

### Résumé \*\*

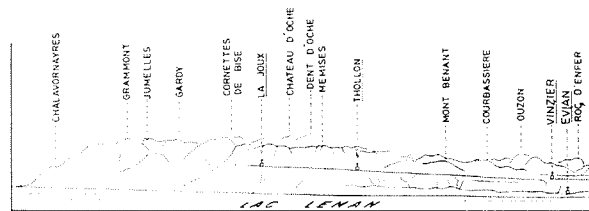
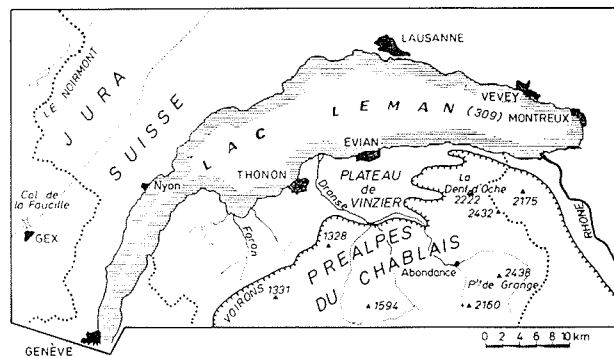
La présente étude est le résumé de la Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle préparée sous la direction de M. le Professeur Glangeaud au Centre de Recherches géodynamiques de Thonon-les-Bains et soutenue le 20 juin 1966 à la Faculté des Sciences de Paris.

Ce travail avait pour but de préciser l'origine des sources minérales d'Évian et les caractéristiques de leur réservoir et si possible d'évaluer les ressources de la nappe phréatique. Nous avons entrepris pour cela l'étude géologique, d'abord de surface, puis profonde par sondages, des formations fluvioglaciaires quaternaires du bas Chablais. Parallèlement, nous avons poursuivi l'étude climatologique, hydrogéologique et hydrochimique de tout le versant d'Évian. Enfin, nous avons essayé de dresser un bilan de la nappe d'Évian préalablement définie.

### I. — Données générales

La ville d'Évian se situe sur la rive méridionale du lac Léman par 46° 24' de latitude N et 6° 35' de longitude E., 9 km seulement à l'est de Thonon et face à Lausanne dont elle n'est séparée que par la largeur du lac, environ 12 km. La ville est dominée au sud-est par les derniers chaînons des préalpes

du Chablais, en particulier le massif de la Dent-d'Oche qui culmine à 2 222 m. Cependant entre ces derniers chaînons préalpins et la rive française du lac s'étend une zone allongée est-ouest, au relief adouci qui constitue le plateau de Vinzier. Cette zone présente une pente régulière depuis Lajoux à l'est à 950 m jusqu'à la Dranse qui la tranche net à l'altitude de 700 m environ (fig. 1).



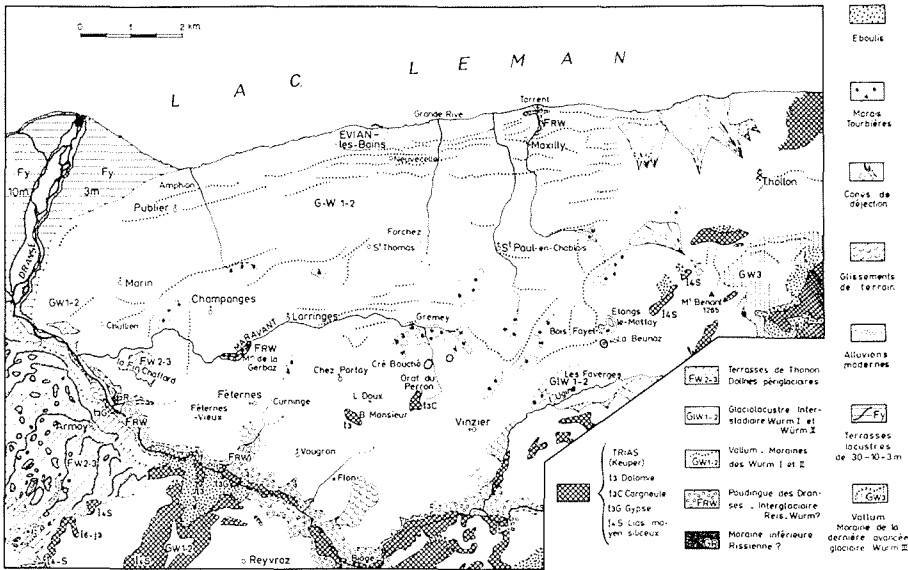
PROFIL DU PLATEAU DE THOLLON-VINZIER VU DU SIGNAL SUR LAUSANNE  
D'après GAGNEBIN 1937

### 1/ Situation géographique du plateau de Vinzier.

\* Docteur 3<sup>e</sup> cycle, Assistant au Laboratoire de Géologie Dynamique de la Faculté des Sciences de Paris.

\*\* Le texte du mémoire de M. B. Blavoux peut être consulté au secrétariat de la S.H.F., 199, rue de Grenelle à Paris.

## B. BLAVOUX



2/ Carte géologique du plateau de Vinzier.

D'après la carte géologique au 50000<sup>ème</sup> THONON - CHATEL

Les traits morphologiques mineurs de ce plateau sont hérités de la glaciation würmienne. Les niveaux successifs décroissants du glacier du Rhône ont permis le dépôt de moraines latérales, orientées approximativement est-ouest et ont façonné le versant d'Evian en terrasses (fig. 2).

Le Maravant draine la partie supérieure du plateau dans sa longueur, c'est-à-dire d'est en ouest et rejoint la Dranse un peu en amont de Thonon. Sur le versant d'Evian deux ruisseaux principaux, le ruisseau de Forchez immédiatement à l'est d'Evian et le ruisseau d'Amphion, aboutissent au lac après un trajet sud-nord.

Les sources d'Evian sont captées au sud de la localité, au pied du plateau de Vinzier, à l'altitude de 400 m environ. La plus célèbre d'entre elles est la source Cachat, mais il en existe beaucoup d'autres comme la Grande Source, les Cordeliers, Clermont, Guillot, Montmasson. Leur zone d'émergence, très restreinte, est un rectangle allongé est-ouest, de 350 m de long et à peine 100 m de large. Le griffon Cachat a le plus fort débit, 1 265 l par minute. L'ensemble des émergences d'Evian a un débit total de 2 600 l par minute, soit 43,3 l par seconde.

## II. — Climatologie - Microclimat lacustre

Le climat de la région d'Evian-Thonon est influencé par la masse d'eau du Léman qui agit comme volant thermique, par l'orographie et la morphologie des lieux.

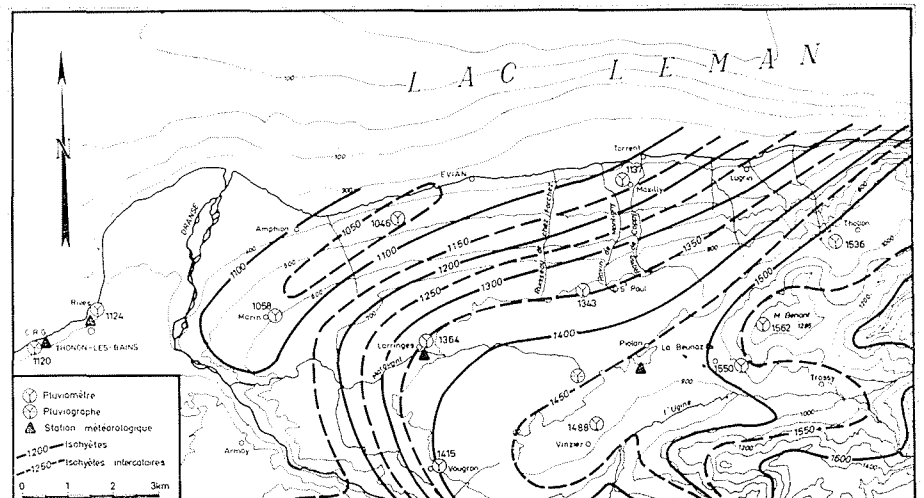
### Pluviométrie.

Il tombe par an 1 m d'eau à Thonon (moyenne 1890-1917 et 1934-1964) à l'altitude de 385 m. A Bonnevaux (altitude 800 m), le module pluviométrique moyen s'élève à 1,455 m pour la période 1947-1964.

Sur les cartes en courbes isohyètes du versant d'Evian (fig. 3), pour les années 1963 et 1964, nous observons :

- une augmentation importante de la pluviométrie en fonction de l'altitude. Cette augmentation, sensiblement linéaire, atteint 65 mm par 100 m d'altitude et par an;
- un accroissement de la pluviosité d'ouest en est dû à la morphologie de la cuvette lacustre, dont le relief est beaucoup plus accusé à l'est (fig. 4);

3/ Situation des postes pluviométriques et isohyètes pour l'année 1963.



— un léger resserrement des isohyètes sur les versants exposés directement aux vents du sud-ouest.

Le maximum des précipitations se situe en été (juin et août); le minimum en hiver (février et mars). Le régime pluviométrique de Thonon est un régime continental avec cependant une très légère influence méditerranéenne en novembre, qui présente parfois des précipitations très abondantes.

Le nombre de jours de pluie est sensiblement le même pour toutes les stations. C'est l'intensité des averses qui croît avec l'altitude. Les plus fortes averses ont lieu en été et à l'automne.

#### Température.

A Thonon, pour la période 1946-1962, la température moyenne annuelle est de 10,7 °C. A Bonnevaux, elle est de 7,6 °C. Le gradient thermique moyen annuel entre Thonon et Bonnevaux est égal à 0,73 °C par 100 m d'altitude. Les villes riveraines du Léman ont une température moyenne du mois le plus froid de 2 °C supérieure à celle des basses vallées de Savoie situées à même altitude. Par contre, le mois le plus chaud au bord du Léman est plus frais de 1 °C. L'influence de la masse d'eau du Léman qui agit comme volant thermique semble cependant se limiter à une bande assez étroite en bordure du Léman et s'estomper très rapidement jusqu'à disparaître à l'altitude de 700 m.

#### Les vents.

- Nous distinguons trois grandes classes de vents :
- les vents liés à la circulation générale de l'atmosphère : le Sudois (S.-O.), la Bise (N.-E.), la Vaudaire et le Joran;
  - les vents périodiques liés à la présence du Léman, qui soufflent par beau temps en l'absence de vents généraux : Morget ou brise de terre, Rebat ou brise de lac;
  - les vents d'orage, se dirigeant de la montagne vers le lac en empruntant les vallées principales : Vaudaire, Molan, Bornan, Joran.

#### Évaporation et évapotranspiration.

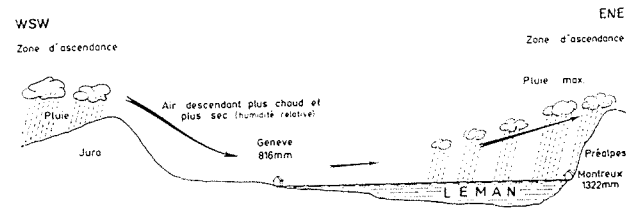
*Mesures directes du pouvoir évaporant, de l'évaporation à partir des surfaces d'eau et de l'évapotranspiration.*

Pour l'année 1964, l'évaporation Piche s'élève à 485 mm pour Thonon (385 m), 450 mm pour Larringes (795 m), 440 mm pour Piolan (910 m). Les faibles valeurs relatives de l'évaporation Piche à Thonon s'expliquent par la présence du Léman qui entretient une humidité élevée réduisant ainsi le pouvoir évaporant de l'atmosphère.

Pour 1963, les hauteurs d'eau évaporées sur les bacs enterrés de 1 m<sup>2</sup> sont de 510 mm à Thonon, 440 mm à Larringes et 390 mm à Piolan; pour 1964, 615 mm pour Thonon. Les différences entre les trois stations sont plus accusées parce que le bac est plus sensible à l'effet du vent que l'évaporomètre Piche.

Les corrélations observées entre évaporations mensuelles Piche sous abri et bilans des bacs sont relativement lâches pour Thonon, mais pour le plateau de Vinzier, les graphiques montrent que :

Évaporation Piche sous abri = 0,90 × évaporation sur bac enterré de 1 m<sup>2</sup>.



4/ Mécanisme et progression des pluies sur le Léman.

Deux cases lysimétriques à drainage total ont été construites à Thonon. Ce sont des cubes enterrés de 1 m d'arête remplis de moraine argileuse remaniée et couverts de gazon. Dans le lysimètre A, la moraine est épaisse de 60 cm et drainée par 40 cm de gros graviers. Dans le lysimètre B, elle est épaisse de 1 m et drainée par 10 cm de graviers. Pour l'année 1964, l'évapotranspiration réelle à Thonon s'élève à 485 mm pour le lysimètre A et 516 mm pour le lysimètre B.

#### Calcul du déficit d'écoulement.

Les valeurs du déficit d'écoulement annuel moyen obtenues par les formules de A. Coutagne et L. Turc sont égales respectivement à 564 et 538 mm.

L'évapotranspiration calculée mois par mois est nettement supérieure à l'évapotranspiration observée; 689 mm par la formule de Turc et 667 mm par celle de Thornthwaite. Cependant, les mois pendant lesquels le lysimètre n'a pas drainé correspondent parfaitement aux mois définis par Thornthwaite pendant lesquels l'excédent d'alimentation est nul.

L'évapotranspiration augmente avec la pluviosité et diminue avec la température. Lorsqu'on s'élève sur le plateau, c'est la baisse des températures qui est prépondérante. Ainsi entre Thonon (385 m) et l'altitude de 1 000 m, l'évapotranspiration annuelle moyenne diminue de 100 mm alors que les précipitations augmentent de 400 mm. Ceci représente pour le plateau de Vinzier une hauteur d'eau supplémentaire de 500 mm disponible pour l'écoulement et l'infiltration.

### III. — Géologie

#### Géologie profonde.

La couverture morainique du plateau de Vinzier masque vers le nord la terminaison des préalpes du Chablais. Cet ensemble du Chablais charrié sur l'autochtone molassique se subdivise lui-même en quatre nappes superposées. La partie recouverte par les moraines du plateau de Vinzier se situant en position externe, seules y sont représentées les deux nappes inférieures, médianes plastiques et Ultrahelvétique chevauchant la Molasse. La présence, sous les formations quaternaires de Vinzier du plan de chevauchement des préalpes médianes sur l'Ultrahelvétique est donc certaine. La présence du plan de chevauchement de l'Ultrahelvétique sur la Molasse est probable mais le problème est plus difficile à résoudre, car la semelle ultrahelvétique

**B. BLAVOUX**

est extrêmement variable, tantôt bien développée comme dans les Voirons, à l'ouest, tantôt extrêmement réduite et même nulle comme à Saint-Gingolph à l'est.

**Géologie du quaternaire.**

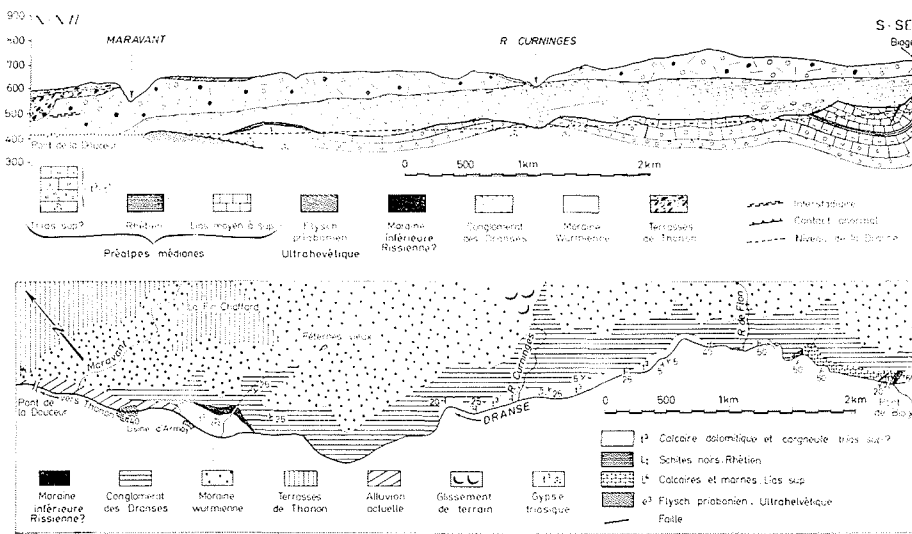
Les affleurements sur la rive droite de la Dranse fournissent tous les termes du complexe glaciaire (fig. 5), soit de bas en haut :

- a) moraine inférieure « rissienne » qui est une moraine de fond argileuse contenant de nombreux galets dont un tiers environ de galets cristallins;
- b) conglomérat des Dranses : énorme ensemble stratifié de 100 m d'épaisseur montrant des lits

de graviers et de sables, plus nombreux dans la partie supérieure;

- c) moraines du Würm : deux moraines de fond argilosableuses à galets cristallins séparées par un interstadaire fin lacustre qui n'est visible que localement. En l'absence de cet interstadaire, il est impossible de différencier les deux moraines du Würm;
- d) terrasses de Thonon : alluvions deltaïques très peu développées sur la rive droite de la Dranse.

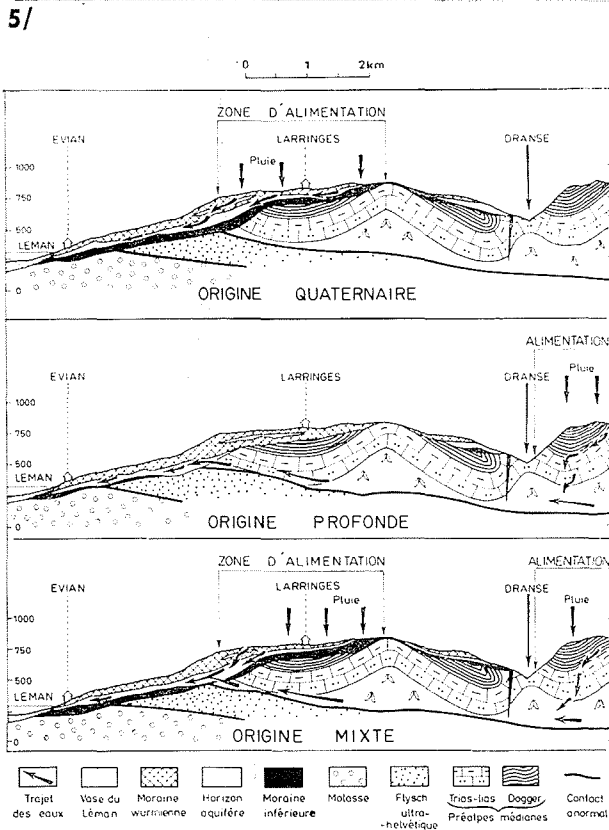
Les moraines du Würm ayant recouvert tout le plateau de Vinzier, il était nécessaire d'entreprendre des sondages profonds pour reconnaître si le conglomérat des Dranses se poursuivait sous le plateau ou était localisé seulement dans la vallée de la Dranse.



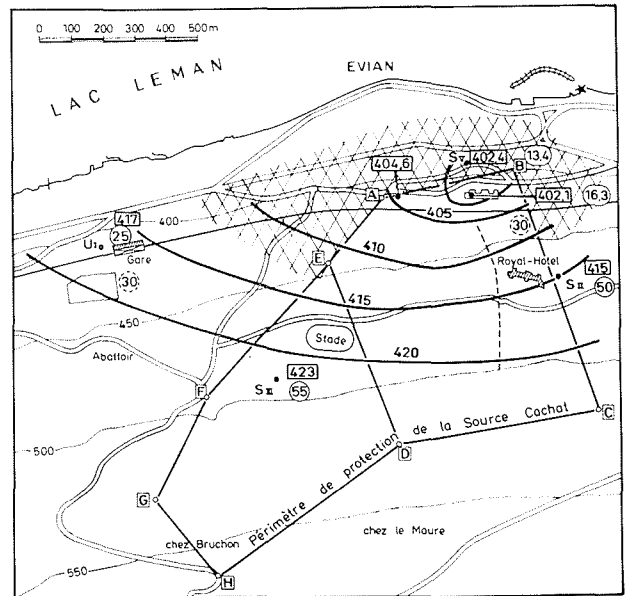
5/ Carte géologique et coupe semi-schématique de la rive droite de la Dranse entre Bioge et le pont de la Douceur.

6/ Trois hypothèses sur l'origine de l'eau d'Evian.

7/ Courbes isopiézométriques au voisinage du griffon Cachat.



6/



7/

### Hypothèses sur l'origine de l'eau d'Evian.

Avant la réalisation des sondages nous pouvions formuler trois hypothèses sur l'origine de l'eau d'Evian (fig. 6).

- L'hypothèse qui fait provenir l'eau du complexe alluvial quaternaire suppose la présence dans l'épaisseur du plateau de Vinzier d'un horizon continu perméable capable de drainer les eaux qui s'infiltrèrent dans les moraines supérieures. Si le conglomérat des Dranses ou son équivalent s'étend sous la couverture morainique du plateau, il peut être le réservoir de la nappe d'Evian.

- Dans le cas d'une origine profonde, on peut supposer que le contact anormal des préalpes médianes sur l'Ultraschweiz draine les eaux des cargneules et autres terrains sus-jacents et les restitue à une lentille de sable de la moraine würmienne.

- Enfin, on peut également envisager une origine mixte. L'eau d'Evian résulterait d'un mélange entre des circulations superficielles dans la nappe du conglomérat et des venues profondes utilisant le contact anormal des médianes sur l'Ultraschweiz.

### Les sondages de reconnaissance.

L'exécution de sondages profonds carottés a complété l'étude de surface. Le premier de ces sondages se situe à l'altitude de 728 m au lieu-dit Sionnex. Bien que profond de 214 m, il n'a traversé que les terrains quaternaires sans atteindre le sous-sol rocheux, trias des préalpes médianes ou bien flysch ultraschweiz. Deux autres sondages ont été réalisés plus en aval aux abords immédiats d'Evian à l'Hôtel-Royal, altitude 467 m, et au Stade 488 m. Ils sont profonds respectivement de 68 et 81,50 m. L'étude détaillée des carottes de ces trois sondages nous a donné la succession stratigraphique suivante, de bas en haut :

- *Moraine inférieure* : Argile à blocs grise dont nous ne connaissons pas l'épaisseur totale. Toutefois, à Sionnex, cette moraine est épaisse de 24 m au moins. Elle contient, outre de nombreux galets cristallins, des éléments en provenance de la nappe de la Brèche;

- *Sédiments interstadiers* : Séries conglomératiques et sableuses fluviatiles et fluvio-lacustres d'épaisseur et de faciès extrêmement variables. La présence à la base de formations interstadiers d'un paléosol et d'un niveau riche en débris végétaux a permis de dater ces séries par la méthode au radiocarbone. Les niveaux rencontrés dans les trois sondages sont contemporains aux erreurs d'analyse près, et datent de 23 000 ans avant J.-C. Ils appartiennent donc à l'interstade du Paudorf. En conséquence, la moraine inférieure appartient au Würm III, la moraine supérieure au Würm IV, d'après la classification de F. Bourdier;

- *Moraine supérieure* : Une argile à blocs gris bleu, puissante de plus de 50 m dans les sondages aval et de 85 m dans le sondage de Sionnex, recouvre les sédiments interstadiers. Dans ce dernier sondage, on observe au sein de la masse d'argile

à blocs un interstade bien marqué, sableux, épais de 5 m, qui a pu être daté de 21 550 ans avant J.-C. par le carbone 14. Les lentilles sableuses observées dans les sondages du Stade et du Royal correspondent peut-être également à cet interstade. Ainsi, ce complexe supérieur est formé de deux masses distinctes d'argile à blocs séparées par un interstade sableux qui n'est pas toujours visible.

L'histoire quaternaire de la colline d'Evian se résume donc en deux stades würmiens, dont le premier est paroxysmal, séparés par un interstade daté par le radiocarbone de 23 000 ans avant J.-C. Sur le terrain, cela se traduit par deux épaisseurs de moraines (argile à blocs) encadrant un interstade continu dont les variations latérales d'épaisseur et de faciès sont considérables sur des distances très courtes.

Les sédiments interstadiers rencontrés par sondage sont certainement le prolongement sous le plateau de Vinzier du conglomérat des Dranses. Celui-ci, considéré comme appartenant au début du Würm, est donc en réalité beaucoup plus récent.

## IV. — Hydrologie de la nappe d'Evian

### Les terrains aquifères de la nappe d'Evian.

Le réservoir de la nappe d'Evian est donc constitué par les terrains perméables de l'interstade du Würm III-IV. Les niveaux aquifères conglomératiques ou sableux sont compris entre deux épaisseurs d'argile à blocs imperméables, au toit la moraine du Würm IV, au mur celle du Würm III.

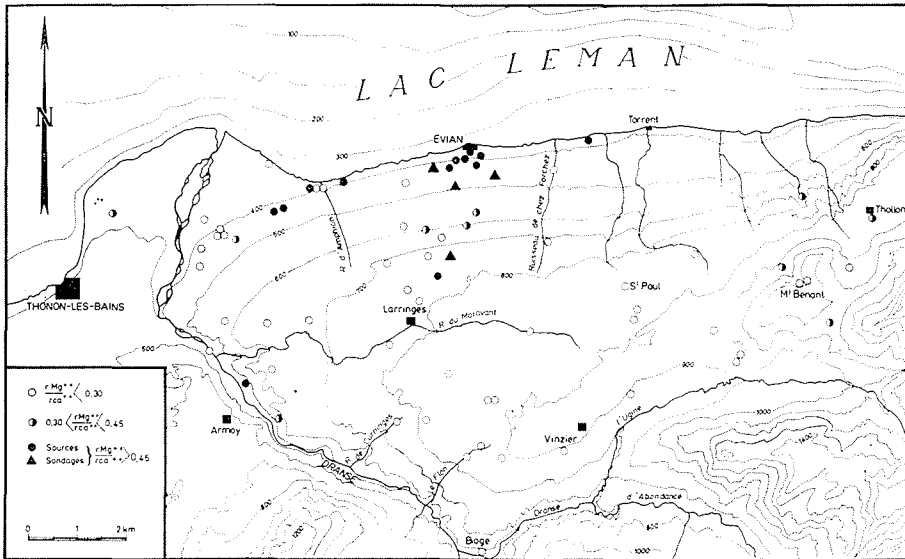
L'interstade bien que continu sous le plateau de Vinzier présente des variations latérales brusques d'épaisseur comme de faciès. A Sionnex, par exemple, la puissance de l'ensemble des terrains aquifères est de 160 m. Elle n'atteint que 14 m à la verticale du Royal. Tantôt, comme au Royal, c'est un empilement de feuillets sableux perméables ne dépassant pas 3 m d'épaisseur séparés par des feuillets argileux imperméables d'origine lacustre; tantôt comme au Stade, il s'agit de sédiments beaucoup plus grossiers, galets, graviers et sables à caractère torrentiel.

Ainsi, cette formation doit comporter en son sein plusieurs nappes. Chaque nappe correspondant au bassin versant d'un affluent du Léman à l'époque interstadière. Le réseau hydrographique fossile, le long duquel se sont déposés les sédiments les plus grossiers, donc les plus perméables, draine la nappe ou portion de nappe comme il drainait autrefois son bassin versant.

Sur le versant lac du plateau, un de ces systèmes donne naissance aux émergences d'Evian. Un autre, distinct, se termine probablement vers Amphion.

### Circulation des eaux dans la nappe d'Evian.

La zone d'alimentation de la nappe d'Evian se situe sur le plateau de Vinzier, à l'altitude moyenne de 850 m. Très difficile à préciser, elle est grossièrement comprise dans un triangle dont les som-



8/ Répartition des rapports magnésium-calcium.

ments sont les villages de Vinzier, Saint-Paul-en-Chablais et Larringes. Dans ce périmètre, l'épaisseur de la moraine supérieure ne dépasse pas 10 m et les eaux de pluie parviennent facilement à la nappe. Ailleurs, vers l'aval, la nappe est beaucoup plus profonde et la quantité d'eau qui lui parvient par l'intermédiaire de la moraine peut être considérée comme négligeable.

Nous avons reconnu la nappe d'Evian dans les trois sondages. Celui du Stade qui a montré un interstade très grossier serait situé sur le trajet d'un ancien torrent qui s'écoulait vers le nord dans le lac Léman. Il existerait dans la nappe une zone de circulation préférentielle par cette vallée fossile qui semble correspondre au drain primaire défini par la prospection géoélectrique de 1958. Dans la partie basse du versant d'Evian, les niveaux piézométriques indiquent effectivement un écoulement nord-nord-est (voir fig. 7).

Le problème de l'extension possible de la nappe vers l'aval du griffon Cachat n'est pas complètement résolu. Il est probable que cette nappe se termine brusquement à ce niveau, les eaux sous pression rencontrant alors un mur d'argile à blocs et remontant à la surface à la faveur d'une couverture morainique plus mince. Il est possible toutefois que la nappe au contraire s'infléchisse et se poursuive sous le lac. Seule la réalisation d'un sondage en bordure immédiate du Léman peut résoudre cette importante question.

La couverture d'argile à blocs constitue une protection remarquable pour la nappe dès qu'elle atteint une épaisseur de 30 m. L'insuffisance de cette couverture présente deux risques principaux : risque de rupture et remontée d'eau quand la nappe est artésienne ou risque de pollution par les fissures de la moraine. Les risques de rupture ont été soulignés par un accident en cours de forage. Il existe au nord du périmètre de protection actuel une zone particulièrement dangereuse où la couverture morainique n'excède pas 15 m alors que la pression au toit de la nappe avoisine  $3 \text{ kg/cm}^2$ . Il importe donc d'étendre très rapidement le périmètre de protection jusqu'à la rive du lac de façon que cette zone y soit incluse.

La perméabilité de la nappe apparaît très variable. Elle est bonne dans l'axe du thalweg fossile

et diminue latéralement. Une valeur de  $K$  égale à  $1.10^{-5} \text{ m/s}$  semble cependant applicable à l'ensemble de la nappe.

Le gradient hydraulique qui dépend à la fois de la perméabilité et de la section de la nappe est par conséquent très variable. Dans la partie basse du bassin d'Evian, le gradient atteint 33 ‰. Il est égal à 150 ‰ entre Sionnex et le Stade. Le gradient hydraulique moyen de la nappe calculé entre chez Portay, dans la zone d'alimentation, et le griffon Cachat, près de sa terminaison, est égal à 90 ‰.

La vitesse réelle effective d'écoulement de l'eau dans la nappe d'Evian, calculée d'après la perméabilité et le gradient hydraulique moyens, est égale à  $9.10^{-6} \text{ m/s}$ , soit aussi 280 m par an. Ceci revient à dire que l'eau de pluie tombant actuellement sur le plateau de Vinzier mettra au minimum quatorze ans pour atteindre le griffon Cachat.

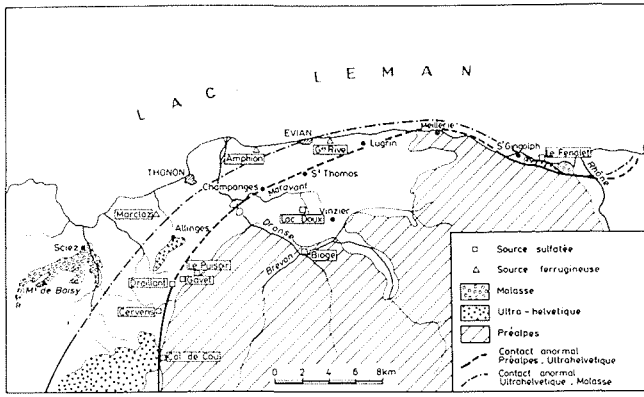
#### Dynamique de la nappe.

La nappe interstadaire d'Evian est captive. A Evian même, à l'altitude de 400 m, les pressions d'eau au toit de cette nappe sont très élevées :  $2,7 \text{ kg/cm}^2$  près du griffon Cachat et  $3,2 \text{ kg/cm}^2$  au sondage de la gare.

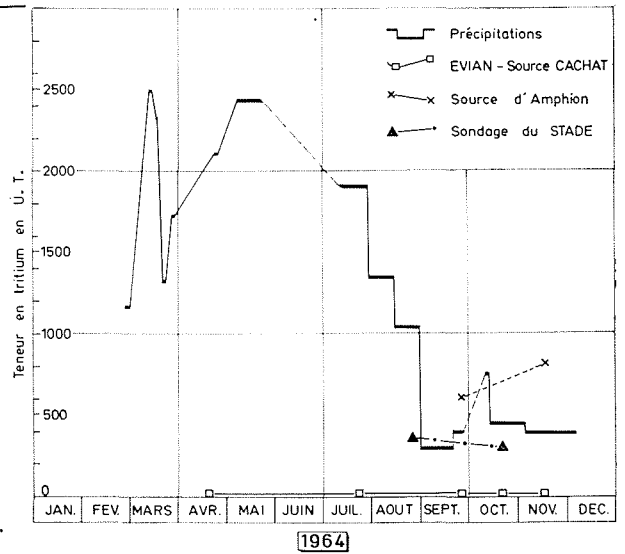
La nappe étant captive, les variations de la pression atmosphérique s'exercent seulement sur le plan d'eau des piézomètres et provoquent un déplacement important et en sens inverse de leur niveau. Pour une variation de pression atmosphérique de 1 millibar, le niveau piézométrique au griffon et dans les sondages varie de 0,96 cm. Au passage d'une dépression les niveaux piézométriques peuvent donc varier de 30 cm sans que l'équilibre de la nappe ne soit atteint.

La nappe est rabattue autour du griffon Cachat. Le cône de dépression est plus ou moins étendu suivant le débit d'exploitation. Pour les débits utilisés jusqu'à maintenant la caractéristique du captage Cachat est une droite, c'est-à-dire que le débit est une fonction linéaire du rabattement ( $Q \text{ m}^3/\text{h} = 76 \Delta m$ ).

Le griffon Cachat et les sources annexes appartiennent à un même système. Toute augmentation



9/ Contacts anormaux. Sources sulfatées et ferrugineuses.



10/ Teneur en tritium des eaux du bassin d'Evian.

artificielle de débit de l'un des exutoires de ce système se fait aux dépens des autres.

Nous devons attendre de posséder au moins une année de mesures suivies des niveaux piézométriques pour conclure à une variation des réserves de la nappe. Il est probable que la nappe n'accuse que les grandes variations climatiques intéressant plusieurs années consécutives.

## V. — Hydrochimie

### Hydrochimie du bassin d'Evian.

La plupart des sources de la région d'Evian, y compris les sources minérales, ont des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes, pratiquement achlorurées et contenant peu de sulfates. Cependant, l'examen des variations, dans l'espace et dans le temps, des principaux constituants et l'élaboration du rapport magnésium-calcium ont permis de distinguer quatre grandes familles : les eaux superficielles, les eaux du type Evian, les eaux sulfatées et les eaux sulfureuses-ferrugineuses.

- Les eaux superficielles du complexe quaternaire sont bicarbonatées calciques et magnésiennes, peu sulfatées, parfois plus riches en chlorures et alcalins par suite de pollution. Le rapport  $r Mg^{++}/r Ca^{++}$  est inférieur à 0,45. Leur composition est assez variable dans le temps. Les caractères principaux qui permettent d'identifier l'eau minérale d'Evian sont par ordre d'importance : la constance de sa composition chimique (anions = cations = 6 me/l), le rapport  $r Mg^{++}/r Ca^{++}$  toujours voisin de 0,50, la teneur en silice égale à 11 mg/l. Les eaux des sondages prélevées par pompage ont les caractéristiques de l'eau minérale. Les teneurs en carbonate sont toutefois plus faibles car les sondages sont situés en amont d'Evian. C'est davantage, en effet, la durée de son trajet que la nature chimique particulière de son réservoir qui donne à l'eau ses caractères distinctifs. Le trajet est suffisamment long pour que l'eau dans la partie finale de la nappe soit en équilibre avec le milieu qui la contient. Ainsi, la composition chimique au griffon est invariable. La quantité de

silice dissoute est plus élevée que dans les sources dont le cycle est plus rapide. Le rapport magnésium sur calcium augmente d'amont vers l'aval au fur et à mesure que le trajet croît, et tend vers la valeur de 0,50 qui caractérise la nappe. Le fait que les sources dont le rapport  $r Mg^{++}/r Ca^{++}$  est supérieur à 0,45 se situent toutes à la base du versant, autour de l'altitude 400 m, est d'ailleurs significatif (voir fig. 8).

- Les eaux sulfatées calciques, très dures, tirent leur minéralisation du trias gypseux des préalpes médianes. Ce trias est particulièrement développé au contact anormal Préalpes-Ultrahelvétique. Ainsi les sources sulfatées jalonnent ce contact anormal et permettent de préciser sa présence sous les moraines würmiennes.

- Les eaux sulfureuses sont des cas particuliers qui résultent de la réduction d'eaux sulfatées par un horizon tourbeux riche en matières organiques. Les eaux ferrugineuses que nous avons reconnues sont curieusement alignées en bordure du lac Léman et semblent souligner le contact anormal Ultrahelvétique sur Molasse (fig. 9).

### Teneur en tritium des eaux d'Evian.

Le tritium, isotope de masse 3 de l'hydrogène, est un émetteur  $\beta$  de faible énergie. Cet isotope radioactif a une période de 12,26 ans. Avant 1952, la teneur en tritium des eaux de pluie était de l'ordre de 5 UT (1 UT correspond à 1 atome de tritium pour  $10^{18}$  atomes d'hydrogène). Depuis, les essais d'armes nucléaires utilisant des réactions de fusion ont introduit du tritium artificiel dans l'atmosphère. A la suite des dernières explosions de 1961, certaines mesures de radioactivité ont atteint plusieurs milliers de UT. Nous avons tenté d'utiliser le traçage ainsi imposé aux nappes par l'ensemble des eaux de pluie marquées au tritium, pour préciser la vitesse d'écoulement de la nappe d'Evian.

En 1964, les teneurs des eaux de pluie à Thonon sont élevées et dépassent 1 000 UT. On observe un accroissement important des concentrations au printemps et une diminution assez brusque dès septembre.

Il n'y avait pas en 1964 de tritium décelable dans l'eau de la source Cachat ni dans les sonda-

ges de l'ancienne buvette, de la gare et du Royal. Par contre, l'eau du Stade et de Sionnex avaient des concentrations comprises entre 150 et 300 UT et la source Maxima d'Amphion des concentrations supérieures à 500 UT (voir fig. 10).

L'eau sans tritium est antérieure aux explosions thermonucléaires, car le tritium ne peut-être retenu par adsorption dans les sédiments. L'eau d'Evian est donc vieille de douze ans au minimum. Ces résultats sont en parfait accord avec ceux obtenus en calculant la vitesse de l'eau d'après la perméabilité et le gradient hydraulique moyens de la nappe. A Sionnex et au Stade, la nappe était déjà atteinte par l'onde de l'eau tritiée postérieure à 1952.

**Etude isotopique de l'oxygène des eaux du bassin d'Evian.**

La composition isotopique moyenne annuelle des eaux météoriques est fonction de la température moyenne annuelle de la formation des pluies, donc directement fonction de la latitude et de l'altitude.

Pour une même latitude, quand l'altitude augmente, la teneur en isotopes lourds des précipitations diminue : les  $\delta$  (\*) sont plus négatifs. L'étude de la composition isotopique moyenne d'une eau de source permet donc dans certains cas favorables d'en préciser l'origine. Ainsi le  $\delta^{18}O$  moyen des précipitations à Thonon (400 m) est égal à -8,4. La teneur annuelle des précipitations à 800 m d'altitude, qui peut aussi s'identifier au  $\delta$  moyen des eaux du ruisseau du Maravant dans sa partie supérieure, est égale à -10. Le  $\delta^{18}O$  moyen de la source minérale Cachat, égal à -10,15, correspond donc à la teneur moyenne des précipitations tombant à une altitude légèrement supérieure à 800 m. La zone d'alimentation de la source Cachat se situe donc entre 800 et 900 m. Cette valeur est parfaitement conforme aux conclusions des sondages.

$$(*) \delta = \frac{^{18}O/^{16}O \text{ échantillon} - ^{18}O/^{16}O \text{ standard}}{^{18}O/^{16}O \text{ standard}} \times 1000$$

En un même lieu, il se produit également des variations saisonnières dans la composition isotopique des précipitations. Les pluies d'été sont enrichies en isotopes lourds par rapport aux précipitations d'hiver. A Thonon, les  $\delta$  d'hiver sont voisins de -13, la neige présentant des  $\delta$  de -17 et même -20. L'été, les teneurs en  $^{18}O$  sont voisines de -6. Suivant la quantité des précipitations et leur indice de composition, nous observons donc des pics positifs ou négatifs dans la composition isotopique des eaux superficielles qui, si on les retrouve dans la nappe aquifère, peuvent permettre de déterminer le temps de transit de l'eau et l'importance des réserves régulatrices.

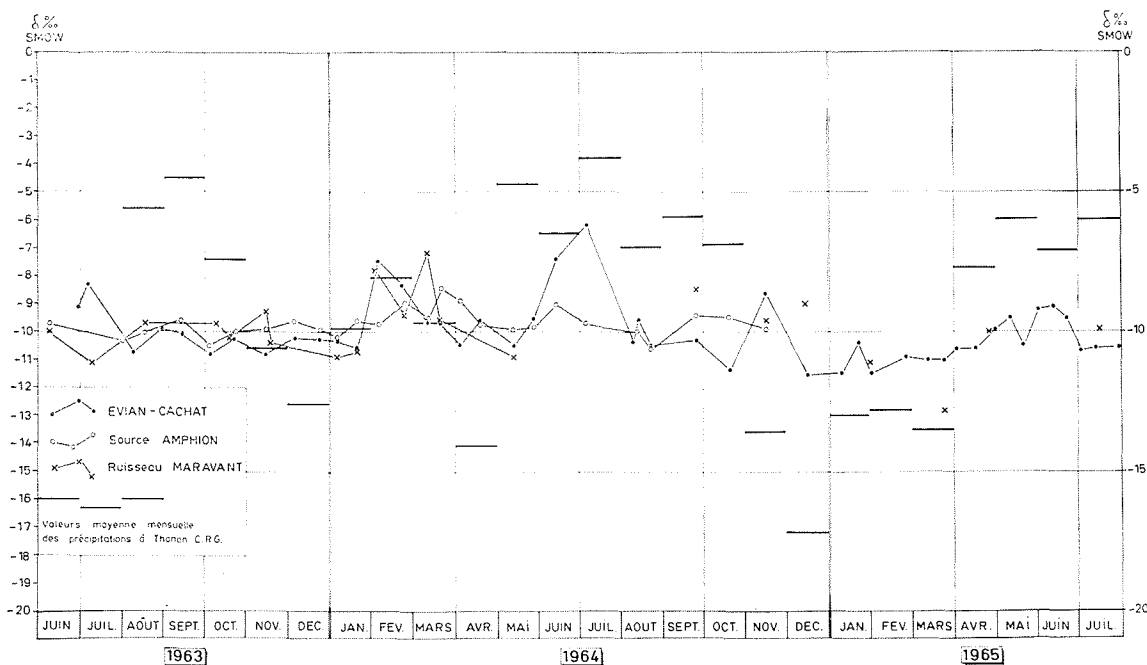
La courbe des teneurs en  $^{18}O$  de l'eau d'Evian, généralement très proches de la valeur moyenne de -10,15, montre cependant trois pics positifs (fig. 11). Ces pics indiquent des apports intermittents d'eau plus lourde, donc provenant d'une altitude moindre. La qualité de ces eaux est à surveiller, car leur trajet plus rapide leur assure une filtration moins bonne.

**VI. — Bilans**

La complexité du réseau hydrographique du plateau de Vinzier rendait très difficile l'établissement du bilan. Nous nous sommes donc limité à un petit bassin unitaire indépendant, dans la zone d'alimentation d'Evian, que nous considérons comme un témoin satisfaisant des terrains quaternaires morainiques.

**Le bassin expérimental du Maravant.**

Ce bassin versant expérimental, de 3 km<sup>2</sup> de superficie, dont l'altitude moyenne est de 891 m, correspond au cours supérieur du Maravant. Il est entièrement recouvert par les moraines würmiennes (argile à blocs). Le bassin de surface est bien



11/  
Etude isotopique de l'oxygène des eaux de la région d'Evian.



délimité. Par contre, le bassin hydrogéologique comporte certainement un écoulement vers l'aval par l'intermédiaire d'un horizon perméable interstadiaire peu profond.

Faiblement accidenté, son altitude varie de 930 à 840 m. Ainsi, 15 % environ du bassin sont recouverts par des tourbières, 8 % par la forêt de sapins et le reste par la prairie.

L'équipement du bassin versant est résumé sur la figure 12. La station de jaugeage à l'exutoire du bassin a été équipée d'un limnigraphe « OTT » (type X) en novembre 1964.

Nous avons dressé le bilan hydrologique du Maravant, du 27 novembre 1964 jusqu'au 1<sup>er</sup> septembre 1965.

Le volume des précipitations a été calculé d'après les isohyètes de la figure 12. Il est égal, pour la période considérée, à 2 960 000 m<sup>3</sup>. Pour ce même intervalle de temps, l'évapotranspiration mesurée sur lysimètre à Thonon s'élève à 380 mm. Nous avons pris l'évapotranspiration égale à 300 mm sur le plateau, ce qui représente un volume d'eau évaporé de 900 000 m<sup>3</sup>. Du 27 novembre 1964 au 1<sup>er</sup> septembre, le débit moyen journalier du Maravant est égal à 44,5 l par seconde, ce qui correspond à un volume d'eau écoulé de 1 068 000 m<sup>3</sup>. Il faut y ajouter le volume débité par les sources du Lyonnais soit 72 000 m<sup>3</sup>. Considérant que les variations des réserves du bassin sont négligeables, nous pouvons évaluer l'écoulement souterrain hors du système : écoulement souterrain = 2 960 000 - (900 000 + 1 068 000 + 72 000) = 920 000 m<sup>3</sup>. Ainsi, entre le 27 novembre 1964 et le 1<sup>er</sup> septembre 1965, 920 000 m<sup>3</sup>, soit presque 1/3 des précipitations se sont infiltrés sur les 3 km<sup>2</sup> du bassin du Maravant et ont contribué à l'alimentation d'une nappe extérieure.

D'après l'étude de quelques hydrogrammes du Maravant et des hétérogrammes correspondants, nous voyons que les coefficients de ruissellement global sur le bassin sont faibles. Les plus forts

atteignent 12 % seulement. Le plateau de Vinzier, considéré jusqu'alors comme imperméable parce qu'il est recouvert de moraines argileuses, est tout au contraire une zone où l'infiltration est considérable.

Nous donnons ci-après la formule de la courbe de tarissement du Maravant

$$Q_t = Q_0 e^{-0,197t}$$

Les réserves de la nappe qui alimente le Maravant sont faibles; ceci confirme que l'infiltration pourtant très importante sur ce bassin ne profite pas à la nappe du Maravant, mais contribue certainement à l'alimentation d'une nappe plus profonde que est celle d'Evian.

**Essai de bilan de la nappe d'Evian.**

Le bassin d'alimentation de la nappe d'Evian serait grand de 10,8 km<sup>2</sup> pour une altitude moyenne de 850 m.

Nous pouvons alors dresser le bilan suivant de la nappe. Les apports sont évalués d'après les coefficients d'infiltration définis sur le bassin du Maravant.

APPORTS :	PERTES CONNUES :
Zone d'alimentation de 10,8 km <sup>2</sup>	14,7.10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup> : émergences d'Evian; 6,3.10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup> : émergences du plateau; 10,8.10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup> : évapotranspiration directe;
42.10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup> par an	31,8.10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup> : total des pertes connues.

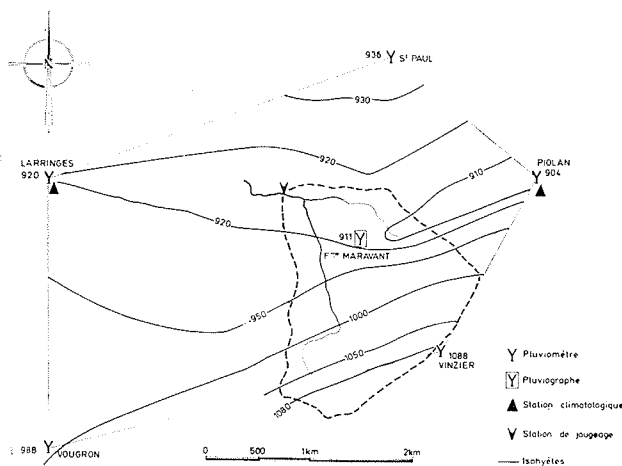
Le bilan ainsi conçu apparaît déséquilibré, mais son principal enseignement est de montrer que le débit des émergences d'Evian est parfaitement explicable avec une zone d'alimentation grande seulement de 10,8 km<sup>2</sup>.

**Conclusions**

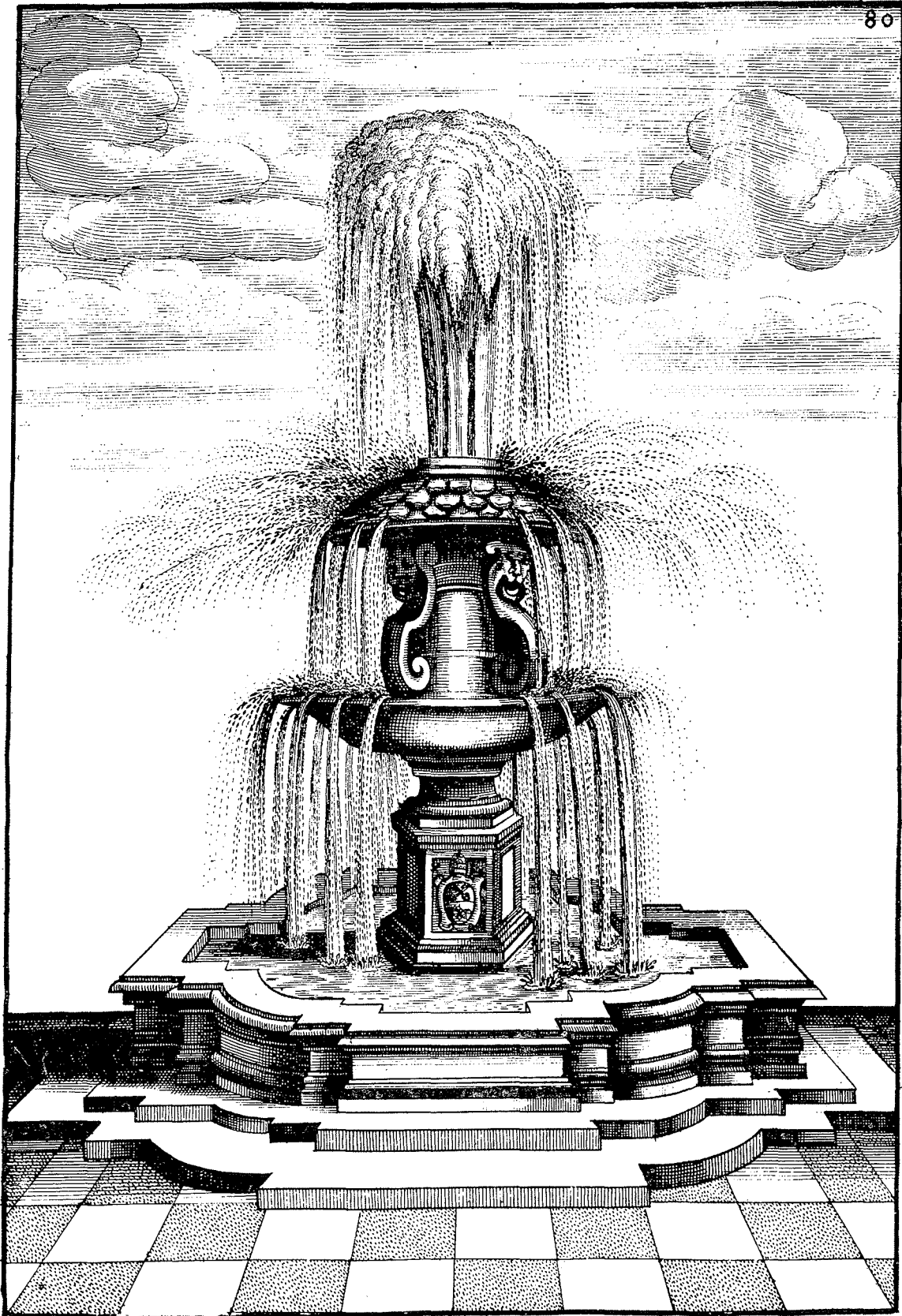
La campagne de sondages, les analyses isotopiques de l'oxygène des eaux du bassin d'Evian, les analyses chimiques de ces mêmes eaux et l'essai de bilan de la nappe fournissent les principaux arguments pour affirmer que l'eau minérale d'Evian provient du complexe quaternaire du plateau de Vinzier.

La nature des terrains aquifères, la dynamique et l'hydrochimie de la nappe ont été précisées localement. Cependant, parce qu'il s'agit de terrains quaternaires dans lesquels les variations latérales de faciès et d'épaisseur peuvent être considérables sur des distances très courtes, il est très difficile de généraliser à tout le plateau ce que l'on observe ponctuellement, surtout en l'absence de prospection géophysique.

Cette étude a été le point de départ d'une surveillance hydrogéologique, hydrochimique et pour la première fois isotopique de la nappe. Cette surveillance doit se poursuivre. Les conclusions de ce travail permettront de l'orienter plus efficacement.



12/ Bassin du Maravant. Equipement en bassin versant expérimental. Isohyètes. 27-11-1964 au 1-9-1965.



Gravure extraite de *Architectura curiosa nova* par G. A. BÖCKLERN  
(Nuremberg (1664))