

Les pertes du lac Brenet (Vallée de Joux)¹

PAR

D. AUBERT

Le lac Brenet occupe le fond d'un synclinal secondaire de la vallée de Joux, dont le remplissage de Crétacé, étanchéisé par un colmatage de glaciaire, est visible près du village des Charbonnières. Au S et au N, il est limité par des massifs de calcaire appartenant à des anticlinaux de Jurassique supérieur, et au SE, il s'appuie aux terrains charriés de la Dent de Vaulion, qui forment une série d'escarpements dominant la voie ferrée, entre le Pont et l'entrée du tunnel des Epoisats (fig. 1).

Il est alimenté par le trop-plein du lac de Joux qui s'écoulait autrefois par un détroit naturel, comblé lors de la construction de la gare du Pont et remplacé par une canalisation artificielle. Celle-ci existe encore, mais elle ne fonctionne plus depuis le percement d'une galerie souterraine.

Le lac Brenet n'a pas d'émissaire superficiel. Jusqu'à la fin du siècle passé, l'eau s'engouffrait dans plusieurs entonnoirs distribués sur la rive W et NW. L'étude de ces pertes et de leur résurgence à la source de l'Orbe, 2,5 km en aval, a fait l'objet de nombreuses recherches dont on trouvera l'exposé dans la Monographie géologique de la vallée de Joux². Depuis un demi-siècle, les entonnoirs sont endigués et le trop-plein du lac s'écoule par la galerie de la Tornaz, qui alimente l'usine hydroélectrique de la Dernier, près de Vallorbe.

¹ Les observations qui sont à l'origine de cette étude ont été faites à la demande de la Compagnie vaudoise des Forces motrices des lacs de Joux et de l'Orbe. Le Directeur de cette entreprise, M. Abrezol, a bien voulu m'autoriser à en publier les résultats. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude.

² D. AUBERT. — Monographie géologique de la Vallée de Joux. *Mat. carte géol. suisse*, Nouv. série, 78° livr. 1943.

Toutefois, l'obstruction des entonnoirs n'a pas supprimé tout écoulement en profondeur. Les mesures effectuées par le Service fédéral des Eaux, de 1915 à 1921, ont révélé les pertes suivantes, pour le seul lac Brenet :

Date	Niveau du lac	Perte
Août 1915	1008,35	1,148 m ³ /sec.
Septembre 1915	1007,55	0,863 m ³ /sec.
Novembre 1921	1005,30	0,577 m ³ /sec.

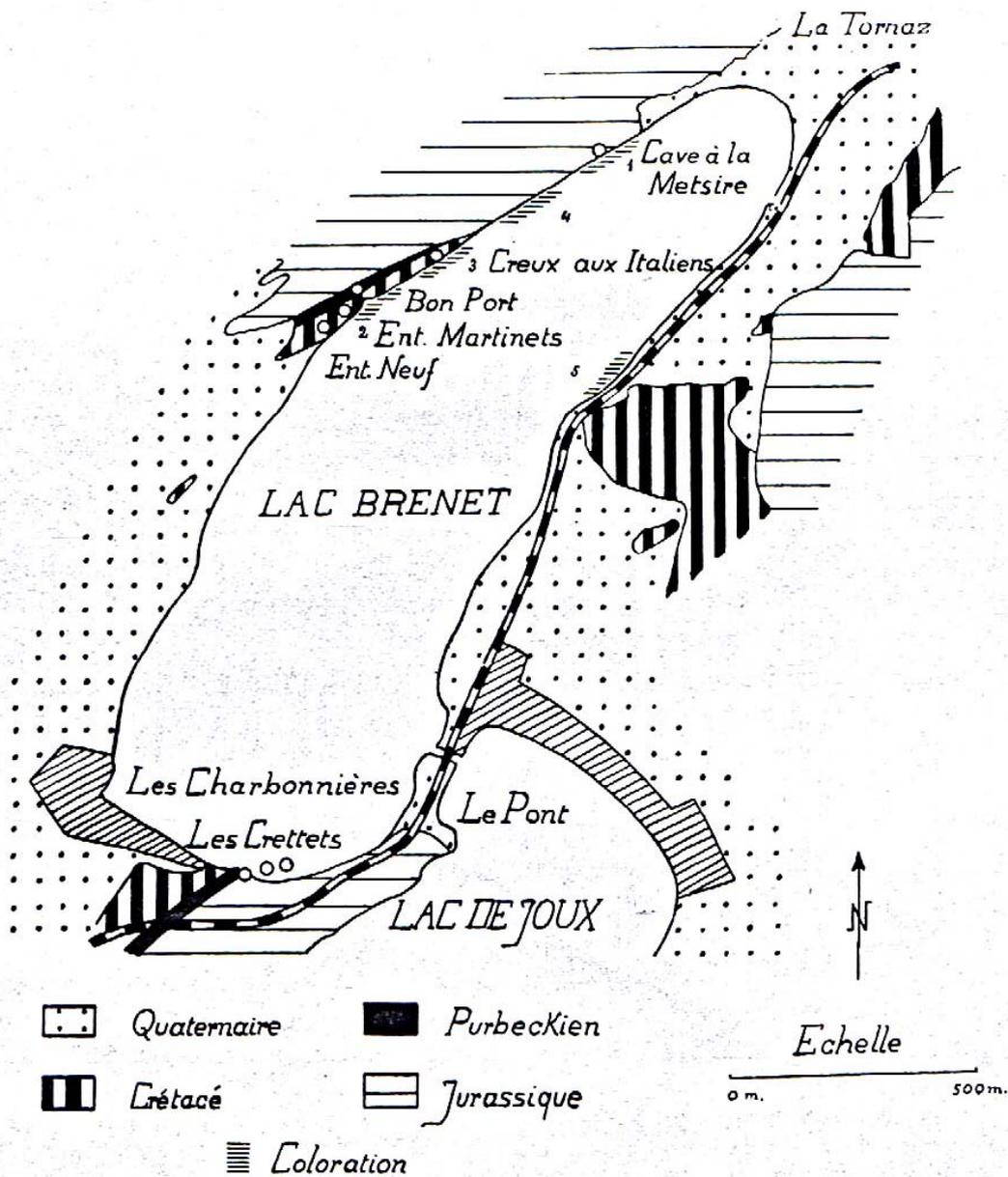


FIG. 1. — Situation des entonnoirs du lac Brenet.

Les pertes diminuent donc très rapidement quand le niveau s'abaisse. C'est la preuve qu'elles se produisent à faible profondeur, non loin du rivage. Cette constatation a amené la Compagnie de Joux à prendre une mesure fort judicieuse qui consiste à maintenir le lac Brenet à un niveau minimum (1005,5 m en moyenne), tout en conservant au lac de Joux un plan d'eau aussi élevé que possible, mesure qui a exigé la fermeture du canal de communication et le percement d'une galerie à une cote inférieure.

En dépit de cette précaution, le lac Brenet subit encore des pertes appréciables que l'on peut estimer, d'après les mesures ci-dessus, à plus d'un demi-mètre cube par seconde, ce qui représente un déficit annuel de 7 à 8 millions de kw. Est-il possible de localiser ces pertes ? C'est justement le problème que nous nous sommes posé.

L'entonnoir des Crettets (Charbonnières) occupait autrefois l'extrémité méridionale du lac. Depuis l'abaissement du niveau et l'extension excessive des grèves qui en est résulté, il ne fonctionne plus et se comble rapidement. C'est un entonnoir littoral endigué (fig. 2) ; sa position correspond exactement à l'emplacement de la combe purbeckienne. Dans l'état primitif, il y avait, paraît-il, un second entonnoir, qui fut comblé lors de la construction d'un hangar à bateaux.

Cet entonnoir littoral, qui rejoint les fissures de la roche en place à faible profondeur, est accompagné d'un groupe de dépressions creusées dans la vase du lac. Découvertes aujourd'hui, et en partie comblées, elles s'ouvraient autrefois sous un ou deux mètres d'eau. En juillet 1941, les deux plus grandes se trouvaient à une trentaine de mètres à l'E de l'entonnoir principal. C'étaient des fosses presque circulaires, larges de 7 mètres et profondes de 5, séparées par une étroite muraille échancrée. La plus éloignée du bord était en train de s'approfondir : des blocs de vase se détachaient des flancs et s'écrasaient au fond. L'autre, avec des parois moins raides, paraissait sénile ; des débris végétaux en occupaient le fond.

A la même époque, se trouvaient encore sept autres creux plus petits, au SE des deux grands. Deux avaient l'aspect de canalisations étroites s'enfonçant obliquement dans la vase ; les autres étaient de simples dépressions circulaires.

En décembre de la même année, le lac étant très bas et la vase durcie par le gel, j'ai pu les étudier plus commodément. Les deux grands trous, partiellement remplis de neige et de glace, ne formaient plus qu'une cavité allongée, l'isthme qui

les séparait s'étant effondré. En outre, ils étaient reliés à l'entonnoir littoral par une goulotte rectiligne, de 4 à 5 mètres de large et profonde d'environ 1 mètre. Les autres dépressions étaient en partie cachées par la neige. Toutefois plusieurs montraient des parois rafraîchies par de récents éboulements

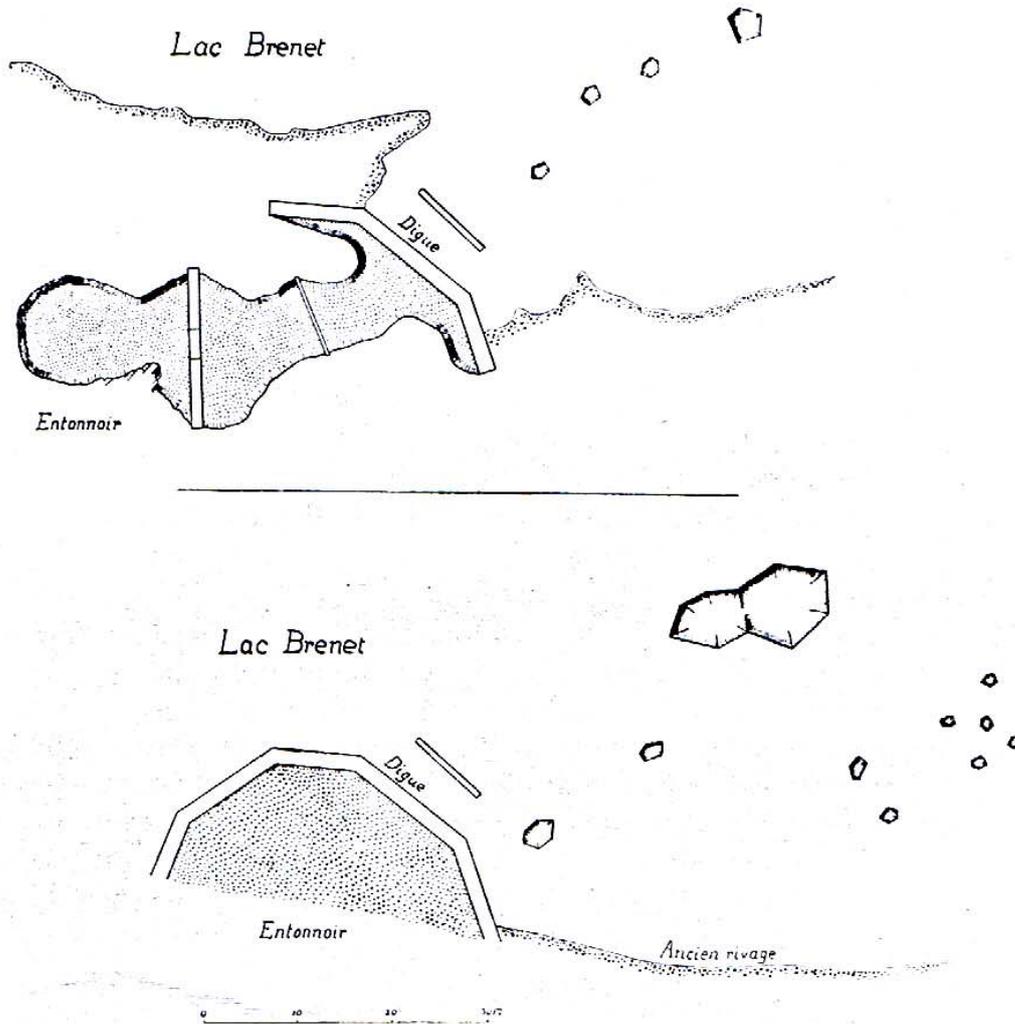


FIG. 2. — L'entonnoir des Crettels.

La figure supérieure, tirée d'un document du Service fédéral des Eaux, montre l'état de l'entonnoir en 1915. Des bancs de Portlandien affleurent au fond de l'excavation. Quatre dépressions crèvent le fond du lac au large de la digue.

La figure inférieure, extraite d'un plan de la Compagnie d'entreprises et de travaux publics, représente les mêmes lieux en décembre 1941. L'excavation de l'entonnoir a été partiellement comblée. Quant aux dépressions sous-lacustres, elles ne correspondent plus du tout à celles qui existaient antérieurement et de nouvelles se sont développées un peu plus à l'E.

et dans l'une d'elles se perdait un ruisseau provenant du lac. Enfin on remarquait, entre les trous, des dépressions peu profondes et irrégulières, des canaux et des fissures, comme si le fond vaseux s'était localement affaissé.

Cinquante mètres à l'E, un sondage a donné la succession suivante, de haut en bas :

1. *Craie lacustre*, 0,75 m. Masse blanchâtre, veinée et molle, avec de nombreuses traces de végétaux et des débris de coquilles.

2. *Moraine superficielle*, 0,35 m. Sables et cailloutis non stratifiés un peu rubéfiés par endroits. Les plus gros cailloux se trouvent au sommet, en contact avec la craie lacustre.

3. *Moraine de fond*, 8,40 m. Argile plastique gris bleu, se désagrégant en petits blocs anguleux. Pas de galets. Dans un autre sondage, la même couche a fourni des galets striés.

4. *Argile sèche et dure* que le trépan n'entame plus.

La même série est partiellement visible aux parois des grandes fosses sous-lacustres. Dès lors, on peut s'étonner que l'eau parvienne à s'écouler et que des pertes puissent se produire, à travers des matériaux aussi étanches que cette épaisse couche d'argile compacte. En réalité, il n'y a qu'un écoulement accidentel, car ces dépressions n'ont que l'apparence de véritables entonnoirs. Ce sont des effondrements locaux provoqués par la circulation en profondeur de l'eau d'infiltration de l'entonnoir littoral. C'est ce que montrent les indices de tassements relevés plus haut, en particulier la goulotte qui relie la plus grande des fosses à l'entonnoir, ainsi que l'extrême variabilité de la morphologie locale. La figure 2 illustre les changements qui se sont produits de 1915 à 1941. Moi-même j'ai pu constater que l'aspect des deux grandes dépressions s'est modifié dans l'espace de six mois (de juillet à décembre 1941) et que l'emplacement des petites n'était plus reconnaissable à la fin de cette période. S'il s'agissait de véritables entonnoirs, l'écoulement tendrait à les approfondir et à les fixer. Si, au contraire, ce sont des effondrements, on comprend qu'il s'en forme sans cesse de nouveaux et que les anciens ne tardent pas à se combler.

Lorsque ces accidents surviennent, des pertes peuvent se produire temporairement dans la masse argileuse éboulée, jusqu'à ce que le colmatage les interrompe. A la longue pourtant, ces voies d'eau pourraient prendre de plus en plus d'importance, à mesure que disparaît l'argile, entraînée par le drainage profond. Il est vrai que ce danger n'est plus à craindre, toute

Les *entonnoirs de Bon Port* jalonnent le rivage NW. En cet endroit la côte rocheuse est constituée par une série verticale de bancs valanginiens, purbeckiens et portlandiens qui forment le flanc du synclinal. La régularité de la série est interrompue par une petite faille, visible dans l'entonnoir principal, qui rétrécit localement le Purbeckien et le Portlandien supérieur.

Trois entonnoirs perforent les calcaires valanginiens : l'entonnoir *Neuf*, celui des *Martinets* et le *Creux aux Italiens*. L'entonnoir de *Bon Port*, de loin le plus important et au surplus considérablement excavé autrefois pour l'établissement d'un moulin qui en utilisait la force hydraulique, est creusé dans le Purbeckien dont on voit affleurer les calcaires à *Chara* parmi les éboulis, le glaciaire et les déblais. Le dernier enfin, la *Cave à la Metsire*, s'enfonce dans les calcaires du Portlandien supérieur.

Bien que les entonnoirs soient endigués, des fuites se produisent certainement à travers les calcaires de cette côte abrupte, dont les diaclases doivent rejoindre les canalisations profondes des entonnoirs. Mais les indices qui permettraient de localiser ces pertes sont bien faibles. Toute la partie W (Ent. Neuf, Bon Port et Martinets) est recouverte de déblais qui cachent la morphologie primitive. Le Creux aux Italiens est séparé du lac par une barre de Crétacé au pied de laquelle la sonde révèle l'existence d'une fosse peu étendue, mais assez profonde. Que des pertes puissent se produire à travers cette espèce de falaise calcaire, cela paraît vraisemblable.

Près de la *Cave à la Metsire*, les observations sont heureusement plus fructueuses. L'abaissement du lac a découvert un trou circulaire à parois verticales, profond de 1,20 m, large de 2 m, creusé dans la craie lacustre. Un peu plus à l'W, il en existe un autre, plus grand, mais partiellement comblé par la vase et la végétation. L'un et l'autre sont des affaissements locaux semblables à ceux des Crettets. Le premier est tout récent, le second date de plusieurs années.

Ces deux accidents nous apprennent que l'écoulement persiste en profondeur, sous la craie lacustre. Celle-ci, qui recouvre le fond du lac d'un tapis continu, ne constitue donc nullement un revêtement étanche comme son aspect un peu argileux pourrait le faire supposer.

Non loin de la plus grande excavation, les vagues ont creusé une petite entaille dans la grève, à la suite de l'abaissement artificiel du lac. Dans cette minuscule falaise, on peut constater que la craie lacustre repose sur des cailloutis, vrai-

semblablement d'anciens éboulis de la paroi portlandienne. Cette observation permet de mieux comprendre comment se produisent les pertes : après avoir filtré à travers la couche de craie lacustre, l'eau circule dans les éboulis et rejoint les fissures de la roche.

En l'absence de moraine, rien ne s'oppose à la disparition de l'eau. En effet, le bassin du lac Brenet est imperméabilisé par un revêtement de moraine de fond argileuse qui affleure en plusieurs points de la grève et que nous avons retrouvé dans le sondage des Crettets. L'écoulement souterrain ne peut se produire que là où cette couche imperméable n'existe plus. Il est donc localisé dans une étroite zone littorale où l'action des vagues a pu la faire disparaître, plus particulièrement au pied des escarpements où l'érosion est la plus efficace. Ces considérations rejoignent celles qui découlent des mesures du Service fédéral des eaux, en ce sens que les pertes sont limitées à la zone peu profonde et qu'elles sont localisées le long de la côte rocheuse de Bon Port. Il semble invraisemblable qu'il puisse en exister ailleurs, où la moraine imperméable subsiste.

Pour essayer de préciser l'emplacement des pertes, il fallait avoir recours à des expériences de coloration. C'est ce que j'ai fait en 1946, à la demande de la Cie de Joux. Cinq expériences ont été tentées avec 5 kg de fluorescéine chacune. La première a été faite au moyen de bouteilles d'un litre que l'on faisait éclater au point voulu avec des détonateurs. Ce procédé, qui permet d'obtenir une très forte concentration, a l'inconvénient, dans les eaux peu profondes, de projeter une partie du colorant dans la vase du fond, d'où il ne se dégage que très lentement. C'est pourquoi, dans les expériences suivantes, j'ai préféré dissoudre préalablement la fluorescéine dans une seille et verser la solution dans le lac. Les prélèvements d'eau avaient lieu toutes les heures ou toutes les deux heures, à l'usine de la Dernier, 500 m en aval de la source de l'Orbe. Les vannes des entonnoirs restaient fermées pendant les expériences et le niveau du lac était maintenu à 1005,30 environ (Fig. 1).

Ces expériences démontrent l'existence de pertes sur la rive de Bon Port, mais ne permettent pas de les localiser exactement. Il semble bien que l'infiltration se produise sur toute la côte rocheuse, c'est-à-dire sur une longueur de près de 1000 mètres, avec des maxima à proximité immédiate des entonnoirs où l'évacuation de l'eau est la plus rapide, ainsi qu'aux points où les bancs rocheux se rapprochent du lac. C'est le cas du

Expériences de coloration du lac Brenet.

No	LAC BRENET			SOURCE DE L'ORBE		
	Zone colorée	Date	Heure	Résultat	Début de la coloration	Fin de la coloration
1.	Abords de la Cave à la Metsire	20-8	9 h. 30	Positif faible	20-8, 22 h.	21-8, 24 h.
2.	Canal de Bon Port	28-9	16 h. 30	Positif très faible	29-9, 18 h.	29-9, 18 h.
3.	Abords du Creux aux Italiens	2-10	16 h. 45	Positif très net. La coloration de la rivière a été remarquée par les ouvriers de l'usine	3-10, 20 h.	3-10, 12 h.
4.	Baie à l'E du Creux aux Italiens	3-10	17 h.	Douteux	—	—
5.	Rive S. Baie à la hauteur d'une paroisse dominant la route	15-10	9 h. 30	Franchement négatif	—	—

Creux aux Italiens (exp. N° 3) où les calcaires valanginiens s'enfoncent directement dans l'eau.

Le résultat de la dernière expérience (N° 5) est intéressant par son caractère négatif même. Non seulement il confirme la localisation des pertes sur la rive de Bon Port, mais il donne davantage de poids aux résultats positifs quoique faibles des trois premières expériences.

Dans les expériences que fit Forel en 1893, le colorant, jeté directement dans l'entonnoir de Bon Port, réapparut à la source 22 heures plus tard. Dans nos expériences, la durée du trajet est très variable : 12 ½ h dans la première, 25 ½ h dans la seconde et plus de 27 h. dans la troisième. Ces écarts sont sans doute en relation avec les aléas de l'infiltration, mais ils sont déterminés également par la quantité d'eau contenue dans les canalisations, qui dépend elle-même du moment où les vannes furent ouvertes antérieurement et de la durée de cette opération. Donc, il ne faut pas attacher trop d'importance à la durée du trajet souterrain. L'essentiel est que la coloration ait été constatée à la source.

Conclusions. — Les observations et les expériences qui précèdent nous amènent aux conclusions suivantes :

1. Le lac Brenet est un lac de colmatage glaciaire. Il a pris naissance après le retrait du glacier local, dans un bassin fermé tapissé de moraine argileuse imperméable. Il en est de même du reste, du lac de Joux et de toutes les tourbières, asséchées ou non, de la région (Cf Monographie de la Vallée de Joux, p. 117).

2. Depuis l'abaissement du niveau lacustre à 1005,5 m environ, les pertes souterraines se produisent exclusivement sur la rive escarpée de Bon Port, dans la zone étroite dépourvue de moraine. Des sondages permettraient de déterminer la largeur de cette zone.

3. L'écoulement ne se produit pas par des fissures béantes ou par des entonnoirs sous-lacustres, sauf peut-être à la hauteur du Creux aux Italiens où le calcaire s'enfonce directement dans le lac. Ailleurs, l'eau filtre à travers les matériaux superficiels, craie lacustre, déblais, éboulis, et rejoint les canalisations de la roche en place.

4. On peut être à peu près certain que les pertes se répartissent sur toute la longueur de la rive rocheuse, soit sur près de 1000 m. Toutefois les expériences de coloration montrent qu'elles sont plus fortes au voisinage des entonnoirs où l'évacuation en profondeur est plus facile et qu'elles paraissent d'autant plus importantes que les bancs rocheux se rapprochent davantage du lac.

5. Enfin on peut se demander si ces pertes tendent à augmenter ou si le colmatage contribue à restreindre peu à peu leur activité. La réponse n'est pas douteuse : leur intensité doit s'accroître avec le temps. Les affaissements qui se produisent au voisinage des entonnoirs nous ont appris en effet que l'eau d'infiltration mine la couche argileuse, affaiblissant ainsi le revêtement imperméable du lac. Du reste, l'étude des autres bassins de la vallée de Joux ne fait que confirmer cette observation ; partout l'activité des entonnoirs tend à l'emporter sur le ruissellement superficiel.

6. Pour terminer, il me paraît intéressant à titre de comparaison, de citer les conclusions d'un radiesthésiste aujourd'hui décédé, M. Rambal, qui a étudié à sa manière en 1942, l'écou-

lement des lacs de Joux et Brenet. Selon lui, les eaux englouties par tous les entonnoirs du lac de Joux et par celui des Crettets aboutissent à la source du Doubs (France), la résurgence de l'Orbe étant alimentée par celles qui disparaissent à Bon Port, renforcées en cours de route par des remontées provenant d'un grand courant d'origine alpine, passant à plus de 1000 mètres de profondeur. Il conteste donc toute valeur à l'expérience de coloration de janvier 1894 qui établissait la relation entre l'entonnoir du Rocheray (lac de Joux) et la source de l'Orbe.

En outre M. Rambal prétend que les pertes actuelles du lac Brenet sont dues à la présence de quatre entonnoirs situés au fond du lac. Il en indique le débit, 1160 l/sec., et en précise la situation. Malheureusement le scaphandrier qui a exploré le fond du lac pour vérifier leur existence, a constaté que « le fond est parfaitement uni, ne présentant aucune aspérité, ni accident; aucun rocher, ni caillou n'est visible sur la vase, dont la surface se soulève en nuage au moindre attouchement ».
