LES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE PROFONDES DANS LES ALLUVIONS DES VALLÉES ALPINES ; LEUR IMPORTANCE POUR LES AMÉNAGEMENTS HYDRO-ÉLECTRIQUES

par M. GIGNOUX (*)

F

Les alluvions qui remplissent les grandes vallées fluviales sont, en général, plus ou moins uniformément perméables : elles sont donc parcourues par une nappe d'eau souterraine dont le niveau se raccorde à celui du fleuve et qui s'écoule très lentement et presque parallèlement au cours d'eau. Le régime de telles « nappes phréatiques superficielles » est très bien connu et a été étudié par exemple dans les vallées de la Loire (Val de Loire), du Rhin (région de Strasbourg), du Rhône, etc.

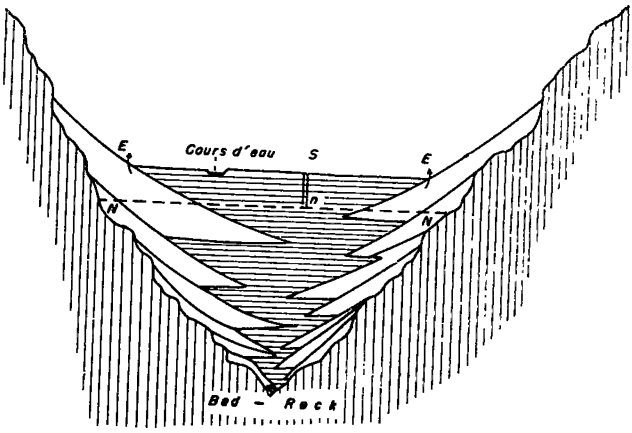
Dans nos vallées alpines, enserrées entre de hauts versants montagneux en pente raide, le régime des eaux souterraines est, en général, très différent.

Remarquons, d'abord, que nos rivières et torrents alpins sont bien loin d'avoir atteint leur « profil d'équilibre » : c'est dire que leur profil longitudinal se compose d'une alternance de « rapides » où le cours d'eau déblaye et creuse son lit dans le rocher, et de « plaines d'alluvionnements » (« plans » du langage local), qu'il remblaie progressivement. Mais ce remblaiement s'est produit ici suivant un mécanisme bien particulier, qu'il nous est facile de reconstituer par l'imagination.

Représentons-nous, en effet, l'aspect d'un de ces tronçons de

(*) L'auteur remercie vivement les Sociétés (Société hydro-électrique de Savoie, Société hydro-électrique de la Romanche supérieure, Énergie électrique du Briançonnais) qui ont bien voulu lui fournir les renseignements utilisés ici.

vallées avant que le remblaiement ait commencé ; à ce moment, les versants rocheux, que nous voyons maintenant brusquement tranchés par le « plan » alluvial, venaient se raccorder le long du talweg rocheux, en conservant approximativement la même pente. Et, de même que la partie visible aujourd'hui de ce versant est parsemée de talus d'éboulis, de cônes de déjections de petits torrents, et de couloirs d'avalanches, de même autrefois, dans la partie actuellement noyée sous le remblaiement alluvial, ces versants rocheux devaient être revêtus d'une couverture superficielle analogue.



PROFIL TRANSVERSAL SCHÉMATIQUE ILLUSTRANT LE MÉCANISME DU REMBLAIEMENT DES VALLÉES ALPINES

Les traits horizontaux indiquent les *alluvions* du cours d'eau principal, ou les *vases* déposées dans d'anciens lacs.

On a laissé en blanc les *éboulis*, écroulements, cônes de déjections ou d'avalanches, qui sont descendus successivement des versants au cours du remblaiement, et qui, *éminemment perméables*, absorbent en profondeur les eaux s'écoulant des falaises rocheuses.

Les alluvions sont généralement assez perméables, mais le cours d'eau principal les colmate le long de son lit et ne s'y infiltre pas. Elles peuvent donc rester sèches dans leur partie supérieure et recéler une *nappe profonde NN*, qu'un sondage S dans la plaine alluviale n'atteindra qu'en *n* (ex : Plan de l'Alpe du Villar-d'Arène).

Si les alluvions comportent des couches continues de vases lacustres, *totalement imperméables*, la nappe profonde peu devenir *captive* ; et, si son niveau est suffisamment élevé, donner des *résurgences* en des points tels que E, E (ex. : Plaine de l'Oisans).

Or, tous ces dépôts de pentes sont éminemment perméables ; cette perméabilité est frappante pour les éboulis et les dépôts d'avalanches et aussi pour les cônes de déjections accumulées au pied des falaises par les torrents affluents qui descendent en cascades des escarpements rocheux.

Au contraire, le remblaiement du fond de la vallée est formé par les alluvions du torrent principal, à pente modérée, où peuvent se décanter les troubles argileux ; souvent même, à la place de la plaine alluviale actuelle, il y a eu un ancien lac où se déposaient des argiles et des vases. Ce sont là des dépôts très peu perméables, ou même imperméables.

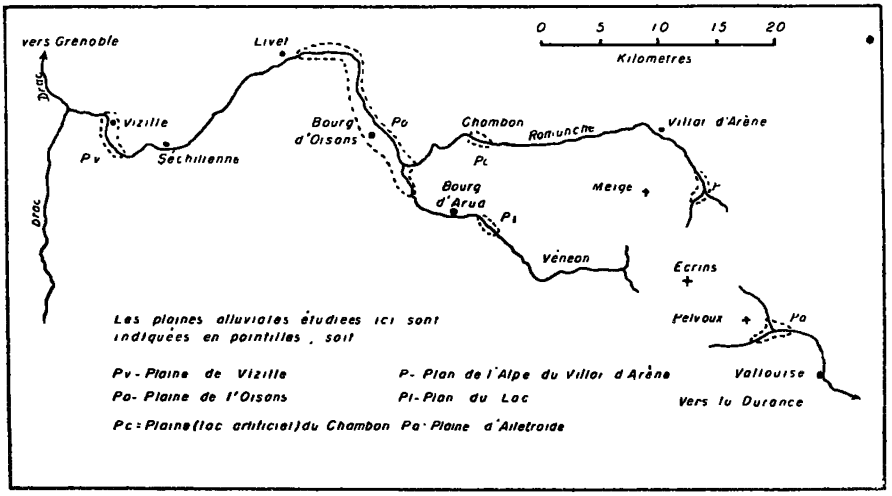
Bref, nous pouvons dire que le remplissage alluvial de nos vallées alpines se compose d'une partie centrale peu perméable, entourée sur les versants et jusqu'au fond par une sorte de gaine d'éboulis très perméable.

Et cette opposition se traduit par un régime tout à fait spécial de circulation des eaux souterraines. Le cours d'eau principal divague à la surface de sa plaine d'alluvions, qu'il colmate. Mais les eaux de ruissellement et les torrents affluents descendant le long des versants rocheux s'infiltrent progressivement en profondeur dans les éboulis et les cônes de déjections qui garnissent la base de ces versants ; ces écoulements affluents n'atteignent pas le cours d'eau principal, mais vont alimenter une « nappe souterraine profonde » qui circule le long des versants, et dans le fond du talweg rocheux. Ce « sous-écoulement » (« Underflow » des hydrologues américains) [1] ne rejoindra le cours d'eau principal que lorsque, à l'aval d'un secteur remblayé, on arrivera à un secteur de « rapides » où le cours d'eau coule directement ou presque directement sur le rocher ; là la nappe profonde ressortira sous forme de « sources », soit visibles sur les berges, soit invisibles dans les graviers de fond, et elle viendra alimenter le cours d'eau principal.

Ces considérations peuvent sembler bien théoriques et hypothétiques ; mais il est aisé de se convaincre, de visu, de leur réalité et de leur généralité. Quand on parcourt nos vallées alpines au début de l'été, pendant la période des grosses fontes de neige de haute montagne, on constate que les torrents affluents que l'on voit descendre en cascades le long des parois rocheuses se perdent peu à peu dans les éboulis et les cônes de déjections qui garnissent le pied des falaises ; leurs eaux n'arrivent point à rejoindre le cours d'eau principal ; elles vont donc nécessairement alimenter une nappe profonde, un « Underflow » dont on soupçonne, à première vue, que le débit peut être considérable.

[1] Voir, par exemple, l'ouvrage fondamental de C. F. Tolman, *Ground water* (Mac Graw-Hill Book Cy, Inc., New-York, 1937).

Dans les projets d'aménagements hydroélectriques, l'attention n'a pas été suffisamment attirée sur la généralité et l'importance de ces nappes profondes, c'est ce que nous nous proposons de montrer, par des exemples précis (²).

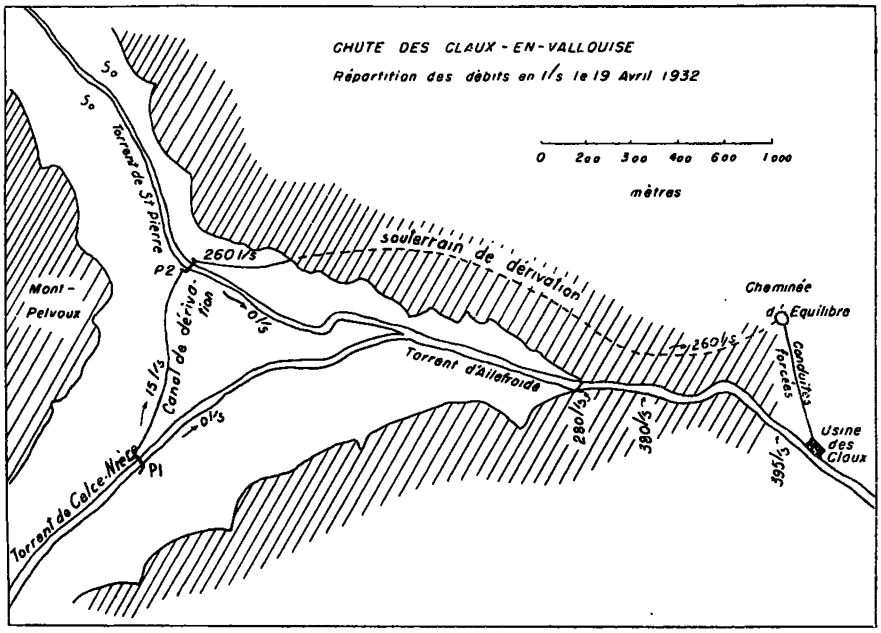


(²) Voir M. Gignoux, « Les nappes d'eau souterraine profondes dans les alluvions des vallées alpines » (*Comptes rendus du Congrès International des Mines, de la Métallurgie et de la Géologie appliquée*, 7ᵉ session, Paris, 1935. — Section de Géologie appliquée, t. II). Quelques uns des exemples décrits dans ce dernier article (nappe captive de Varces, près Grenoble, source artésienne salée des Bouches-du-Loup, A.-M.) n'ont pas été repris ici, car ils ne touchent pas à des questions d'aménagements hydroélectriques. Et inversement, j'ai pu tenir compte ici de beaucoup d'observations nouvelles.

I. — LA PLAINE ALLUVIALE D'AILEFROIDE AU PIED DU PELVOUX

(Bassin de la Durance).

C'est dans cette région que l'alimentation de l'usine des Claux-en-Vallouise réalisée par l'Énergie électrique du Briançonnais (E. E. B.)



Les torrents de Celce-Nière et de Saint-Pierre sont dérivés en P1 et P2 par de petits *barrages superficiels* fondés sur les alluvions de la *plaine d'Ailefroide* et alimentant l'Usine des Claux. — Dans le tréfonds de cette plaine (à une profondeur de plus de 100 m.), circule une *nappe souterraine profonde*. Dans le torrent de Saint-Pierre, une partie de cette nappe ressort en amont du barrage sous forme de sources S, S ; de sorte que le débit dérivé est ici relativement important (245 l/s). — Mais la plus grande partie de ce sous-écoulement passe sous les barrages de prise et ne vient ressortir que plus en aval, dans la région où le bed-rock (granite imperméable, figuré en hâchures obliques), se rapproche du fond de la vallée.

Le total de ces *émergences perdues* atteint 395 l/s, alors que le débit dérivé n'est que de 260 l/s.

m'a montré pour la première fois, en 1932, l'importance de ces nappes profondes.

La petite plaine alluviale d'Ailefroide, entourant l'extrémité Est du

Mont Pelvoux, est parcourue par les torrents de Celse-Nière et de Saint-Pierre, qui confluent à son extrémité aval pour donner le torrent d'Ailefroide. On avait installé sur chacun de ces torrents une prise d'eau dérivée par un petit barrage superficiel, fondé à quelques mètres de profondeur sur les alluvions. De la prise de Celse-Nière, un canal de dérivation superficiel conduit à la prise de Saint-Pierre, d'où la dérivation continue en souterrain pour aller alimenter les conduites forcées descendant à l'usine des Claux-en-Vallouise.

Les premières études avaient été faites par une entreprise locale ; mais les emplacements des prises étant difficilement accessibles en hiver, on s'était contenté de faire les jaugeages bien en aval, dans le torrent d'Ailefroide, à proximité de l'usine, la superficie du bassin versant étant sensiblement la même pour ces deux régions.

Or, au moment de la mise en service de l'usine, les débits d'hiver donnèrent lieu à des constatations inattendues.

Citons, par exemple, les chiffres relevés le 19 avril 1932. Ce jour-là, la prise superficielle de Celse-Nière ne donnait que 15 l./s., preuve que le débit du bassin versant devait presque totalement passer par la nappe profonde, sous le barrage. La prise de Saint-Pierre débitait 260 l./s. ; et de fait, il existe à l'amont de cette prise, sur le torrent de Saint-Pierre, de petites sources qui ramènent au torrent une partie de la nappe profonde. Enfin, entre l'extrémité aval de la plaine alluviale et l'usine des Claux, le torrent d'Ailefroide coule plus ou moins directement sur le rocher ; on voit donc ressortir là, sous forme de sources, la totalité de la nappe profonde, de sorte que le débit de ce torrent en amont de l'usine atteignait 395 l./s., c'est-à-dire un chiffre bien supérieur au débit dérivé ; et il s'agissait là d'eaux d'hiver, les plus intéressantes.

Pour récupérer ces eaux perdues, l'E. E. B. envisagea alors l'éventualité de pompages aux emplacements des prises superficielles, pour ramener dans ces prises les écoulements profonds qui passaient sous les barrages. Consulté sur l'épaisseur probable des alluvions en ces points, j'estimai qu'elle devait être certainement supérieure à 100-150 mètres et je suggérai une exploration par sondages électriques. Ces derniers, effectués en novembre 1932 par la « Compagnie générale de Géophysique », montrèrent que la profondeur du socle granitique sous les alluvions (éboulis, moraines, etc.) devait, en effet, être de l'ordre de 150 à 200 mètres au minimum, avec même, localement, une sorte d'entaille descendant bien au-dessous de 200 mètres.

Ces données suffisent à montrer que toute tentative de pompages serait ici pratiquement irréalisable, d'autant plus que ces pompages devraient puiser exactement dans la partie la plus profonde du talweg rocheux, point extrêmement difficile à préciser.

II. — LA NAPPE PROFONDE DU « PLAN DU LAC », VALLÉE DU VÉNÉON

La plaine dite « Le Plan du Lac » a été remblayée par le Vénéon, en amont de Bourg-d'Arud. A l'extrémité aval de cette plaine, la « Société Hydroélectrique de Savoie » a édifié un petit barrage superficiel de prise, d'où part, sur la rive droite, une dérivation en souterrain passant au-dessus du village de Bourg-d'Arud et allant alimenter l'usine de Pont-Escoffier, située à l'extrémité amont de la plaine du Bourg-d'Oisans, où le Vénéon se jette dans la Romanche.

La formation de ce « Plan du Lac » est facile à expliquer. En effet, entre cette plaine et Bourg d'Arud, s'étale sur la rive gauche du Vénéon un immense éboulis, appelé « Le Grand Clapier » ; il y a eu là, peut-être aux temps historiques, un gigantesque éboulement descendu des parois rocheuses de la rive gauche, ce qui a barré la vallée et déterminé probablement la formation d'un lac temporaire qui, actuellement comblé, est devenu le « Plan du Lac ». De fait, en fondant les ouvrages de dérivation, on a rencontré, quelques mètres au-dessous des graviers et cailloutis superficiels du Vénéon, des argiles plastiques qui ne peuvent être que des dépôts lacustres.

Ainsi le barrage de prise ne pouvait être fondé sur le rocher qui, à première vue, doit se trouver ici à au moins 100 mètres de profondeur. On s'est donc contenté d'un barrage de dérivation superficielle qui, bien entendu, laisse passer au-dessous de lui la nappe profonde circulant sous le remblaiement alluvial du Plan du Lac.

Dans la traversée du Clapier, et surtout vers l'aval, le talweg rocheux se rapproche peu à peu de la surface ; la nappe profonde ressort alors dans le lit du Vénéon par une série de résurgences ; ces résurgences étaient pour la plupart invisibles avant les travaux, mais elles ont apparu nettement après dérivation du cours d'eau. C'est ainsi que le 8 mai 1946, le débit du Vénéon superficiel était seulement de 25 l./s. à 25 mètres à l'aval du rideau de palplanches aval protégeant les ouvrages de dérivation ; et tout à fait à l'aval du Cla-

pier, près du pont de Bourg-d'Arud, ce débit, alimenté par les résurgences successives de la nappe profonde, était de 320 l./s.

Ce chiffre donne une idée de l'importance des eaux ainsi perdues, eaux précieuses puisqu'il s'agit de débits d'hiver, mais pertes qu'il n'était pas possible d'éviter : on ne pouvait que les prévoir et en tenir compte pour les conditions d'équipement et d'exploitation de la chute.

De fait, cet équipement a été basé, très correctement, sur les résultats des jaugeages du Vénéon superficiel effectués au Plan du Lac, à l'emplacement même de la prise.

III. — LES NAPPES PROFONDES DE LA VALLÉE DE LA ROMANCHE [3]

Cette vallée, le long de laquelle se succèdent de nombreux aménagements hydro-électriques réalisés ou projetés, va nous fournir des exemples très variés des diverses manifestations de ses nappes profondes : nous les étudierons de l'amont à l'aval.

1° Le plan de l'Alpe du Villar-d'Arène.

Ce « plan » qui, sur 2 000 mètres de longueur, remonte doucement de 1 960 à 2 050 représente la plus élevée des plaines alluviales remblayées par la Romanche, et que nous décrirons dans les paragraphes suivants. Elle constitue un site magnifique pour un immense bassin de retenue à haute altitude. La « Société Hydro-électrique de la Romanche supérieure » (S. H. E. R. S.) étudie ainsi actuellement, à l'extrémité aval de cette plaine, l'implantation d'un *grand barrage de retenue*.

Il est possible qu'ici, comme au Plan du Lac, le remblaiement ait été causé par un *barrage naturel* dû à des écroulements et éboulements descendus de la rive gauche ; de fait, à l'aval du Plan de l'Alpe, la Romanche se précipite dans la zone de *rapides* dite « Pas de l'Ane à Falque » ; là, elle coule d'abord au milieu d'éboulis à blocs énormes, puis à l'aval, à mi-chemin des rapides, on la voit

(3) On trouvera une brève description géologique de la vallée de la Romanche en aval du Chambon dans l'ouvrage suivant : M. Gignoux et L. Moret, *Géologie Dauphinoise, ou Initiation à la Géologie par l'étude des environs de Grenoble* (Arthaud, Grenoble-Paris, 1944).

tomber en cascades directement sur le rocher ; là apparaissent quelques sources, *résurgences de la nappe profonde* qui circule sous les alluvions du Plan.

Ici, heureusement, et contrairement à ce qui se passe au Plan du Lac, la profondeur du talweg rocheux à l'emplacement du barrage projeté n'est pas excessive, et permettra de descendre les ouvrages jusqu'au bed-rock. On pourrait penser à édifier ici une digue en terre ou en enrochements fondée sur alluvions ; mais dès le début, j'ai attiré l'attention des ingénieurs sur l'importance probable de la nappe profonde et sur la nécessité de la barrer par un écran étanche.

Aussi cette nappe a-t-elle fait l'objet d'études très intéressantes de la S. H. E. R. S.

On a d'abord fait des *puits et sondages* dans la plaine alluviale ; on a constaté ainsi que la Romanche superficielle colmatait son lit : des puits creusés à quelques mètres seulement de distance horizontale de ce cours d'eau sont descendus à sec jusqu'à plus de 10 mètres de profondeur ; et c'est seulement à 12-15 mètres sous la plaine que ces puits ont rencontré une *nappe profonde* absolument régulière, sans aucune relation avec la Romanche superficielle.

Puis, sur mes conseils, des déversements de *fluorescéine* ont été effectués dans l'un de ces sondages, avec le concours du Laboratoire d'essais de l'École des ingénieurs-hydrauliciens de Grenoble. La nappe profonde affleurait dans le sondage à la cote 1948, soit 13 mètres de profondeur ; on y déversa 4 kilogrammes de fluorescéine, en deux temps, l'un au jour J à 18 heures, l'autre au jour J + 1 à 4 heures. En aval, les jours J + 1 et J + 2, des prélèvements furent faits dans les rapides du Pas de l'Anc à Falque, en amont de la cascade sur rocher (cote 1850 environ) en des points qui s'échelonnent entre les cotes 1940-1915 (points A, B, C, D) et 1885-1860 (points E, F, G). Le colorant apparut dans tous les prélèvements ; mais, fait remarquable, le jour J + 1 ce furent les prélèvements aval (E, F, G) qui montrèrent le maximum de coloration, tandis qu'aux prélèvements amont (A, B, C, D) ce maximum ne fut atteint que le jour J + 2. Cela montre que *la nappe chemine plus rapidement dans les parties profondes que dans les zones superficielles*, fait bien en accord avec le principe général énoncé au début de cet article, à savoir que les remplissages alluviaux de nos vallées alpines sont plus perméables dans leur tréfonds que dans leurs parties superficielles.

Il resterait à évaluer le *débit* de cette nappe profonde ; cela pour-

rait être tenté, soit par des jaugeages superficiels instantanés en amont et en aval des résurgences, soit par la méthode du « nuage de sel » ; par un déversement prolongé de sel dans la Romanche superficielle au Plan de l'Alpe, on arrivera à avoir au départ un titre constant, et des prélèvements faits à l'aval des résurgences permettront d'estimer le débit de la nappe profonde.

2° Le barrage du Chambon et l'usine du Pont-Sainte-Guillerme.

On sait que pour asseoir le barrage du Chambon sur le rocher, on a été conduit à faire des fouilles extrêmement profondes du côté du parement amont (4) ; car le talweg rocheux présentait là une contrepente et s'abaissait rapidement vers l'amont. Bien que ces fouilles dans les alluvions aient été effectuées en période d'étiage hivernal, leur épuisement a été très difficile. Du point de vue qui nous occupe, il est intéressant de noter que les *venues d'eau les plus importantes* ne provenaient point de la Romanche superficielle, ni même des zones supérieures du remplissage alluvial, mais bien des *zones profondes du cône de déjections du torrent* du Mont de Lans, ici affluent de rive gauche de la Romanche. Nous retrouvons donc là un nouvel exemple du mode d'alimentation de la nappe profonde qui ici circulait dans les alluvions de la plaine du Chambon, plaine devenue maintenant le bassin de retenue.

Notons enfin que l'*usine du Pont-Sainte-Guillerme,* alimentée par le barrage du Chambon, a été édifiée sur une petite plaine alluviale, encore très étroite, où coule ici la Romanche. Malgré ses dimensions très exiguës, ce remplissage alluvial suffit à donner asile à une *nappe profonde* indépendante de la Romanche superficielle ; car un *puits* creusé à côté de l'usine, pour avoir de l'eau potable, bien que situé à quelques mètres du cours d'eau, n'a trouvé de nappe souterraine qu'à 4 ou 5 mètres en dessous du niveau de celui-ci.

3° La nappe captive de la plaine du Bourg-d'Oisans.

L'origine de la vaste plaine alluviale de l'Oisans est bien connue. A son extrémité aval, vers Livet, la Romanche reçoit deux grands ravins affluents, l'Infernet sur la rive gauche, la Voudaine

(4) Voir M. Gignoux et L. Moret, « Les conditions géologiques du barrage du Chambon-Romanche » (Travaux du Lab. de géol. de l'Univ. de Grenoble, t. 23, 1942).

sur la rive droite, par où peuvent dévaler des masses énormes de débris rocheux, soit par avalanches, soit par crues torrentielles dues à des orages d'une violence exceptionnelle. Lorsque, par une coïncidence heureusement fort rare, ces deux redoutables affluents débitent à la fois, ils peuvent accumuler dans le fond de la vallée des amas de matériaux formant un *barrage naturel,* en amont duquel la plaine de l'Oisans se trouve temporairement transformée en un immense lac. Un tel phénomène s'est produit plusieurs fois au cours des périodes historiques et, pour la dernière fois,. en 1666 (d'après Raoul Blanchard).

Il n'est donc pas étonnant de constater que le sol de notre plaine est formé par des *vases lacustres* argileuses et *très peu perméables* suffisamment homogènes et continues pour maintenir sous pression les eaux souterraines qui, conformément à notre règle générale, imprègnent la base du remplissage alluvial, formant ainsi une « *nappe captive* » qui n'a évidemment aucun rapport avec la Romanche superficielle.

C'est ce qu'ont bien démontré une foule de sondages artésiens qui, après avoir traversé sur 10-15 mètres d'épaisseur les argiles lacustres, ont trouvé des eaux jaillissant au-dessus du niveau de la plaine.

Mais, sur les bords, au pied des falaises rocheuses, les placages d'éboulis très perméables permettent parfois aux eaux profondes captives de remonter jusqu'à la surface, en s'insinuant entre la roche en place et les argiles du milieu de la plaine. Ainsi apparaissent des émergences dont les plus célèbres sont les fameuses « *sources de la Rive* » ; on appelle ainsi une magnifique rivière, aux eaux toujours claires, à débit relativement constant, qui prend naissance par un groupe de sources au pied même des falaises granitiques de la rive gauche, en dessous de la nouvelle route du Bourg-d'Oisans au Villard-Notre-Dame. De là la Rive gagne le milieu de la plaine où elle coule alors par-dessus les argiles lacustres, et vient finalement se jeter dans la Romanche superficielle.

D'autres émergences, bien plus modestes, apparaissent aussi en face, sur l'autre rive, au pied des falaises rocheuses qui dominent la route nationale immédiatement en aval du Pont-Sainte-Guillerme.

Nous ne savons rien sur les exutoires que peut avoir cette nappe de l'Oisans vers l'aval, à Livet, à l'extrémité de la plaine.

4° Les barrages de dérivation entre les plaines du Bourg-d'Oisans et de Vizille.

Dans ce secteur qui correspond à une suite de « rapides » se succèdent en cascades d'anciennes usines hydroélectriques, alimentées par de *petits barrages superficiels* de dérivation, dont aucun n'est fondé sur le rocher.

Nous savons seulement que, lors de la construction des premiers de ces barrages, on s'attendait à des épuisements importants dans les *fouilles* descendant *au-dessous du niveau de la Romanche superficielle*. Ces craintes ne se sont pas réalisées et les fouilles purent être effectuées en grande partie *à sec*, ce qui fut alors une source de bénéfices pour les entrepreneurs. Ainsi, là encore, il doit y avoir des nappes profondes, circulant tout à fait indépendamment du torrent de surface, lequel colmate son lit.

Cette situation est particulièrement nette à l'usine la plus en aval, celle de *Noyer-Chut*, où la plaine alluviale commence à s'élargir : on m'a affirmé qu'un *puits* d'alimentation en eau potable de cette usine atteignait une *nappe profonde captive* qui, parfois, en période de fonte de neiges, déborde par la margelle du puits, à plusieurs mètres au-dessus du niveau de la Romanche.

5° La plaine de Vizille et les sources du Château de Vizille.

J'ai été amené à étudier l'hydrologie souterraine de la plaine de Vizille à l'occasion d'un projet d'aménagement hydroélectrique de ce tronçon inférieur de la vallée de la Romanche.

Ce projet prévoyait une dérivation sur la rive droite à Séchilienne, en amont de Vizille, et une chute en aval de cette ville. Ainsi la *Romanche superficielle*, dans sa traversée de la plaine de Vizille, aurait été « *court-circuitée* » *et partiellement asséchée*.

Or, immédiatement en amont de Vizille, sur la rive droite, émergeant de la plaine, les fameuses « sources du Château » donnent naissance à une véritable rivière qui agrémente le parc du Château et y alimente un établissement de pisciculture.

Beaucoup d'habitants de la région et en particulier les dirigeants de l'établissement de pisciculture croyaient à ce moment que les sources du Château étaient alimentées *directement par des infiltrations de la Romanche superficielle* à son entrée dans la plaine de

Vizille, en amont des sources. On exprima donc la crainte que l'aménagement hydroélectrique projeté, tarissant la Romanche précisément dans cette région, fît *tarir* les *sources* en même temps.

Pour trancher la question, je conseillai de creuser *deux puits d'épreuve* de chaque côté de la route nationale à son entrée dans la plaine, au droit d'un éperon rocheux de la rive droite, et du départ du « Canal des Martinets » dérivé de la Romanche. L'un de ces puits se trouvait entre la route et les sources les plus en amont, l'autre entre la route et la Romanche. Or, même dans ce dernier puits, qui n'était pourtant qu'à quelques mètres de distance de la rivière, la nappe souterraine ne fut rencontrée qu'à 3-4 mètres au-dessous du niveau de la Romanche.

Il s'agissait donc bien là d'une nappe profonde, d'un « *sous-écoulement* » sans relation directe avec la Romanche superficielle. Comme les sources de la Rive dans la plaine du Bourg-d'Oisans, les sources du Château de Vizille sont des résurgences d'un « Underflow » alimenté par les écoulements lointains descendus des versants sur une grande distance en amont.

IV. — RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les ingénieurs, soucieux avant tout de réalisations pratiques et immédiates, se contentent d'ordinaire d'apporter tous leurs soins à la solution de problèmes particuliers, considérés isolément. Les géologues au contraire, de par leur formation (et parfois leur déformation) intellectuelle et scientifique cherchent toujours à établir des règles et des principes généraux ; car ils estiment « qu'il n'y a de Science que du général ». Mais les problèmes de géologie appliquée à l'art de l'ingénieur ne conduisent que bien rarement à l'établissement de *lois* ou de *règles* tant soit peu générales et qu'il est souvent dangereux de vouloir appliquer sans discernement à tel ou tel cas particulier. Les problèmes étudiés ici constituent à ce point de vue une rare et heureuse exception, et c'est pourquoi je m'y suis attaché avec une complaisance qui a peut-être lassé mes lecteurs.

Et j'en dégagerai les conclusions générales suivantes :

1° Nos vallées alpines montrent une succession de bassins remblayés ou « *plans* » *alluviaux* séparés par des zones de « *rapides* ». Les extrémités aval de ces « plans » constituent naturellement des

emplacements tout indiqués pour le départ de dérivations utilisant les chutes des « rapides » ([5]).

2° Ces masses de *remblaiement* sont schématiquement constituées par *deux parties* de perméabilité très différentes :

a) une partie *centrale, axiale, peu perméable,* formée par les alluvions du cours d'eau principal, généralement colmatant.

b) une « *gaine d'éboulis* » et de cônes de déjections, qui revêt les versants rocheux et descend jusqu'au bed-rock du talweg ; ces matériaux, beaucoup *plus perméables*, donnent asile à une « *nappe profonde* », à un « *sous-écoulement* » totalement indépendant du cours d'eau principal qui circule sur la plaine alluviale et alimenté par des apports, parfois très lointains, descendus des versants.

3° Le *débit* de cette nappe profonde peut être, en certaines saisons, du même ordre que celui du cours d'eau superficiel ; il est en tout cas beaucoup plus régulier et moins affecté par les étiages d'hiver.

4° Si le barrage prévu à l'extrémité aval du plan alluvial est un ouvrage en maçonnerie *fondé sur le rocher,* ou une digue en terre ou en enrochements avec un *masque étanche* descendant jusqu'au rocher, alors l'existence de la nappe profonde ne pose aucun problème : elle sera barrée et dérivée.

5° Mais si on se contente d'un simple barrage de dérivation, *fondé sur les alluvions* et laissant passer en dessous de lui la nappe profonde, alors l'équipement et l'exploitation de la dérivation devront être basés sur des *jaugeages* du cours d'eau superficiel effectués à *l'emplacement même de la prise d'eau,* et non en aval, ni non plus sur des statistiques pluviométriques du bassin versant.

6° Si, avec un tel barrage, on envisage une *retenue,* même de faible hauteur (5-10 mètres par exemple), on s'expose à *noyer la base des éboulis* perméables qui revêtent les bords de la plaine alluviale, au-dessus de la surface de celle-ci ; ces zones d'éboulis ainsi noyées constitueront alors des *voies d'infiltration* particulièrement aisées pour les eaux de la retenue, qui risqueront donc, même sous une très faible charge, de s'écouler facilement, par cette « gaine », dans la nappe profonde et de court-circuiter le barrage.

([5]) Sur les cartes géologiques au 1/80 000 ces « plans » alluviaux sont indiqués en « alluvions modernes » (lettre *a*2 et teinte très claire) ; un simple coup d'œil sur ces cartes permet donc de repérer immédiatement les emplacements qui se prêteraient ainsi à la création de bassins de retenue.