

D'ailleurs, au confluent de l'Artuby à la Mesclé (mêlée des eaux), nous avons constaté qu'une perte *actuelle* capture une petite partie de l'eau du Verdon; l'approfondissement, par voie d'affouillement souterrain, n'est donc pas encore arrêté; il y a certainement, dans le lit, d'autres pertes que nous n'avons pu que pressentir.

Le cañon du Rummel à Constantine aurait été aussi, selon M. Chudeau (*Congrès des Sociétés savantes*, avril 1905, Section des sciences) « amorcé par une rivière souterraine ». Mais cet auteur énonce à ce propos que la capture future prévue pour le Rummel par son affluent l'Oued-Nalid se réalisera sans doute dans un délai de *cent à cent vingt mille ans*, selon la méthode d'évaluation employée ». Tels sont, en effet, les écarts d'appréciation dans lesquels l'on tombe dès qu'on cherche à aligner des chiffres pour la fixation desquels toute base précise fait défaut.

Cassures et cavernes seront, si l'on veut, les *facteurs passifs* du creusement. Le facteur *actif* reste toujours par excellence la force érosive de l'eau; elle atteint à une ampleur que, d'habitude, on ne soupçonne pas; à la nouvelle digue d'Assouan, les remous ont projeté, contre le barrage, un roc de 60 tonnes, arraché au lit du Nil (*Scientific American*, 25 novembre 1905).

Au Niagara, l'érosion latérale du fleuve (et non pas celle verticale de la cascade) aurait déjà rongé les rives de 118 mètres et marcherait à raison de 6 millimètres par an, selon Wright.

Les dénudations colossales, qui ont rasé l'Ardenne, nivelé la Lorraine, aplani la Bretagne, etc., comme l'ont prouvé les beaux travaux de Bleicher, Barrois, Gosselet, les transports de blocs rocheux dont le grand cañon du Verdon a été et reste le théâtre, affirment que beaucoup de blocs, dits *erratiques*, attribués aux transports par les glaciers, ont pu être entraînés par des courants tertiaires, dont les thalwegs même ont disparu!

Quant à la rapidité de l'érosion, elle peut être énorme. Au Congrès des Sociétés savantes d'avril 1905 (Section de géologie), MM. Ficheur, Flamand et Brives ont indiqué de nombreux exemples d'érosion profonde et rapide dans toute l'Afrique du Nord, spécialement dans les dolomies du massif de Saïda-Tlemcem; et je renvoie, sur ce point, à ma récente note (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 8 juin 1906) sur la rapidité de l'érosion torrentielle.

Dans le Verdon, les crues terribles et subites (faisant varier le débit de 6 mètres cubes à 1.429 mètres cubes par seconde) donnent une force colossale de percussion aux énormes rocs et troncs d'arbres qu'elles entraînent; l'intensité de l'érosion reste ici, de nos jours même, prodigieuse. Les marmites, cannelures, saillies, perforations, baumes, découpées à même dans le lit et les rives sont, sous ce rapport, d'une fraîcheur tout à fait convaincante; elles forment un vrai *musée des actions mécaniques* (et chimiques aussi, d'ailleurs), confirmant la théorie des tourbillonnements de M. J. Brunhes.

La cloison transversale fissurée, *encore en place*, qui fait comme une épaisse grille au Pas-de-l'Imbut, doit créer, lors des flux d'eaux, une élévation de niveau de 20 à 30 mètres vers l'amont, ainsi qu'en témoignent de puissants dépôts vaseux; le déversement du cours d'eau se produit alors en cascade par-dessus l'obstacle; celui-ci, phénomène des plus remarquables disparaîtra peu à peu sous les coups de bélier des crues répétées.

Les *crans de descente*, dont j'ai parlé tout à l'heure, s'observent particulièrement dans toutes les vallées calcaires (Tarn, Verdon, Cesse, Nesque). M. Mathet m'a, récemment, signalé ceux qu'on remarque dans la vallée de l'Aveyron, à Saint-Antonin (Tarn-et-Garonne). En Espagne, ils sont légion!

Le professeur A. Heim, en 1891, a montré comment le Rhin, ou tout au moins un de ses bras, coula jadis 700 mètres plus haut qu'aujourd'hui par le col de Kunckel et toute la vallée de la Tamina. Cette dernière est toute remplie de *crans de descente* qui ont fini par abaisser le torrent à la célèbre Klamme actuellement entaillée en amont des bains de Pfäfers.

En étudiant la formation de la vallée du Rhin en amont du lac de Constance, le professeur Rothpletz a formellement reconnu que les trois cluses de la Plessur, de la Landquart et de l'Ill (où les glaciéristes n'auraient pas manqué de voir l'œuvre des surcreusements glaciaires), se déversaient jadis dans le Rhin par des cascades que l'érosion transforma peu à peu en gorges étroites (Schanffig, Fratingau, Feldkirch); en amont subsistent les terrasses marquant les crans d'approfondissement; en aval, l'usure progressive du seuil rocheux de Schaffhouse (chute du Rhin) a provoqué un abaissement du niveau de base.

C'est parce que les cascades étaient sur le calcaire, évidemment fissuré, qu'elles se sont transformées en cluses; et cette interprétation de Rothpletz est beaucoup plus logique, plus conforme aux faits observés et, en même temps, beaucoup plus féconde et plus commode pour leur interprétation rationnelle, que celle du raccordement par érosion régressive, surcreusement, remblaiement interstadiaire et autres opérations complexes entre les thalwegs principaux, profonds et les hautes vallées latérales restées en surélévation.

Dans le Briançonnais surtout, les *crans de descente* sont multipliés: ils se remarquent à toutes les barres calcaires où des cluses ont raccordé des ruptures de pente pour tendre vers le profil d'équilibre. De plus en plus étroits et profonds, ils se montrent partout au nombre de trois principaux: à Briançon, à l'Argentière sur la Durance, au Pont-Baldy sur la Cervrette, au Guil dans le Queyras, etc. Peut-être fournirai-je ailleurs, dans un mémoire détaillé, les preuves discutées de ce que je ne fais ici qu'avancer.

MM. Lugeon et Brunhes se sont longuement arrêtés à l'étude d'une de ces manifestations qu'ils ont trouvée embarrassante, les Klamme de l'Aar au Kirchet, en aval de Hasli, qui posent « le double problème du banc et de la gorge ». Ils ont fini par le résoudre en tenant compte du changement de roche et de la fissuration du calcaire compact, reposant sur des roches cristallines moins résistantes aux eaux. M. Lugeon, influencé par l'hypothèse des multiples glaciations, invoque des *épigénies* plusieurs fois répétées, c'est-à-dire cinq fois, puisqu'il y a eu cinq cluses à travers le Kirchet. M. Brunhes a simplifié en admettant que deux ou plusieurs gorges du Kirchet ont été creusées en même temps et qu'une seule est actuellement occupée par l'Aar réduite. C'est la vérité.

Elle éclate toute seule si l'on compare le Kirchet à ce qui se voit, à Montpellier-le-Vieux (Aveyron), vers 800 mètres d'altitude, en un point des Causses où le glacier n'est pas en question; le triomphe de l'eau courante devient aussi complet qu'il est possible.

Il est à la fois simple et exact de supposer que, avant que le glacier passât par dessus le banc du Kirchet, trop résistant pour être emporté (ou même pendant le passage du glacier),

les eaux sous-glaciaires avaient déjà trouvé ou trouvèrent alors, dans les crevasses du Kirchet, plusieurs passages parallèles ou du moins *concentrants* et les agrandirent en *Klamme*, dont une seule a subsisté, comme l'explique très bien M. Brunhes. Une disposition exactement et très remarquablement pareille est présentée par la sortie (aujourd'hui desséchée) du cirque de la Millière à Montpellier-le-Vieux; et dès 1888 j'ai expliqué (1) tout naturellement comment cette sortie fut l'issue, par six fissures, du courant d'eau venant du Nord, et balayant la surface du Causse noir, qui a excavé ce si étrange cirque desséché. *J'attire tout particulièrement l'attention sur cette comparaison du Kirchet avec la Millière.* Elle me paraît tout à fait typique et elle contribue à écarter toute intervention glaciaire dans les accidents du Kirchet; alors tout se simplifie si, comme je le démontrerai tout à l'heure, on considère le glacier comme un intermède accidentel, ajoutant ses effets spéciaux et passagers à ceux de l'érosion normale.

Lors du Congrès géologique de 1900, dans les Causses, la question de l'origine de Montpellier-le-Vieux avait de nouveau été discutée en ces termes (Ext. du C. R. de l'excursion des Causses, Paris, 1901) : Je rappelais que sur le bord méridional du Causse Noir, il y a un chaos rocheux bien plus important que ses similaires du Bois de Paolive (Ardèche) et de Mourèze (Hérault), au-dessus du très beau cañon de la Dourbie et à 12 kilomètres à l'est de Millau, et un des plus remarquables phénomènes d'érosion et de dénudation qui existent au monde. La dolomie sableuse bathonienne, rongée par les agents atmosphériques, constitue ces rochers pittoresques.

On n'était pas d'accord quant au *processus* de cette destruction. M. Fabre (2) et la plupart des géologues pensent qu'elle a une origine toute locale, due à l'érosion des pluies et à la corrosion des météores. J'ai toujours affirmé, au contraire, qu'elle a été produite par un ou plusieurs bras de rivières, coulant du Nord ou du Nord-Est, peut-être le courant tertiaire du Tarn ou de la Jonte, quand ils fluaient à la surface des Causses; la forme allongée des ruelles et cirques vers le Sud, l'aspect des sorties de ces cirques, taillées en gorges étroites comme les *Klamme* des Alpes (Fier, Trient, etc.), « comparaison que j'ai faite il y a dix-huit ans et qui se vérifie si bien au Kirchet », et surtout les encochenements rocheux de l'intérieur, en tout semblables à ceux des rives actuelles du Tarn et de la Jonte en sont les preuves; à tout cela, M. Fabre répliqua qu'il faudrait rencontrer, dans cette hypothèse, parmi les sables de Montpellier-le-Vieux, des galets de quartz roulés, comme ceux qui lui ont permis de jalonner, à l'extrémité orientale du Causse Noir, le lit tertiaire de la Jonte; or, le jour même de la visite de 1900, un des congressistes trouva à ses pieds un gros caillou de quartz qui achevait de me donner raison; mais ce témoin unique pouvait, dit-on alors, avoir été monté sur le plateau par les néolithiques qui, on le sait, peuplèrent jadis les alentours immédiats, sinon Montpellier-le-Vieux lui-même; et mes contradicteurs ajoutèrent qu'il faudrait lui trouver un certain nombre de similaires pour trancher définitivement la question.

Depuis lors, la rencontre de sables tertiaires, au voisinage et au niveau de Montpellier-le-Vieux, a définitivement tranché la question, et je ne comprends même pas comment elle pouvait être contestée par M. Fabre qui, justement, avait découvert, sur le Causse Noir même, l'ancien lit tertiaire de la Jonte. Mes suppositions de 1888 sont donc formellement vérifiées, en ce qui touche la formation de la sextuple issue de

la Millière par un courant d'eau puissamment ramifié, puisque c'est au niveau des plateaux supérieurs qu'on trouve maintenant les *témoins* des vallées tertiaires. Or, question d'âge à part, la barre de Kirchet et ses cinq entailles sont chose toute pareille et le glacier n'a rien à y voir!

Ici, nous devons, avec une absence de transition intentionnelle, rappeler que les vallées sous-marines signalées, au large des côtes d'Europe, d'Amérique, etc., par Dana, Hull, Davidson, Lindenkohl, Spencer (Douro, Adour, Loire, Irlande, etc., Monterey et Carmel en Californie, Hudson, etc.) sont d'anciens cañons submergés; et que les fjords de Norvège et les glens d'Ecosse sont aussi, on ne le conteste plus, d'anciens thalwegs abaissés.

Ainsi va intervenir d'elle-même la notion des oscillations des rivages marins, auxquelles fait allusion la question posée par la section de géologie. Elles me paraissent — et c'est un point sur lequel j'attire tout spécialement l'attention — en relation des plus étroites avec les *crans de descente* signalés plus haut.

Depuis quelques années, le général de Lamothe insiste sur les rapports entre les oscillations du niveau des mers et les terrasses des vallées (1). Pour l'Isser (Algérie), le Rhône, le Rhin, la Moselle, il a reconnu cinq à six terrasses de dépôts caillouteux, correspondant à autant d'anciens niveaux de ces cours d'eau, ainsi qu'à des oscillations de base. La plus ancienne remonterait au Pliocène ancien. M. R. Sevastos retrouverait également cinq niveaux au Sereth (Moldavie) et M. Schaffer les voit aussi au Danube. Enfin, M. Depéret reconnaît au moins trois niveaux successifs, pour la vallée du Rhône. Selon le général de Lamothe, ces terrasses ne plongent pas rapidement vers l'aval, elles sont liées uniquement aux oscillations marines et nullement à celles des glaciers, ni à aucune autre cause agissant à l'amont; enfin, les oscillations ont concordé dans tout le bassin méditerranéen. Au contraire, M. Penck, d'après le Danube, et M. Hang, d'après la Durance, croient à la fixité du niveau de base, à l'existence du travail opérant en amont, et à la diminution de l'érosion à l'aval.

M. Depéret trouve dans tout cela un argument contre les théories glaciéristes excessives, qui attribuent au recul et à l'avancement alternatifs des glaciers le creusement des vallées alpines et la formation de leurs terrasses.

Enfin, M. Kilian reconnaît l'importance des oscillations et leur indépendance des glaciations.

A propos des dépôts de la grotte du Prince, à Monaco, une récente discussion a eu lieu devant la Société géologique de France (de Lamothe, Depéret, Boule, Dollfus, Négris, etc.). J'avoue que les crans de descente que je trouve partout au nombre d'au moins trois (et même de cinq si l'on tient compte de certaines terrasses intercalaires) dans tous les cours d'eau méditerranéens que j'ai cités ci-dessus (et qui, je pense, se retrouvent dans bien d'autres, l'Andalousie, l'Ebre, la Narenta, l'Eurotas, etc., etc.), me rallient complètement aux vues de MM. de Lamothe et Depéret.

Ce ne sont pas les glaciers qui ont fait les trois cours successifs de la Durance à Briançon (voir *La Nature*, 14 juillet 1904), ce sont les abaissements du niveau de base résultant de l'abaissement de la Méditerranée (pour ne parler que de cette mer).

J'étendrais même le phénomène à la mer Noire en vertu des observations suivantes.

Au Caucase occidental, le Mzimta se comporte, dans la seconde moitié de son cours, entre 500 mètres d'altitude et la mer, dans le genre de la Durance; la plaine, jadis lacustre, de Kransnai-Poljanea est suivie d'un long plan incliné de chutes et rapides; puis vient une cluse profonde dans le défilé calcaire de l'Aktsou, ensuite un autre fond lacustre, et, enfin, une deuxième cluse calcaire, celle de l'Akchtyrkh, précédant immédiatement la plaine deltaïque de l'embouchure.

(1) *Bull. Soc. Géol. de France*, 16 avril 1888; 3^e s., t. XVI, p. 511.

(2) Dans les termes suivants, dont je n'ai jamais relevé la vivacité, étant sûr de ce que j'avais : « Des visiteurs, plus fantaisistes que géologues, ont attribué la sculpture et l'érosion des dolomies à un courant d'eau venu du Nord, etc. Tout cela est du pur roman ». Montpellier-le-Vieux « n'a pu subir que l'action météorique des vents et des pluies ». (*Dict. géograph. de la France : Montpellier-le-Vieux*, t. IV, 1896, p. 2814). Je pardonne volontiers à mon ami Fabre la sévérité de son inexacte critique, que ses propres recherches contribuent à réfuter!

(1) *Bull. Soc. Géol. de France*, 1901. — *C.R. Ac. des Sciences*, 10 juin 1901, 14 mai 1906, etc.

A la Narenta (Bosnie, Herzégovine), on retrouverait d'analogues dispositifs, depuis Serajevo jusqu'à Metkovitch. Celui qui prendra la peine de vérifier ce qui précède, pour les cours d'eau traversant des alternances de terrains calcaires et autres en-dessous des régions avérées d'anciennes glaciations, ne manquera certainement pas d'y reconnaître ces alternances, terrains schisteux, gréseux ou cristallins et les Klamme sciées dans les zones calcaires. Or, sur le rivage du Caucase occidental, entre Novorossïsk et Poti, on distingue nettement deux ou trois terrasses marines (à Sotchi, Novi-Athon, etc.), qui correspondent aux oscillations franco-algériennes du général de Lamothe. Je ne fais qu'indiquer, pour prendre date, ces faits, que je détaillerai ailleurs.

Bref, l'élément dominateur du creusement des vallées, le criterium qui a déterminé leurs formes, ce n'est pas l'instrument, eau ou glace, c'est le *substratum*, le terrain, en un mot la lithologie.

Quand il s'agit du travail humain, c'est l'*outil*, conduit par la force *intelligente*, qui donne à la matière, quelle qu'elle soit, la forme conçue par la *volonté*; quand c'est la nature qui opère, la force *brute* voit ses effets varier d'eux-mêmes, selon la nature des matériaux qui lui imposent des formes définies.

De même qu'il y a un si gros intérêt, au point de vue de la circulation des eaux souterraines, de leur filtration et de l'hygiène publique à partager les terrains perméables en terrains *détritiques* plus ou moins épurateurs et en *fissurés* qui ne le sont à peu près jamais, de même il faut forcément admettre que l'érosion aqueuse agit différemment sur les roches, selon qu'elles sont meubles comme les graviers, homogènes comme les schistes et certaines formations cristallines, ou fracturées, comme certains granits et tous les calcaires!

C'est faute d'avoir suffisamment eu égard à cette notion, cependant élémentaire, que la géologie doctrinaire arrive à embrouiller la science de soi-disant règles aussi fausses que complexes.

La distinction, qui tendait à devenir classique, entre le profil en V des vallées d'érosion et le profil en U des vallées glaciaires est, à mon avis, tout à fait précieuse : déjà elle avait été contredite par les vallées himalayennes (voir de Lapparent, *Géologie*, 5^e édition, p. 293); je ne puis y voir qu'une de ces enfantines catégorisations, chères aux pédagogues allemands qui, selon l'esprit de leur race, entendent discipliner les notions scientifiques dans le cadre artificiel d'un certain nombre de formules véritablement régimentaires. U ou V ne peuvent, en aucune manière, servir à différencier une vallée glaciaire d'une vallée d'érosion car, dans les calcaires, les klamme et cañons ont presque tous la forme en U, et même d'un U dont la ligne horizontale est raccordée à angle droit avec les parois verticales. Ce n'est pas l'outil, je le répète (eau ou glace) qui a provoqué le profil de la vallée, c'est la nature de sa roche; la lithologie est un caractère capital que les *définitionnistes* ne prennent pas suffisamment en considération. Et le grand cañon du Verdon nous montre justement (de même que ceux des Causses) une série changeante de profils, déterminée par les variations lithologiques des parois (1).

Géologiquement, c'est la prédominance d'énormes diaclases dans le calcaire du Jurassique supérieur (à facies tantôt tithonique, tantôt saccharoïde ou dolomitique) qui a préparé l'incision, puis l'approfondissement du cañon; les joints de stratification ont joué un rôle plus limité, d'autant plus que le torrent coule la plupart du temps à contre-pendage. La Carte géologique (Castellane), établie par M. Zürcher (1887-1894) est fort exacte, à ce détail près que les calcaires gris (*j*) en bancs très régulièrement stratifiés et très morcelés affleurent plus souvent qu'elle ne le marque; et cela dans les parties les plus élargies de la gorge, parce que ces calcaires, fissurés

à l'extrême, ont favorisé les effets destructeurs de l'érosion et formé des talus à pentes raides, que surmontent les murs verticaux des roches plus compactes; quand celles-ci descendent jusqu'au niveau de la rivière, leurs falaises ou *barres* rétrécissent la cluse au point qu'on perd souvent la vue du ciel. Comme pour les gorges du Tarn et de la Jonte, la morphologie de la vallée dépend de la lithologie de ses parois.

Enfin, la coupe universellement classique du grand cañon du Colorado (voir p. 193 de *La Géologie* de Lapparent) figure le plus net et le plus régulier des U. Cette distinction des professeurs germaniques mérite donc d'être rangée parmi les accessoires hors de service.

De même, il est parfaitement illusoire d'appliquer avec rigueur les classifications distinctives de vallées d'érosion, et vallées de fractures, par exemple, pour une même vallée, les caractères changent, non seulement dans l'espace, mais même dans le temps : ainsi le Verdon et ses affluents, quand ils coulaient à l'époque tertiaire de 200 à 500 mètres plus haut que de nos jours, dans les larges dépressions de la Palud, du petit et du grand Plan de Canjuers, etc., étaient certes de puissants cours d'érosion fluviale. A mesure que, depuis le Miocène sans doute, les captures par les fissures du sol et les agrandissements de celles-ci ont peu à peu provoqué l'enfouissement des eaux courantes, le caractère des vallées a changé du tout au tout : actuellement le Verdon doit être considéré comme vallée d'érosion entre le Pont du Soleil et celui de Carejuan (bassin de Trigance) alternativement de fractures (voire d'effondrement des cavernes et d'érosion) du Pont de Carejuan à celui d'Aguines (grand cañon), d'érosion simple (aux dépens des poudingues de Riez) dans le bassin des Salles, de fracture derechef aux Barres de Baudinard (Fontaine l'Évêque, etc.). On pourrait multiplier à l'infini les exemples de ce genre dans les terrains calcaires du monde entier, qui déroutent toutes les classifications didactiques par leurs capricieuses interférences de couches tantôt compactes, résistantes, et fissurées, engendrant les murs verticaux (dolomie, calcaires durs), tantôt tendres, délitables, quasi meubles (marnes, argiles noires ou rouges) prédisposées aux talus et affouillements. Or, comme les calcaires forment, sinon la majorité, du moins une très grande partie des assises géologiques, ils imposent l'obligation de renoncer à des formules, à des règles, à des lois, qui surchargent inutilement l'enseignement puisqu'elles comportent moins d'applications que d'exceptions. Je regrette de me heurter ainsi de front à des opinions émises et professées par les plus éminents géologues contemporains, je ne l'avais fait que timidement, il y a deux ans, à Grenoble, mais l'expérience si éloquente du Verdon enlève tous mes scrupules. D'autant que, dans ses récentes notes, M. Brunhes n'a pas craint de formuler certaines critiques contre la théorie *alphabétique* de l'U en V avec des ménagements que, pour ma part, je laisse totalement de côté.

J'affirme — et je suis sûr qu'on ne tardera pas à le reconnaître formellement — que certaines vallées occupées jadis par des glaciers peuvent avoir le profil en V, que beaucoup de vallées d'érosion aqueuse ont le profil en U, et que toutes les formes intermédiaires (qui sont questions d'espèces), réalisées, nécessitent la suppression de cette abusive et puérile distinction.

Quant aux remblaiements des vallées, ils peuvent s'expliquer parfaitement sans le concours des glaciers. Il est acquis que la diminution des courants d'eau n'a fait, en définitive, que progresser depuis l'époque tertiaire : leur pouvoir d'excavation s'est donc atténué proportionnellement, mais il n'en sont pas moins demeurés capables de charrier des alluvions et des déblais dans leurs parties déclives; c'est au débouché de ces pentes qu'ils ont, dès lors, amené leurs transports en les étalant simplement parmi les anciennes dépressions (lacustres plutôt que glaciaires) intercalaires (Bassins étagés de la Durance; bassins des vallées du Verdon, etc.). C'est là seulement que se trouvent ces grandes épaisseurs de cailloux,

(1) E.-A. MARTEL : C. R. Ac. Sc., 17 mars 1906.

de sables, d'alluvions, atteignant parfois plusieurs décamètres; jamais on ne les rencontre dans les cluses ou Klamme, dont les fonds *étroits* et inclinés laissent partout transparaître la roche en place, encore plus ou moins soumise à l'usure érosive, selon son altitude par rapport au niveau de base général.

En résumé, il apparaît comme bien probable que les crans de descente (au moins trois principaux) des rivières torrentielles méditerranéennes correspondent à trois oscillations de la mer qui les attire : pourquoi ces crans se montrent-ils de plus en plus étroits et réduits? Par places, cela peut être à cause des plus grands degrés de résistance qu'imposaient les roches inférieures. Mais, plus généralement, c'est à cause de l'appauvrissement graduel des précipitations atmosphériques, qui ont peu à peu affaibli la portée et la force des rivières. Cela est si vrai que — comme je l'ai fait remarquer depuis longtemps — dans les cavernes à plusieurs étages, l'inférieur est toujours plus étroit que le supérieur. Décadence progressive et constante des pluies, des rivières et de l'érosion : voilà ce qui est une vraie loi météoro-hydrogéologique, bien plus que la trop fameuse périodicité de Brückner, que je tiens pour tout à fait imaginaire.

Arrivant maintenant à la discussion du pouvoir de la glace, je déclarais d'abord, et une fois de plus, que quant aux gorges, cluses klamme ou cañons qui, à peu près partout, se rencontrent à la suite des cirques ou lits de glaciers anciens ou modernes, ce n'est absolument pas à la glace, coupant comme un soc de charrue, qu'on peut attribuer leur ouverture. Et je rappellerai que David Martin paraît avoir été, le premier, à reconnaître qu'il se forme de vrais cañons sous les glaciers (*Bulletin de la Société géologique de France*, septembre 1900; p. 755). Aux exemples qu'il a cités en Dauphiné, j'en ai ajouté d'autres en Suisse (Association, 1904, *loc. cit.*) et M. Brunhes (*C. R. Acad. Sciences*, 5 juin 1906) a adopté ces vues. Le fait est désormais indéniable. Mais ce qu'il faut se garder de préciser, c'est le point de savoir si la Klamme ou cluse a été creusée *avant*, *pendant* ou *après* le glacier qui s'est écoulé, non pas en dedans, mais *par-dessus* en y formant un pont. L'âge relatif de la klamme (toute d'érosion aqueuse, tout au plus d'eau sous-glaciaire) et du glacier est, selon moi, à peu près indéterminable, à cause des modifications survenues depuis la disparition du glacier : en tous cas, c'est une question d'espèces à déterminer, très difficilement pour chaque cas particulier. En juillet 1906, et pour la vingtième fois peut-être, j'ai inspecté avec le plus grand soin la Klamme, très courte, mais profonde de 85 mètres, sous le Pont-Baldy de Briançon : dans les calcaires dits triasiques, très compacts, où elle est percée, on voit encore, au voisinage, d'énormes diaclases verticales, qui ne laissent aucun doute sur l'origine par *fracture* de cette cluse; c'est 100 mètres plus haut que l'on observe des dépôts détritiques, tenus pour glaciaires et qui, je crois, sont plutôt des mélanges d'éboulis des montagnes voisines et de dépôts torrentiels; jamais la glace n'est passée dans la Klamme, sur deux parois de laquelle on distingue nettement, du haut en bas, les fractions fragmentaires concaves des marmites tourbillonnantes qui ont procédé à son ouverture : de la dureté de la roche et de la vétusté d'apparence de ces *témoins*, il résulte nettement que la Klamme est ancienne, bien plus vieille certes que celles, encore en voie de formation, de la Valserine (Ain), et du Verdon (Basses-Alpes). Il se pourrait que la cluse du Pont-Baldy fût antérieure aux glaciers de la Cerveyrette, si ceux-ci ont poussé jusque-là.

Cependant et comme le demande M. de Lapparent (*Géologie*, 5^e édition, p. 288), le pouvoir érosif de la glace ne doit pas être complètement nié, car les roches polies et moutonnées qui, à mon sens, sont la plus sûre, sinon la seule preuve, des anciennes glaciations, l'attestent suffisamment; mais on l'a très considérablement exagéré quand on a voulu lui attribuer le creusement de véritables et profondes vallées. Il est certain seulement que la demi-plasticité de la glace permet

son insinuation dans les fissures des roches, et la dilatation de ces fissures aboutissant à une certaine désagrégation de ces roches; c'est le simple phénomène des pierres gélives.

Quoi qu'il en soit, M. J. Vallot a eu parfaitement raison de dire, l'un des premiers, sinon le premier, que l'action glaciaire semble avoir été fort « exagérée par certains géologues (*Annales Observ. Mont-Blanc*, vol. III, p. 182). Très nombreux sont maintenant les partisans de cette opinion restrictive (v. ci-dessus).

Elle aura de capitales conséquences. D'abord, elle implique la correction de cette idée que certains lacs ont été excavés par des glaciers : il faut, en effet, ne considérer cette sorte d'évidement (qui, dans bien des cas, n'est pas niabile assurément) que comme l'œuvre des eaux sous-glaciaires; c'est encore selon les caprices de la pente et de la roche, de la topographie et de la lithologie, que s'est exercée, sous les glaciers, l'érosion de l'eau et non de la glace : ce n'est donc pas par sa substance même, mais par la transformation de cette substance après fusion, que le glacier a, indirectement, provoqué le creusement des cuvettes lacustres en terrains horizontaux et homogènes, et des Klamme ou cluses en terrains inclinés et fissurés.

Il y a une vingtaine d'années, M. Trutat (1) avait considéré le tunnel extérieur de la grande grotte de Lombrive (Ariège) comme formé par le passage d'un bras de glacier : sur les parois il avait vu les *coups de gorge* de la glace. Je n'admets point cette hypothèse. J'ai expliqué (2) comment cette caverne est un ancien réservoir de source aujourd'hui tarie; ledit tunnel n'avait qu'une ramification latérale du principal point de sortie de la source; et c'est l'eau seule, par ses processus habituels, érosion, corrosion et pression hydrostatique, qui l'a perforé; il ne diffère en rien comme aspect, des autres galeries souterraines d'origine hydraulique, et nul témoin spécial d'action glaciaire ne saurait y être discerné.

La discontinuité de la pente a été invoquée comme caractérisant le lit des anciens glaciers; mais cette discontinuité s'observe aussi le long des torrents et rivières torrentielles, à des altitudes où l'ancien glacier ne saurait être en cause (p. 266 pour le Verdon et p. 268 pour la Mzimta). Elle est encore la résultante de la diversité des terrains : rien n'est plus démonstratif, à ce point de vue, que les fameuses gorges du Cians entre Breuil et Tounet-de-Breuil (Alpes-Maritimes) : elles se partagent en deux parties, la supérieure en Klamme avec rapides et cascades dans le grès rouge, l'inférieure en cañon dans le calcaire; les deux raccordées par une portion quasi-plane qui fut un lac et non pas un lit de glacier. Les *paliers*, qui, dans les vallées alpines, dit M. Kilian, alternent avec des parties inclinées et encaissées pourraient bien devoir leur origine à l'action combinée des stationnements changeants des glaciers et de l'érosion régressive des eaux de fonte (notamment entre le Mont Genève et Briançon). Il y a là une louable et prudente concession aux idées qui cherchent à réagir contre celle des glaciéristes à outrance.

Je crois qu'il faut aller plus loin encore et revenir à l'ancienne idée de Surell sur les bassins lacustres; pour la Durance notamment, Surell a remarqué qu'elle « s'élargit et se resserre successivement... en chapelet de bassins successifs séparés par des étranglements ». La théorie primitive qui, dans ces bassins, plaçait d'anciens lacs, me paraît bien plus justifiée que celle qui y épanouit d'anciens glaciers! Leurs barrages ont été *crevés* par le fait des oscillations marines abaissant le niveau de base et produisant les *crans de descente*. Aux sources de l'Inn, les lacs de Saint-Moritz, Sils, Silvaplana, ne sont-ils pas là pour nous instruire, avec leurs gorges intermédiaires, de ce qui a dû se passer jadis en des vallées de stade aujourd'hui plus avancé?

Pour M. Kilian, les ruptures de pente et leurs escaliers correspondent à des creusements *interglaciaires* successifs et

(1) *C. R. Ac. des Sciences*, 28 déc. 1885.

(2) *C. R. Soc. Savantes*, 1902.

d'âges différents; je croirais plutôt que, dans le cours des âges et depuis le commencement du creusement des vallées, l'érosion *aqueuse* a, patiemment et sans discontinuité, poursuivi son labeur, en gradins sur les roches homogènes, en cluses parmi les roches fissurées; que les variations du niveau de base (oscillations des mers) ont plus ou moins activé ce travail; et que, à l'époque dite glaciaire, la carapace névénne occupant, plus ou moins bas et plus ou moins longtemps, les thalwegs déjà creusés ou en voie de creusement, y a imprimé ou déposé par places les marques de son séjour; mais la glaciation n'a produit, à mon avis, que des phénomènes accessoires, *superposés* en quelque sorte, et de passagère manière, à la grande œuvre générale et continue de façonnement, entreprise par l'érosion: celle-ci procédait déjà à son modelage, bien avant le glacier; *sous* ce dernier, elle l'a continué par l'eau de fusion; après le retrait de la carapace, elle l'a poursuivie de plus belle et même, lors de la fonte qui a suivi l'extension maximum de la glace, elle a dû déplacer, modifier, faire disparaître en grande partie, les traces ou empreintes véritablement glaciaires; peu de celles-ci se sont conservées jusqu'à nos jours et ce que, trop souvent, on nous montre comme telles n'est, en réalité, que la manifestation régulièrement déroulée (et, d'ailleurs, décroissante en force) de la pure et simple érosion aqueuse.

Cette double conception de la continuité et de la décadence du cycle d'érosion, — faisant de la glaciation un épisode, autour d'effets particuliers, moins importants et plus atrophés qu'on ne l'admet en général, — est de nature, je crois, à simplifier la solution de bien des problèmes: par exemple le fameux cas d'épigénie glaciaire du Drac dans le Trièves, signalé par P. Lory et qui a tant surpris M. Penck. Un premier lit, qu'on prétend interglaciaire, mais qui doit être tout simplement antérieur au glaciaire s'est creusé à la fin du tertiaire, le glacier a pu le remplir, puis le quitter, en le remblayant de ses moraines, et le Drac post-glaciaire, sollicité à un énergique creusement, par l'abaissement du niveau de la base de l'Isère, s'est creusé son lit présent, d'abord dans les dépôts glaciaires et ensuite dans la roche en place du sous-sol; M. Lory a expliqué les circonstances topographiques et tectoniques qui ont, par places, imposé un nouveau tracé à ce deuxième lit: actuellement, celui-ci ne doit plus s'approfondir que faiblement, et les eaux du Drac l'encombrent plutôt avec les dépôts qui s'épanouissent si lugubrement (jointés à ceux de la Romanche), dans la plaine d'inondation de Saint-Georges-de-Commiers, à Grenoble. C'est la période de remblaiement.

Y a-t-il eu plusieurs de ces périodes, plusieurs de ces oscillations glaciaires, tantôt avançantes, tantôt reculantes? Je ne marcherai pas ici dans le champ de bataille: je me borne à considérer la controverse comme insoluble, à cause de la confusion, du bouleversement et des transports opérés, au sein des dépôts glaciaires véritables, par les flux d'eaux consécutifs à la fusion même des glaciers. Actuellement, je tiens pour impossible de s'y reconnaître parmi les mélanges inextricables ainsi opérés entre le glaciaire, le fluvio-glaciaire et le torrentiel pur et simple! La *boue glaciaire*, que l'on veut distinguer par la finesse extrême de son grain et de sa claire couleur grise et louche, est un critérium dont on a singulièrement abusé: les écoulements torrentiels, consécutifs aux fusions des anciens grands glaciers, lui ont fait subir, en effet, à elle surtout, des entraînements et des déplacements qui ont, certainement, provoqué de fausses interprétations; dans maintes gorges du bassin de la Haute-Durance et particulièrement à celle de la Cerveyrette au Pont-Baldy (à Briançon), des boues, sans doute glaciaires à l'origine, ont été enlevées des points où les glaciers les avaient primitivement abandonnées, et elles ont été redéposées plus ou moins loin en aval par les torrents entraîneurs; elles ne sont plus *en place*, selon l'expression consacrée, et fréquemment on a dû en déduire faussement la présence de glaciers en des points où la glace n'a jamais passé. Dans nombre de dépôts, donnés comme glaciaires, il

suffit de regarder avec un peu d'attention la distribution de leurs éléments consécutifs pour y reconnaître une horizontalité, qui dénonce clairement le travail des eaux courantes. Dans le Trièves, par exemple, aux gorges de l'Ebron, les dépôts meubles qui revêtent assez haut, en-dessus du courant, les flancs supérieurs de la gorge, montrent des stratifications et des galets roulés, parfaitement exclusifs de toute origine glaciaire. Dans d'autre cas — et précisément au Pont Baldy, sur la rive droite de la Cerveyrette et sur les pentes du font du Randouillet à celui de l'Infernet — ce sont des éboulements de hauts sommets qui, abattus sur les flancs et jusqu'au fond des vallées, sont venus recouvrir ou brouiller des amas de bancs glaciaires, soit en place, soit transportés. Et il résulte de ces accidents une multiplicité de causes de confusion, qui doivent rendre très prématurées beaucoup des conclusions, présentées, jusqu'ici, comme définitives.

Les éboulements annuels des vallées briançonnaises (surtout de la Clairée) peuvent donner singulièrement à réfléchir à ce sujet. Combien de fois des fragments de cônes de déjection ou des dépôts de crues exceptionnelles n'ont-ils pas dû être pris pour des restes de moraines?

Le caractère emprunté aux stries n'est peut-être pas, lui non plus, aussi formel qu'on l'admet jusqu'à présent: sur les calcaires notamment où, comme on le sait, les intempéries font si rapidement disparaître les stries véritablement glaciaires, on observe très souvent des rainures de ce genre, qui ne sauraient être attribuées qu'à l'action des matériaux entraînés par les eaux courantes; pour arriver à bien différencier les stries glaciaires des stries torrentielles, il y aurait lieu d'entreprendre avec le plus grand soin l'étude détaillée des impressions de ce genre, que montrent les roches et les parois des Klamme ou cluses des Alpes et cañons calcaires tels que ceux des Causses et de Provence.

M. Stanislas Meunier a parfaitement raison d'objecter que les stries des galets calcaires polis des Préalpes vaudoises ne se seraient pas conservées si elles étaient glaciaires, et que leur origine est due au frottement des sables entraînés par les eaux souterraines.

Enfin, les marmites dites glaciaires ne sont, en aucune façon, dues à la glace elle-même; comme l'a bien montré M. Vallot, ce sont les eaux de fusion sous le glacier qui les creusent, par l'action combinée des cassures de la roche sous-jacente, des tourbillons et des sables ou meules entraînés, exactement comme pour les marmites de granit des torrents ou rivières torrentielles (J. Brunhes, Chaix, dal Piaz).

Sur ce point, la lumière est faite et complète. La discussion n'est plus permise.

Que reste-t-il donc des preuves glaciaires? Les roches moutonnées et polies, rien de plus. Tout le reste demande à être remis en discussion. Et, pour le faire, c'est une autre étude qu'il faut entreprendre, celle du *fond* des Klamme des torrents et rivières torrentielles actuels. C'est la formelle révélation que m'a fournie la descente du Verdon.

Là, au lieu de raisonner sur des *témoins* informes, des débris atrophés, des traces vagues de moraines, de stries, de boues et d'erratiques, on voit sur place et matériellement comment l'eau travaille la roche, la fouille, la burine, la brise, la pulvérise et la transporte. Ce n'est point un passé hypothétique que l'on reconstitue, avec plus ou moins d'imagination, ce sont les formes vives et à l'œuvre que l'on interroge et qui vous éclairent, ces formes, toujours pareilles à elles-mêmes, si ce n'est quant à la puissance, qui va toujours en décroissant, certes, mais dont les moyens d'action demeurent les mêmes.

Seulement un tel labeur n'est pas un travail théorique de cabinet: c'est une rude lutte contre la Nature elle-même et j'avoue que, pour surprendre les secrets du grand cañon du Verdon, il a fallu encourir autre chose que de la fatigue et de la peine (1).

(1) V. *Tour du Monde*, 8 et 15 décembre 1906.

Une fois encore je m'excuse de paraître aussi absolu, et, sincèrement, je ne prétends point que tout ce qui précède soit définitif; mais je crois apporter un nouveau moyen d'étude à une question des plus complexes. Il me paraît de nature à permettre de crier « casse-cou » aux *conclusionnistes* trop pressés; et c'est pourquoi j'ai tenu à en déduire certaines données en partie provisoires sans doute, mais dont l'étude approfondie ne manquera pas de modifier bien des idées fausses, en passe de devenir d'injustifiables dogmes!

USINE HYDRO-ÉLECTRIQUE DE SAUVIAT et Transport de l'Énergie à Thiers et à Vichy

(Suite et fin)

LIGNES A HAUTE TENSION

De l'usine de Sauviat, partent trois lignes à haute tension.

Une première ligne à 11 000 volts alimente Courpière et Thiers, au moyen de 3 fils de 40 mm². De cette ligne, à l'entrée de Thiers, se dérive celle de St-Rémy qui, en fils de 34/10, dessert les agglomérations de Château-Gaillard, Bellevue, Lombard, Granetias, Le Martinet, La Grande-Roullière, La Monnerie, situées entre Thiers et St-Rémy-sur-Durolle. De La Monnerie, la ligne se continue pour alimenter Chantelauze, Chabreloche, Noirétable et enfin Celle.

Une seconde ligne à 20 000 volts, de 20 mm², alimente St-Dier, Billon, le Moulin-Gardy, Vertaison, etc.

Enfin, une troisième ligne, à 20 000 volts, dessert Lezoux, et se prolonge jusqu'à Vertaison. C'est de cette ligne que part la dérivation de 20 mm², qui alimente Vichy et dessert sur son parcours Pont-de-Dore, Puy-Guillaume, Châteldon, et prochainement St-Yorre. Les deux lignes à 20 000 volts peuvent se boucler entre elles, et, à l'aide d'interrupteurs de sectionnement, on peut les couper en tronçons, de manière à pouvoir exécuter les réparations, sans arrêts pour les clients.

La ligne qui alimente la région de Thiers a 21 kms de longueur jusqu'à Thiers, et 45 jusqu'à Noirétable. Celle qui dessert Vichy est longue de 70 kilomètres.

Toutes ces lignes sont montées presque entièrement sur des poteaux en bois; toutefois, pour certains parcours, sur des pylônes métalliques. Les poteaux, qui proviennent des magnifiques forêts de sapins de l'Auvergne, ont été préalablement injectés au carbonyle dans un chantier établi à Courpières. Cette injection se fait de la façon suivante: les sapins sont d'abord écorcés, puis séchés pendant un an; une fois parfaitement secs, on les trempe en entier dans une cuve, de 15 mètres de longueur sur 4 mètres de largeur, remplie de carbonyle chauffé à 50° par de la vapeur. Les poteaux sont amenés dans la cuve par un pont roulant, et leur immersion se fait au moyen de poids, ce qui permet d'obtenir une certaine pression favorable à l'injection du carbonyle. Après 4 heures d'immersion, les poteaux sont retirés et mis à égoutter; deux jours après, on peut les planter. Chaque poteau absorbe 15 kgs de carbonyle, et l'injection revient sensiblement à 3 fr. 50 par poteau, main d'œuvre comprise.

La portée moyenne des lignes sur poteaux en bois est de 30 m., avec une flèche de 0^m40, pour une température de 15°.

En dessous des lignes à haute tension est montée une ligne téléphonique dont on a eu soin de croiser les fils tous les 200 m. environ, pour diminuer l'induction due aux lignes à haute tension.

Comme cela se fait actuellement sur tous les réseaux, on a supprimé les parafoudres de ligne montés sur poteaux,

dont le mauvais fonctionnement, par suite d'un entretien difficile, rend, en général, leur présence plus dangereuse qu'utile.

Un détail très intéressant à noter, c'est la mise automatique de la ligne en court-circuit et à la terre, lorsque l'on manœuvre les interrupteurs de sectionnement des lignes à haute tension. C'est là, en effet, un excellent moyen de sécurité qu'il serait bon de recommander, mais qui cependant ne doit pas faire abandonner la mise à la terre de la ligne à l'endroit même où l'on travaille. Cette dernière précaution est la seule qui préserve à peu près complètement d'une façon efficace contre les fausses manœuvres.

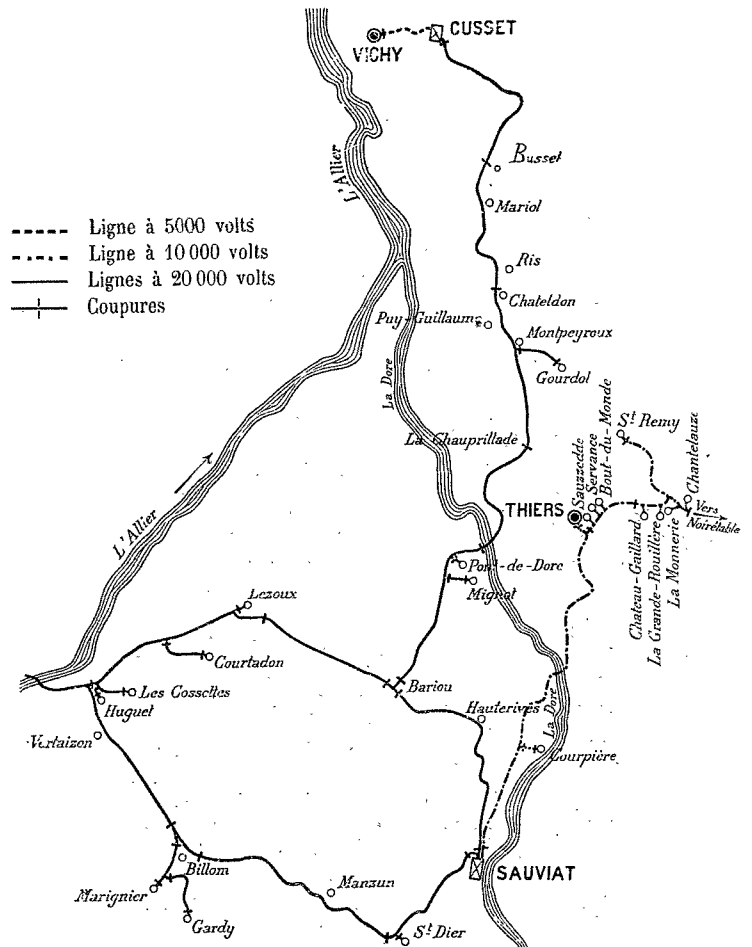


Fig. 13. — Carte du réseau de distribution de la Société des Forces Motrices d'Auvergne.

La ligne de Thiers traverse la Dore avec une portée de 130 m. et une flèche de 6 m. Pour cette traversée, les fils de ligne ont été remplacés par trois câbles de 40 mm², supportés par deux pylônes en fer. Pour la ligne téléphonique on a employé, dans cette traversée, du câble de 12 mm², avec une flèche de 8 mètres.

La ligne à haute tension qui va jusqu'à Noirétable évite l'agglomération de Thiers, en passant sur la rive gauche de la Durolle, à travers les coteaux desséchés de la Margueride. Pour éviter de faire suivre à la ligne les profondes et nombreuses sinuosités de la montagne, on a établi cette partie de ligne sur pylônes en fer avec de très longues portées. Les deux plus grandes atteignent 240 m., avec une flèche de 10 m. Les câbles, en bronze silicieux de 16 mm² de section, sont solidement fixés aux isolateurs au moyen de casques en bronze, en deux pièces, représentés sur la figure 15, coiffant les isolateurs et formant serre-fils. Dans ces grandes portées, la distance entre conducteurs est de 1 mètre.

Réseau de Thiers. — Le réseau à haute tension qui relie les différents postes de transformation répartis dans la