

## Les formes du relief et la nature du sol.

Les grandes lignes du relief ont été données par la structure géologique des chaînes et des vallons. D'une manière générale, les lignes de relief correspondent aux anticlinaux et les vallées aux synclinaux.

Tandis que les synclinaux ont gardé la plus grande partie de leur remplissage, l'érosion superficielle a décapé les crêtes et amené l'affleurement des bancs du Portlandien, du Kimeridgien et du Séquanien. Alors que les bancs rocheux plus résistants se dressent sous forme de crêts, les couches marneuses se sont creusées en combes. L'érosion n'a cependant atteint nulle part jusqu'au Dogger, sauf en dehors de la Vallée de Joux proprement dite, dans la combe des Epoisats, ouverte dans le flanc renversé de la Dent-de-Vaulion. De l'alternance des combes et des crêts naîtrait une monotonie certaine si d'autres formes ne réveillaient l'intérêt. Les bancs calcaires fissurés se sont prêtés à l'érosion karstique qui s'est exercée jusqu'à la couche imperméable des marnes argoviennes.

Tout le bassin supérieur de l'Orbe évolue suivant les lois de l'érosion karstique. La cuvette même du lac de Joux possède les caractères d'un poljé, non seulement d'origine tectonique, mais aussi, selon toute apparence, dû à l'érosion karstique préglaciaire.<sup>1</sup>

Le lac de Joux atteint sa plus grande profondeur (34 m.) au Sud du Lieu, à 500 m. du rivage occidental. On peut situer dans ces parages immédiats le ou les entonnoirs où s'engouffraient alors les eaux superficielles du bassin. Quant aux eaux recueillies dans la cuvette qu'occupe aujourd'hui le lac Brenet, profond de 20 m. seulement, elles se dirigeaient probablement aussi vers ce gouffre. En effet, l'anticlinal séparateur des deux bassins s'efface à tel point près du Pont, que des dépôts morainiques semblent former seuls le barrage entre les deux lacs.<sup>2</sup>

Ainsi, au début de la période glaciaire, les grandes lignes du relief étaient tracées, tant à la surface que dans la profondeur, où, par l'effet de la dissolution chimique, les innombrables fissures des calcaires s'élargissaient et s'approfondissaient, créant tout un réseau de canalisations souterraines.

Durant la période glaciaire, toute la région fut recouverte de névés sur les hauteurs et de glaciers dans les bas-fonds. Il s'ensuivit un arrêt dans l'érosion karstique, le sol gelé ne s'y prêtant pas.

A son retrait, la lourde carapace de glace abandonna un revêtement de moraines. L'érosion karstique put reprendre partout où n'atteignaient pas les dépôts glaciaires.

Tous ces dépôts sont d'origine jurassienne. Le glacier du Rhône n'a jamais pu franchir la barrière que lui opposait la chaîne du Mont-Tendre, trop haute même dans ses enlacements les plus accusés. L'erratique

<sup>1</sup> F. MACHAČEK (15), p. 137.

<sup>2</sup> D'après A.-B. TUTEIN NOLTHENIUS (17), p. 107, le Crêt-Malrond et le Mont-d'Orzeires seraient des fragments du prolongement septentrional de cet anticlinal.

alpin s'arrête à 1094 m., à l'Est du col du Molendruz (1184 m.). Le col de Saint-Cergue aurait pu livrer passage au glacier du Rhône et l'on a, paraît-il, relevé quelques traces de blocs alpins vers les Rousses. On peut expliquer leur présence en admettant <sup>1</sup> qu'ils ont été poussés par le glacier alpin jusqu'au niveau du col et repris ensuite par des glaciers locaux qui les ont charriés plus à l'intérieur du Jura. Entre les Rousses et le Pont, jamais encore on n'a relevé trace de glacière d'origine alpine.

Les masses de glace que devaient alimenter les névés du Noirmont, du Mont-Tendre et du Risoud ont abandonné un matériel imposant que l'érosion torrentielle postérieure n'a pas pu faire disparaître.

On reconnaît encore les crêtes des moraines frontales qui barrent toujours plus ou moins le fond du vallon principal. La route de la Gollise à l'Orient en utilise une ; d'autres s'esquissent de Praz-Rodet à la Burtignière, du Campe aux Piguët-Dessous, de Chez-Villard à Versles-Moulins, puis, plus au Nord-Est, recouvertes par la nappe du lac, celles de la Gravière aux Vieux-Cheseaux, du Rocheray au Bas-des-Bioux, de Chez-Aaron aux Esserts-de-Rive, de Chez-Grosjean à Pré-Lyonnet. Ces barrages immergés sont encore plus reconnaissables que les premiers, car ils s'amorcent par de petits promontoires graveleux qui se font face de chaque côté du lac.<sup>2</sup>

Tout le fond morainique du val présente l'alternance irrégulière de dépressions, jadis lacs, aujourd'hui tourbières, reliées par le cours indécis de l'Orbe, et de buttes elliptiques de drumlins. Nous ne croyons pas qu'il faille y rattacher les « monts » du lac de Joux.

Le fond de ce lac est relevé par 17 collines sous-lacustres dont les faîtes arrivent à 17, 12, 10, 6, 5, 4 et 1 m. de la surface. Le plus proche du niveau normal du lac est, tout en amont, le Mont-de-la-Beine (alt. 1007 m.). Le Petit-Mont atteint 1004 m., à 4 m. du niveau de la nappe. Neuf sont à la cote 1003 m. (le Mont des Esserts-de-Rive, le Mont de Pré-Lyonnet, le Mont-de-la-Capite, le Mont-Rond, le Mont-Chez-la-Musique, un autre Petit-Mont, le Mont-Mousse et le Grand-Mont). Deux sont à la cote 1002, sous 6 m. d'eau (le Mont de la Roche-Fendue et le Mont-des-Herbes). Les quatre autres sont sous 10 m. d'eau (un Mont-des-Écuellenes et le Mont de l'Abbaye), sous 12 m. (un second Mont-des-Écuellenes), enfin sous 17 m. d'eau, à la cote 991 m. un mont anonyme.

Les monts de la rive occidentale sont alignés, parallèlement au rivage, à des distances allant de 150 à 250 m. Ceux de la rive orientale forment une ligne brisée et s'écartent jusqu'à 500 m. du rivage. Entre deux, la cuvette du lac se creuse avec une régularité que le contraste rend plus frappante.

Selon Schardt <sup>3</sup> et Aubert, <sup>4</sup> les monts sont des restes de moraines latérales. Machaček <sup>5</sup> y voit des drumlins immergés, pareils à ceux qui

<sup>1</sup> F. MACHAČEK (15), p. 72.

<sup>2</sup> L. GAUTHIER (18), p. 294-295.

<sup>3</sup> H. SCHARDT (9). Art. « Lac de Joux ».

<sup>4</sup> S. AUBERT (36), p. 330.

<sup>5</sup> F. MACHAČEK (15), p. 137-138.

parsément la plaine alluviale en amont du lac. L'origine glaciaire n'est admise ni par Forel,<sup>1</sup> ni par Nolthenius.<sup>2</sup> Le premier suppose que les monts ont été dégagés par l'érosion superficielle, avant la naissance du lac, alors que les eaux recueillies dans le bassin fermé s'écoulaient par le grand entonnoir du point le plus profond. Cette opinion a été reprise et renforcée de nouveaux arguments par Nolthenius qui a remarqué une analogie frappante entre les monts immergés et les crêts de la combe du Lieu. Ceux-ci sont taillés dans les bancs plus ou moins résistants du Crétacé et les monts du lac pourraient donc fort bien être constitués par des pointements de roche en place recouverts de glaciaire, bien visible ce dernier au Mont-de-la-Beine. Leur position sur deux lignes parallèles à la direction générale des couches serait un argument en faveur de cette hypothèse. Dans ce cas, les monts du bord oriental seraient formés par le flanc Nord-Ouest du synclinal crétacé du lac de Joux. Toutefois le doute planera tant que des sondages à travers les monts n'auront pas été effectués.<sup>3</sup>

La moraine de fond, augmentée de tous les matériaux arrachés aux moraines latérales par des torrents courts, mais violents, interrompt l'érosion karstique dans les régions basses de la dépression en fermant toutes les issues par où l'eau s'était échappée précédemment. Il se forma donc un lac de dimensions beaucoup plus vastes que le lac de Joux actuel. Sa nappe devait s'étendre loin en amont et comprendre le lac des Rousses (1059 m.), puisque ses eaux ne pouvaient s'échapper que par le seuil de la Pierre-Punex (1063 m.), d'où elles se déversaient dans la dépression de Vallorbe.

L'émissaire de ce grand lac n'a pas laissé de traces bien profondes. Il ne pouvait manquer de vigueur, car la pente est trop rapide ; il a donc dû être de courte durée ; peut-être n'était-il qu'intermittent.

S'échappait-il par le ravin que suit aujourd'hui le sentier qui descend vers Vallorbe ? Rejoignait-il la combe des Epoisats, à l'Est, en franchissant l'ensellement au Sud du Crêt-des-Alouettes ? Peut-être a-t-il utilisé successivement ces deux lits. L'existence de ce grand lac est attestée, d'autre part, par les terrasses et les cônes deltaïques formés par les torrents latéraux qui se frayaient un chemin vers le lac.<sup>4</sup>

Les plus importants de ces amas fluvio-glaciaires se trouvent dans la région du Pont et de l'Abbaye, où ils constituent le plus clair de la zone arable. Les matériaux accumulés entre le Pont et l'Abbaye ne peuvent provenir que de la vallée d'érosion ouverte par un de ces torrents temporaires entre le Pré-de-l'Haut et le Mont-du-Lac. Il est moins aisé de reconnaître l'origine des dépôts qui dominent le Pont. Résultent-ils du travail d'un torrent descendu des flancs de la Dent-de-Vaulion par la

<sup>1</sup> F.-A. FOREL (29).

<sup>2</sup> T. NOLTHENIUS (17), p. 34.

<sup>3</sup> T. NOLTHENIUS pense établir un rapport entre la hauteur du plus grand nombre des monts (1003 m.) et l'action des vagues. C'est très admissible, mais à condition d'exclure le niveau actuel. Il y a selon toute apparence un rapport entre cette cote si répandue (1003 m.) et la barrière de Valangien, située à la même altitude devant l'entonnoir de Bon-Port qui déterminait autrefois le niveau moyen du lac.

<sup>4</sup> La sablière de Chez-Tribillet est ouverte dans un delta formé sous l'eau d'un lac dont le niveau pouvait atteindre celui du cimetière actuel (1050-60 m.).

cluse ouverte entre l'Aouille et les Agouillons ? Dans ce cas, le ruisseau de Saignevagnard, le Saint-Sulpice, serait le chétif successeur de ce robuste ouvrier.

Entre l'érosion karstique et l'érosion superficielle, la lutte était encore vive, mais inégale. Grâce à son niveau de base d'érosion de 200 m. environ moins élevé, la circulation souterraine doit finalement l'emporter. Les torrents superficiels aboutissent au lac, à l'altitude de 1008 m., quand l'eau ne leur est pas soutirée par le drainage souterrain, ainsi qu'il arrive au ruisseau de Combenoire qui, après s'être ouvert une cluse à travers la Côte qui le sépare du lac de Joux, ne réussit à l'occuper qu'à la fonte des

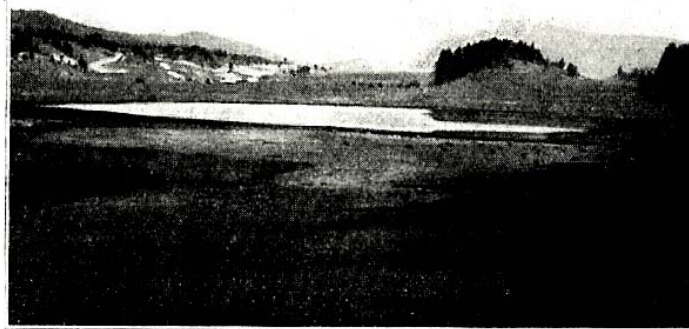


FIG. 2. — LE LAC TER, VU DU SUD.

Nappe circulaire déversant son trop-plein par quelques entonnoirs.  
La végétation aquatique progresse sur ses rives bourbeuses.

neiges et disparaît, à l'ordinaire, dans les profondeurs avant d'avoir atteint le lac.

Les sources de la Lyonne et du Brassus sont situées au fond de vallées d'érosion qui se poursuivent en amont. Il y a sans aucun doute une relation à établir entre les exurgences de ces deux cours d'eau et les ravins qui les dominent. Ces derniers résultent du travail de torrents post-glaciaires qui se sont frayé un passage vers le lac et ont découvert les canalisations souterraines dont les eaux utilisent maintenant leur lit inférieur. Les matériaux arrachés par ces torrents disparus ont formé les cônes deltaïques du Brassus et de la Lyonne.

Dans le même temps, du côté occidental, les dépressions de la combe du Lieu, colmatées par les dépôts glaciaires, se sont transformées en lacs et leurs émissaires ont le plus souvent réussi à s'ouvrir, à travers la Côte, des cluses par où les eaux se sont déversées dans le lac de Joux.

Ailleurs, les petites nappes lacustres se comblaient lentement pour se transformer en tourbières. Le petit lac Ter subsiste seul au fond d'une de ces dolines (fig. 2).

Cependant, l'érosion karstique se poursuivait partout où les dépôts morainiques ne recouvraient pas ou plus les calcaires, puis là où ils ne

formaient qu'une mince carapace. D'anciennes fissures reprisent leur rôle de puits absorbants. Attaquées par les variations de niveau, battues par les vagues, les parois de rochers découvrirent leurs joints.

L'entonnoir de Bon-Port, le plus vaste aujourd'hui, s'ouvrit vraisemblablement le premier, mais ne fut peut-être pas capable d'absorber toutes les eaux dont le trop plein s'échappait encore par la Pierre-Punex. Quand l'alimentation du bassin lacustre diminua, Bon-Port suffit à régler le niveau des eaux et alors s'ouvrirent, par l'effet des vagues, les divers entonnoirs actuels.

On compte seize entonnoirs. Le lac de Joux en a sept, tous situés au



FIG. 3. — L'ENTONNOIR DE BON-PORT.

Le puits naturel est dominé par un mur en maçonnerie qui maintient le niveau des lacs à 1008,5 m.

même niveau, sur la rive orientale, où ils s'ouvrent dans les parois verticales du Malm. Ce sont, du Sud-Ouest au Nord-Est, les entonnoirs du Moulin, du Rocheray, les quatre de Pré-Lyonnet, celui de la Roche-Fendue. Leurs dimensions sont plutôt restreintes ; ce ne sont que des fissures plus ou moins visibles, où il est impossible de pénétrer. Depuis que le niveau des lacs a été régularisé, ils ont été barrés à la cote 1008,5 m. ce qui les prive d'activité durant la plus grande partie de l'année.

Le lac Brenet possède cinq entonnoirs visibles, un au Sud et quatre au Nord-Ouest. L'entonnoir méridional, celui des Crettets, se place dans le prolongement de la combe purbeckienne qui s'ouvre plus au Sud. Dans le Purbeckien s'ouvre encore l'Entonnoir-Martinet, mais ici dans le jambage Ouest du synclinal. L'Entonnoir-Neuf s'est creusé dans le Valangien, celui de la Cave-à-Metzi dans le Malm et le principal, l'entonnoir de Bon-Port (fig. 3) est un gouffre de 30 m. de profondeur, large de 25 m., béant entre des parois de Portlandien et de Valangien. <sup>1</sup>

La seule exploration sérieuse entreprise dans le but de reconnaître

<sup>1</sup> T. NOLTHENIUS (17), p. 36-37.

les issues de cet entonnoir date de 1891-1893. Au cours de travaux de curage qui avaient provoqué l'enlèvement de 5000 m<sup>3</sup> de matériaux, on découvrit un exutoire de 0,70 m. de diamètre. Un émissaire artificiel fut alors creusé 2 m. plus bas. Ce canal, long de 5,50 m., d'une section de 3 m<sup>2</sup>, rejoint la fissure naturelle, haute en ce point, de 3 à 4 m., et fortement inclinée vers le Sud-Ouest.

Le 28 septembre 1915 ont été découverts quatre autres entonnoirs sous-lacustres qui s'alignent dans la direction donnée par le Purbeckien, au Nord-Est de l'entonnoir des Crettets.<sup>1</sup> L'intérêt direct que peuvent présenter toutes ces issues a fortement baissé depuis que les eaux s'écoulent par une voie artificielle<sup>2</sup> qui permet de régler à volonté le niveau des lacs.

L'abondance des précipitations et la persistance au printemps de masses de neige lentes à disparaître favorisent singulièrement la corrosion des roches superficielles, même sous un revêtement végétal.

Les calcaires compacts qui affleurent sur les crêtes sont partout rongés par les eaux météoriques, tantôt percés de petits trous circulaires, tantôt couverts d'alvéoles de toutes dimensions ou de cannelures irrégulières.

De vrais lapiés s'étendent dans la zone des alpages, au Mont-Tendre, à la Pierre-du-Coutiau, au Grand-Cunay, au Mont-de-Bière, à la Croix-du-Vuarne, aux Amburnex et, sous les forêts, au Marchairuz, à la Rollaz et dans la plus grande partie du Risoud. Ces lapiés n'offrent pas d'arêtes tranchantes. Ils doivent leurs formes arrondies à la végétation qui les recouvre. Les fissures les plus profondes, les « lézenes », sont un danger permanent pour le bétail qui paît en liberté sur les alpages.

Malgré la forte lame d'eau qui tombe annuellement sur ces crêtes, la sécheresse demeure le caractère dominant. Aussitôt tombées, les eaux sauvages sont absorbées dans les innombrables fissures du sol qui ne tardent pas à devenir considérables. Si les eaux ruissellent quelque peu, c'est pour converger vers l'une de ces dolines évasées au fond desquelles la neige fait un séjour prolongé et où leur action conjuguée a créé des ouvertures que masquent plus ou moins les argiles de dissolution ou les dépôts glaciaires (fig. 4).

Le synclinal des Amburnex est particulièrement riche en dolines pourvues d'un ou de plusieurs puits qui conduisent l'eau pluviale dans les profondeurs. Ces dolines ne contiennent un peu d'eau qu'à la fonte des neiges ou après de violents orages, alors que les canaux souterrains ne peuvent évacuer assez vite toute l'eau qui s'y précipite. La combe du Couchant compte à elle seule une douzaine de ces puits absorbants. Le pâturage du Pré-de-l'Haut-Dessous en possède plusieurs, dissimulés sous le gazon, qui absorbent toutes les eaux des pentes voisines et vont alimenter les sources de la Venoge, à l'Isle.

On trouve relativement peu de grandes cavités verticales à ouvertures circulaires auxquelles on donne, dans le pays, le nom de « baumes ». Les

<sup>1</sup> T. NOLTHENIUS (17), p. 37.

<sup>2</sup> Travaux effectués de novembre 1901 à décembre 1904.

plus belles, les plus connues aussi, sont celles du Risoud et du Mont-Tendre. La première s'ouvre à 200 m. de la borne-frontière N° 89, à 1165 m. d'altitude, dans le Kimeridgien, au flanc évasé d'une vallée sèche. Elle a été explorée récemment, pour la première fois sauf erreur. L'orifice a 6 m. de diamètre et ses parois, verticales à l'origine, ne tardent pas à être surplombantes. Le puits atteint 40 m. de profondeur et le fond est constitué par des masses de pierres détachées des voûtes et par celles que, depuis des siècles, on y jette. Jadis, c'était aussi le cimetière du bétail des montagnes voisines où sévissaient des maladies contagieuses.

La baume du Mont-Tendre est une cavité ouverte près de la crête,

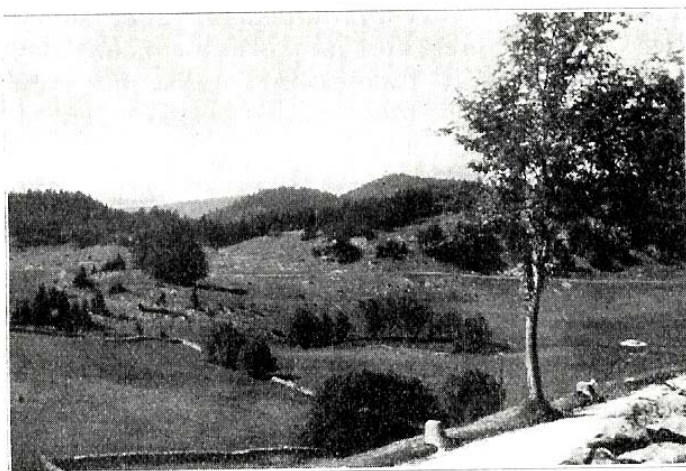


FIG. 4. — DOLINE A L'EST DU PONT.

L'eau de ruissellement disparaît par quelques orifices dissimulés sous le bosquet de frênes.

du côté Ouest, à 1660 m. d'altitude dans des bancs de Malm fortement redressés. Son orifice n'a que 3 m. de diamètre et sa profondeur supposée est de 50 à 60 m. Les visiteurs se sont si bien exercés à des sondages par le son qu'il est impossible de trouver un caillou loin à la ronde.<sup>1</sup>

Certaines baumes, moins profondes, mais plus larges d'ouverture, ont mérité le nom de « glacières » (glacière du Risoud, profonde de 15 m. ; glacière du Pré-de-Saint-Livres). La neige qui s'y engouffre en hiver s'y tasse au point de prendre la consistance de la neige de névé et de persister au cours de l'été, sauf au contact des parois où l'échauffement des roches provoque la fonte.

Il semble qu'on puisse voir en ces glacières un acheminement vers les baumes plus profondes.

Tous ces gouffres ont inspiré, ici comme ailleurs, une crainte assez

<sup>1</sup> « On y jette des pièces de roc qui font retentir à trois ou à quatre reprises des voûtes souterraines d'une profondeur étonnante, où ces pierres roulent de l'une à l'autre avec un bruit semblable à celui du canon, en laissant des intervalles pendant lesquels elles traversent de grands vuides, et semblent à la fin tomber dans l'eau comme en poussière. On frémit de la profondeur de ce gouffre que l'on juge aussi bas que le pied de la montagne, ou même, selon quelques-uns, beaucoup plus. » (SEIGNEUX (55), p. 60.)

vive pour vaincre toute curiosité. Au dire des vieillards, les baumes sont sans fond et, s'ils en parlent, c'est pour perpétuer des légendes macabres.

Le réseau des canalisations souterraines se poursuit dans les profondeurs, ainsi qu'en témoignent dans les zones inférieures les grottes et fissures que l'eau occupe au cours des périodes pluvieuses et les exurgences <sup>1</sup> intarissables de la Lyonne et du Brassus.

Bien que l'origine des eaux du Brassus ne soit pas encore expérimentalement prouvée, on peut admettre qu'elles proviennent du synclinal des Amburnex. Deux tentatives de coloration ont été effectuées en novembre 1897 et en mai 1898 par Forel et Aubert. Ni l'une ni l'autre n'ont donné de résultat positif, malgré les 8 kg. de fluorescéine employés. Sans doute faut-il attribuer cet échec au faible débit (2 lit. sec.) de l'entonnoir du Pré-de-Bière, <sup>2</sup> car, « on ne doit jamais rien conclure des résultats négatifs d'une expérience à la fluorescéine, parce que trop de facteurs risquent de l'entraver. Seule, une réussite positive permet de tirer des déductions ». <sup>3</sup>

Les eaux de la Lyonne se rassemblent vraisemblablement dans les calcaires lapiésés du pâturage communal de l'Abbaye et dans le placage glaciaire qui s'étend au Sud de la source. Ces eaux ont non seulement ouvert l'exurgence actuelle, mais, plus haut, elles ont foré les Chaudières d'Enfer, syphons qui font partie du système de l'exurgence. La Grande-Chaudière s'ouvre par une cavité de 4 m. de diamètre, puis un couloir fortement incliné conduit à des éboulis. En rampant sur un parcours d'une vingtaine de mètres, on atteint un lac souterrain d'une superficie de 40 m<sup>2</sup>. La Petite-Chaudière est un trou vertical de 5 m., aboutissant aussi à un petit lac <sup>4</sup> auquel on accède en rampant sur près de 10 m.

Les lacs de Joux et Brenet ne reçoivent qu'une partie seulement des eaux tombées dans le bassin. Les eaux du Risoud leur échappent et s'écoulent directement dans la profondeur ; il en est de même d'une partie des eaux absorbées par les chaînes orientales. L'érosion karstique doit se poursuivre de part et d'autre jusqu'aux marnes argoviennes. C'est à leur contact, au pied d'une paroi de Malm, qu'apparaît la résurgence de l'Orbe, dans la dépression de Vallorbe, 219 m. au-dessous du niveau du lac de Joux. Le cheminement de l'eau à travers le Jurassique est encore prouvé par d'anciennes issues superposées (Grottes-aux-Fées).

On a toujours supposé que les eaux de la Vallée de Joux devaient réapparaître, en partie tout au moins, à la source de l'Orbe. Le nom donné à la rivière issue du lac des Rousses n'a jamais différencié de celui du cours d'eau qui, par Vallorbe et Orbe, gagne le lac de Neuchâtel. Les expériences faites ont confirmé l'hypothèse de la communication souterraine.

<sup>1</sup> Nous réservons le terme de « résurgence » aux réapparitions de rivières ayant déjà eu un cours superficiel (ex. : résurgence de l'Orbe, à Vallorbe). Le terme d'« exurgence », créé par E. Fournier, nous paraît le plus convenable aux rivières jaillissant du sol, mais sans parcours superficiel antérieur. (Cf. E.-A. MARTEL (35), p. 569-571.)

<sup>2</sup> S. AUBERT : Communication à la S. V. Sc. Nat., p. XXXVIII, 1898.

Un observateur a remarqué, après un violent orage sur la région de la Neuve et des Riondaz, au Sud-Ouest du Marchairuz, que le débit de l'exurgence du Brassus avait considérablement augmenté peu après.

<sup>3</sup> E.-A. MARTEL (35), p. 806.

<sup>4</sup> D'après les indications aimablement fournies par M. Addor, instituteur, à l'Abbaye.



En 1776, à la suite de la rupture d'un barrage élevé entre les deux lacs, les eaux réapparurent visiblement troublées à Vallorbe. En 1853, Ch. Dufour, F. Burnier et A. Yersin, entreprirent l'étude des variations thermométriques des eaux du Jura et de leurs résurgences. Ils arrivèrent à la conclusion que si les eaux de l'Aubonne et de la Venoge n'ont aucun rapport avec celles du lac de Joux, les eaux de la source de l'Orbe reproduisaient, par contre, toutes les variations de température observées à Bon-Port.<sup>1</sup>

L'ingénieur Guiger de Prangins, arrivait aux mêmes conclusions en 1884, mais par des mesures de volume. Il fit ouvrir brusquement les vannes de Bon-Port et il s'ensuivit, au bout de quelques heures, une crue des eaux à la source de Vallorbe.

Les premières tentatives de coloration furent négatives : une première expérience, à l'amidon, par L. Reymond, en 1865, puis une autre, en 1892, par Forel et Golliez, malgré l'emploi d'un kg. de violet d'aniline.

Piccard obtient en 1893 le premier résultat positif. Une forte quantité de fluorescéine jetée à Bon-Port colora l'Orbe cinquante heures plus tard. Dans l'année encore, le 28 décembre, Forel et Golliez, combinant volume et coloration, ouvrirent les vannes de Bon-Port en y précipitant 4 ½ kg. de fluorescéine. Or, tandis que la crue se manifestait déjà 2 h. 8 m. après (effet maximum 7 h. 40 m. après l'ouverture des vannes), la coloration ne devint apparente qu'au bout de 22 h.

Le 6 janvier 1894, à 11 h. du matin, Forel et Golliez renouvelèrent l'expérience à l'extrémité méridionale du lac de Joux, à l'entonnoir du Rocheray. La coloration apparut à la source de l'Orbe, le 18 janvier seulement, à 4 h. de l'après-midi, soit 293 heures plus tard. On pouvait conclure de cette expérience, faite à l'entonnoir le plus éloigné de la source, que tous les entonnoirs connus par où s'échappent les eaux des lacs de Joux et Brenet, alimentent la source de l'Orbe 219 m. plus bas.

D'autre part, aucun effet quelconque de coloration n'étant apparu aux sources voisines (Nozon, Venoge, Doubs), on put déduire que l'Orbe est le seul exutoire des lacs.<sup>2</sup>

De quelle nature sont ces communications souterraines ? Il s'agit certainement de véritables canaux, à en juger déjà par la fissure découverte à l'entonnoir de Bon-Port, puis par le calibre des grottes accessibles dominant la source de l'Orbe. Les expériences de Forel prouvent même l'existence de véritables bassins souterrains. En effet, la crue a précédé la coloration. Le déplacement dans les eaux souterraines s'est accompli

<sup>1</sup> BURNIER-DUFOUR-YERSIN (34), p. 226-228.

Lac Brenet (1009 m.)				Orbe (783 m.)	
1.	X.	53	3 h.	13°3	5 h. 12°2
4.	XII.	53	12 h.	5°	2 h. 5°6
24.	I.	54	8 hm.	1°	4 h. 3°5
4.	III.	54	2 h.	0°4	3 h. 3°9
5.	IV.	54	2 h.	3°	3 h. 5°6
25.	V.	54	8 hm.	11°3	4 h. 7°9
24.	VI.	54	5 h.	16°2	7 h. 9°9
31.	VII.	54	6 h.	19°8	7 h. 12°2
10.	IX.	54	7 h.	15°	6 h. 14°7

<sup>2</sup> F.-A. FOREL : Communication à la S. V. Sc. Nat. (24. I. 94).

en 2 h. 8 m., tandis que le volume d'eau colorée a mis 22 h. Forel<sup>1</sup> suppose donc, avec raison, l'existence d'un lac. Le débit de la source de l'Orbe ayant été alors de 2 à 3 m<sup>3</sup> par seconde et comme il a fallu plus de 1200 minutes à l'eau colorée pour réapparaître, on peut estimer le volume de ce lac à 145-200.000 m<sup>3</sup>.

Un scaphandrier a reconnu que le canal d'amenée à la source descendait au delà encore des 11 m. qu'il put franchir (20 octobre 1893). La source de l'Orbe serait ainsi la branche ascendante d'un syphon dont l'autre branche aboutirait au lac en question.

Les expériences faites à l'entonnoir du Rocheray, amènent aux mêmes conclusions. Ici, pas de vanne permettant de comparer la crue et le cheminement du volume d'eau colorée, mais le trajet de 11 km. a été effectué avec une telle lenteur (293 h.) qu'on doit nécessairement supposer l'existence non pas d'un seul bassin, mais d'une succession de bassins échelonnés en longueur et en profondeur.

L'enfouissement des eaux du bassin supérieur de l'Orbe est un phénomène gros de conséquences. Si le réseau des eaux superficielles avait pu se maintenir, si l'Orbe avait suivi un cycle d'érosion normal, la Vallée de Joux en eût perdu en partie ses deux caractères dominants : l'altitude et l'isolement.

Par érosion régressive de l'émissaire des lacs, le col de la Pierre-Punex se serait transformé en une gorge profonde, les lacs auraient disparu et l'impulsion nouvelle donnée aux cours d'eau superficiels aurait complètement transformé la topographie.

La Vallée de Joux eût été pour l'Orbe ce qu'est le Val de Travers pour l'Areuse ou le Vallon de Saint-Imier pour la Suze.

## Les eaux.

Les eaux de l'Orbe allant au Rhin, son bassin supérieur s'avance comme un coin dans une région dépendant du Rhône, à l'Est par le lac Léman, à l'Ouest par le Doubs. On ne peut tracer les limites de ce bassin que d'une manière tout à fait approximative, car la nature karstique du terrain réduit le réseau superficiel à sa plus simple expression. Selon toute probabilité, la ligne de séparation des eaux suit à l'Est la crête du Haut-de-Molendruz, dès Pétra-Félix, puis la chaîne du Mont-Tendre jusqu'à 2 km. environ au Nord de Saint-Cergue. De là, obliquant à l'Ouest, elle contourne par le Sud le lac des Rousses,<sup>2</sup> pour suivre vers le Nord-Est un tracé qu'il est absolument impossible de fixer, à travers le massif tabulaire du Risoud, laissant peut-être à l'Est la ligne de faite, s'il est démontré qu'une partie des eaux du Risoud français s'écoule vers la Vallée de Joux.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> F.-A. FOREL : Communication à la S. V. Sc. Nat. (7. XII. 98).

<sup>2</sup> Le faite de l'église des Rousses, orienté de l'Ouest à l'Est, est sur la ligne de partage des eaux entre les bassins du Rhône et du Rhin.

<sup>3</sup> C. PERRIN (81), p. 329.

Un seul des trois vallons est parcouru par une rivière. Celui des Am-burnex ne contient que des filets d'eau intermittents qui ont tôt fait de disparaître dans les fissures du sol. La combe du Lieu compte quelques ruisselets insignifiants à l'ordinaire. Seul le vallon principal possède une rivière : l'Orbe.

L'Orbe est issue du lac des Rousses (1059 m.) que forment une demi-

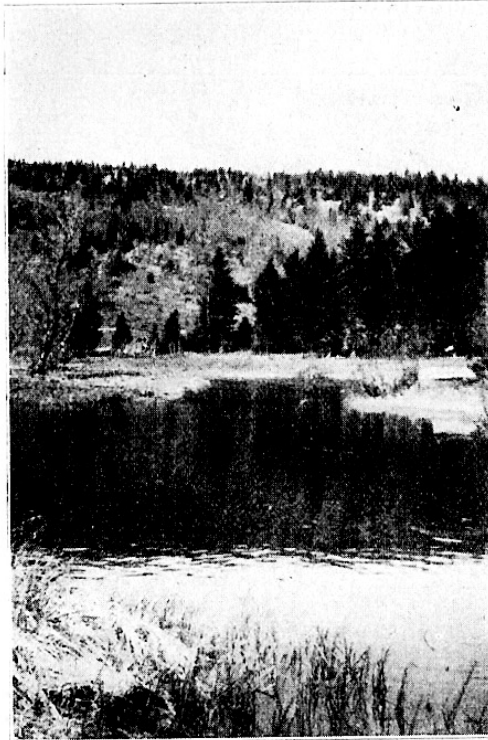


FIG. 5. — LES BORDS DE L'ORBE AU CARROZ.  
Végétation des tourbières le long de la rivière. Forêt mélangée  
de hêtres et de sapins sur la Côte.

douzaine de ruisselets, affluents de sa rive orientale.<sup>1</sup> La longueur de son cours est de 18 km. dont 11 sur territoire suisse. Les nombreux méandres qu'elle décrit s'expliquent par la faiblesse de sa pente (2,88 ‰) et par l'irrégularité du terrain qu'elle draine. Son cours est capricieux, tantôt limpide et bruyant sur les clairs galets des moraines, tantôt presque immobile, sombre, à travers les tourbières ; réduit ici à quelques centimètres de profondeur, offrant ailleurs des fosses de 3 à 5 m. (fig. 5).

L'Orbe débite en moyenne 3 m<sup>3</sup> par seconde à son embouchure,<sup>2</sup> mais au printemps, à la fonte des neiges, elle est sujette à des crues et s'enfle jusqu'à inonder ses rives basses sur de vastes espaces. Creusé dans

<sup>1</sup> A. MAGNIN (28), p. 226. Lac des Rousses : alt. 1059 m. ; longueur, 2 km. ; largeur, 0,5 km. ; superficie, 89,8 ha. ; profondeur max., 18,5 m.

<sup>2</sup> S. AUBERT (36), p. 330.

la craie lacustre, le « fil de l'Orbe » se poursuit sur quelques centaines de mètres sous la nappe du lac.

L'Orbe ne reçoit pas d'affluent sur sa rive gauche, mais, sur sa rive droite, quelques ruisseaux formés dans le Néocomien du synclinal lui apportent un appoint qui n'a guère d'importance qu'à la fonte des neiges. Le principal de ces affluents est le Biblanc, né sur le pâturage des Grands-Plats, à 1255 m. d'altitude. Le cours du Biblanc n'est que de 2,5 km. Dans sa partie supérieure, ce petit torrent s'est creusé une gorge profonde

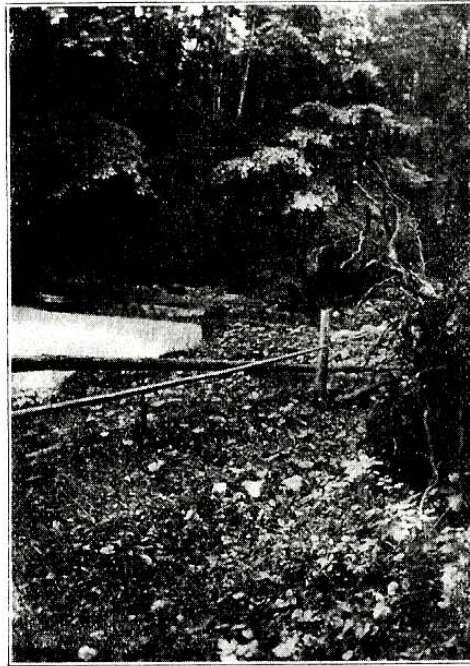


FIG 6. — L'EXSURGENCE DU BRASSUS.

que coupent encore quelques cascades. Le Biblanc débouche dans la vallée sur un cône de déjection bien conservé.

Tout autre est le Brassus dont le cours n'est long que de 1 km. Il prend naissance à 1060 m., au contact du Valangien et du Hauterivien (fig. 6). Rivière toute faite, le Brassus bondit sur son lit rocailleux et, après avoir largement échancré la barrière des calcaires crétacés, il va rejoindre l'Orbe (1020 m.). Sa pente accentuée a été largement mise à profit par l'industrie.

Le lac de Joux reçoit de son côté sur sa rive orientale, une multitude de ruisselets pareils à ceux qui se jettent en amont dans l'Orbe. Ils se forment les uns et les autres dans le Néocomien du synclinal et dans le placage glaciaire qui recouvre la croupe des Mollards.

Plus au Nord jaillit la Lyonne, rivière en tous points semblable au Brassus. Cette exurgence s'ouvre à 1045 m., dans le Portlandien, à proximité immédiate des marnes purbeckiennes dressées verticalement,

contre lesquelles s'arrêtent les eaux d'infiltration. Le cours de la Lyonne (fig. 7) ne dépasse pas 600 m. A 200 m. de son point de départ, la rivière rencontre la barrière des calcaires crétacés qu'elle franchit en gorge et, tôt après, elle court sur ses alluvions dont elle a formé le grand delta où s'est établi le monastère, puis village de l'Abbaye (fig. 8).

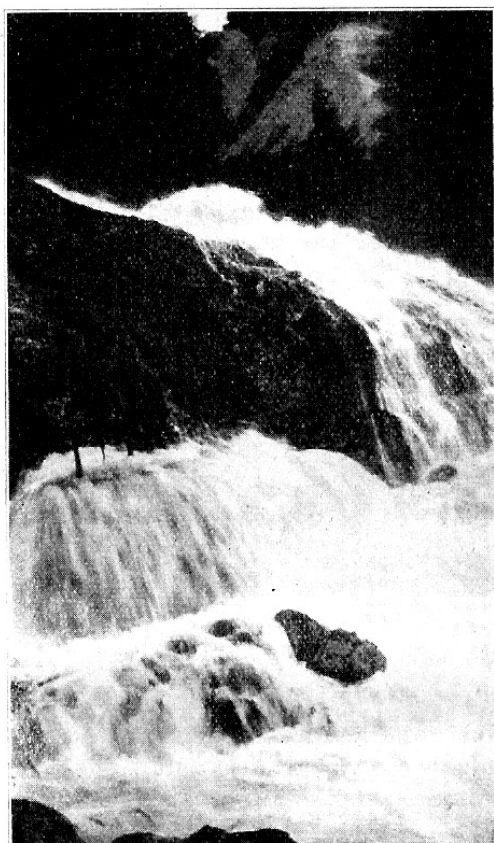


FIG. 7. — L'EXSURGENCE DE LA LYONNE.

Vue prise en août 1926.

Le courant supérieur provient de la petite Chaudière d'Enfer.

La nappe du lac de Joux <sup>1</sup> qui s'étale dans la partie septentrionale de la vallée communique avec celle du lac Brenet par un chenal artificiel creusé dans la craie lacustre <sup>2</sup> (fig. 9).

Depuis que les eaux superficielles du bassin supérieur de l'Orbe ont reçu un écoulement artificiel par le percement d'un canal sous le Mont-

<sup>1</sup> Lac de Joux : altitude, 1008 m. ; longueur, 9 km. ; largeur, 0,5-1,3 km. ; superficie, 865 ha. ; profondeur max., 33,6 m. ; profondeur moyenne, 15,6 m.

Lac Brenet : altitude, 1008 m. ; longueur, 1800 m. ; largeur 500 m. ; superficie, 79 ha. ; profondeur max., 19,5 m. (MACHAČEK (15), p. 137.)

<sup>2</sup> Le tracé de l'ancien chenal naturel est encore bien visible dans l'un et dans l'autre lac. L'établissement de la gare du Pont l'a fait reporter une cinquantaine de m. plus au Sud.

d'Orzeires, le problème hydrologique a perdu son acuité. L'impossibilité où ils se trouvaient de régler l'écoulement des eaux fut jadis, pour les riverains, un perpétuel sujet d'inquiétude.

Comme tous les lacs de poljés, le lac de Joux était soumis à des variations de niveau assez brusques que Forel<sup>1</sup> a étudiées en se basant sur les observations faites avec régularité depuis 1847 par les fonctionnaires chargés de la surveillance des entonnoirs.

En quarante-huit ans, le niveau minimum a été atteint vingt fois à la fin de l'année et vingt-six fois au début. Le niveau maximum a été at-

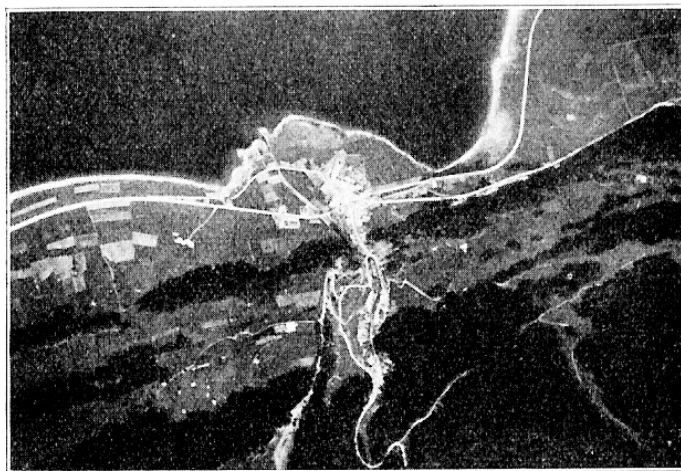


FIG. 8. — LE DELTA DE LA LYONNE ET LE VILLAGE DE L'ABBAYE.  
Vue prise à 2500 m. d'altitude.

teint trente-trois fois dans les premiers mois et treize fois dans les six derniers. L'amplitude de ces variations va de 1,23 m. (1861) à 4,92 (1882), avec une moyenne annuelle de 2,53 m. Les extrêmes absolus donnent une amplitude de 6,07 m.

Des pluies abondantes, en toute saison, ou la fonte des neiges, provoquent généralement des crues. Les plus violentes sont celles qui résultent de la simultanéité des deux phénomènes.<sup>2</sup> La sécheresse de l'été et les gels hivernaux amènent au contraire la baisse des eaux.<sup>3</sup> Les époques de hautes et basses eaux ne sont pas fixes, puisque les phénomènes qui en sont la cause ne sont pas fixes eux-mêmes.

<sup>1</sup> F.-A. FOREL (29).

<sup>2</sup> Des inondations, d'autant plus fâcheuses qu'une bonne partie des terres cultivables bordent les lacs et l'Orbe, ont été signalées en 1571, 1600, 1751, 1817, 1863, 1867, 1883, mars 1888 et octobre 1899.

En 1751, à la suite de pluies prolongées, le lac monta jusqu'au niveau des Moulins du Chenit, emporta le pont entre les deux lacs et força à évacuer les maisons riveraines au Pont et aux Charbonnières. (J.-D. NICOLE (47), § 103.)

<sup>3</sup> En 1755, les lacs baissèrent au point qu'on put passer l'Orbe à pied sec entre les lacs. (J.-D. NICOLE (47), § 103.) Le phénomène ne s'est renouvelé en 1921 où, pendant l'été, les lacs auraient cessé de communiquer si l'on n'avait eu soin d'approfondir le canal qui les unit afin d'assurer la marche des usines électriques de La-Dernière, près de Vallorbe.

La faiblesse du rapport entre le bassin d'alimentation et la superficie d'une nappe lacustre peut être une des causes de son instabilité. Tel n'est point ici le cas. Le rapport moyen des autres lacs suisses est de 0,055. Pour le lac de Joux, il est à peine plus faible: 0,044. (Bassin d'alimentation, 211 km<sup>2</sup>; superficie de la nappe, 9,4 km<sup>2</sup>.)

On ne saurait invoquer ici la déforestation, mais peut-être avec plus de raison l'irrégularité de la pluviosité, très forte en automne et au prin-

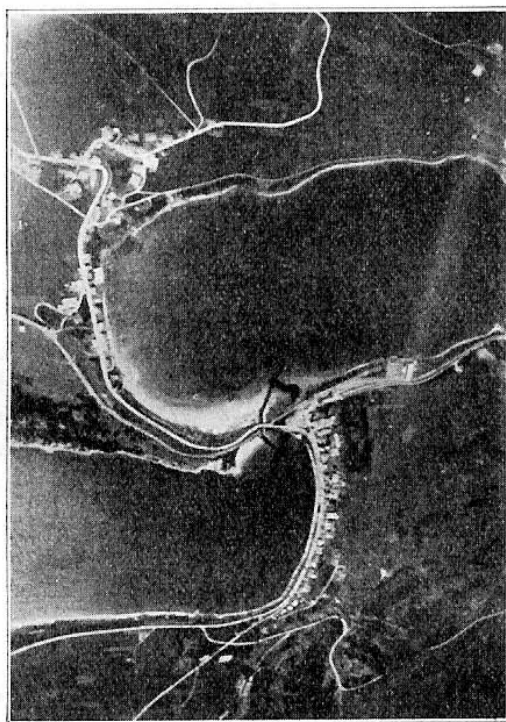


FIG. 9. — LES LACS DE JOUX ET BRENET.  
LES VILLAGES DU PONT ET DES CHARBONNIÈRES.

Vue prise à 2500 m. d'altitude.

On distingue, à droite du canal artificiel, l'ancien lit de l'Orbe entre les deux lacs.

temps, plus faible en été et surtout en hiver où les précipitations se font essentiellement sous forme de neige. Tout dépend, au fond, de la capacité des émissaires souterrains.

L'augmentation du débit des entonnoirs n'est pas fonction de la hauteur de la nappe d'eau des lacs. Il est vrai que si leur niveau s'élève, de nouvelles issues entrent en jeu, mais il ne s'ensuit pas que le débit augmente. Si les collecteurs souterrains regorgent, leur débit reste stationnaire, ainsi que celui de la résurgence de Vallorbe. Or la preuve est faite que ces canalisations regorgent parfois. Les deux entonnoirs du Rocheray et du Moulin, puits absorbants, peuvent, à l'occasion, refouler de l'eau dans le lac. C'est le phénomène désigné dans la contrée sous le nom de « reflux », lequel ne s'observe sur le lac qu'en ces deux points, mais s'étend plus en amont à toutes les fissures pratiquées dans le flanc de la

Côte jusqu'au Sentier. Plus au Nord, les exutoires moins proches de la surface disposent déjà d'espaces suffisants.

L'écoulement des eaux fut longtemps une énigme pour les riverains, qui pensaient faciliter l'absorption en augmentant la dimension des orifices des entonnoirs, sans qu'ils se doutassent que les canalisations souterraines réglaient elles-mêmes, et seules, le débit.

On pouvait se demander, après les travaux effectués aux entonnoirs pour en supprimer l'écoulement au-dessous de la cote 1008,5 m., si la source de l'Orbe était encore alimentée par les eaux des lacs, ou si désormais l'« Orbe souterraine » était son seul affluent.

Les observations thermométriques faites par les soins de la Compagnie vaudoise des forces motrices des lacs de Joux et de l'Orbe ont permis à Forel <sup>1</sup> d'y répondre.

La température de la résurgence est restée variable : de 12°7 (été) à 3°4 (hiver), au cours de la première année d'observation et de 13°7 à 3°4 au cours de la deuxième année. On sait que les exurgences du Jura vaudois ont des températures fixes (Lyonne, 6°2 ; Brassus, 6°6). Les variations de température observées à la source de l'Orbe ne peuvent provenir que des eaux lacustres. Calculant la proportion des eaux infiltrées en dépit de l'obturation des fissures des entonnoirs, Forel conclut que le 30 % ou le 40 % des eaux de la source de l'Orbe sont encore d'origine lacustre. Cela ne doit pas étonner. Il résulte d'une observation faite par J. Michaud <sup>2</sup> en 1907, lors d'une baisse du lac, que le volume d'eau évacué hors de tout contrôle par les exutoires invisibles peut être évalué à 1679 litres par seconde, alors que le débit des vannes de sortie n'était que de 1511 litres par seconde.

Plus de la moitié du volume d'eau de la source de l'Orbe lui est donc amené par l'infiltration directe. Toute la lame d'eau qui tombe sur les pentes du Risoud et dans une partie de la combe du Lieu est absorbée aussitôt.

Le bassin supérieur de l'Orbe, qui peut être estimé à environ 300 km<sup>2</sup>, reçoit près de 1400 mm. d'eau en précipitations annuelles, ce qui représente 13.300 litres par seconde. De son côté, la source de l'Orbe débite en moyenne 4000 litres par seconde <sup>3</sup> et, au maximum 7500 litres. Il y a donc un déficit d'au moins 5800 litres par seconde. Cette masse d'eau disparaît par évaporation, la végétation en absorbe une autre partie et le reste se perd dans les profondeurs.

<sup>1</sup> F.-A. FOREL : Communication à la S. V. Sc. Nat. (3. XII. 09).

<sup>2</sup> M. MICHAUD (33), p. 249-250.

<sup>3</sup> 4,86 m<sup>3</sup> par seconde, d'après S. AUBERT (36), p. 332 et 3,43 m<sup>3</sup> par sec. d'après le *Mémorial* (32), p. 204-210.



