



Le delta de la Dranse (Haute-Savoie) : climatologie, hydrogéologie et géochimie

Claude Poncet

► To cite this version:

Claude Poncet. Le delta de la Dranse (Haute-Savoie) : climatologie, hydrogéologie et géochimie. Géologie appliquée. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 1977. Français. NNT: . tel-00848032

HAL Id: tel-00848032

<https://theses.hal.science/tel-00848032>

Submitted on 25 Jul 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



1er ex

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

— PARIS 6 —

15 DEC. 1977



LE DELTA DE LA DRANSE (Haute-Savoie)

Climatologie , Hydrogéologie et Géochimie

2

Claude PONCET

CENTRE DE RECHERCHES
GEODYNAMIQUES

1977

74203 THONON - LES - BAINS FRANCE

T H E S E présentée

pour l'obtention

du

DIPLOME DE DOCTEUR DE 3^e CYCLE

à

L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

- Paris 6 -

SPECIALITE : GEODYNAMIQUE EXTERNE

MENTION : SCIENCES DE L'EAU

par

Claude PONCET

LE DELTA DE LA DRANSE (HAUTE-SAVOIE) : CLIMATOLOGIE, HYDROGEOLOGIE, GEOCHIMIE

Soutenue le : 24 Novembre 1977

Devant la Commission composée de :

<i>Président</i>	A. JAUZEIN
<i>Examineur</i>	R. LETOLLE
"	B. BLAVOUX
"	Ph. OLIVE
"	G. CASTANY

CENTRE DE RECHERCHES GEODYNAMIQUES
74203 THONON (FRANCE)

10150635

A V A N T P R O P O S

Au moment de conclure ce travail, il m'est particulièrement agréable de remercier ici tous ceux qui ont contribué à sa réalisation :

- Monsieur le Professeur A. JAUZEIN pour l'honneur qu'il m'a fait en présidant le jury,
- Monsieur le Professeur R. LETOLLE qui a bien voulu m'accepter dans son laboratoire, puis examiner et juger ce travail,
- Monsieur B. BLAVOUX, Maître-Assistant, qui a accepté de rapporter cette étude et à qui j'adresse mes plus vifs remerciements pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et les nombreux conseils et suggestions dont j'ai tiré le plus grand profit,
- Monsieur Ph. OLIVE, Sous-Directeur du Centre de Recherches Géodynamiques à Thonon-les-Bains, qui m'a accueilli dans son laboratoire il y a deux ans puis conseillé plus spécialement sur l'aspect de la géochimie des eaux souterraines,
- Monsieur G. CASTANY, Conseiller Scientifique Permanent au Service Géologique National, pour les précisions qu'il a eu la bienveillance de m'apporter dans le domaine de l'hydrogéologie,
- Monsieur M. DRAY, Assistant, qui m'a confié ce travail, dont les conseils et critiques m'ont été très utiles. Les analyses isotopiques d'oxygène-18 ont été effectuées par ses soins à Paris, en collaboration avec M. JUSSERAND. Je suis heureux de lui exprimer ici ma profonde gratitude.

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'aide financière des communes de Thonon, Publier, Evian ainsi que de la Société des Eaux Minérales d'Evian, qui ont pris en charge la réalisation de cinq sondages par les Entreprises CINQUIN Frères, puis l'achat, l'implantation et la surveillance par le personnel du Centre de Recherches Géodynamiques de quatre nouveaux piézomètres et d'un limnigraphe.

J'adresse mes plus vifs remerciements à tous ceux qui ont bien voulu mettre leurs documentations à ma disposition et à Monsieur BARBEZIER, responsable du laboratoire de chimie-bactériologie de la Société Anonyme des Eaux Minérales d'Evian, à Monsieur BRABANT, responsable du service des Eaux de la Ville de Thonon-les-Bains, à Monsieur DIOT, Directeur de la Station d'Épuration inter-communale de Saint-Disdille, avec qui j'ai été plus particulièrement en contact.

Je suis très heureux de remercier ici tous mes camarades de travail et plus particulièrement Catherine CAM, Bernard CHASSAING, Jean-Jacques JEREMIE, Elizabeth LEMEILLE, Joël PEIROLO, Daniel PIERRE et Georges SERRA, pour leur aimable collaboration.

Je remercie vivement toute l'équipe du Centre de Recherches Géodynamiques qui a collaboré avec gentillesse et compétence à la réalisation de cet ouvrage : Madame J. TESSIER pour les illustrations, Melle A.M. CHIARA pour le tirage, Mme M. BOUVET pour la frappe ainsi que Mesdames S. CHESSEL, C. DUCHAMP, L. FERRARI, O. CONTAMINE, A. NOIR et Messieurs F. CHESSEL et G. OLIVIER.

Enfin je ne saurais oublier Robert et Sylvie GALLAY pour le soutien permanent qu'ils n'ont cessé de m'apporter.

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I - Géologie.....	11
I. - Historique.....	11
II. - Les données des sondages.....	16
II.1. - Les versants.....	17
II.2. - Les sondages du delta de la Dranse.....	21
II.2.1. - Le sondage profond de Sainte-Agathe (1973).....	21
II.2.2. - Les données des autres sondages.....	25
III - Les données de la géophysique.....	31
III.1. - Les sondages électriques.....	32
III.1.1. - Principaux résultats des campagnes (P.G.F. et B.R.G.M.)...	32
III.1.2. - Synthèse des différents travaux réalisés : carte des isohypses du toit du substratum..	39
III.2. - Le trainé électrique. Carte des résistivités électriques apparentes.....	40
CHAPITRE II - Etude hydroclimatologique.....	44
I. - Etude des précipitations.....	45
I.1. - Etude statistique des précipitations à Thonon-Rives.....	47
I.2. - Les précipitations sur le delta de la Dranse et ses versants.....	51
I.2.1. - Méthode d'évaluation des lames d'eau précipitées.....	52
I.2.2. - Etude des précipitations annuelles.....	55
I.2.3. - Etude des précipitations mensuelles.....	56
I.2.4. - Etude des précipitations journalières.....	58
II - Etude des principaux paramètres climatiques.....	58
II.1. - Les températures.....	58
II.2. - L'humidité atmosphérique.....	59

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES SCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
GRENoble CEDEX
F. 38041
Tel: 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail: phalour@ujf-grenoble.fr
01 SEP. 2003

	Pages
III. - Etude de l'évapotranspiration.....	61
III.1. - Evapotranspiration calculée.....	62
III.1.1. - Déficit d'écoulement et évapotranspiration réelle annuelle.....	62
III.1.2. - Evapotranspiration potentielle mensuelle.....	64
III.2. - Mesure du pouvoir évaporant de l'atmosphère.....	67
III.3. - Evapotranspiration réelle mesurée : lysimètre à drainage total.....	68
IV. - Conclusion à l'étude hydroclimatologique.....	70
<u>CHAPITRE III</u> - Hydrologie.....	73
I. - Le réseau hydrométrique.....	73
I.1. - Le réseau de surface.....	73
I.2. - Le réseau souterrain.....	76
II. - Etude des débits et des relations nappe-rivière.....	77
II.1. - Etude des débits de la Dranse à Bioge....	77
II.1.1. - Débits moyens mensuels et annuels.....	77
II.1.2. - Débits spécifiques mensuels et annuels.....	78
II.1.3. - Débits moyens interannuels.....	79
II.1.4. - Lane d'eau écoulée.....	79
II.2. - Evaluation quantitative des échanges nappe-rivière au niveau du delta.....	79
II.2.1. - Débits de la Dranse à Vongy...	79
II.2.2. - Mesures de débits.....	81
III. - Etudes piézométrique. Sens d'écoulement de la nappe du delta de la Dranse.....	84
III.1. - Nivellement et relevés piézométriques...	85
III.2. - Interprétation des cartes isopiézométriques.....	88
III.3. - Détermination du gradient hydraulique...	92
IV. - Détermination des caractéristiques hydrogéologiques et des facteurs hydrodynamiques. Interprétation des essais de pompage.....	96
IV.1. - Les principaux paramètres hydrogéologiques.....	96
IV.1.1. - Pompage d'essai de la SAEME...	97
IV.1.2. - Pompage d'essai du Mottay.....	100
IV.1.3. - Essai de courte durée de Ripaille-Ville.....	102

	Pages
IV.2. - Les facteurs hydrodynamiques.....	104
IV.2.1. - Calcul de la vitesse réelle d'écoulement.....	104
IV.2.2. - Calcul du débit unitaire et du débit d'écoulement.....	105
V. - Dynamique de la nappe. Variations des niveaux piézométriques.....	108
V.1. - Les variations naturelles de la surface piézométrique.....	108
V.1.1. - Variations cycliques en relation avec le mode d'alimentation de la nappe.....	109
V.1.2. - Variations de courte durée. Exemple de la crue de Décembre 1976.....	115
V.2. - Les variations artificielles de la surface piézométrique.....	118
VI. - Essai de bilan hydrologique de la nappe du delta de la Dranse.....	119
VI.1. - Bilan à l'échelle d'un événement hydrologique.....	120
VI.2. - Bilan à l'échelle annuelle.....	123
VI.3. - Bilan de l'année civile moyenne.....	124
VII. - Conclusion à l'étude hydrologique.....	125
<u>CHAPITRE IV</u> - Etude chimique et isotopique.....	126
I. - Généralités.....	126
I.1. - Points de prélèvements et problèmes d'échantillonnage.....	126
I.2. - Méthodes d'analyse.....	127
I.2.1. - Les mesures de terrain.....	127
I.2.2. - Les mesures de laboratoire.....	130
II. - Qualité générale des eaux.....	131
II.1. - Le delta de la Dranse : un important réservoir d'eau potable.....	131
II.2. - Principaux paramètres physico-chimiques - conductivité, t° et pH.....	133
II.3. - Cas de pollutions.....	134
II.3.1. - Dureté.....	134
II.3.2. - Contamination de la nappe du delta de la Dranse par du chrome hexavalent. Essai de décontamination.....	136

	pages
II.3.3. - Pollution chimique due aux dépôts d'ordures ménagères.....	142
II.3.4. - Pollution due aux puits perdus.	145
II.4. - Conclusion : carte des pollutions.....	147
III. - Chimie, isotopes (oxygène-18) et alimentation de la nappe du delta de la Dranse.....	149
III.1. - Etude de quelques rapports caractéris- tiques.....	149
III.2. - Etude des teneurs en $\delta^{18}O$	153
CONCLUSIONS GENERALES.....	158
BIBLIOGRAPHIE.....	162
LISTE DES TABLEAUX.....	169
LISTE DES FIGURES.....	171
ANNEXE.....	174
LISTE DES TABLEAUX EN ANNEXE.....	190

I N T R O D U C T I O N

INTRODUCTION

LE CADRE GEOGRAPHIQUE.

Le delta de la Dranse du Chablais se situe en rive Sud du lac Léman, au Nord-Est de la ville de Thonon-les-Bains (figure 1).

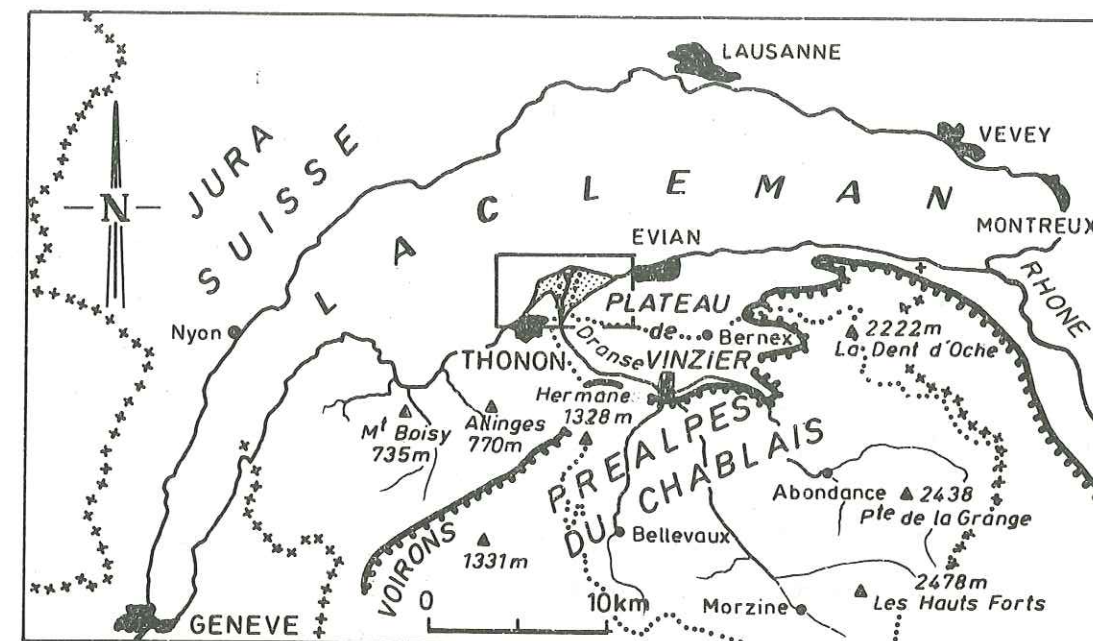


Fig: 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DU DELTA DE LA DRANSE
(D'après BLAVOUX 1965)

La rivière est formée par la jonction à Bioge, où est installé un limnigraphe, des Dranses de Bellevaux, de Morzine et d'Abondance, prenant leurs sources dans le massif des Préalpes qui culmine à 2 478 m. (les Hauts Forts). Son bassin versant occupe une superficie d'environ 535 km² (ARDESTANI, 1965). La Dranse sépare, dans sa partie aval, deux unités géographiques bien individualisées qui constituent les versants amont du delta :

- A l'Est, se trouve la colline de Vinzier, au relief adouci, et dont l'altitude décroît régulièrement d'Est en Ouest, de Bernex (980 m.) à Champanges (700 m.).

- A l'Ouest, commence un bas plateau étagé, sous forme de terrasses, d'altitude décroissante vers le lac et marqué par quelques bombements topographiques (colline des Allinges, Mont de Boisy, ...).

Au Sud de ces deux unités, le front septentrional des Préalpes est souligné par des reliefs plus importants (Voirons, Mont d'Hermone, Dent d'Oche, ...).

LE CADRE GEOLOGIQUE (figure 2).

La région comprise entre le lac Léman au Nord et les derniers affleurements des Préalpes au Sud, est recouverte dans sa grande majorité de dépôts quaternaires : moraine argileuse würmienne du plateau de Vinzier, dépôts grossiers, torrentiels et deltaïques Tardi- et Post-Würmiens des terrasses de Thonon.

Le substratum anté-Quaternaire apparaît en quelques points isolés au milieu de ces dépôts morainiques et fluvio-glaciaires :

- Molasse chattienne autochtone ou parautochtone, visible au Mont de Boisy (Sud-Ouest de Thonon).
- Nappe du flysch ultrahelvétique, première unité des Préalpes Externes, chevauchant la molasse. Le flysch affleure à la colline des Allinges, au massif des Voirons et dans la vallée de la Dranse.
- Nappe des Préalpes médianes qui chevauche la précédente et forme les principaux sommets et falaises des Préalpes.

La morphologie des versants quaternaires en amont du delta de la Dranse est conditionnée par celle du substratum ainsi que par la nature des dépôts qui le recouvrent (R. VIAL, 1976).

GEOMORPHOLOGIE.

Le modelé actuel de la région lémanique est marqué par l'empreinte des avancées glaciaires successives qui se sont produites au Quaternaire.

Notons dès à présent que la morphologie de ce Quaternaire est différente d'une rive à l'autre de la Dranse (R. VIAL, 1975). Nous verrons (cf. géologie) que ce phénomène peut s'expliquer par la différence de nature et d'âge des formations constituant les versants respectifs.

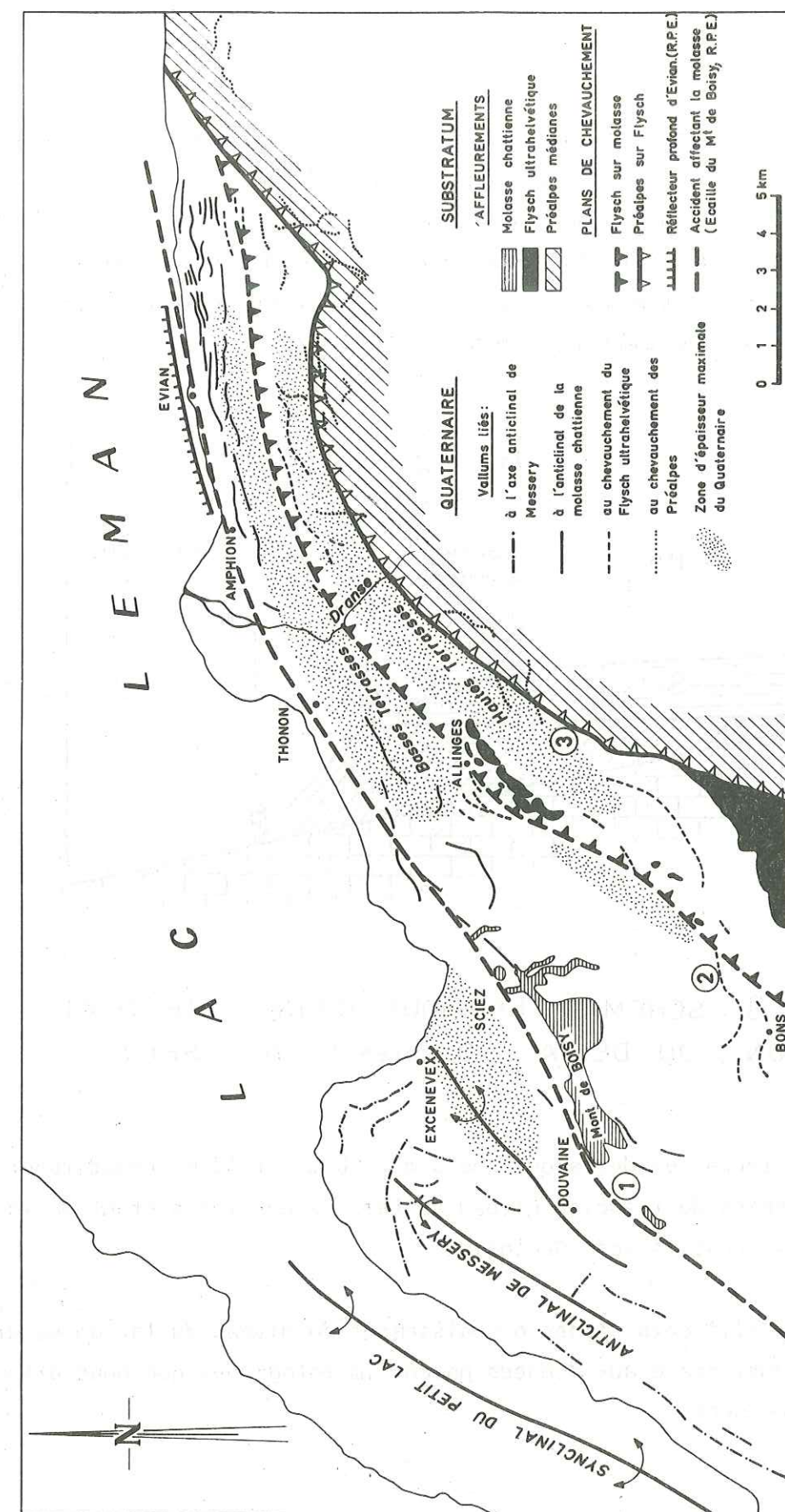


Fig. 2 : CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL (D'après R. VIAL 1976)

De même, la morphologie du delta de la Dranse et la nature des dépôts deltaïques seront envisagés au cours de l'étude géologique (chapitre I).

Nous rappelons simplement à l'aide d'un schéma (figure 3) quel est le profil d'une côte d'alluvions ou delta (d'après F.A. FOREL). Le delta de la Dranse, d'une superficie de 8,2 km², présente actuellement un tracé arrondi de Ripaille (à l'Ouest) à Amphion (à l'Est). Cette côte d'alluvionnement fait place de part et d'autre à une côte d'érosion au niveau des golfes de Thonon et Amphion (figure 4).

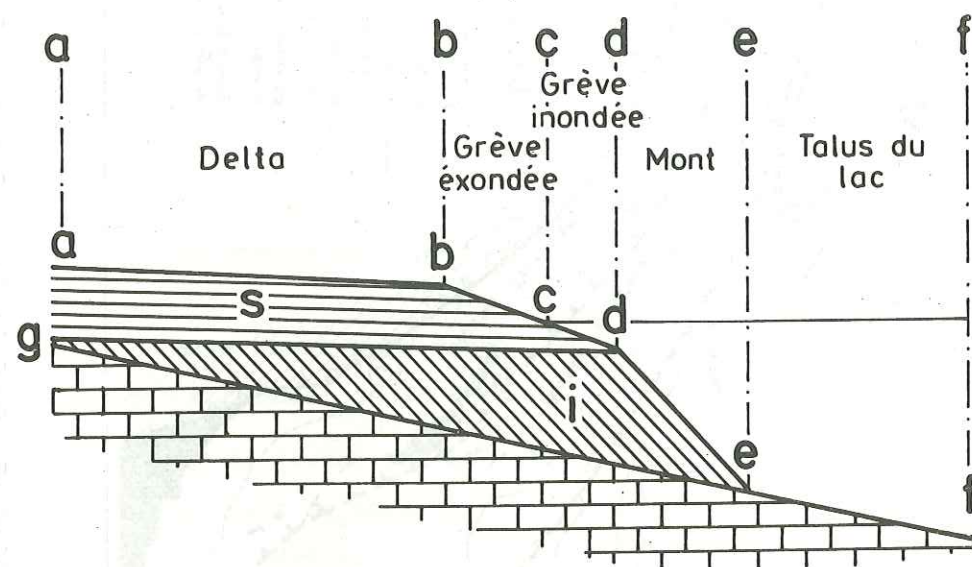


Fig. 3 : SCHEMA THEORIQUE D'UNE CÔTE D'ALLUVION, OU DELTA (D'après F - A FOREL)

Les terrasses deltaïques de 3 m., 10 m. et 30 m. constituent enfin des témoins de l'ancien niveau du lac, ce dernier s'étant abaissé par paliers successifs (cf. Géologie).

Les différents stades d'abaissement du niveau du lac on pû être datés récemment, grâce aux données paléoclimatologiques que nous allons envisager à présent.

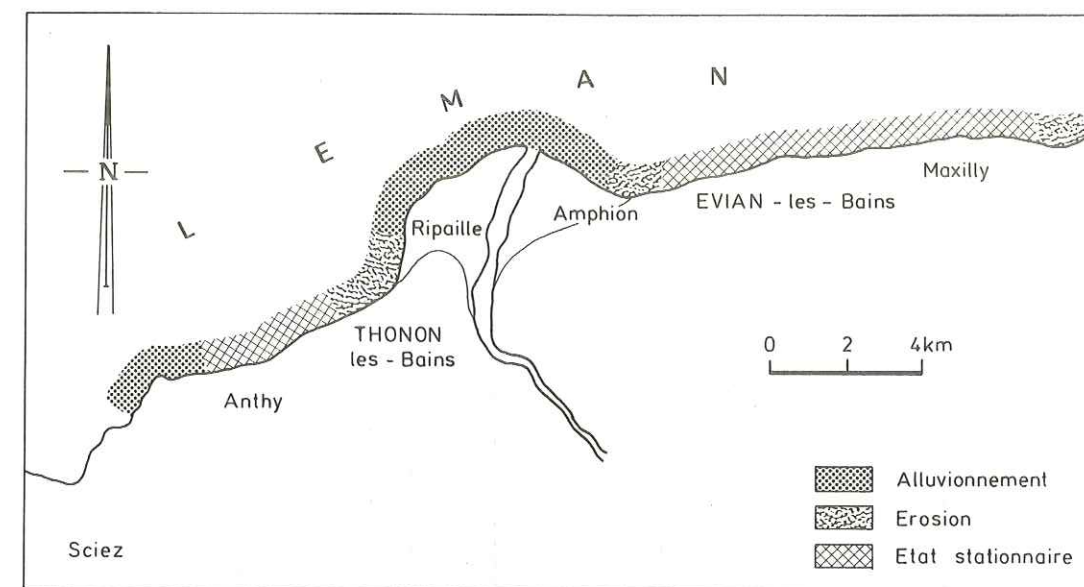


Fig. 4 : DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DES CÔTES DU LEMAN DANS LA REGION DU DELTA DE LA DRANSE. (D'après F - A FOREL 1892)

PALEOCLIMATOLOGIE TARDI ET POST-GLACIAIRE DE LA REGION LEMANIQUE.

L'étude des tourbières de la région lémanique (J. BECKER, 1952) et des sédiments lacustres dans le Léman (J. SAUVAGE, 1969) confrontée aux données acquises en d'autres régions, a amené Ph. OLIVE (1972) à effectuer une synthèse de tous ces travaux dans le but de reconstituer l'évolution de la région lémanique depuis 15 000 ans (cf. tableau 1). De cette étude, il ressort les constatations suivantes, en ce qui concerne la paléoclimatologie de la région lémanique.

1) Durant les temps tardi-glaciaires (16 000 à 10 000 ans B.P.), le glacier du Rhône disparaît progressivement de la région, faisant place à une végétation de steppe sèche.

C'est à cette époque (Oldest Dryas) que le petit lac commence à se libérer de sa carapace de glace et que se déposent les premiers sédiments lacustres. La reconstitution des phases paléosylvatiques à partir de l'étude sporo-pollinique de ces premiers sédiments permet de distinguer cinq phases climatiques successives durant cette période tardi-glaciaire (tableau 1).

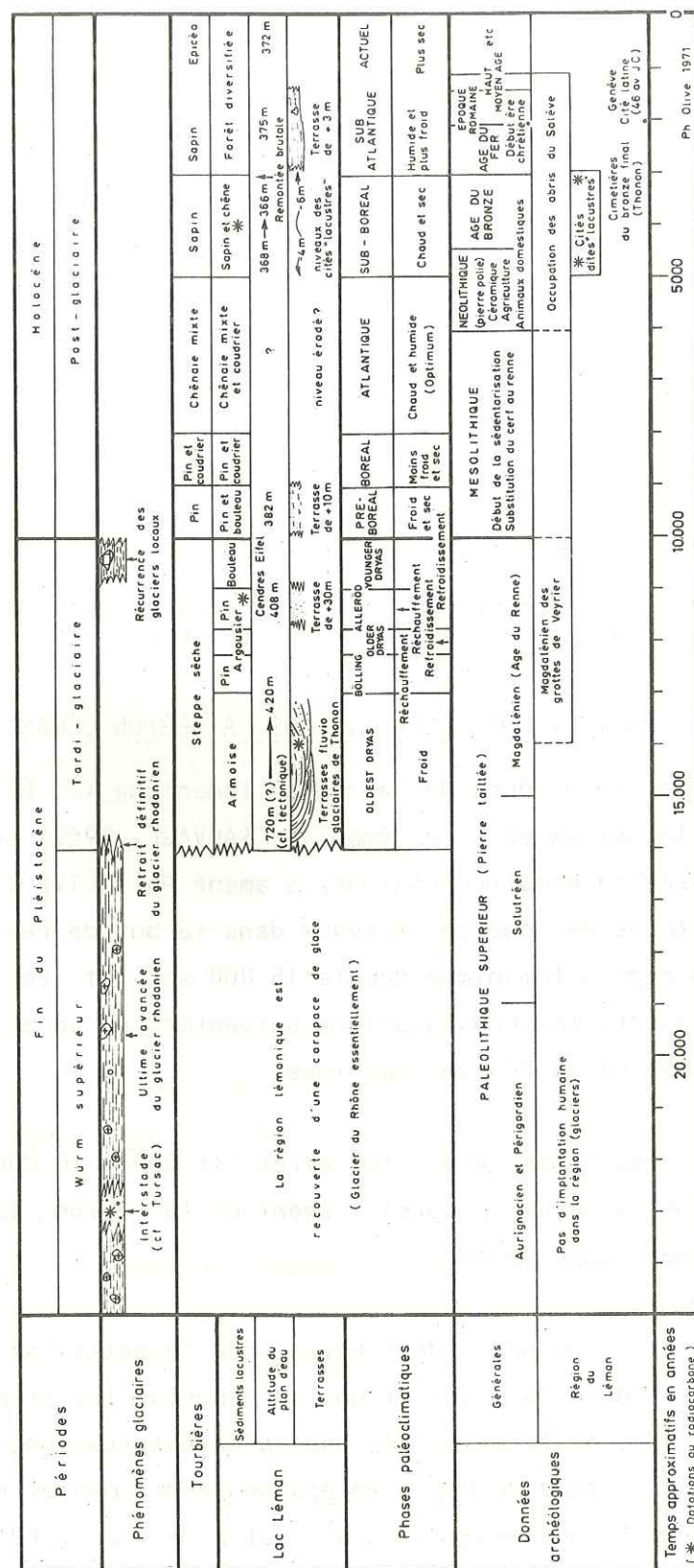


TABLEAU 1 - Evolution de la région lémanique depuis 25 000 ans.

2) La période post-glaciaire (10 000 ans B.P. à actuel) qui succède à la précédente est marquée par la disparition des glaciers et par une alternance de phases climatiques de refroidissement et de réchauffement. Les oscillations du niveau du lac qui s'en suivent caractérisent cette période post-glaciaire.

Cette reconstitution paléoclimatologique de la région lémanique permet de donner un cadre au milieu naturel actuel, tant d'un point de vue paysage que végétation, ce qui fait l'objet du chapitre suivant.

LE MILIEU NATUREL : VEGETATION, CULTURES ET PAYSAGES.

Une reconnaissance des différents groupements végétaux rencontrés sur le delta de la Dranse et ses versants a été effectuée en 1976 (figure 5, d'après DARRAU).

Deux grands types de formations peuvent être distingués :

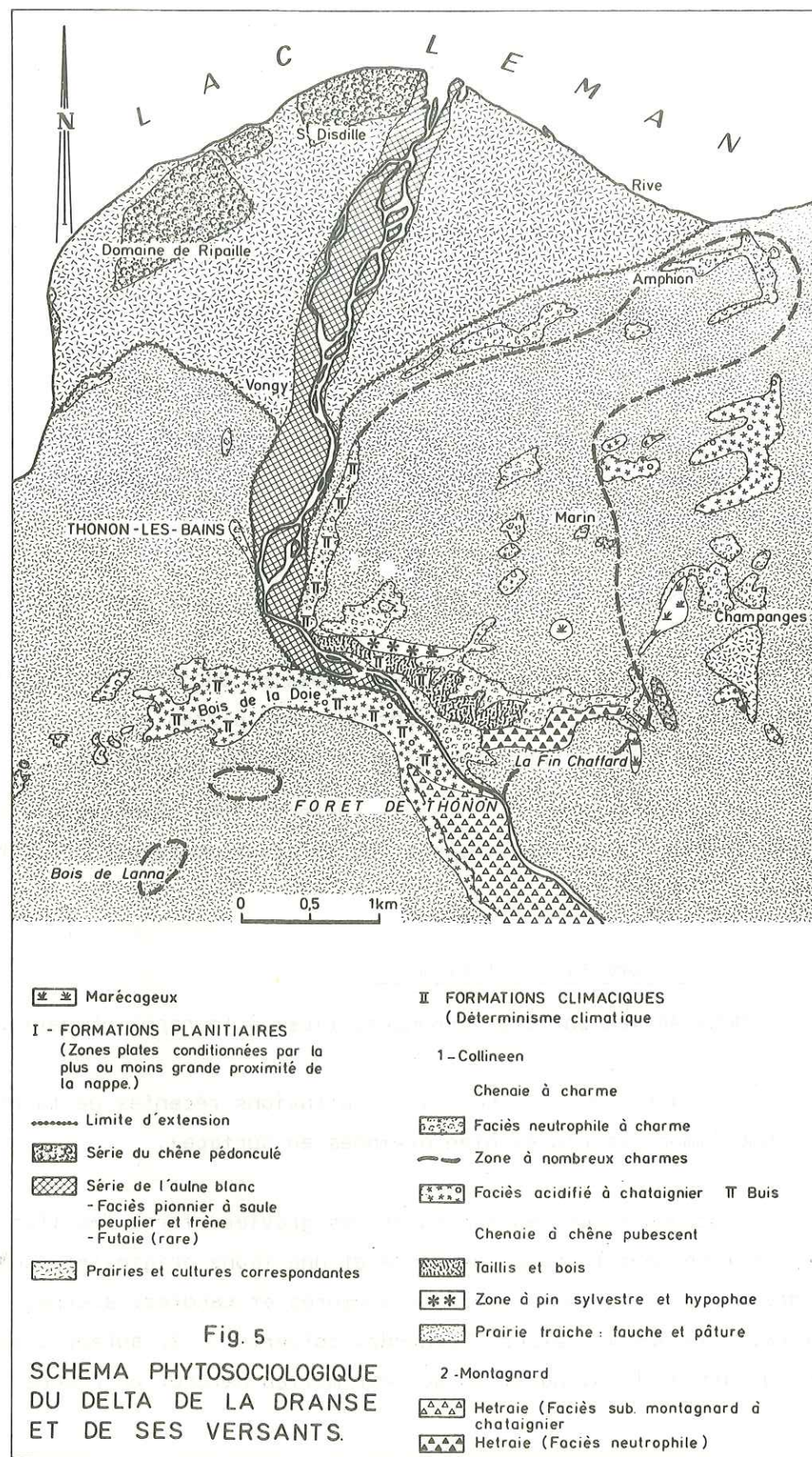
- Les formations planitiales, domaine du delta et des alluvions récentes de la Dranse. Ces formations de zones plates sont conditionnées par la plus ou moins grande proximité de la nappe phréatique.
- Les formations climatiques (déterminisme climatique), représentées ici par l'étage collinéen et par l'étage montagnard ou sub-montagnard au Sud.

1) Les formations planitaires.

Deux séries ont été reconnues, liées à la nappe phréatique.

- La série de l'Aulne blanc : alluvions récentes de la Dranse (alluvions limono-calciques bien drainées en surface).

L'accumulation des sables et des graviers forme des îles et des grèves où l'on peut trouver une flore et une faune originales, comprenant des oiseaux nicheurs (goélands argentés et cendrés, sternes, pluviers,...), des migrateurs (canards, colverts,...), autant d'espèces rares du fait de la disparition de leur milieu naturel en France.



La végétation comprend trois faciès :

- . formations pionnières des alluvions récentes (Saules et nombreuses espèces colonisatrices).
- . forêts riveraines d'Aulne blanc poussant en taillis denses.
- . faciès à Frêne sur les berges caillouteuses de la Dranse.

Les taillis de la série de l'Aulne blanc n'ont que peu d'intérêt forestier. Ils présentent par contre un grand intérêt pour la faune en raison du rôle refuge qu'ils jouent. Ces "Ilages" classés en réserve sont actuellement menacés par de nombreux dangers : zones industrielles avoisinantes, dragages permanents, décharges publiques, campings, zone résiduelle, crues importantes... Le problème de la sauvegarde du milieu naturel prend ici toute sa dimension. Des mesures de protection et de surveillance accrues doivent être d'ores et déjà envisagées en prévision de l'expansion future de la ville de Thonon et des zones industrielles des communes considérées.

- La série du chêne pédonculé : delta de la Dranse.

Elle s'étend sur l'ensemble du delta de la Dranse, exception faite de la bande centrale occupée par les alluvions récentes de la rivière.

Les sols alluviaux correspondants constituent de très bonnes terres agricoles où sont pratiquées la fauche, la culture du maïs et de la vigne (Domaine de Ripaille).

La nappe phréatique toujours présente est plus profonde (2 à 15 m). Ces conditions favorables aux implantations agricoles et urbaines, ont entraîné un processus de déforestation rapide. A l'heure actuelle, le Chêne pédonculé n'apparaît plus qu'en quelques domaines communaux (camping de Saint-Disdille, Domaine de Ripaille, Plage Municipale,...).

2) Les formations climaciques : versants amont. Succédant aux formations planitiaires du delta de la Dranse, le Chêne et le Charme apparaissent fréquemment sur les versants amont.

La présence du Charme sur la bordure occidentale du plateau de Vinzier, atteste la présence de formations superficielles susceptibles d'être aquifères. Celles-ci reposent sur la moraine würmienne qui affleure plus à l'Est, tandis qu'apparaissent des châtaigniers (faciès acidophile). La transition est alors progressive entre cette série des Chênaies-Charmaies acidophiles et l'étage montagnard plus au Sud (figure 5).

La carte phytosociologique n'exclut donc pas la possibilité de communications souterraines entre le delta de la Dranse et ses versants.

HABITAT.

La population sédentaire de l'agglomération de Thonon, sera de l'ordre de 40 000 habitants en 1980, d'après une estimation de la croissance actuelle. Ce chiffre passe à 70 000 en période estivale. De l'autre côté, la ville la plus proche est celle d'Evian (population estimée à 30 000 habitants dans un proche avenir).

Sur le versant droit du delta, on trouve quelques communes (Marin, Moruel, Marinel, Publier et Amphion à hauteur du delta). La construction s'accélère rapidement dans cette région, mais vraisemblablement moins qu'à l'Est, du fait de l'éloignement du lac.

La station d'épuration intercommunale de Saint-Disdille qui reçoit les eaux industrielles et urbaines de Thonon-Evian-Publier-Neuvecelle est prévue pour un équivalent de 115 000 habitants.

Sur le territoire du delta lui-même, la population sédentaire reste faible, du fait de la grande extension des industries et également des domaines privés en bordure du lac principalement.

P R E M I E R C H A P I T R E

P R E M I E R C H A P I T R E

GEOLOGIE

I - HISTORIQUE (figure 6 : carte géologique du delta de la Dranse et de ses versants).

Les premières observations détaillées effectuées sur le delta de la Dranse, sont dues à A. MORLOT (1854). A la suite de mesures barométriques, l'auteur distingue 4 terrasses diluviennes élevées de 6 m., 15 m., 30 m. et 45 m. au-dessus du niveau moyen du lac. B. DAUSSE (1865) voit dans les terrasses lacustres actuelles, des témoins de l'abaissement par stades successifs du niveau du lac. Ce processus serait dû à l'érosion et à la rupture des bords du lac Léman. L'ancien niveau du lac est marqué par la ligne d'intersection séparant les dépôts horizontaux deltaïques des dépôts inclinés lacustres (exemple du Rhône à son entrée dans le Léman).

Il faut attendre les travaux de A. FAVRE (1867) pour voir apparaître une première distinction concernant la genèse de ces terrasses. Toujours par mesures au baromètre, 5 terrasses sont reconnues, étagées de 7 m. à 77 m. Mais seules les deux ou trois premières sont des terrasses lacustres édifiées par la Dranse au bord du Léman. Les autres se seraient formées dans un lac de barrage latéral, situé entre le glacier du Rhône et les monts d'Hermone, et dont le niveau s'est abaissé par saccades suivant la fonte du glacier rhodanien qui recouvrait jadis la région lémanique.

D. COLLADON (1877) s'est intéressé aux terrasses lacustres du lac Léman et à la question de leur origine plus précisément. Deux grands types de terrasses se présentent autour du lac Léman :

- Les terrasses sous-lacustres, dues à l'érosion par les vagues des rivages du lac. Ce sont les "Monts". Par suite des oscillations du niveau du lac, les anciens talus de monts dominant actuellement par endroits le Léman.

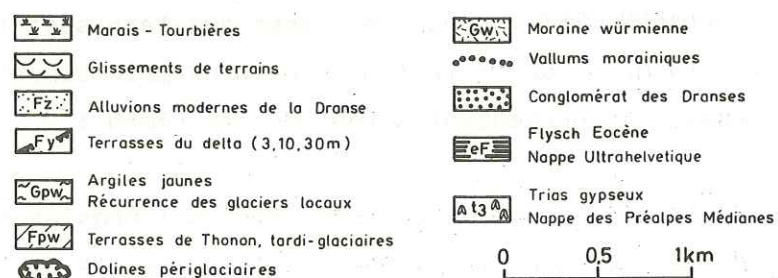
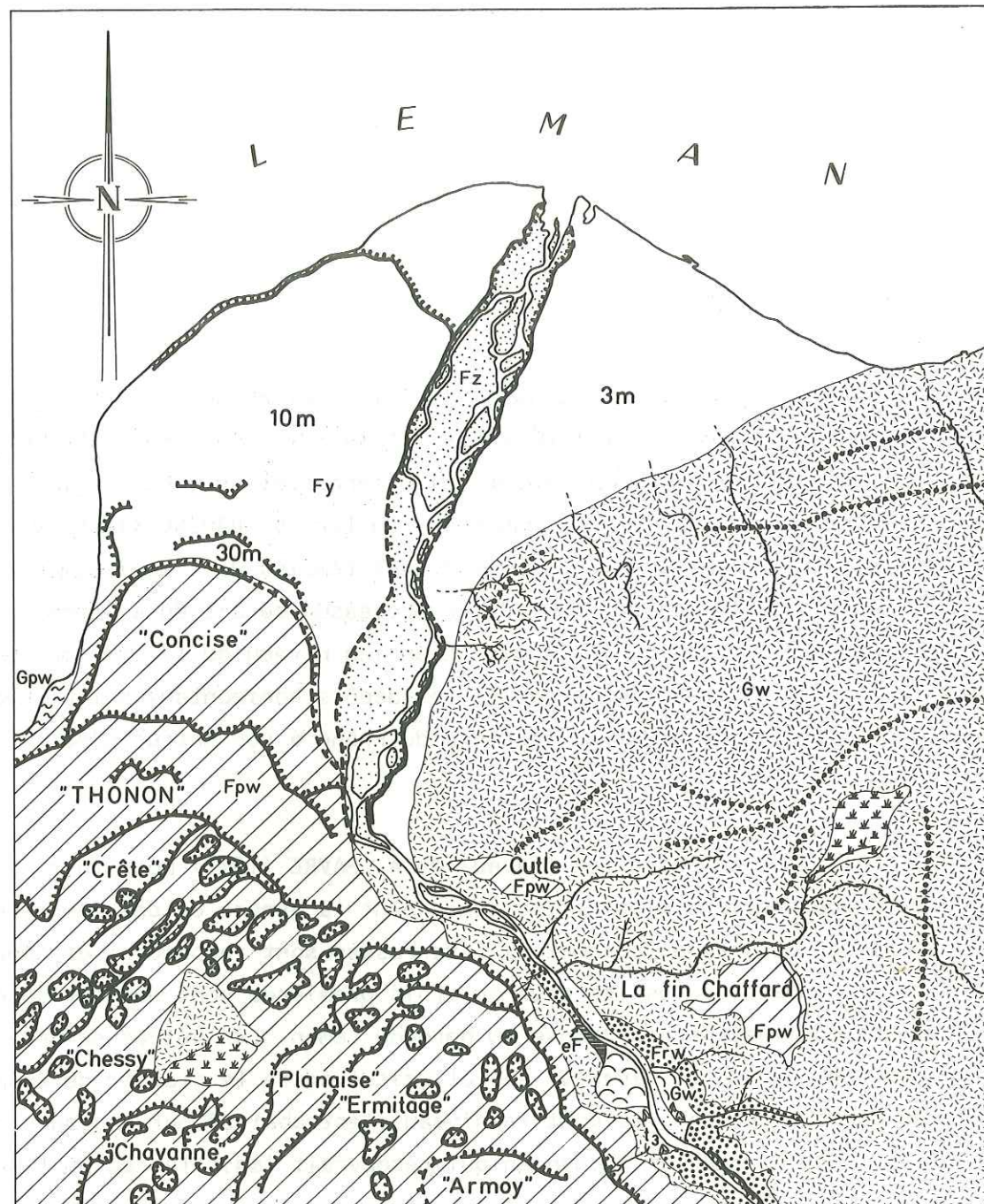


Fig. 6 : CARTE GEOLOGIQUE DU DELTA DE LA DRANSE ET DE SES VERSANTS. (D'après la carte géologique au 1:50.000^{ème} THONON-CHATEL)

- Les terrasses de deltas, formées à l'embouchure des torrents ou des rivières par les apports de sables et graviers que leurs eaux charrient et déposent sous forme de remblais successifs dans les eaux du lac.

Ces terrasses sont faites de sables fins, sables grossiers, graviers selon la nature des apports de l'affluent. Ces matériaux fins et moyens forment un talus incliné, à leur arrivée dans les eaux du lac.

Les galets entraînés par l'eau de la rivière se déposent quasi-horizontalement dans la zone qui précède l'embouchure, formant les couches supérieures du delta. Quelques graviers et sables peuvent se mélanger à ces galets.

Les couches inclinées sous-lacustres, formées de sables et graviers essentiellement, auraient une pente moyenne de 35°.

Les terrasses *deltaïques* de la Dranse sont, d'après F.A. FOREL (1892), au nombre de 3 :

- Terrasse de 3 m. (rive droite).
- Terrasses de 10 m. et 30 m. (rive gauche).

Elles correspondent aux trois stades principaux d'abaissement du lac Léman durant les temps tardi et post-glaciaires. On les retrouve sur tous les deltas autour du Léman (Redon, Aubonne, Menoge, Veveyse,...), tandis que les terrasses supérieures sont plus localisées (Thonon, Vevey, Hermance) et à des altitudes variables.

Une description détaillée des terrasses lacustres est faite par E. GAGNEBIN (1938), description complétée dans ce qui suit par quelques observations personnelles :

1) Alluvions récentes.

Visibles du Pont de la Douceur jusqu'au lac Léman, ce sont elles qui constituent le lit actuel de la Dranse. Elles forment des filots allongés recouverts partiellement en période de crue. Leur pente moyenne est de 8,5 ‰ pour une largeur du lit de la Dranse allant de quelques mètres en amont du Pont de la Douceur, à près de 600 m. en amont du Pont de Vongy.

Si les galets constituant ces alluvions sont en majorité calcaires (calcaires compacts, dolomitiques ou bréchiques de la nappe des Préalpes), on en trouve également de cristallins provenant de la destruction des dépôts fluvio-glaciaires et glaciaires rhodaniens.

De plus, ces galets ne représentent qu'une partie des apports de la Dranse. Un exemple de l'hétérogénéité de ces alluvions est donné par M. MEYBECK (1971) :

Galets (> 2 cm)	56 %
Graviers (2 mm à 2 cm)	25 %
Sables + sablons (< 2 mm)	19 %

2) Terrasse de 3 m.

C'est elle qui recouvre la rive droite du delta de la Dranse dans une zone délimitée par le Léman au Nord, la Dranse à l'Est et la retombée septentrionale du plateau de Vinzier au Sud. Un talus de 2 à 3 m. environ, bien marqué par endroits, sépare cette terrasse des alluvions récentes de la Dranse. En aval, ce talus s'estompe et le passage est graduel entre la surface de la terrasse et la bande d'alluvions. Par contre, le ressaut de 3 m. est bien visible le long du lac, entre l'embouchure de la Dranse et le village d'Amphion. Il existe en rive gauche de la Dranse, et en bordure du lac, une zone boisée et en partie marécageuse, située à la même côte que la terrasse de 3 m.

E. GAGNEBIN l'attribue aux alluvions récentes de la Dranse. Il se pourrait également que l'on ait là un témoin de la terrasse de 3 m., à laquelle le même auteur attribue une bande étroite mais continue de Saint-Disdille à Ripaille, en bordure du lac (terrasse de plage de 3 m.).

Un morceau de bois trouvé à 30 m. de profondeur lors du creusement du puits du Mottay, a donné un âge radiométrique de $5\,060 \pm 120$ ans*.

* Datation effectuée au Laboratoire de Géologie Dynamique de la Faculté des Sciences de Paris par J.C. FONTES.

3) Terrasse de 10 m.

Située sur la rive gauche du delta de la Dranse, elle apparaît en fait comme une succession de plusieurs paliers séparés par des gradins.

Ceci prouve que le lac ne s'est pas abaissé en trois, mais en plusieurs étapes marquées par une succession de petites dénivellations. Celles-ci sont plus ou moins masquées à l'heure actuelle par les aménagements récents. Néanmoins, trois paliers intermédiaires ont été reconnus par E. GAGNEBIN. Il s'agit des paliers de 8 m., 10 m. et 15 m. environ au-dessus du niveau du lac, et séparés par des talus.

4) Terrasse de 30 m.

Située en amont de la terrasse de 10 m., elle est limitée au Sud par celle de 45 m. ("sur Concise"), première des douze "terrasses de Thonon" décrites par E. GAGNEBIN. Le passage entre les terrasses de 30 m. et 45 m. étant peu marqué dans la topographie, les critères de distinction sont les suivants :

- Les dépôts des terrasses de Thonon s'étagent de 420 m. à 730 m. Si ceux-ci s'étaient faits dans le lac Léman, ceci impliquerait une baisse de niveau de plus de 300 m., peu vraisemblable. Il faut donc faire intervenir un second lac, temporaire, alimenté par la Dranse et les eaux de fonte des glaciers locaux et rhodanien.

- Si les alluvions des terrasses du delta de la Dranse sont en couches inclinées vers le lac, il n'en est pas toujours de même pour celles des terrasses de Thonon, orientées parfois vers le Sud - Sud-Est, et aux pendages variables (parfois verticaux).

- De plus, la présence de blocs erratiques et de dolines péri-glaciaires prouve l'origine fluvio-glaciaire des terrasses de Thonon.

D'après A. JAYET (1964) et R. VIAL (1976), la terrasse de 30 m. n'existerait pas. Il ne s'agirait en fait que de cailloutis appartenant au Würm terminal.

La géologie des versants est, comme nous l'avons vu, fort différente d'une rive à l'autre. Dans les deux cas, ce sont des dépôts quaternaires qui affleurent, ceux-ci étant constitués de :

- En rive gauche, sables et graviers stratifiés à litages entrecroisés, et formant les terrasses de Thonon. Ces niveaux perméables sont aquifères (captage des Blaves, captage de la Versoie,...) et susceptibles d'alimenter la nappe du delta de la Dranse en rive gauche.

Un sondage effectué à Corzent ($x = 916,7$; $y = 160,1$; altitude = 385 m.) a montré la présence dans le fluvioglaciaire supérieur d'une intercalation morainique comprise entre 0,80 m. et 3,50 m. La même observation a pu être effectuée aux sondages de Froid-Lieu ($x = 917,5$; $y = 160,1$) et de la Mare des Morillons ($x \approx 918$; $y \approx 159$; altitude ≈ 445 m.).

Ces lambeaux morainiques contenant des argiles jaunes à blocs et des galets striés, témoigneraient selon Ph. OLIVE, d'une récurrence glaciaire tardive (Younger Dryas, 11 000 ans B.P.).

- En rive droite, moraine argilo-sableuse du Würm IV (B. BLAVOUX, 1965) comprenant quelques passées sableuses (voir sondages), sur le versant d'Evian. Il existe sur cette moraine quelques lambeaux des terrasses de Thonon (Chullien, Fin Chaffard, Cutle,...). Un niveau de sables et graviers argileux fluvioglaciaires présent sous la moraine, sur toute la terminaison Nord-Ouest du plateau de Vinzier (B. BLAVOUX) rend aussi possible des circulations souterraines en rive droite. Cette observation confirme donc les conclusions de l'étude phytosociologique (voir introduction).

La genèse du delta de la Dranse ainsi rappelée, les différents sondages effectués vont maintenant permettre de préciser la nature des alluvions qui le constituent, ainsi que du substratum anté-quaternaire qui limite la puissance de l'aquifère en profondeur.

II - LES DONNEES DES SONDAGES.

De nombreux forages d'exploitation et de reconnaissance ont été effectués sur le delta de la Dranse (figure 7). Il s'agit :

- Des forages destinés à l'alimentation en eau des usines et des communes.
- Des cinq piézomètres installés en 1977 pour la surveillance

et l'étude de la nappe d'eau.

- Du sondage profond de Sainte-Agathe qui fait l'objet d'une étude particulière.

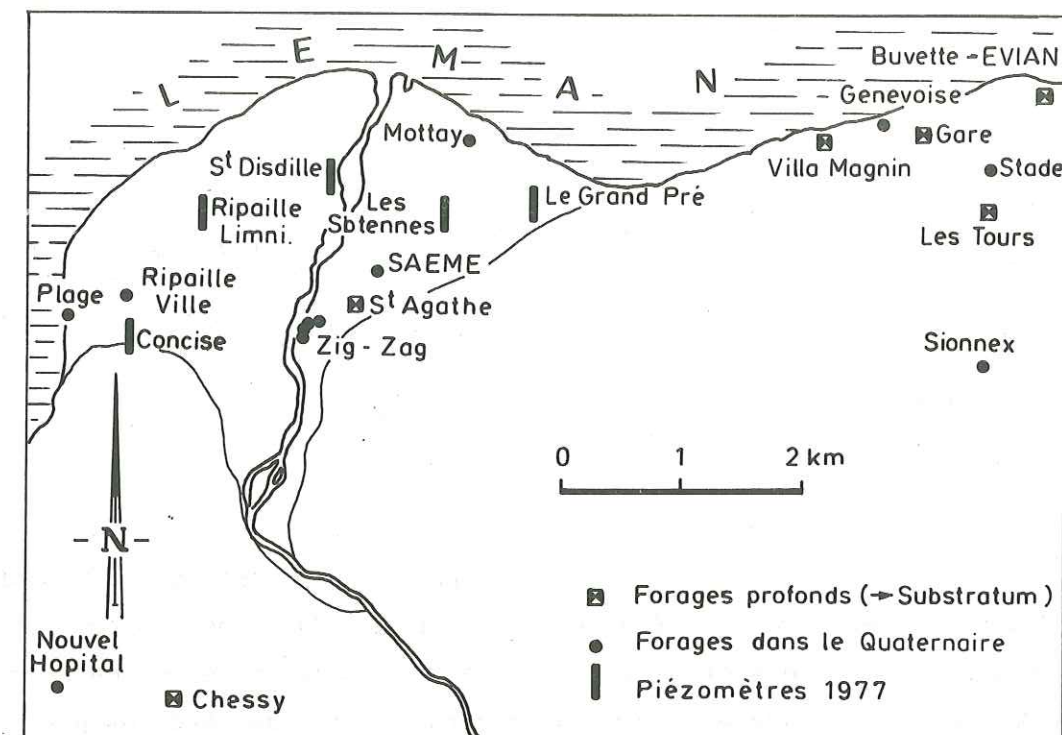


Fig. 7 : SITUATION DES SONDAGES

La nature des terrains constituant les versants est connue grâce aux sondages profonds de Chessy (rive gauche), Sionnex, Royal, Stade, Villa Magnin et les Tours (rive droite). Les résultats de ces sondages sont complétés par ceux des sondages peu profonds.

II.1. - Les versants.

Si nous comparons les coupes des sondages de Chessy (rive gauche) et de Sionnex (rive droite), nous trouvons les grandes unités suivantes :

	CHESSY (rive gauche)	SIONNEX (rive droite)
Unité 1 fluvioglaciaire	0 à 33 m.	absente
Unité 2 morainique	33 à 68 m.	0 à 85,5 m.
Unité 3 fluvioglaciaire et glacio-lacustre	68 à 107 m.	85,5 à 187 m.
Unité 4 morainique	107 à 164 m.	187 à 213,7 m. (arrêt du forage)
Substratum anté-Quaternaire	Flysch Ultraschelvétique	

L'unité 1 fluvioglaciaire correspondant aux terrasses de Thonon, n'est donc pas représentée à Sionnex. Il en est de même des autres sondages situés sur le versant d'Evian. Cette unité est formée d'une alternance de sédiments graveleux, sableux et argilo-sableux Tardi et Post-glaciaires. L'âge du dépôt de ces sédiments grossiers torrentiels et deltaïques est compris entre 16 000 ans et 10 000 ans B.P. (datation d'une dent de mammoth trouvée dans une gravière à la sortie de Thonon, sur la route d'Armoy : B. BLAVOUX et M. DRAY, 1971 : 14 000 ans $\pm$ 300 ans). Il est à noter que l'on trouve dans cette unité 1, deux niveaux sableux et graveleux, séparés par un niveau plus argileux. Cette constatation peut avoir des conséquences hydrogéologiques importantes.

L'unité 2 morainique ou moraine supérieure consiste en une argile à blocs bruns à gris bleu avec nombreux galets et graviers. A Sionnex, un interstade est présent (de 29,25 à 34,50 m. de profondeur) daté de 23 500 ans $\pm$ 1 200 ans B.P.

L'ensemble de l'unité 2 se serait déposé entre 26 000 et 16 000 ans B.P. (Würm IV de F. BOURDIER, 1961).

L'unité 3 fluvioglaciaire et glacio-lacustre, ou fluvioglaciaire inférieure, est constituée d'une alternance de sédiments graveleux, sableux, de limons et d'argiles pures rubannées.

Ces formations représentant l'interstade Würm III-IV ont pu être datées par la méthode au radiocarbone à Sionnex (24 900 $\pm$ 1 200 ans et 26 200 $\pm$ 1 200 ans B.P.), au Royal (25 000 $\pm$ 1 200 ans) et au Stade (23 500 $\pm$ 1 200 ans).

L'unité 4 morainique ou moraine inférieure se compose d'une argile à blocs grise, à petits graviers et quelques galets bréchiques. Très sableuse à son sommet, elle passe insensiblement à l'unité précédente. L'âge de cette moraine du Würm III est compris entre 26 000 et 30 000 ans B.P. environ.

Le substratum anté-Quaternaire rencontré à la cote 320 m. à Chessy est constitué par des schistes argileux de type flysch (M. DRAY, 1971). Les nombreuses campagnes sous-lacustres de sismique réflexion, gravimétrie et géophysique effectuées dans le Léman (LOMBARD, 1965 ; WINNOCK, 1965 ; SERRUYA et al., 1967-1969 ; MEYBECK et al., 1969 ; GONET, 1969 ; VERNET et al., 1971-1974, ...) contribuent à une connaissance satisfaisante du substratum molassique. Le Léman se situe en effet dans un vaste synclinorium molassique, séparant les Alpes du Jura et comprenant : la molasse subalpine à l'Est, la molasse du Plateau ou autochtone à l'Ouest (J.P. VERNET, 1974).

D'après le même auteur, le grand décrochement jurassien de Pontarlier-Vallorbe se prolongerait par la basse vallée de l'Aubonne, avant de pénétrer dans le Léman. Il s'incurverait alors vers le Sud-Est en direction d'Evian, mais s'estomperait au large du delta de la Dranse (figure 8).

Le réflecteur profond d'Evian (R.P.E. de M. MEYBECK, 1969) qui serait à l'origine d'une remontée brutale du substratum au niveau de la côte au large d'Evian, n'a pu être retrouvé par la suite (J.P. VERNET, 1974).

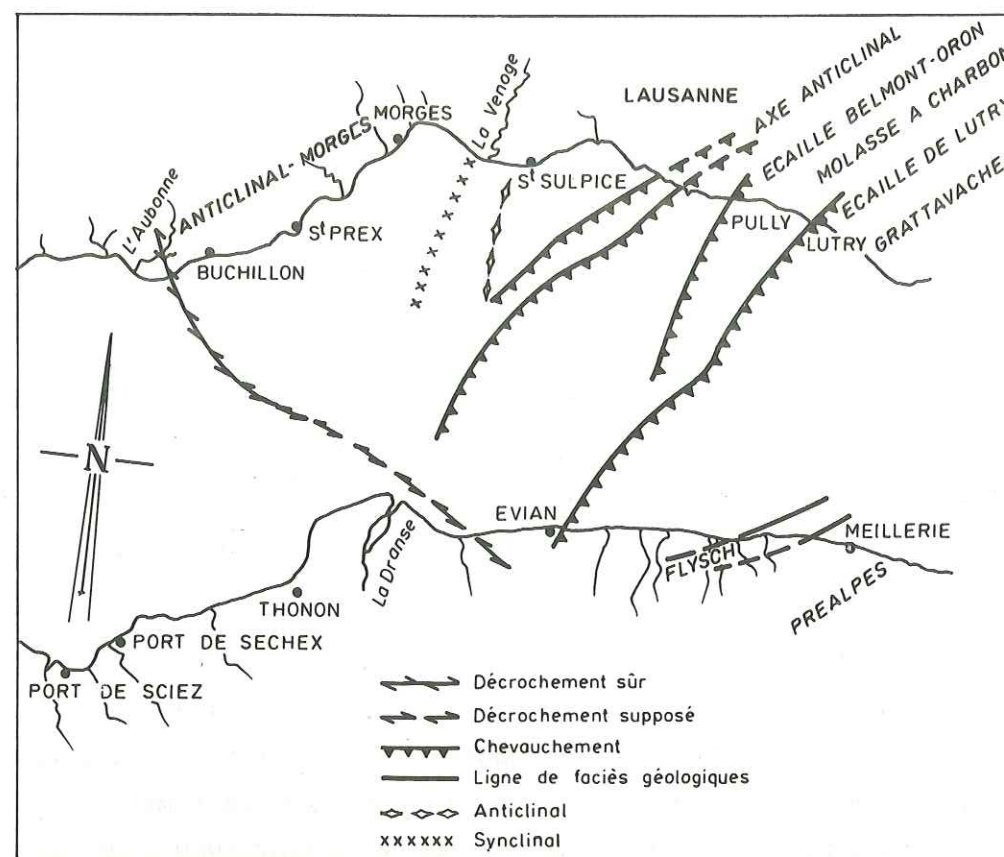


Fig. 8 : EXTRAIT DE LA CARTE STRUCTURALE DU LAC LEMAN
(D'après B. R. G. M. SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL)

Il existe enfin deux plans de chevauchement sous-lacustres affectant la molasse, pouvant expliquer les variations importantes de la cote du substratum notées sur le versant d'Evian :

- "l'axe anticlinal" de Lausanne-delta de la Dranse marquant la limite du chevauchement de la molasse subalpine sur la molasse autochtone du plateau.

- Le plan de chevauchement de Lutry à Evian, séparant l'écaille de la molasse à charbon de Belmont-Oron, de celle de la molasse rouge de Lutry-Grattavache.

Les données des sondages mécaniques et géophysiques effectués sur le delta de la Dranse et ses versants immédiats, vont nous permettre à présent de préciser nos connaissances géologiques et tectoniques (carte du substratum).

L'âge des sédiments constituant ce substratum reste indéterminé. A Chessy, ceux-ci comprennent sur 7 m. d'épaisseur (164 à 171 m. de profondeur) une alternance de schistes et de grès entrecoupés par des injections de calcite.

L'étude des carottes et la position géographique du sondage conduisent M. DRAY à penser que ces sédiments appartiennent plutôt à la nappe Ultrahelvétique et non à la nappe Parautochtone molassique. Le sondage se situerait au front même de cette nappe ultrahelvétique.

Les sondages profonds réalisés près d'Evian par la Société Anonyme des Eaux Minérales d'Evian, et ayant atteint le substratum (Les Tours, la Gare, Buvette-Evian, Villa Magnin) ont rencontré la molasse avec un pendage de 30° constant (R. VIAL, 1975).

Date de réalisation	Nom de l'ouvrage	Cote NGF (m)	Côte du substratum	Nature du substratum
1971	Villa Magnin	408	250	Molasse
	Les Tours	530	114	"
1972-1973	La Gare	410	157	"
	Les Grottes	406	150	"
1974	Buvette-Evian	385	234	"
1971	Chessy	484	318	Flysch

II.2. - Les sondages du delta de la Dranse.

II.2.1. - Le sondage profond de Sainte-Agathe (1973).

A l'issue des campagnes de géophysique menées en 1969 (C.P.G.F.) et 1971 (B.R.G.M.), il fut décidé d'implanter un forage en rive droite du delta de la Dranse au lieu-dit "Sainte-Agathe" (voir figure 7). Le but de ce forage était de reconnaître la nature et la profondeur du substratum anté-Quaternaire, sous les alluvions de la Dranse. En effet, les sondages électriques antérieurs montraient la présence dans ce substratum de sillons profonds en relation avec les drains détectés de la même façon, sous le plateau d'Evian (voir données géophysiques).

1) Coupe du sondage (figure 9).

Le forage est implanté à la cote 390 m. ($x = 921,3$; $y = 162,5$).
A la profondeur de 74,7 m. (cote = 315 m.) se trouve le toit du substratum représenté ici *par la molasse*, avec un pendage de 40 à 45° (E. SIWERTZ, 1974).

Au-dessus, la coupe du Quaternaire montre la succession suivante :

- De 0 à 0,6 m. : sol brun.
- De 0,6 à 9 m. : sables, graviers avec gros blocs souvent cristallins.
- De 9 à 29 m. : sables et graviers plus grossiers à la base, mais dépourvus de gros blocs. Le niveau piézométrique se situait lors du forage à 11 m. de profondeur.
- De 29 à 30 m. : sables très argileux sur 1 m. d'épaisseur.
- De 30 à 64 m. : sables et graviers très légèrement argileux, avec des passées nettement graveleuses (38 m., 45 m., 50 m., ...).
- De 64 à 68 m. : argile bleue à blocs.
- De 68 à 70 m. : niveau graveleux.
- De 70 à 74,7 m. : argile bleue à blocs.

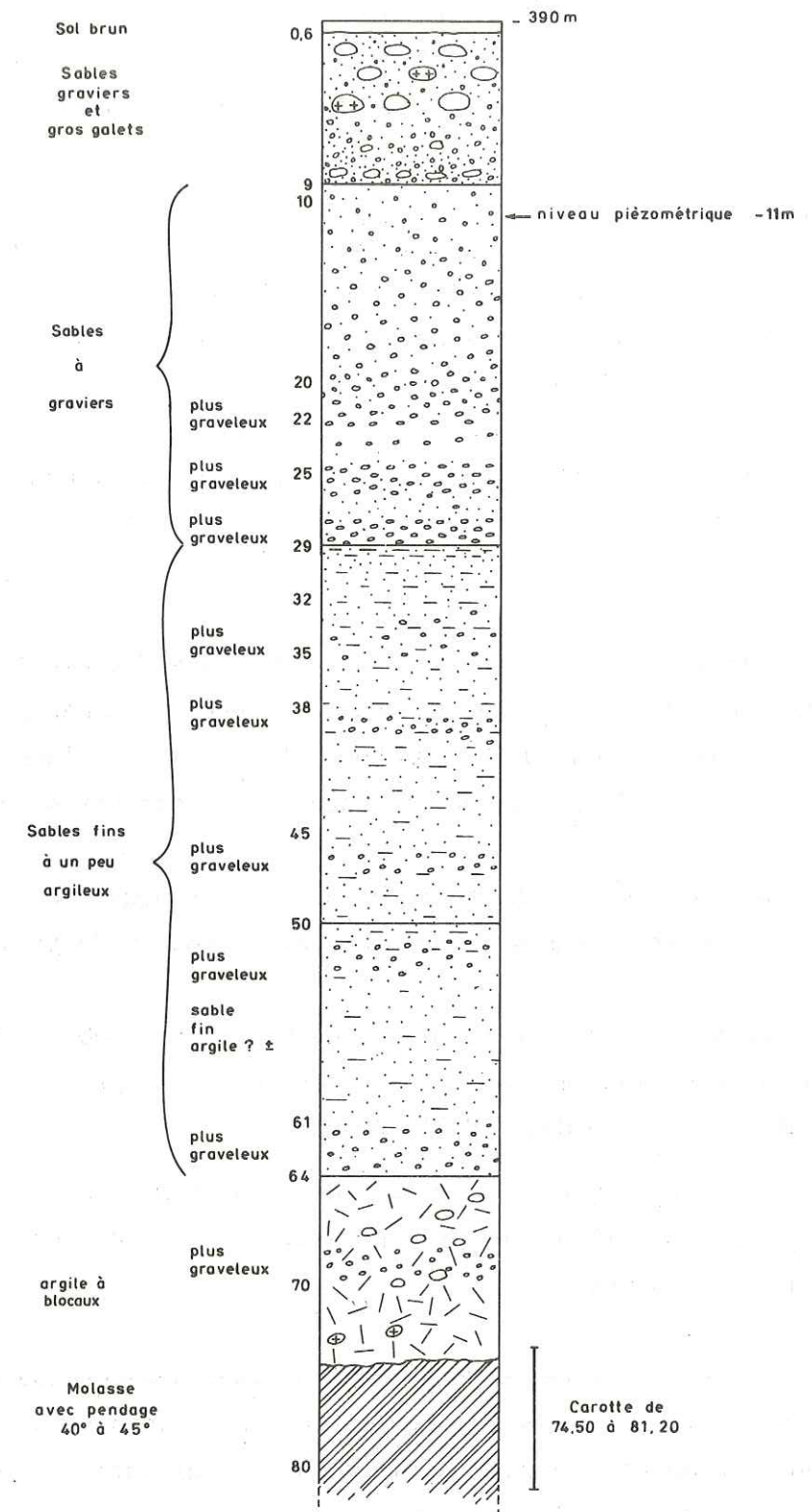
Ensuite viendrait la molasse comme nous l'avons vu plus haut.

2) Conséquences géologiques et hydrogéologiques.

Les conséquences géologiques et hydrogéologiques de ce sondage sont importantes.

D'une part, les alluvions du delta de la Dranse ont ici une épaisseur de 64 m. La coupe montre dans son ensemble une succession de formations allant de bas en haut des plus fines (sables fins argileux, puis de plus en plus graveleux) aux plus grossières (sables, graviers, gros galets).

Fig. 9- FORAGE DE S^{te} AGATE



Les premiers dépôts pourraient correspondre au début de la fonte du glacier rhodanien ou local, à une époque climatique encore "froide". La fonte du glacier se poursuivant avec le réchauffement climatique, des formations plus grossières se déposent. La compétence fluviale s'accroît progressivement et avec elle la taille et la distance de sédimentation des alluvions.

Ce schéma d'ensemble admet dans le détail des variations secondaires liées aux oscillations climatiques régionales, ainsi qu'à la nature hétérogène des matériaux morainiques et préalpins constituant le bassin versant de la Dranse.

L'argile à blocs inférieure, constituée d'éléments cristallins essentiellement, constitue l'unique témoin local de l'avancée du glacier rhodanien.

L'argile à blocs supérieure, constituée d'éléments préalpins essentiellement, pourrait correspondre à la récurrence des glaciers locaux notée aux sondages du Nouvel Hôpital et des Morillons. Il n'a pas été possible, faute de carottage, de dater ces différentes formations.

D'un point de vue hydrogéologique, trois aquifères d'importance inégale ont pu être reconnus au sein des alluvions du delta de la Dranse :

- Aquifère superficiel n° 1 : de 9 à 29 m., sables et graviers. Le niveau piézométrique est à - 11 m. C'est cette nappe qui est actuellement exploitée sur le delta de la Dranse.

- Aquifère superficiel n° 2 : de 30 à 64 m., sables et graviers légèrement argileux. Il n'a pas été possible durant les travaux d'étudier la nappe n° 2 (E. SIWERTZ, 1974).

Ces deux aquifères superficiels n'étant séparés que par 1 m. de sables très argileux, il importe de rechercher si ce niveau imperméable existe dans les autres sondages (voir chapitre suivant).

- Aquifère profond : de 68 à 70 m., niveau graveleux. Localement, cet aquifère est donc réduit à une épaisseur de 2 m. L'existence d'un surcreusement dans le substratum, n'est pas à écarter pour autant. L'axe d'écoulement du drain d'Evian serait alors situé plus au Nord-Est que le forage exécuté.

Le niveau piézométrique de l'aquifère profond se situe à 2 m. au-dessus du sol.

II.2.2. - Les données des autres sondages du delta de la Dranse.

Nous distinguerons dans ce chapitre les données des sondages destinés à l'implantation des puits actuels, des données relatives aux piézomètres installés en 1977 et qui sont au nombre de 5.

Des sondages de reconnaissance ont eu lieu également à la plage municipale de Thonon-les-Bains et au port de Rives (Entreprise CINQUIN Frères).

1) Données des puits et sondages de reconnaissance (figure 10)

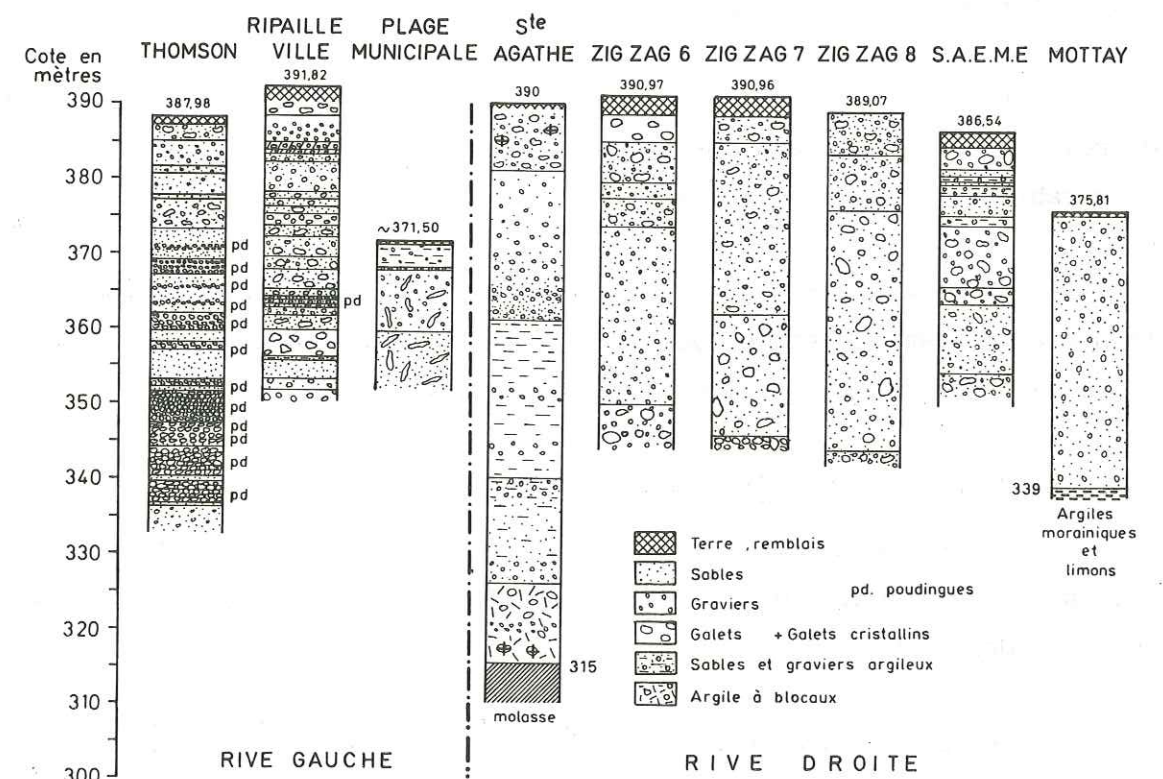


Fig. 10 : LOGS DES SONDAGES DU DELTA DE LA DRANSE

Les logs géologiques de ces différents sondages ont été dessinés avec plus ou moins de précision dans les détails. En rive gauche, des niveaux de galets indurés (poudingues) ont été rencontrés (Thomson, Ripaille Ville). Exception faite de quelques intercalations sablo-argileuses peu épaisses (S.A.E.M.E., Mottay, Thomson, Ripaille Ville), ces différents sondages ont traversé des formations perméables correspondant aux anciennes alluvions de la Dranse (sables, graviers, galets).

Le niveau argileux séparant les aquifères superficiels 1 et 2 au forage de Sainte-Agathe (côte 361 m.) pourrait correspondre au plancher du puits du Mottay (37 m. de profondeur, côte 339 m.) constitué de sables très argileux.

Une série de 4 sondages de reconnaissance, dont 2 sous-lacustres, a été entreprise dans les enceintes actuelles de la plage municipale de Thonon-les-Bains.

L'un d'entre eux (S 2) débutait sous les remblais par un niveau d'argile brune à graviers sur une épaisseur de 2,90 m. puis 40 cm. d'argile sableuse grise avec galets.

Le niveau d'eau était à 3,80 m. de profondeur et à 1,08 m. sous le niveau du lac, au sommet des formations perméables qui continuaient la coupe en profondeur (sables, graviers, galets).

2) Données des 5 sondages piézométriques (1977).

Une série de cinq sondages en vue de l'implantation de piézomètres et d'un limnigraphe, a été effectuée sur le delta de la Dranse, au cours de l'année 1977.

Les principales caractéristiques techniques de ces sondages figurent dans le tableau 2.

L'entreprise de Travaux Hydraulique CINQUIN Frères, a été chargée de l'exécution de ces sondages.

Les forages ont été réalisés à l'aide d'un appareil rotary à tricone et injection de boue légère. Les débris de forage ou "cuttings" entraînés et évacués par cette boue, ont été recueillis mètre par mètre et analysés au Centre de Recherches Géodynamiques.

Situation	Date d'exécution	Diamètre de forage au tricone	Tubage provisoire	Piézomètre Ø 103,6 x 110	Tube protecteur	Observation sur l'injection
Chateau de Ripaille (rive gauche)	du 12/01 au 18/01/77	6"1/4 jusqu'à 15 m 5"1/8 de 15 à 25 m	7" à 1 m 6" à 15 m	lg. totale 25 m lg. crépignée 6 m	1	Perte totale
Concise (rive gauche)	du 19/01 au 23/01/77	6"1/4 jusqu'à 30 m	7" à 3 m	lg. totale 30 m lg. crépignée 6 m		Perte partielle
Station d'épuration (rive gauche)	du 24/01 au 27/01/77	6"1/4 jusqu'à 15 m	7" à 3 m	lg. totale 15 m lg. crépignée 6 m	1	Perte partielle
Les Sbtennes (rive droite)	du 01/02 au 04/02/77	6"1/4 jusqu'à 17 m	7" à 2,50 m	lg. totale 17 m lg. crépignée 5 m	1	Perte totale
Pré de Vigny (rive droite)	du 07/02 au 16/02/77	6"1/4 jusqu'à 14 m 5"1/8 de 14 à 20 m	7" à 2,50 m 6" à 14 m	lg. totale 20 m lg. crépignée 6 m	1	Perte totale

TABEAU 2 - Piézomètres du delta de la Dranse. Caractéristiques techniques.

a) Méthodes.

- La nature des débris de forage a été reconnue à la loupe bino-culaire. Certains inconvénients inhérents à la technique de forage utilisée, limitent la portée des résultats : échantillons broyés et de faible dimension, délayage des niveaux argileux éventuels, retombées de roches des parois du trou pouvant remonter en même temps que les débris de fond...

- Un tamisage sur tamis de 1 mm. a permis de séparer une fraction fine (sables, silts,...) et une fraction grossière (graviers, galets,...).

- Sur la fraction < 1 mm, nous avons dosé les carbonates par attaque à l'acide chlorhydrique froid dilué au demi. La perte de poids du sable lavé après attaque à l'acide, correspond au poids des carbonates détruits.

b) Résultats (tableaux 3 à 6).

L'étude des cuttings a permis de reconnaître des débris de roches calcaires et cristallines ainsi que des grains de quartz et de calcite. Ceux-ci sont issus de la destruction par la Dranse des formations Préalpines essentiellement calcaires, mais aussi des dépôts fluvio-glaciaires et glaciaires (matériel cristallin). Le tamisage effectué sur les échantillons de sondages indique une proportion de fraction grossière (> 1 mm.) comprise entre 50 % et 98 % à Ripaille ("terrasse de 10 m."), 49 % et 99,7 % à Concise ("terrasse de 30 m"). Au lieu-dit "Le Pré de Vigny" ("terrasse de 3 m."), le sondage a rencontré un niveau argileux à la profondeur de 20 m. Un tamisage à 40 µ a été effectué en vue d'un dosage des carbonates sur la fraction fine (< 40 µ).

Profondeur (m)	Fraction fine < 1 mm	Fraction grossière > 1 mm	Somme des fractions fine et grossière	Pourcentage fraction fine	Pourcentage fraction grossière
1	101,55	143,95	245,50	41,36	58,64
2	97,67	93,10	190,77	51,19	48,81
3	69,50	113,45	182,95	37,98	62,02
4	61,11	91,15	152,26	40,13	59,87
5	37,54	120,80	158,34	23,70	76,30
6	5,80	233,90	239,70	2,41	97,59
7	33,40	209,55	242,95	13,75	86,25
8	80,46	120,95	201,41	39,95	60,05
9	97,97	174,40	272,37	36,00	64,00
10	98,70	183,20	281,90	35,01	64,99
11	85,59	149,75	235,34	36,37	63,63
12	6,88	307,20	314,08	2,19	97,81
13	111,32	185,75	297,07	37,47	62,53
14	51,91	168,75	220,66	23,52	76,48
15	83,90	212,25	296,15	28,33	71,67
16	60,88	182,00	242,88	25,07	74,93
17	49,09	158,30	207,39	23,67	76,33
18	54,00	139,75	193,75	27,87	72,13
19	72,15	170,15	242,30	29,78	70,22
20	74,31	120,70	195,01	38,11	61,89
21	63,50	126,10	189,60	33,49	66,51
22	54,97	212,50	267,47	20,55	79,45
23	61,59	123,10	184,69	33,35	66,65
24	59,68	134,70	194,38	30,70	69,30
25	56,21	125,10	181,31	31,00	69,00

TABLEAU 3 - Tamisage "Ripaille" (17.01.77).

Ceux-ci représentent 68 % en poids de la fraction < 40 μ .

Les mesures de calcimétrie faites sur la fraction inférieure à 1 mm. donnent des teneurs en carbonates comprises entre 54 et 66 % à Ripaille (moyenne 60 %), 48 à 62 % à Concise (sur les 4 premiers mètres traversés). Il est intéressant de comparer la valeur de 68 % obtenue au Pré de Vigny à celle donnée par M. MEYBECK (35 à 40 %) concernant la fraction inférieure à 40 μ des sédiments actuels de la Dranse.

Nature des sédiments actuels	%	en poids	Teneurs en CaCO ₃
Galets (> 2 cm.) Graviers (2 mm. à 2 cm.)	56 25		
Sables et sablons (< 2 mm)	9	- 37 % > 40 μ - 63 % < 40 μ (médiane : 0,63 mm.)	35 à 40 %

d'après M. MEYBECK (1970)

Profondeur (m)	Poids avant calcimétrie	Poids après calcimétrie	Perte de poids	Pourcentage
1	101,55	43,60	54,95	54,10
2	97,67	42,38	55,29	56,60
3	69,50	27,00	42,50	61,15
4	61,11	23,88	37,23	60,92
5	37,54	14,15	23,39	62,30
6	5,80	2,00	3,80	65,51
7	33,40	11,40	22,00	65,86
8	80,46	31,15	49,31	61,28
9	97,97	37,60	60,37	61,62
10	98,70	39,30	59,40	60,18
11	85,59	34,05	51,54	60,21
12	6,88	2,55	4,33	62,93
13	111,32	45,25	66,07	59,35
14	51,91	20,90	31,00	59,71
15	83,90	36,10	47,80	56,97
16	60,88	26,45	34,43	56,55
17	49,09	18,95	30,14	61,39
18	54,00	21,85	32,15	59,53
19	72,15	28,70	43,45	60,22
20	74,31	29,90	41,41	55,72
21	63,50	24,60	38,90	61,25
22	54,97	22,60	32,97	59,97
23	61,59	23,90	37,69	61,19
24	59,68	23,05	36,63	61,37
25	56,21	21,20	35,01	62,28

TABLEAU 4 - Calcimétrie "Ripaille" (01.02.77).

Profondeur (m)	Fraction fine < 1 mm	Fraction grossière > 1 mm	Somme des fractions fine et grossière	Pourcentage fraction fine	Pourcentage fraction grossière
1	142,16	147,95	290,11	49,00	51,00
2	99,10	97,60	196,70	50,38	49,62
3	80,45	120,70	201,15	40,00	60,00
4	69,70	139,00	208,70	33,40	66,60
5	3,70	339,10	342,80	1,08	98,92
6	3,30	434,00	437,30	0,75	99,25
7	1,50	429,70	431,20	0,35	99,65
8	1,80	469,50	471,30	0,38	99,62
9	2,65	344,20	346,85	0,76	99,24
10	2,80	410,85	413,65	0,67	99,33
15	3,70	398,20	401,90	0,92	99,08
20	2,10	488,70	490,80	0,43	99,57
25	8,55	238,55	247,10	3,46	96,54
30	4,10	445,90	450,00	0,91	99,09

Profondeur (m)	Poids avant calcimétrie	Poids après calcimétrie	Perte de poids	Pourcentage
1	142,16	73,55	68,61	48,26
2	99,10	37,70	61,40	61,96
3	80,45	30,30	50,15	62,34
4	69,70	36,20	33,50	48,06

Après 4 m, la calcimétrie n'est pas faite pour cause d'insuffisance de fraction fine.

TABEAU 5 - Tamisage et calcimétrie "Concise" (11.02.77).

Profondeur (m)	Fraction fine < 40 μ	Fraction grossière > 40 μ	Somme des fractions fine et grossière	Pourcentage fraction fine	Pourcentage fraction grossière
20	14,70	941,25	955,95	1,54	98,46
Profondeur (m)	Poids avant calcimétrie	Poids après calcimétrie	Perte de poids	Pourcentage	
20	6,95	2,20	4,75	68,35	

TABEAU 6 - Tamisage et calcimétrie "Pré de Vigny".

La teneur en carbonates de la partie fine ($< 40 \mu$) des sédiments de la Dranse aurait donc diminué de 30 % en 5 000 ans environ (datation d'un morceau de bois dans la terrasse de 3 m., au lieu-dit le Mottay, proche du sondage du Pré de Vigny, et à 30 m. de profondeur, (voir chapitre I, § 1).

En résumé, les différents sondages effectués sur le delta montrent une puissante série Quaternaire constituée d'alluvions perméables (sables, graviers, galets). La monotonie de ces formations est rompue parfois soit par des niveaux indurés (poudingues...), soit par des niveaux argilo-sableux plus ou moins imperméables. Le substratum anté-Quaternaire est représenté par la molasse affectée vraisemblablement sous les alluvions du delta d'un plan de chevauchement (molasse subalpine à l'Est sur molasse autochtone à l'Ouest).

III - LES DONNEES DE LA GEOPHYSIQUE.

La méthode des résistivités est en exploration géoélectrique, l'une des méthodes les plus utilisées.

La résistivité d'une formation dépend essentiellement de facteurs tels que sa porosité et de son degré de saturation en eau (dans le cas présent). Le type de matériau traversé par le courant électrique est également un facteur important.

L'étude géoélectrique utilise deux méthodes sur le terrain, qui sont :

- Le trainé électrique pour l'étude des variations horizontales de la résistivité.

- Le sondage électrique pour l'étude des variations verticales de la résistivité, en un point précis de la surface du sol. Cette méthode est utilisée en hydrogéologie pour déterminer par exemple la profondeur du toit du substratum imperméable, sous les formations perméables constituant l'aquifère étudié.

Nous envisagerons donc d'une part, les données des sondages électriques réalisés (carte des isohypses du toit du substratum), et

d'autre part, celles obtenues par la méthode du trainé électrique (carte des résistivités électriques apparentes).

III.1. - Les sondages électriques.

Plusieurs campagnes de géophysique électrique ont été entreprises dans la région de Thonon-Evian.

La rive droite du delta de la Dranse et de son versant amont a été particulièrement explorée (campagnes C.P.G.F., 1969 ; B.R.G.M., 1971 ; C.P.G.F., 1973).

Récemment, une étude géoélectrique et gravimétrique du Chablais entre Anières et Evian a été effectuée par H. BUCHLI, R. PAQUIN, A. DONZE (étude géoélectrique et gravimétrique de la rive Sud du Léman. Thèse, Lausanne, 1976).

Nous rappellerons les principaux résultats obtenus par les différents auteurs et leur intérêt concernant l'hydrogéologie du delta de la Dranse.

III.1.1. - Principaux résultats des campagnes C.P.G.F. et B.R.G.M.

1969 : 165 sondages électriques répartis sur 8 profils de direction Ouest-Sud-Ouest, Est-Nord-Est, sont entrepris sur le plateau d'Evian et réalisés en Septembre 1969 pour la Compagnie de Prospection Géophysique Française. Les courbes topographiques du toit de l'imperméable montrent qu'il existe probablement un drain d'origine profonde en direction du delta de la Dranse.

Par ailleurs, les courbes de niveau du toit de la formation appelée à tort substratum anté-Quaternaire ne coïncident pas avec les données des différents sondages mécaniques réalisés par la suite.

Exemple : A Sionnex, l'étude géoélectrique laissait présager pour le substratum une profondeur de 80 m. Le sondage mécanique a montré plus de 200 m. de formations quaternaires.

1971 : 26 sondages électriques profonds (profondeur d'investigation de l'ordre de 1 000 m.) sont réalisés par le B.R.G.M. pour la Société Anonyme des Eaux Minérales d'Evian, dans le but de reconnaître le substratum anté-Quaternaire.

Les sondages sont répartis sur deux profils de direction Sud-Sud-Est, Nord-Nord-Ouest (voir figure 11).

La nature du substratum change du Sud au Nord :

- Calcaire triasique de la nappe des Médianes au lieu-dit "Vers les Granges". La résistivité obtenue est de 180 Ω -m.

- Flysch ultrahelvétique plus au Nord, avec une résistivité de l'ordre de 40 Ω -m. Le substratum, en changeant de nature, plonge brusquement.

Le passage du flysch ultrahelvétique à la molasse est moins net. La résistivité électrique des deux formations est sensiblement égale à 40 Ω -m.

Les données des deux campagnes précédentes peuvent être résumées schématiquement sous forme d'une carte des courbes de niveaux du toit du substratum (voir figure 11).

L'existence de plusieurs drains paraît confirmée par la forme de ces courbes de niveaux :

- Le drain d'Evian.

- Le drain de la Villa Magnin.

- Le drain de Publier-Amphion qui nous intéresse plus particulièrement.

1973 : 8 sondages électriques sont effectués par la C.P.G.F. en vue de déterminer l'épaisseur des alluvions susceptibles d'être aquifères dans la région du delta de la Dranse (rive droite).

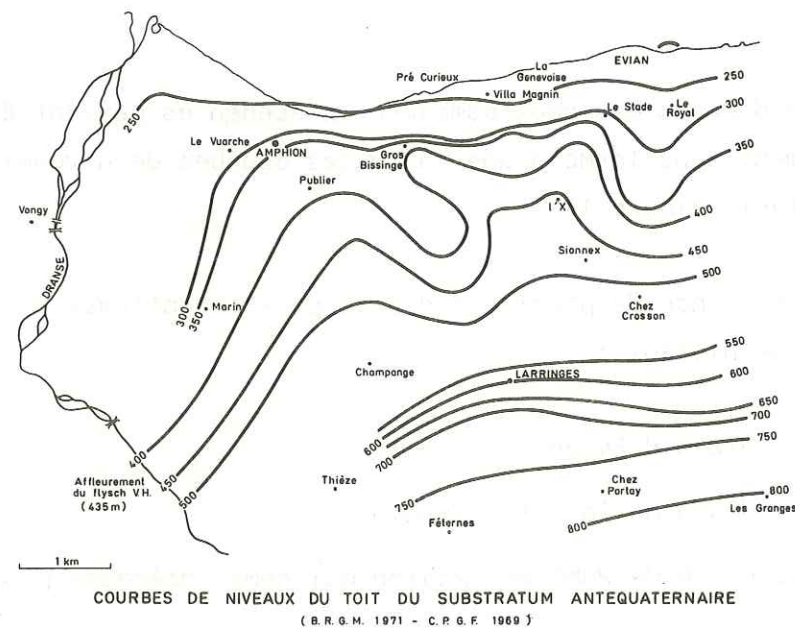
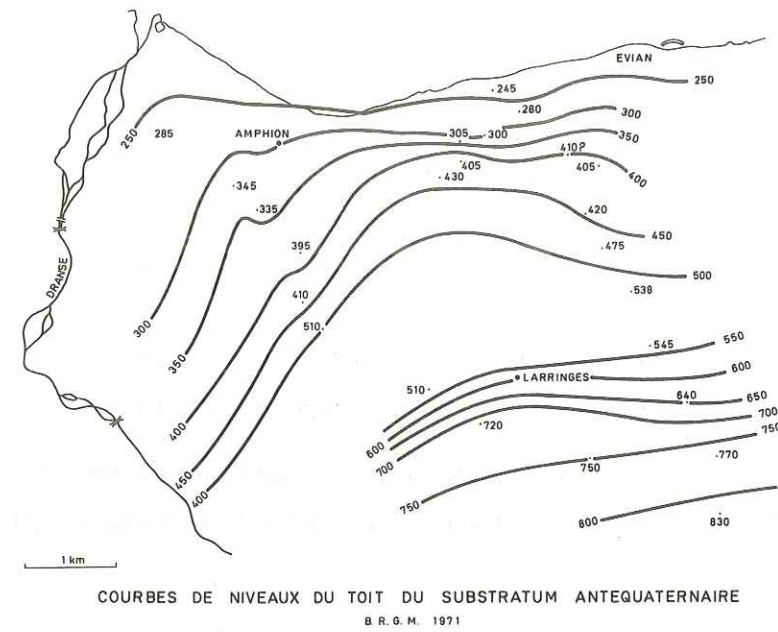


Fig. 11 : ETUDE GEOPHYSIQUE
(CPGF 1969, BRGM 1971)

L'implantation des différents sondages électriques recensés depuis 1969 apparaît sur la figure 12.

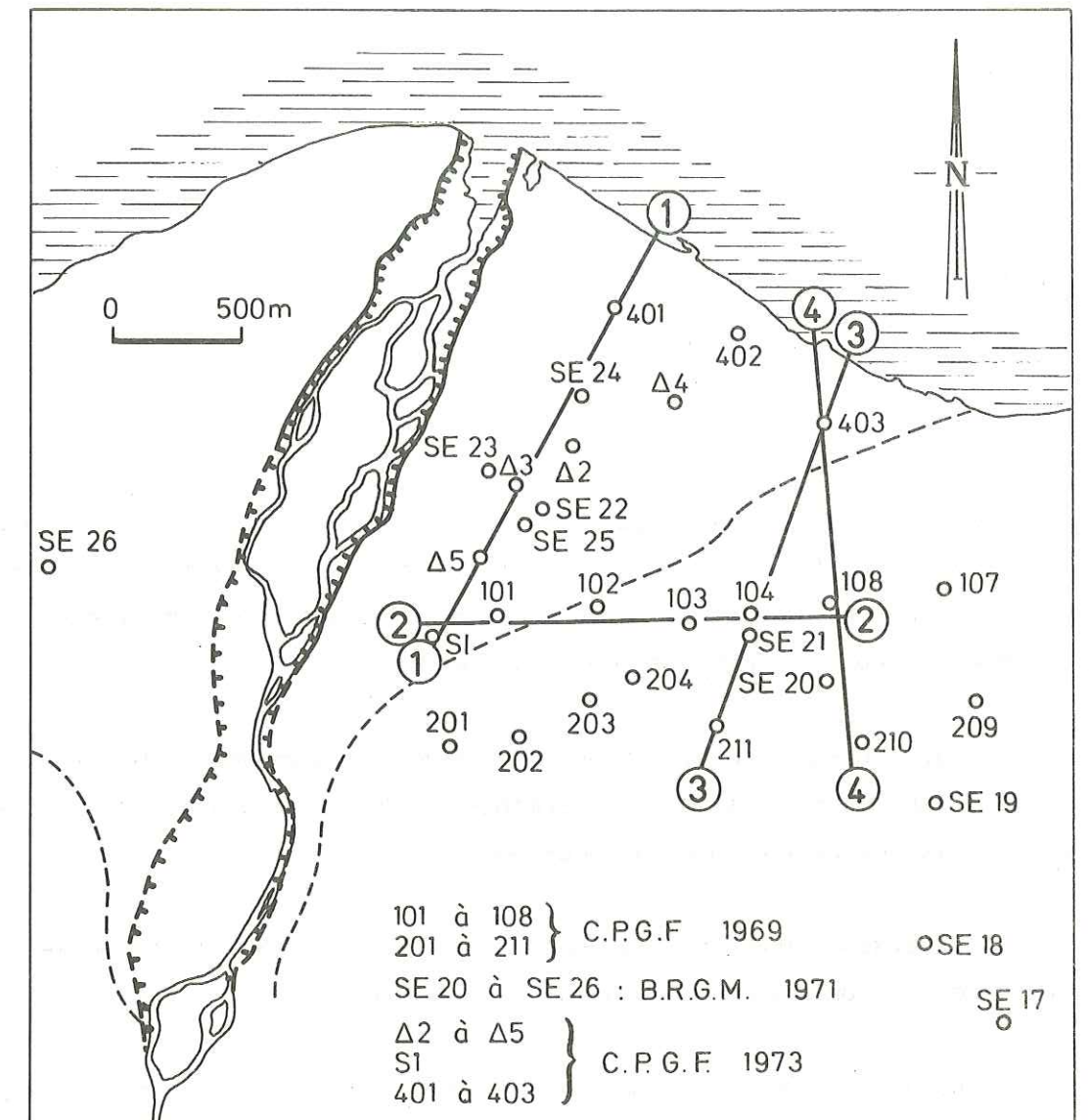


Fig. 12 : PLAN DE SITUATION

L'un de ces sondages (S1) est situé à proximité du forage de Sainte-Agathe et fait office d'étalon.

Forage de Sainte-Agathe	Sondage électrique S1
0-29 m. : sables et graviers	0-10 m. : 1 000 Ω -m. (graviers secs)
29-64 m. : sables argileux	10-30 m. : 400 Ω -m. (sables et graviers sous nappe)
64-68 m. : argile bleue à blocaux	> 30 m. : 50 Ω -m. (sables argileux ou argiles)
68-70 m. : niveau graveleux	
70-75 m. : argile bleue à blocaux	
> 75 m. : molasse (substratum imperméable)	

Il est bien évident que sans les données du forage de Sainte-Agathe, la résistivité de 50 Ω -m. aurait pu être attribuée à la molasse (résistivité mesurée à l'affleurement : 20 à 40 ohm.m pour la molasse chattienne, 50 à 70 ohm.m pour la molasse aquitannienne).

Par conséquent, la prospection géoélectrique permet de détecter le toit de l'imperméable, mais la détermination de la nature de cet imperméable nécessite de prendre des précautions.

Diverses coupes géologiques ont pu être tracées à partir des résultats de ces sondages électriques (figure 13).

Au niveau du delta, un surcreusement hypothétique est révélé par les sondages SE 24 (B.R.G.M., 1971), 401, $\Delta 3$, et $\Delta 5$ (C.P.G.F., 1973).

Faute de forage suffisamment profond à l'un de ces emplacements, l'hypothèse 1 000 ohm.m est conservée. Le toit de la molasse se situe dans ce cas à une cote voisine de 315-320 m. sur l'ensemble de la rive droite du delta.

La succession des terrains constituant le delta de la Dranse est la suivante (coupe n° 1) :

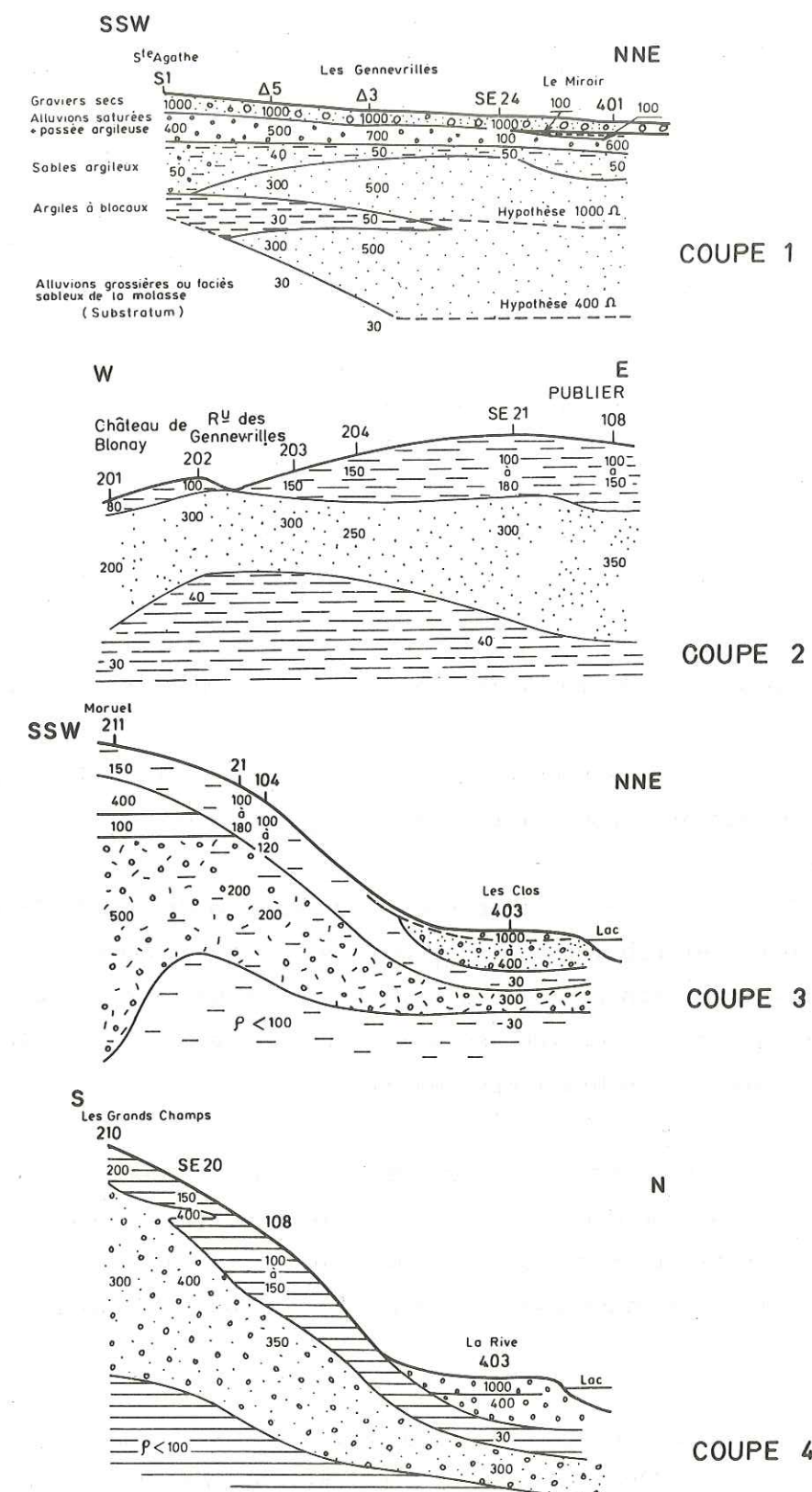


Fig. 13 : COUPES DANS LE DELTA DE LA DRANSE

- 5 à 10 m. : alluvions grossières sèches (1 000 à 1 500 ohm.m).
- 10 à 20 m. : alluvions grossières saturées plus ou moins perméables (250 à 700 ohm.m). Il existe parfois au sommet de cette formation une passée argileuse (SE 24, 401). Ces alluvions saturées dont le mur se situe à 360 m. environ, constituent l'aquifère superficiel n° 1.
- 5 à 20 m. : (sauf au S1) : formations argileuses (40 à 60 ohm.m).
- 30 m environ de formations grossières constituant localement l'aquifère superficiel n° 2 (150 à 300 ohm.m). La cote du mur est de 315 m. environ, sauf si l'on retient l'hypothèse 400 ohm.m localement. Dans ce cas, il apparaît un surcreusement axial, parallèlement au cours actuel de la Dranse allant du Δ5 au 401.
- molasse constituant le substratum anté-Quaternaire (30 à 50 ohm.m).

Le problème des communications souterraines entre le delta de la Dranse et ses versants peut être posé à partir des coupes n° 2 et 3.

La coupe n° 2 est située sur le versant amont, entre le château de Blonay à l'Ouest et Publier à l'Est. Sous une faible couverture argileuse, on trouve une formation résistante (200 à 300 ohm.m) et épaisse de 50 à 90 m. Celle-ci affleure presque au niveau du ruisseau des Gennevrilles qu'elle alimente vraisemblablement en partie.

La coupe n° 3 est située entre le village de Moruel (Sud-Sud-Ouest) et les Clos (Nord-Nord-Est). Cette coupe met en évidence les relations possibles existant entre les formations résistantes et épaisses du versant (200 m. au sondage 211) et celles constituant l'aquifère n° 2 du delta.

Dans le cas présent, les faibles résistivités rencontrées aux sondages 21 et 104 (200 à 220 ohm.m) compromettent ces relations.

La coupe n° 4. Comprise entre les Grands Champs au Sud et le lac au Nord, elle recoupe les mêmes formations que dans la coupe 3. Néanmoins,

les résistivités mesurées aux sondages 108 (350 Ω-m) et SE 20 (400 Ω-m) laissent à penser que les relations versant-delta sont plus aisées le long de cette direction. La remontée du substratum au niveau du versant est bien visible sur les coupes 3 et 4.

Il est possible à présent d'envisager le problème du substratum et de sa profondeur à travers l'ensemble des résultats obtenus.

III.1.2. - Synthèse des différents travaux réalisés. Carte des isohypses du toit du substratum.

A partir des différents sondages électriques réalisés, et de leur interprétation (C.P.G.F., 1969 ; B.R.G.M., 1971 ; C.P.G.F., 1973 ; BUCHLI et PAQUIN, 1976), il est possible de représenter graphiquement les courbes de niveaux d'égale profondeur du toit du substratum (figure 14).

Plusieurs constatations peuvent être faites à la lecture de cette carte :

- Le substratum change de nature du Sud au Nord (trias des Préalpes ; flysch ultrahelvétique ; molasse). Les plans de chevauchement des différentes unités expliquent *en partie* les discontinuités que l'on note en certains endroits (plongée brutale du substratum au niveau de ces plans de chevauchement).

- Sous les alluvions du delta de la Dranse, se trouve la molasse rencontrée au forage de Sainte-Agathe. Celle-ci se trouve à la cote 320 m., sur la majeure partie de la rive droite. L'hypothèse d'un surcreusement le long d'un axe parallèle à la Dranse n'a pu être prouvée.

La structure anticlinale du Mont de Boisy (molasse affleurante) semble se poursuivre à l'Est, en amont du delta (Blonay-Publier).

La rive gauche du delta de la Dranse, moins bien connue, voit un approfondissement du toit de la molasse (280 m. de Quaternaire en bordure du lac).

- La remontée du substratum molassique le long de la côte entre Amphion et Evian (réflecteur profond d'Evian) correspond vraisemblablement à la prolongation de l'axe anticlinal Mont de Boisy-Blonay-Publier dont il est question plus haut.

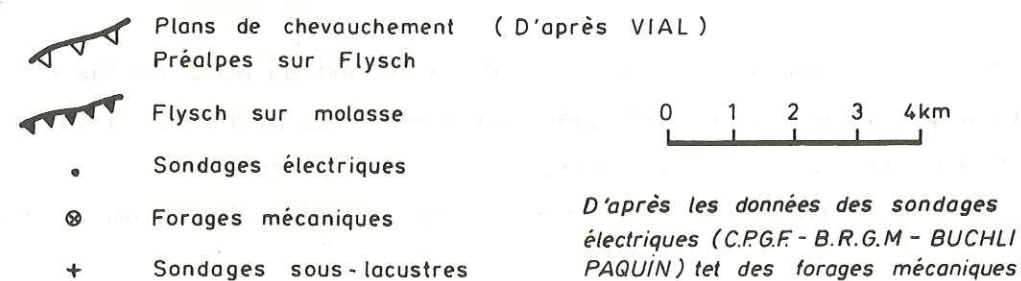
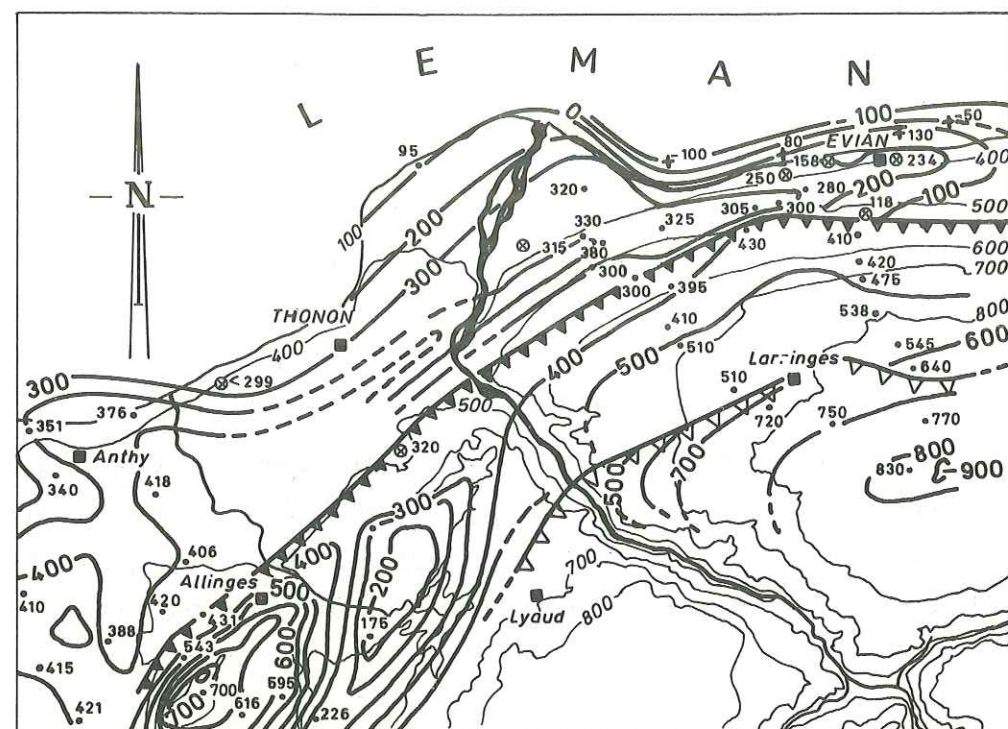


Fig. 14 : ISOHYPSES DU TOIT DU SUBSTRATUM

III.2. - Le trainé électrique. Carte des résistivités électriques apparentes.

La figure 15 est extraite de la carte des résistivités électriques apparentes de H. BUCHLI et R. PAQUIN (1976). La longueur du câble AB, correspondant à la distance entre les deux électrodes utilisées pour l'envoi du courant dans le sol est de 100 m. Les profils d'investigation ont été orientés, dans la mesure du possible, perpendiculairement aux structures géologiques. Enfin, les auteurs rappellent les valeurs de résistivité spécifique des principales formations rencontrées dans la région (tableau 7).

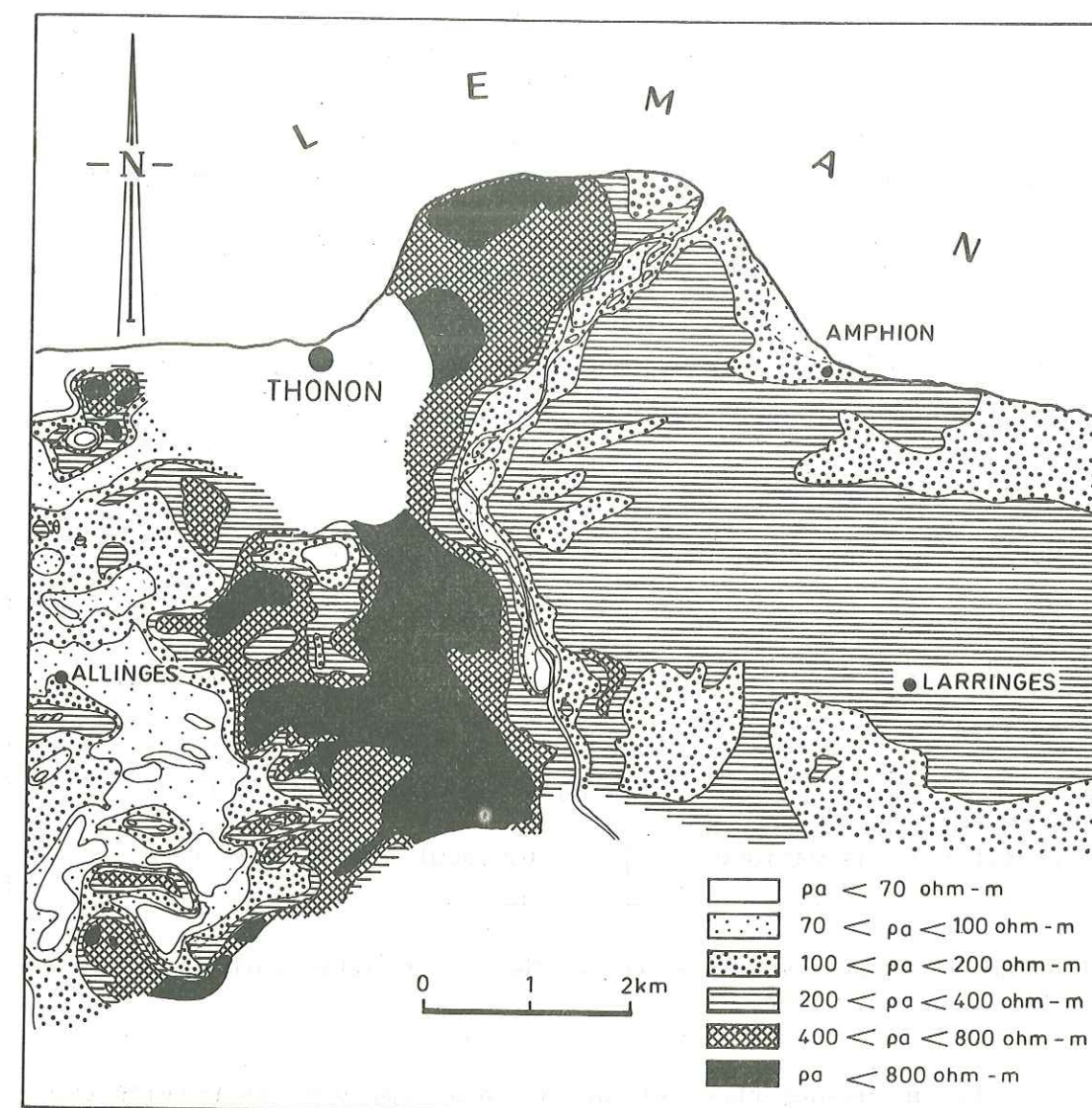


Fig. 15 : ETUDE GEOELECTRIQUE - CARTE DES RESISTIVITES ELECTRIQUES APPARENTES

Le delta de la Dranse est caractérisé par de fortes valeurs de résistivités. La conductivité des roches est de type électrolytique. Des alluvions "sèches" tendent à freiner le passage du courant électrique, tandis que des alluvions saturées d'eau sont très conductrices.

Par conséquent, la profondeur de la nappe phréatique "règle" les valeurs de résistivités obtenues.

Formations	Résistivités spécifiques (ohm.m)
<u>QUATERNAIRE</u>	
Couche superficielle	Variable (100 à 200 le plus souvent)
Graviers aquifères = alluvions récentes de la Dranse	100 - 250
Graviers "secs"	250 - 1 000 (parfois > 1 000)
Sables	100 - 150
Moraines argileuses	20 - 60
Moraines gravelo-sableuses	60 - 120
Poudingues	> 150
<u>SUBSTRATUM</u>	
Molasse	20 - 40 (chattienne) 50 - 70 (aquitaniennne) 80 - 150 (burdigalienne)
Flysch ultrahelvétique	35 (un seul affleurement)

TABLEAU 7 - Résistivité spécifique des principales formations régionales.

Les alluvions récentes de la Dranse ont une résistivité comprise entre 100 et 200 ohm.m de l'embouchure de la Dranse jusqu'au coude de la rivière où l'on note des valeurs inférieures à 100 ohm.m. Cette diminution des valeurs de résistivité peut être due à l'influence du substratum (molasse ou flysch).

Les terrasses deltaïques de 3, 10 et 30 m. ont ensuite des valeurs de résistivités croissantes avec l'approfondissement de la nappe phréatique.

C'est ainsi qu'en rive gauche la résistivité oscille entre 400 et plus de 800 ohm.m (terrasse de 30 m. et 10 m.), tandis qu'en rive droite les valeurs restent inférieures à 400 ohm.m (terrasse de 3 m.).

La courbe 800 ohm.m située au Nord-Est de Thonon correspond approximativement à la limite de la terrasse de Concise (50 m. au-dessus du lac environ) constituée de graviers "secs" sur une grande épaisseur.

De façon générale, les résistivités des versants sont plus fortes en rive gauche qu'en rive droite de la Dranse. Ce phénomène s'explique par l'absence sur la quasi totalité du plateau de Vinzier (rive droite) de l'unité 1 fluvio-glaciaire constituant les terrasses de Thonon. Celle-ci affleure dans la région de Fin Chaffard (400 ohm.m). Le plateau de Vinzier est recouvert par la moraine supérieure (unité 2) sur une grande épaisseur au Nord de la courbe 750 m. Les différences de résistivités enregistrées correspondent aux variations lithologiques de la moraine (argileuse ou gravelo-sableuse).

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : plalour@ujf-grenoble.fr

DEUXIEME CHAPITRE

$Q = P - ET$ en mm , où :

P = précipitations

ET = évapotranspiration

Q = écoulement (ruissellement + écoulement de surface + écoulement souterrain)

En ce qui concerne les précipitations, une analyse statistique a pu être effectuée à partir des données de la station de Thonon-Rives située à la cote 375 m. et à 2 km. au Nord-Est de celle de Thonon-C.R.G. (1890-1914 ; 1935-1976).

I - ETUDE DES PRECIPITATIONS.

Pour l'étude des précipitations sur le delta de la Dranse, nous avons utilisé les données des 7 stations pluviométriques les plus proches dont les caractéristiques figurent dans le tableau 8.

Station	Altitude (m)	Date de création	Période d'étude	Equipement actuel
Thonon-Rives	375	1890	1890-1917 1935-1976	1 pluviographe
Thonon-C.R.G.	385	01.03.63 05.08.63	1963-1976	1 pluviographe 2 pluviomètres
Marin	582	16.11.62	1963-1976	1 pluviomètre
Larringes	795	27.10.62	1963-1976	1 pluviomètre
S.A.E.M.E.	390	01.12.75	1976	1 pluviomètre
Villa-Magnin	405	01.12.75	1976	1 pluviomètre
Chez Bruchon	550	01.11.75	1976	1 pluviomètre

TABLEAU 8 - Caractéristiques des stations pluviométriques.

Les moyennes annuelles ont été calculées pour ces différentes stations (tableau 9), à partir des précipitations annuelles (annexe I).

Station	1890-1917	1935-1976	1963-1976
Thonon-Rives (375 m.)	1 008	945	869
Thonon-C.R.G. (385 m.)	.	.	942
Marin (582 m.)	.	.	959
Larringes (795 m.)	.	.	1 104

TABLEAU 9 - Moyennes annuelles de précipitations pour différentes stations.

Les données de *Thonon-Rives* (70 valeurs annuelles) permettent d'envisager une étude statistique des précipitations à l'échelle annuelle (valeurs relevées par la Météorologie Nationale). De 1917 à 1935, les données manquent.

La station de *Thonon-C.R.G.*, représentative comme nous le verrons plus loin des précipitations sur le delta de la Dranse, fera l'objet d'une étude particulière.

Aux stations de *Villa Magnin*, *Chez Bruchon* et *S.A.E.M.E.*, nous ne disposons que d'une année d'observation (1976) : (annexe II).

Le gradient altimétrique de précipitations enfin apparaît bien entre Thonon (385 m.), Marin (582 m.) et Larringes (795 m.) (tableau 9 et annexes III, IV et V).

L'écart de 70 mm., noté entre les stations de Thonon-Rives (375 m.) et Thonon-C.R.G. (385 m.) ne peut se justifier uniquement par l'influence du gradient altimétrique de précipitations.

L'explication de ce phénomène reste à trouver. Le grand nombre d'années de mesures à Thonon-Rives (70 valeurs mesurées) permet d'envisager une étude statistique des précipitations. La représentativité des résultats obtenus sera ensuite discutée.

I.1. - Etude statistique des précipitations à Thonon-Rives.

La pluviométrie moyenne à Thonon-Rives, pour la période 1963-1976, est de 869 mm. Cette valeur est inférieure aux moyennes 1890-1917 (1 008 mm.) et 1935-1962 (983 mm.) (tableau 9).

Les 70 modules pluviométriques annuels ont été classés par ordre de grandeur décroissant (annexe VI). Les polygones des fréquences observées ont pu être tracés (figure 17).

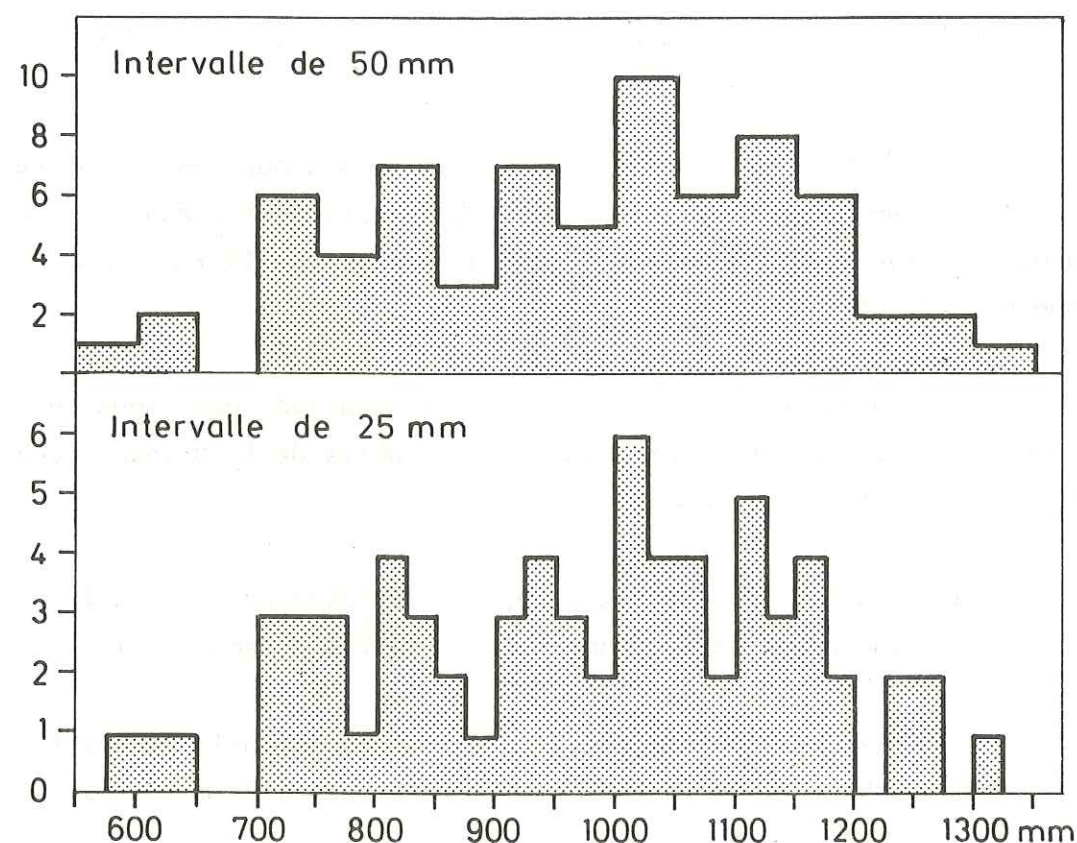


Fig.17: POLYGOUES DES FREQUENCES OBSERVEES
A THONON - RIVES. (1890-1917; 1934-1976)

Les caractéristiques de l'échantillon sont, après élimination des 4 valeurs extrêmes mesurées :

$$N = 66$$

$$\text{Moyenne } \bar{P} = \frac{\sum P_i}{66} = 971 \text{ mm.}$$

$$\text{Ecart-type } \sigma_p = \frac{\sum (P_i - \bar{P})^2}{66} = 156 \text{ mm.}$$

Sur la figure 18 à l'échelle d'ordonnée gaussienne, sont reportées les 66 valeurs de précipitations annuelles retenues, en face de leur fréquence au dépassement expérimentale $F = \frac{r-1/2}{66}$.

La droite de Henri passe bien au milieu des points, preuve d'une bonne adéquation de l'échantillon à la loi normale.

L'ajustement théorique à la loi de Gauss donne (tableau 10) :

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - v_i)^2}{v_i} = \frac{34}{11} = 3,09$$

Les tables donnent par ailleurs, pour un nombre de degrés de liberté égal à 3 :

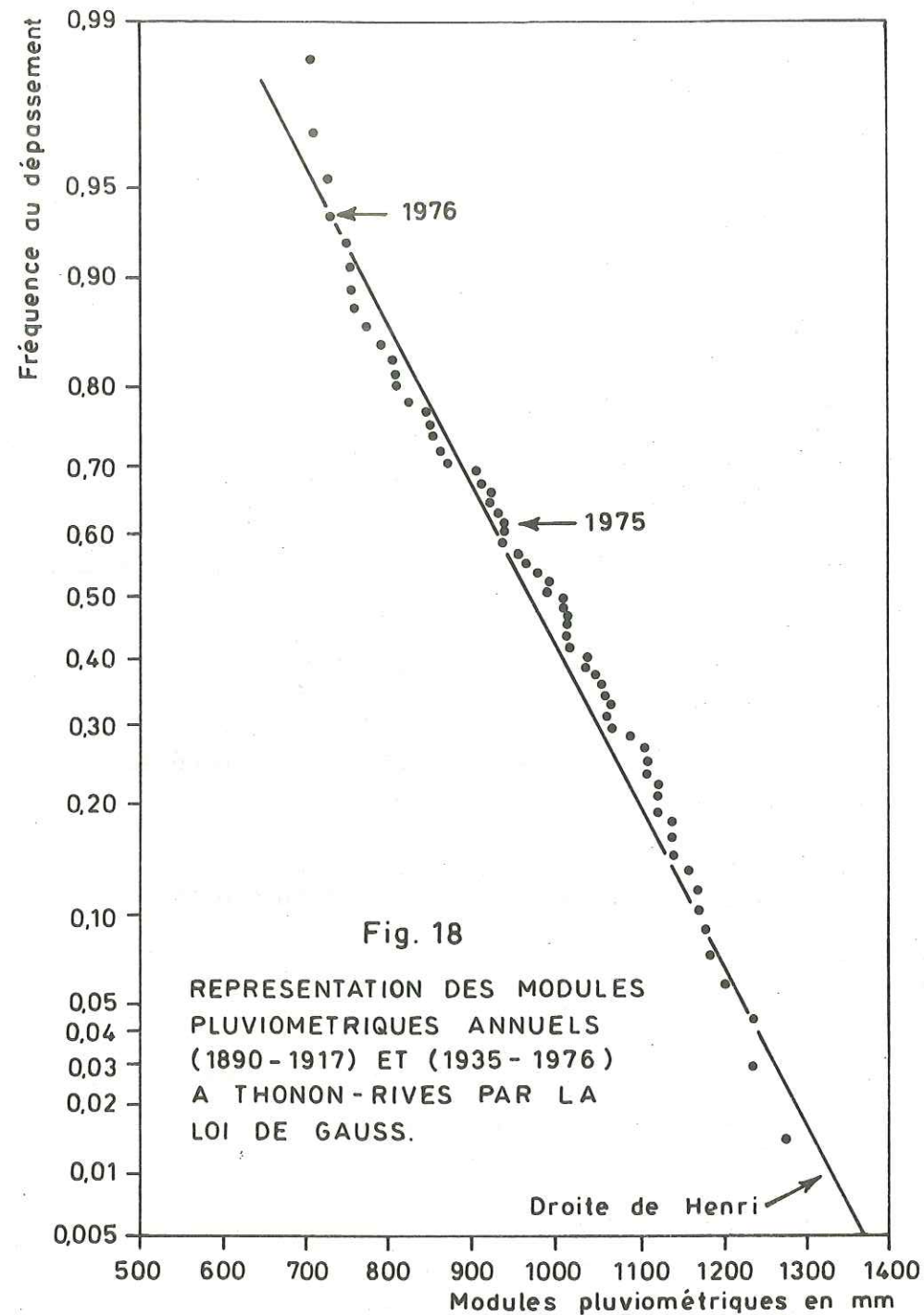
$$\chi^2_{0,90} = 0,58 \quad \chi^2_{0,10} = 6,25$$

Nous avons donc : $\chi^2_{0,90} < \chi^2 < \chi^2_{0,10}$

L'adéquation est donc satisfaisante et la loi de Gauss représentative de la pluie annuelle à Thonon-Rives.

Limites de classe de P_i	O_i	v_i	$O_i - v_i$	$(O_i - v_i)^2$
< 819	14	11	3	9
819	7	11	4	16
903	9	11	2	4
971	11	11	0	0
1 039	13	11	2	4
1 123	12	11	1	1
> 1 123	.	.	.	.

TABLEAU 10 - Test du χ^2 . Application aux précipitations annuelles à Thonon-Rives.



J.J. JEREMIE (1976), dans son étude statistique des précipitations de la région lémanique, donne les résultats suivants :

Station	Moyenne 1901-1974		Ecart-type (mm)
	Estimation (mm)	Précision Intervalle de confiance	
Thonon-Rives	989	4,1 %	177

Les différences de résultats s'expliquent ainsi :

- L'auteur tient compte des *valeurs extrêmes* (maximales et minimales) enregistrées.

- Les valeurs mesurées depuis 1965 à la station, sont corrigées par la méthode du test de la double masse, appliquée aux stations pluviométriques de Genève, Lausanne, Montreux et Thonon. Les effets du déplacement de la station et du changement d'appareil ne se font sentir que vers 1965 à l'échelle de l'étude effectuée (moyenne mesurée pour la période 1965-1974 : 862 mm., moyenne corrigée par JEREMIE : 1 019 mm.).

- Pour la période de non observation (1917-1934) Les *valeurs* sont estimées à partir des résultats obtenus à Lausanne (moyenne de cette période : 981 mm.).

- Les valeurs de 1975 et de 1976 sont inférieures à la moyenne observée (932 mm. et 721 mm.). De plus, la période d'observation de l'auteur débute en 1901 et non 1890.

L'analyse statistique des précipitations annuelles permet de calculer les quantiles caractéristiques (tableau 11).

La récurrence théorique des valeurs extrêmes de précipitations annuelles est de : 242 ans pour la valeur minimale estimée (565 mm. en 1921) et 197 ans pour la valeur maximale estimée également (1 356 mm. en 1930), d'après J.J. JEREMIE.

Période	Année décennale		Année centenaire	
	Humide	Sèche	Humide	Sèche
1890-1917 1935-1976	1 171	771	1 333	609
B. BLAVOUX 1890-1917 1935-1964	1 204	784	1 374	614
J.J. JEREMIE 1901-1974	1 216	762	1 399	578

TABLEAU 11 - Précipitations annuelles. Quantiles caractéristiques à Thonon-Rives.

I.2. - Les précipitations sur le delta de la Dranse et ses versants.

Nous serons amenés au cours de cette étude à distinguer deux formes d'alimentation de la nappe du delta de la Dranse par les précipitations :

- Alimentation directe par précipitations et infiltration sur le delta de la Dranse s.s.
- Alimentation indirecte par les eaux souterraines ou de surface des versants, ceux-ci étant alimentés en partie par la pluie tombée sur la partie correspondante de l'impluvium du delta de la Dranse.

Dans ce but, deux stations ont été retenues :

- Thonon-C.R.G. (385 m.), située à la cote moyenne du delta de la Dranse.
- Marin (582 m.), située sur le versant d'Evian et sur l'impluvium du delta.

Nous comparerons enfin pour l'année 1976 les données de Thonon-C.R.G. et de la station de la S.A.E.M.E.

I.2.1. - Méthodes d'évaluation des lames d'eau précipitées.

Il existe plusieurs méthodes, décrites dans les ouvrages classiques (CASTANY, 1963 ; ROCHE, 1963) :

- Méthode de pondération de THIESSEN.
- Méthode des isohyètes.
- Méthode de la moyenne arithmétique.

Si leur application peut être envisagée dans le cas de vastes bassins versants et d'un grand nombre de points d'observation, tel n'est pas le cas ici. L'imprécision des résultats, liée au faible nombre de postes pluviométriques (2), nous a conduit à rechercher une méthode simple et rapide.

L'impluvium du delta de la Dranse couvre une superficie de 15,6 km² répartis de la façon suivante (figure 19 et tableau 12).

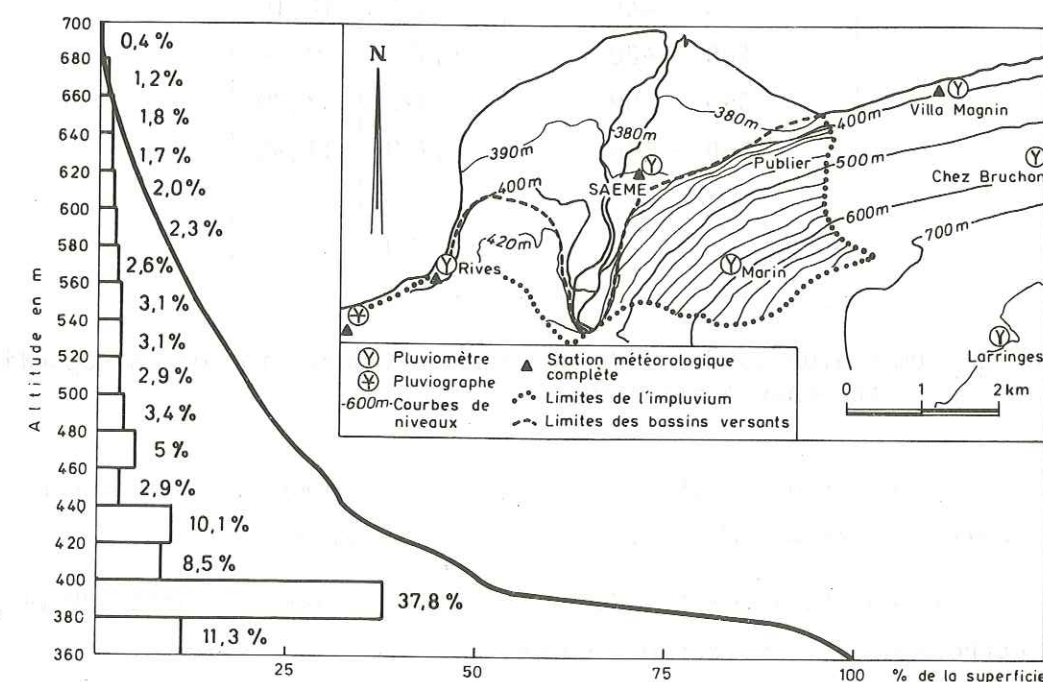


Fig. 19 : IMPLUVIUM DU DELTA DE LA DRANSE
COURBES HYPSONOMETRIQUES ET FREQUENCES ALTIMETRIQUES

Tranches d'altitude (m)	Superficie	
	(km ²)	(%)
680 - 700	0,055	0,40
660 - 680	0,180	1,20
640 - 660	0,282	1,80
620 - 640	0,270	1,70
600 - 620	0,305	2,00
580 - 600	0,352	2,30
560 - 580	0,402	2,60
540 - 560	0,475	3,10
520 - 540	0,485	3,10
500 - 520	0,455	2,90
480 - 500	0,532	3,40
460 - 480	0,780	5,00
440 - 460	0,455	2,90
420 - 440	1,575	10,10
400 - 420	1,325	8,50
380 - 400	5,875	37,80
360 - 380	1,750	11,30
	15,550	

TABEAU 12 - Impluvium du delta de la Dranse. Répartition de la superficie en tranches d'altitude.

- 8,2 km² (soit 52,5 % de la superficie) compris entre 370 et 400 m. environ, correspondant au delta de la Dranse s.s.

- 7,4 km² (soit 47,5 % de la superficie) compris entre 400 et 700 m. correspondant aux versants du delta.

Le pluviographe de Thonon-C.R.G. se trouve donc à l'altitude moyenne du delta de la Dranse (385 m.).

L'étude des précipitations sur le delta revient à celle des lames d'eau enregistrées au pluviographe de Thonon-C.R.G.

Selon le même procédé, la station de Marin donne une bonne estimation de la pluie tombée sur les versants.

Les précipitations mensuelles mesurées à Thonon-C.R.G. (P_T) et à Marin (P_M) ont été corrélées (valeurs mensuelles dans le tableau 4 en annexe). Pour 156 couples de valeurs mensuelles (1963-1975 : 13 ans), l'équation de la droite de régression est la suivante :

$$P_M = 0,90 P_T + 8,5 \quad (r = 0,93 ; 156 \text{ valeurs})$$

Enfin, nous avons pu vérifier pour l'année 1976, la bonne concordance existant entre les données du pluviographe de Thonon-C.R.G. et celles du pluviomètre de l'usine de la S.A.E.M.E. (voir tableau 13).

Mois	Thonon-C.R.G. (385 m.)	S.A.E.M.E. (390 m.)
J		
F		
M	20	25
A	23	25
M	66	64
J	6	8
J	104	91
A	55	50
S	146	141
O	79	67
N	71	72
D	152	136
Moyenne Mars-Décembre 1976	722	679

TABEAU 13 - Pluviométrie mensuelle comparée à Thonon-C.R.G. et à la S.A.E.M.E. (mars 1976 - Décembre 1976).

Il importe toutefois de contrôler à plus long terme le léger écart (6 %) apparaissant entre les 2 stations, sur la période d'observation de 10 mois considérée.

1.2.2. - Etude des précipitations annuelles.

On dispose de 14 années d'enregistrement au pluviographe thermos-taté de Thonon-C.R.G.

Le tableau 14 donne les valeurs de précipitations annuelles enregistrées et étendues au delta de la Dranse s.s.

Année	Précipitations (mm)
1963	1 121
1964	800
1965	1 176
1966	992
1967	965
1968	1 201
1969	837
1970	1 083
1971	669
1972	725
1973	812
1974	978
1975	1 029
1976	800
Moyenne 1963-1976	942

TABLEAU 14 - Précipitations annuelles sur le delta de la Dranse.

Les paramètres de l'échantillon sont les suivants :

$N = 14$ valeurs

Moyenne $\bar{P} = 942$ mm

Ecart-type $\sigma_p = 164$ mm

Pour un intervalle de confiance à 95 % : $856 \text{ mm} < \bar{P} < 1\,028 \text{ mm}$.

Pour un intervalle de confiance à 90 % : $870 \text{ mm} < \bar{P} < 1\,014 \text{ mm}$.

Les valeurs extrêmes observées (1 201 mm. et 669 mm.) permettent de calculer certaines valeurs caractéristiques :

$$\text{- Valeur maximale} = \frac{1\,201}{669} = 1,80$$

$$\text{- Amplitude : } V_M - V_m = 532 \text{ mm.} = 3,2 \sigma$$

$$\text{- Coefficient de variation : } \frac{\sigma}{\bar{P}} = 0,17$$

$$\text{- Valeur médiane : } 971 \text{ mm.}$$

La moyenne annuelle des précipitations tombées à Marin est, pour la même période (1963-1976), de 960 mm.*. Ce chiffre donne une bonne estimation de la pluviométrie annuelle sur les versants.

1.2.3. - Etude des précipitations mensuelles.

Les lames d'eau moyennes mensuelles tombées sur le delta de la Dranse figurent dans le tableau 15.

Il apparaît à la lecture de ces moyennes mensuelles, deux maximums de pluviométrie :

* Moyenne calculée d'après les données du pluviomètre de 1963 à 1975. Pour l'année 1976, les valeurs n'ayant pas été relevées, nous avons utilisé l'équation de la droite de régression :

$$P_M = 0,90 P_T + 8,5$$

- Un maximum en Novembre (12,3 % des précipitations et coefficient pluviométrique mensuel de 1,50), lié au régime des vents dans la région lémanique (J.-J. JEREMIE).

- Un maximum secondaire en Août (11,4 % des précipitations). Cette répartition des pluies a des conséquences sur l'infiltration et la recharge des nappes souterraines comme le montre E. SIWERTZ qui note la présence de ces 2 mêmes maximums d'Août (13 %) et Novembre (12 %), et de 2 minimums (Décembre-Janvier 6 % et Octobre 6 %).

L'étude des intensités des averses, autre paramètre important, peut se faire à l'échelle journalière.

- Les valeurs de précipitations mensuelles à Marin figurent en annexe IV, les mêmes maxima peuvent être reconnus.

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1963	37	51	151	85	77	175	34	225	46	20	215	5
1964	16	23	155	63	60	95	39	107	66	90	50	36
1965	76	5	123	62	111	45	188	94	168	54	153	143
1966	74	120	57	120	93	33	73	72	83	106	60	101
1967	47	51	84	20	140	90	52	94	68	59	204	55
1968	72	107	36	89	101	99	97	245	148	59	72	76
1969	51	52	84	101	89	104	66	95	34	5	123	37
1970	83	117	81	161	52	131	36	138	26	69	163	26
1971	65	25	95	36	76	99	21	80	35	40	92	7
1972	16	73	56	85	43	113	52	34	40	29	128	56
1973	24	38	3	79	94	127	130	64	96	75	37	45
1974	59	67	33	25	105	151	53	53	161	109	113	49
1975	82	7	81	66	81	99	67	153	149	49	143	52
1976	10	68	20	23	66	6	104	55	146	79	71	152
Moyenne 1963-1976	51	57	78	73	85	98	72	108	90	60	116	60
Coefficient pluviométrique mensuel	0,64	0,76	0,95	0,94	1,08	1,26	0,90	1,35	1,16	0,75	1,50	0,75
Ecart-type (mm)	25	36	44	38	25	44	43	60	51	30	54	43

TABLEAU 15 - Précipitations mensuelles sur le delta de la Dranse (1963-1976).

I.2.4. - Etude des précipitations journalières.

A l'échelle des pluies journalières, les averses importantes se répartissent sensiblement de la même façon que les précipitations moyennes mensuelles.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nombre d'averses d'intensité > 20 mm en 24 h. à Thonon-C.R.G. de 1968 à 1976	3	4	6	10	7	13	6	11	11	7	17	6

C'est au mois de Novembre que les fortes averses sont les plus fréquentes.

Les tableaux 16 et 17 donnent les nombres de jours de pluie par classes de lames d'eau écoulées, à Thonon-C.R.G., pour les années 1975 et 1976.

II - ETUDE DES PRINCIPAUX PARAMETRES CLIMATIQUES.

L'évapotranspiration peut être mesurée (lysimètre, Piche, Bac) ou calculée à l'aide de diverses formules (Turc, Coutagne à l'échelle annuelle; Turc, Thornthwaite, Primault à l'échelle mensuelle). Plusieurs paramètres interviennent dans ces formules, température, humidité atmosphérique, radiation globale moyenne...

Nous commencerons par la détermination quantitative de ces différents paramètres.

II.1. - Les températures.

Les températures moyennes annuelles et mensuelles ont été calculées au C.R.G. pour les années 1975 et 1976, à partir des moyennes journalières (tableau 18).

Pour la période 1966-1974, les résultats ont été obtenus par intégration des enregistrements hebdomadaires (E. SIWERTZ ; R. VIAL).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Nombre de jours de pluie	16	4	23	13	18	16	9	16	16	12	18	7	168
0 à 0,2	2	2	1	1	4	2	2	1	3	5	3	.	26
> 0,2	14	2	22	12	14	14	7	15	13	7	15	7	142
0,2 à 1	3	1	4	3	2	3	.	3	2	1	.	1	23
1 à 10	9	1	16	7	10	9	5	7	7	4	10	4	89
10 à 20	1	.	2	2	2	.	1	3	3	1	2	1	18
20 à 30	1	.	.	.	.	1	1	1	.	1	2	1	8
30 à 40	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	2
40 à 50	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0
50 à 60	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	2

TABLEAU 16 - Nombre de jours de pluie par classes de lames d'eau écoulées à Thonon-C.R.G. (Année 1975).

Les deux années d'étude se situent très légèrement au-dessus de la moyenne qui est de 9,3°.

L'évapotranspiration, dépendant largement de la température, va donc varier corrélativement pour la même période.

Le thermographe de Thonon-C.R.G. se trouvant à la côte moyenne du delta de la Dranse (385 m.), nous n'aurons pas à faire intervenir le gradient altimétrique de température (1°1 pour 100 m entre Thonon et Les Blaves d'après R. VIAL, 1976).

II.2. - L'humidité atmosphérique.

Dans la formule de calcul de l'ETP (Evapotranspiration Potentielle) de Primault, intervient l'humidité relative de l'air.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Nombre de jours de pluie	10	6	7	8	13	2	11	11	14	22	14	13	131
0 à 0,2	4	0	0	0	1	0	0	0	1	6	2	0	14
> 0,2	6	6	7	8	12	2	11	11	13	16	12	13	117
0,2 à 1	4	2	4	3	2	1	0	2	2	5	1	2	28
1 à 10	2	1	3	5	8	1	8	9	5	8	9	6	65
10 à 20	.	1	.	.	2	.	1	.	4	3	1	3	15
20 à 30	.	2	.	.	.	.	2	.	1	.	1	1	7
30 à 40	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
40 à 50	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	2

TABLEAU 17 - Nombre de jours de pluie par classes de lames d'eau écoulées à Thonon-C.R.G. (Année 1976).

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1975	4,1	3,1	4,9	8,9	12,9	15,3	19,2	18,9	15,6	8,8	6,4	1,2	9,9
1976	0,7	1,5	4,1	8,6	13,8	19,3	20,0	17,1	12,9	10,5	5,8	0,9	9,6
Moyenne 1966-1976	1,3	2,3	3,9	7,6	12,3	15,8	18,5	18,1	14,7	10,2	5,5	1,3	9,3

TABLEAU 18 - Températures annuelles et mensuelles à Thonon-C.R.G.

Celle-ci est mesurée au C.R.G. depuis 1966. La moyenne annuelle correspondant à la période 1966-1976 est de 78,7 %, soit supérieure aux moyennes 1966-1970 (77 % : E. SIWERTZ) et 1971-1974 (76,2 % : R. VIAL).

Ceci est lié aux fortes valeurs des années 1975 et 1976 (90,3 % et 88,7 %), dont l'une au moins (1976) est cependant une année sèche (tableau 19). L'explication de ce phénomène reste à trouver (déplacement et changement de l'appareil, étalonnage imprécis, ...). En tout état de cause, ces valeurs élevées de l'humidité relative de l'air vont intervenir en limitant le pouvoir évaporant de l'atmosphère. "L'effet tampon" joué par le lac Léman explique la faiblesse des variations durant une même année. L'écart séparant les valeurs mensuelles extrêmes demeure inférieur à 15 %.

En résumé, la température annuelle moyenne est de 9,3° à Thonon-C.R.G., tandis que l'humidité atmosphérique moyenne est de 78 % environ.

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
1975	92,6	89,9	89,9	84,7	88,1	88,5	86,3	90,1	93,2	93,8	92,4	94,7	90,3
1976	91,4	94,6	88,2	85,1	84,7	82,8	84,5	86,7	92,4	93,2	89,5	91,5	88,7
Moyenne 1966-1976	81,6	79,5	76,8	74,3	75,4	76,7	75,1	77,4	80,8	83,2	81,9	81,8	78,7

TABLEAU 19 - Humidité relative de l'air à Thonon-C.R.G.

III - ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION.

L'évapotranspiration ET, second terme du bilan hydrologique $P = ET + R + I$, représente la "somme de toutes les pertes par transformation de l'eau en vapeur" (CASTANY, 1963). Celles-ci regroupent les phénomènes d'évaporation et de transpiration (lié à la végétation).

L'évapotranspiration intervient donc en limitant la part des précipitations susceptible d'alimenter les nappes d'eau souterraines.

De plus, il est nécessaire de distinguer l'évapotranspiration réelle (ETR) calculée ou mesurée, et l'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée.

L'ETR apparaît dans les conditions naturelles d'humidité du sol (G. CASTANY, 1963). Elle est mesurée au moyen de cases lysimétriques ou évaluée à partir de la détermination du déficit d'écoulement.

L'ETP est égale à la quantité d'eau maximale évapotranspirée ("évapotranspiration maximum hydrologique" de A. COUTAGNE). Elle représente donc "la quantité d'eau qui serait évapotranspirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser les pertes maximales". Les réserves du sol évaluées à Thonon-C.R.G. sont de 50 à 100 mm au maximum (B. BLAVOUX).

Rappelons enfin que l'évaporation est égale au pouvoir évaporant de l'atmosphère mesuré (Piche, Bac) ou calculé.

III.1. - Evapotranspiration calculée.

Il existe plusieurs formules permettant d'évaluer l'évapotranspiration potentielle à l'échelle mensuelle. Nous avons retenu celles de C.W. THORNTWHAITE (1948-1954), TURC (1963) et PRIMAULT (1963). A l'échelle annuelle, le déficit d'écoulement donne une bonne estimation de l'évapotranspiration réelle. Rappelons que le déficit d'écoulement égal à la somme de l'évapotranspiration réelle et de l'infiltration, selon la formule :

$$D = ETR + I$$

représente également la part des précipitations qui échappe à l'écoulement ($P - Q$).

Sur une longue période (1 an), les eaux d'infiltration (I) sont reprises par l'écoulement et l'évapotranspiration, et nous pouvons écrire la relation simplifiée (G. CASTANY, 1963) :

$$D \approx ETr$$

Les formules de TURC (1959) et COUTAGNE (1954) donnant le déficit d'écoulement, permettent donc d'évaluer l'ETR à l'échelle annuelle.

III.1.1. - Déficit d'écoulement et évapotranspiration réelle annuelle.

- La formule de A. COUTAGNE (1954) donnant le déficit d'écoulement (D) en fonction de la température annuelle moyenne (T), s'applique aux grands bassins et en présence de fortes précipitations (800 mm $\pm$ 20 % entre les latitudes Nords 60° et 30°). Thonon recevant 942 mm. de pluie

par an (moyenne 1963-1976) est donc à la limite d'application de la formule :

$$D = 210 + 30 T$$

- La formule de TURC utilisant les données de 254 bassins dispersés dans le monde entier, est applicable à tous les climats.

$$D = \frac{P}{0,9 + P^2/L^2}$$

où D = déficit d'écoulement (en mm.)

P = précipitations annuelles (en mm.)

$$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$$

avec T = température moyenne annuelle de l'air en °C

Nous obtenons pour les 2 années d'étude les résultats suivants :

Année	T°C	P (mm)	D (mm.)	
			Coutagne	Turc
1975	9,9	1 029	507	522
1976	9,6	800	498	482
Moyenne 1966-1976	9,3	917	488	486

Le déficit d'écoulement calculé par les formules de COUTAGNE et TURC est égal en moyenne à 490 mm par an (période 1966-1976). Cette valeur correspond à un écoulement moyen de 430 mm par an.

III.1.2. - Evapotranspiration potentielle mensuelle.

Plusieurs formules de calcul de l'ETp mensuelle ont été proposées. Nous avons choisi celles de C.W. THORNTHWAITE (1948-1954), TURC (1963) et PRIMAULT (1963).

- Formule de THORNTHWAITE.

C.W. THORNTHWAITE propose une formule donnant l'ETp mensuelle en fonction de la température moyenne mensuelle (T) :

$$ETp = 1,6 \left(10 \cdot \frac{T}{I}\right)^\alpha T \text{ en } ^\circ\text{C}$$

ETp en mm.

où I représente la somme de 12 indices mensuels i calculés de la façon suivante :

$$I = \left(\frac{T}{S}\right)^{1,514} \quad \text{et} \quad I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$\text{et } \alpha = 0,49239 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3$$

L'ETp mensuelle ainsi calculée est ensuite corrigée par l'intermédiaire d'un facteur de correction (c) fonction de la latitude du lieu.

A Thonon (latitude 46°-Nord), ce facteur prend les valeurs suivantes :

Janvier	0,79	Juillet	1,32
Février	0,81	Août	1,22
Mars	1,02	Septembre	1,04
Avril	1,13	Octobre	0,94
Mai	1,29	Novembre	0,79
Juin	1,31	Décembre	0,74

- Formule de C. TURC (1963).

L'auteur fait intervenir la température moyenne de l'air sous abri (T), mais aussi la radiation globale moyenne (Ig) et l'humidité relative de l'air (Hr). Les valeurs mensuelles de Hr (voir chapitre II.2.) et de Ig (voir chapitre II.3.) connues, il est donc possible d'appliquer cette formule à Thonon-C.R.G. aux années 1966-1974 (certaines données 1975-1976 ne nous ont pas été communiquées).

La formule de L. TURC s'écrit :

$$ETp = (Ig + 50) \cdot \frac{0,40 T}{T + 15} \quad \text{si } Hr > 50 \%, \text{ ce qui est le cas}$$

avec $Ig = Ig A (0,18 + 0,62 \frac{h}{H})$ à Thonon (moyenne annuelle : 78,7 %)

Ig A représente la radiation atteignant le sol, abstraction faite de l'atmosphère, et le rapport h/H l'insolation relative (l'insolation mensuelle h est donnée par l'héliographe de Thonon-Rives).

- Formule de PRIMAULT (1963).

L'ETp mensuelle selon PRIMAULT est fonction de l'humidité relative de l'air (Hr) et de la durée d'insolation mensuelle (ΣSi) :

$$ETp = J.C. (1,03 \cdot \frac{Hr}{100}) \cdot (\Sigma Si + 2 n)$$

C = coefficient de correction altimétrique égal à 0,947 à Thonon-C.R.G.

n = nombre de jours dans le mois

j = coefficient de correction mensuel, dont les valeurs sont les suivantes :

Janvier	0,11	Juillet	1,11
Février	0,17	Août	1,02
Mars	0,45	Septembre	0,80
Avril	0,75	Octobre	0,56
Mai	0,93	Novembre	0,36
Juin	1,05	Décembre	0,22

Les valeurs annuelles de l'ETp calculées à partir des 3 formules ci-dessus figurent dans le tableau 20. Celles-ci ont été obtenues à partir des valeurs de l'ETp mensuelle pour la période 1966-1976 (THORNTHWAITE), 1966-1974 (TURC et PRIMAULT).

Année	ETp annuelle (mm)		
	Thornwhaite	Turc*	Primault*
1975	654	.	.
1976	651	.	.
Moyenne 1966-1974	626	666	548
Moyenne 1966-1976	631	.	.

TABLEAU 20 - ETp annuelle en mm.

L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée par la méthode de THORNTHWAITE (630 mm.) est donc supérieure d'environ 30 % au déficit d'écoulement (490 mm.). La méthode de PRIMAULT donne une valeur moyenne annuelle plus faible (550 mm. environ).

* Les données de l'héliographe manquant, les formules de TURC et PRIMAULT n'ont pu être appliquées en 1975 et 1976.

III.2. - Mesure du pouvoir évaporant de l'atmosphère.

La mesure du pouvoir évaporant de l'atmosphère est effectuée à la station de Thonon-C.R.G., à l'aide d'un évaporomètre Piche (hors service en 1976) et d'un bac d'évaporation enterré de 1 m² de section, type ORSTOM.

Les résultats obtenus à partir de ces 2 types d'installation sont les suivants :

Année	Evaporation (mm)	
	Piche	Bac
1975	410	522
1976	.	653
Moyenne 1966-1975	434	544
Moyenne 1966-1976	.	554

1) L'évaporomètre de Piche mesurant le pouvoir évaporant de l'atmosphère n'a pas fonctionné en 1976. Pour les mois d'hiver, où l'appareil est souvent gelé, l'évaporation a été estimée (E. SIWERTZ, 1973) :

- 5 mm. en Janvier, Février et Décembre.
- 20 mm. en Mars et Novembre.
- 45 mm. en Avril.

Il existe une bonne corrélation entre le Bac et l'évaporomètre de Piche. A l'échelle annuelle, le rapport évaporation Piche - évaporation Bac est voisin de 0,8.

2) Le Bac Colorado est un bac enterré, permettant de mesurer l'évaporation à partir d'une surface d'eau libre. Cette dernière pouvant geler l'hiver, l'évaporation a été fixée en fonction des mesures disponibles, aux valeurs suivantes (E. SIWERTZ, 1973) :

- 15 mm. en Janvier, Février et Décembre.
- 25 mm. en Mars.
- 50 mm. en Avril.

L'évaporation moyenne donnée par le Bac (554 mm.) de 1966 à 1976, est proche de la valeur moyenne de l'évapotranspiration potentielle donnée par la méthode de PRIMAULT (550 mm.).

Le Piche donne des valeurs (440 mm.) plus proches du déficit d'écoulement calculé (490 mm.).

III.3. - Evapotranspiration réelle mesurée : lysimètre à drainage total.

La station de Thonon-C.R.G. est équipée depuis 1964 d'un lysimètre fonctionnant en drainage total. La cuve de ce lysimètre est donc drainée à la base par une couche de graviers.

Un tel dispositif permet de recueillir la totalité des eaux d'infiltration, et donc de mesurer le drainage Q. Nous avons vu précédemment (chapitre III.1.) qu'à l'échelle annuelle, l'évapotranspiration réelle (ETR) est égale au déficit d'écoulement donné par la relation : $D = P - Q$.

Les données des 8 années de mesures sont récapitulées dans le tableau 21.

Les lysimètres de Thonon ne fonctionnant que depuis 1969, nous avons établi une relation entre les précipitations (mesurées au pluviographe du C.R.G.) et le drainage Q :

$$Q = 0,93 P - 351 \quad n = 8 \quad ; \quad r = 0,98$$

Année	P (mm)	Q (mm)	D (mm)
1969	837	412	425
1970	1 083	702	381
1971	669	284	385
1972	725	351	374
1973	812	372	440
1974	978	567	411
1975	1 029	564	465
1976	800	391	409
Moyenne 1969-1976	867	455	412

TABEAU 21 - Données lysimétriques à Thonon-C.R.G. (1969-1976).
Evaluation du bilan hydrologique.

Nous obtenons ainsi pour les années de non observation, les valeurs suivantes :

Année	P (mm)	Q (mm)	D (mm)
1966	992	572	420
1967	965	546	419
1968	1201	766	435

L'évapotranspiration réelle moyenne mesurée par l'intermédiaire du lysimètre à Thonon-C.R.G. est de 415 mm. environ (1966-1976, dont 3 années estimées).

Cette valeur est voisine de celle donnée par le Piche (440 mm.) qui est donc bien représentative de l'évapotranspiration réelle (E. SIWERTZ, 1973).

La valeur obtenue pour la période 1963-1976 est légèrement supérieure (420 mm.) en saison des fortes précipitations des années 1963 (1 121 mm) et 1965 (1 176 mm.).

IV - CONCLUSION A L'ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE.

L'étude des précipitations à différentes échelles de temps nous a permis de constater les phénomènes suivants :

- Il tombe en moyenne annuelle 940 mm. à Thonon-C.R.G. (période 1963-1976). Cette station étant à la cote 385 m. donne une bonne estimation des précipitations sur le delta de la Dranse dont les 8,2 km² de superficie sont compris entre 370 et 400 m. d'altitude. La pluviométrie sur les versants (7,4 km²) est légèrement supérieure : 960 mm. de moyenne annuelle pour la même période (1963-1976).

- Au cours des 2 années d'étude, il est tombé respectivement 1 029 mm (1975) et 800 mm. (1976).

- Le mois le plus pluvieux est le mois de Novembre (116 mm. soit 12,3 % des précipitations), le moins pluvieux étant celui de Janvier (51 mm. = 5,4 %).

- Les averses importantes (> 20 mm en 24 h) se produisent essentiellement aux mois de Novembre, Juin, Août et Septembre.

L'évapotranspiration réelle moyenne mesurée (données lysimétriques) est, pour la même période, de 420 mm. par an.

Le calcul du bilan de l'eau à Thonon par la méthode de THORNTHWAITE (annexes VII et VIII) donne des valeurs de l'ETR surestimées : 643 mm. en 1975, 461 mm. en 1976 contre respectivement 465 mm. et 409 mm. par les mesures du lysimètre.

Le ruissellement et l'écoulement de surface sur les alluvions perméables du delta de la Dranse, sont négligeables par rapport à l'écoulement souterrain (le seul susceptible de recharger la nappe du delta).

Nous admettrons par conséquent que la part des précipitations qui n'est pas évapotranspirée, alimente directement la nappe du delta (520 mm. par an en moyenne).

Connaissant la superficie du delta (8,2 km²), il est possible de calculer le volume des précipitations annuelles (P) et la quantité d'eau alimentant la nappe d'eau souterraine ou infiltration efficace $I_{eff.} = P - ETR$ si $R \approx 0$ (tableau 22).

Année	P	ETR	I eff.
1969	6,9	3,5	3,4
1970	8,9	3,1	5,8
1971	5,5	3,2	2,3
1972	5,9	3,1	2,8
1973	6,6	3,6	3,0
1974	8,0	3,4	4,6
1975	8,4	3,8	4,6
1976	6,6	3,4	3,2
Moyenne 1969-1976	7,1	3,4	3,7
Moyenne 1963-1976*	7,7*	3,4*	4,3*

TABLEAU 22 - Précipitations et infiltration efficace annuelles sur le delta de la Dranse (1969-1976) en 10⁶ m³.

* Valeurs estimées, le lysimètre ne fonctionnant que depuis 1969, d'après l'équation de régression :

$$Q = 0,93 P - 351$$

(mm) (mm)

La quantité d'eau apportée par les versants ne peut être évaluée par l'étude des précipitations et de l'évapotranspiration. En effet, si les limites de l'impluvium du delta de la Dranse ont pu être tracées sur les versants, ses limites hydrogéologiques restent inconnues.

Il existe toutefois une méthode d'estimation de ces apports par les cartes isopiézométriques que nous envisagerons plus loin (voir chapitre III).

Auparavant la part de la Dranse dans l'alimentation de la nappe devra être évaluée. Tel est le but de l'étude hydrologique que nous allons à présent envisager.

TROISIEME CHAPITRE

TROISIEME CHAPITRE

HYDROLOGIE

I - LE RESEAU HYDROMETRIQUE

Le réseau de surveillance de l'aquifère du delta de la Dranse comprend 2 secteurs (figure 20) :

- Le réseau de surface (Dranse, ruisseaux et sources des versants, lac).
- Le réseau souterrain (puits, piézomètres).

I.1. - Le réseau de surface.

La station de Bioge est située légèrement en aval de la confluence des 3 Dranses (Abondance, Morzine, Bellevaux) et à 10 km en amont du Pont de Vongy.

Depuis 1958, elle est équipée d'un limnigraphe de type OTT. La courbe de tarage revue et corrigée en 1969, a pu être tracée grâce aux mesures de débits faites à la Perche Arkansas et par la méthode chimique (figure 21). Les débits sont fournis par la Circonscription Electrique du Sud-Est qui dépend du Ministère de l'Industrie et de la Recherche (période 1958-1975). Les débits de l'année 1976 ont été calculés au C.R.G. après dépouillement des enregistrements du limnigraphe.

L'équipement de la Dranse au niveau du delta ne comprenait en 1975 qu'une échelle graduée, gravée sur l'un des piliers du Pont de Vongy.

En 1976, deux échelles limnimétriques ont été installées provisoirement, puis nevellées :

- L'une à l'emplacement de l'ancien pont S.N.C.F., domaine où les crues affouillent le lit et les berges de la rivière, en raison de sa forte pente locale.

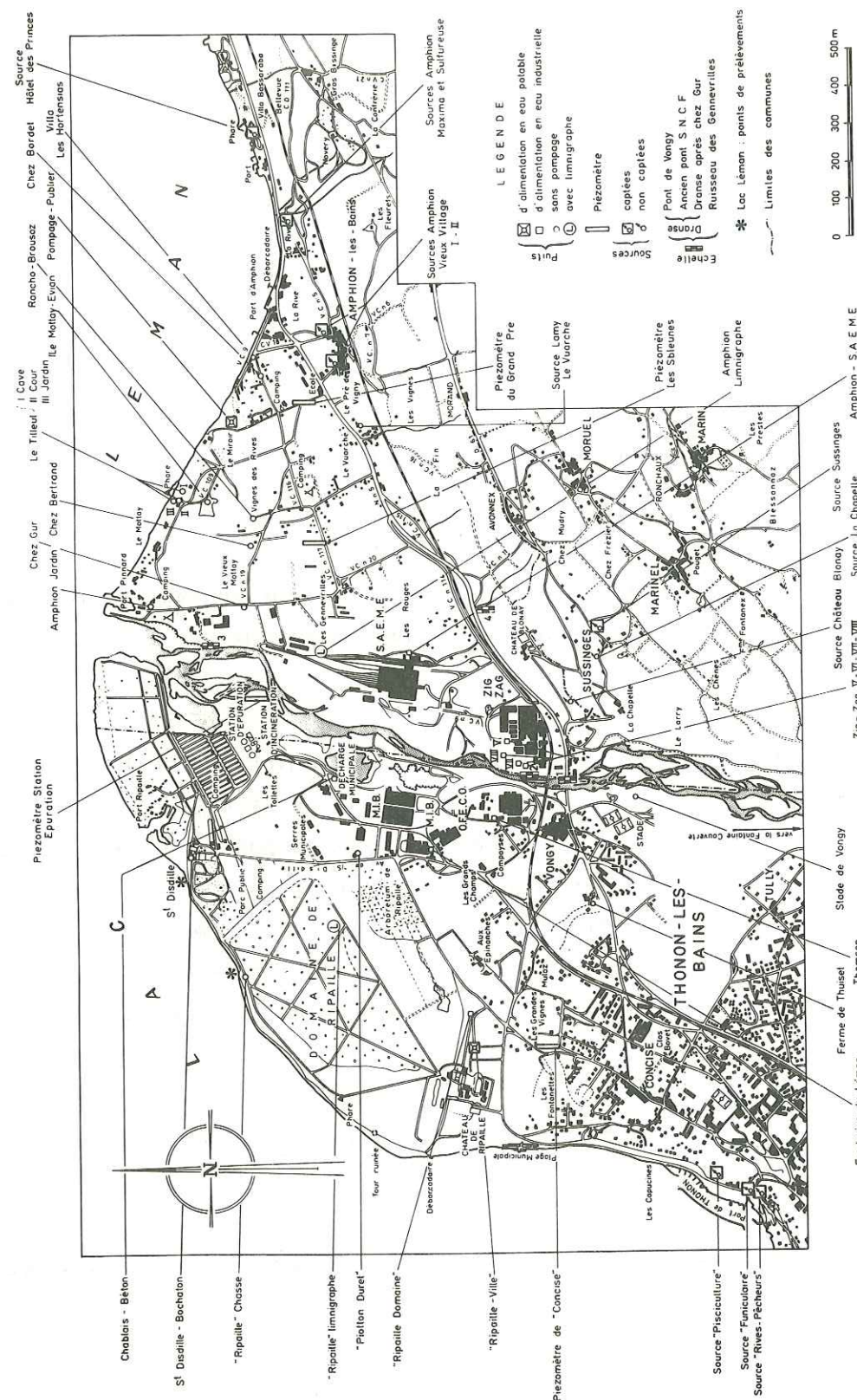


Fig.20 - DELTA DE LA DRANSE - PLAN DE SITUATION

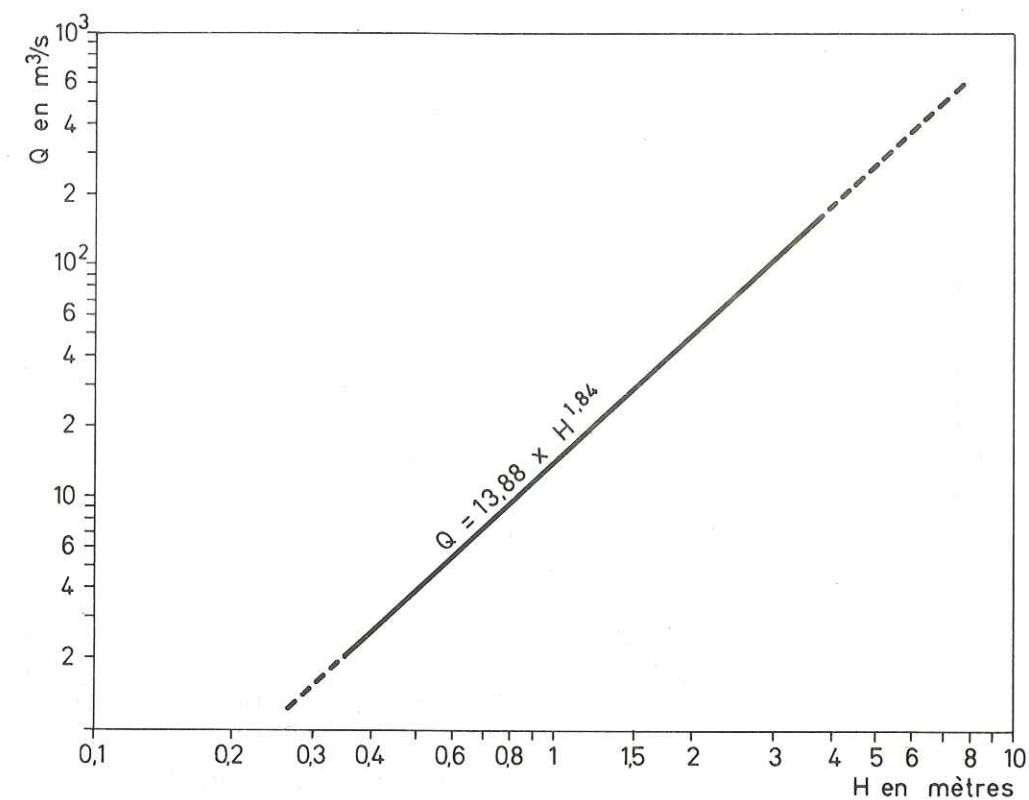


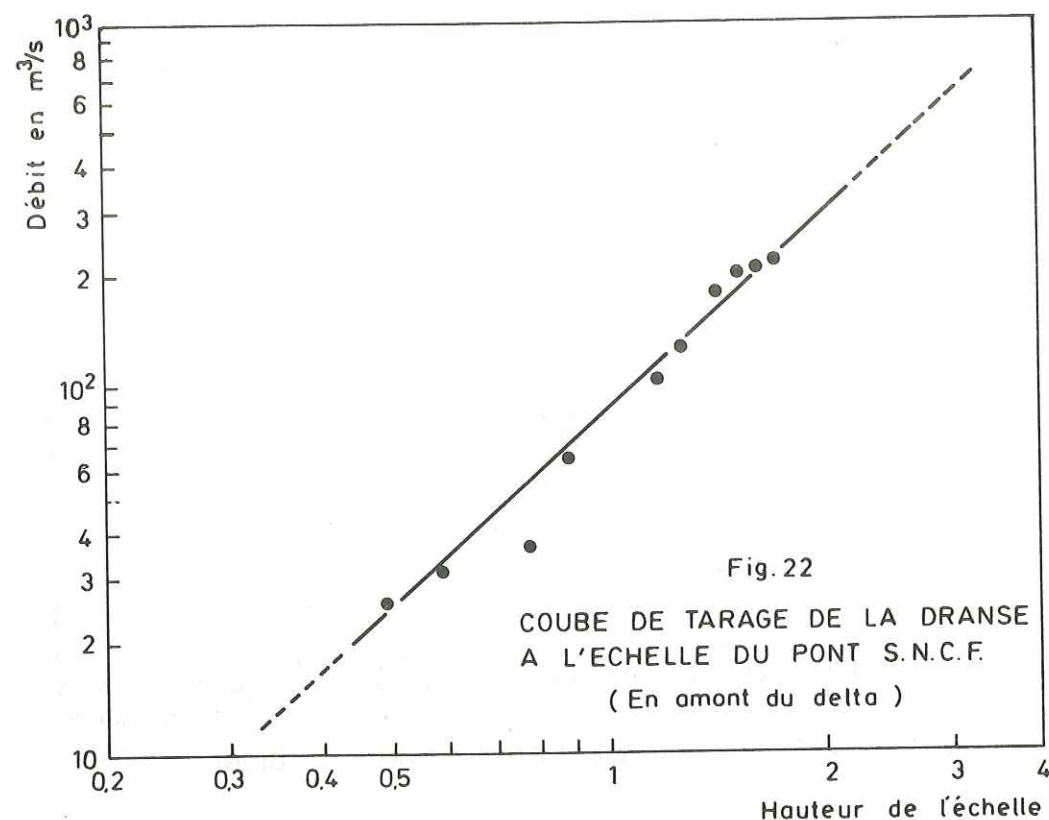
Fig. 21 : COURBE DE TARAGE (1969) DRANSE A BIOGE

Une nouvelle échelle a été fixée définitivement à cet endroit par les services des Ponts et Chaussées de Thonon, en Mars 1977. La courbe de tarage de cette "échelle de crue" située en amont du delta a pu être tracée (figure 22 et chapitre II.2.1.).

- L'autre, légèrement en aval du lieu-dit "Chez Gur", à 500 m. environ de l'estuaire de la Dranse.

Les relevés d'échelles ont été effectués périodiquement de Juin à Décembre 1976.

Les apports superficiels des versants se limitent à quelques ruisseaux en rive droite, dont le plus important est le ruisseau des Genevrières. Celui-ci prend sa source à 490 m. environ, entre Sussinges et Moruel, puis est capté dans le réseau d'eau souterrain au niveau de la RN 5 et évacué vers l'usine d'embouteillage d'Amphion (S.A.E.M.E.).



Quelques mesures de débits ont été effectuées au cours des campagnes de prélèvements, donnant les résultats suivants :

$Q = 8 \text{ l/s}$ le 4.2.76

$Q = 15 \text{ à } 20 \text{ l/s}$ le 25.2.76

$Q = 5 \text{ l/s}$ le 17.6.76

La cote du lac Léman enfin est connue grâce à l'enregistrement du limnigraphe de Thonon-C.R.G.

I.2. - Le réseau souterrain.

Un recensement des puits (industriels, d'alimentation, domestiques,...) a été effectué en Décembre 1975. Certains n'ont pas d'eau en période sèche, en particulier certains puits abandonnés ou non équipés (Thuiset, Bertrand, Rancho Brousoz,...). De plus, nous nous sommes heurtés au cours de cette étude à diverses difficultés dues aux conditions même d'utilisation et d'exploitation de ces puits (pompages, puits perdus,...).

Le réseau de surveillance de la nappe du delta a été complété en Janvier 1977 par l'implantation de 5 nouveaux piézomètres (3 en rive gauche, 2 en rive droite).

L'implantation exacte des puits et piézomètres utilisés dans le cadre de cette étude, est indiquée sur la figure 20. Il existe enfin un limnigraphe en rive droite du delta de la Dranse, en fonctionnement depuis Avril 1965 ("limni-Amphion"). Un second a été implanté le 3 Juin 1977 dans le Domaine de Ripaille, situé en rive gauche, à l'emplacement de l'un des piézomètres nouvellement créés.

Le cadre ainsi tracé pour une étude piézométrique et dynamique de la nappe d'eau souterraine, il importe auparavant d'évaluer quantitativement les apports éventuels de la Dranse. Tel est le but de l'étude débitométrique que nous allons à présent envisager.

II - ETUDE DES DEBITS ET DES RELATIONS NAPPE-RIVIERES.

II.1. - Etude des débits de la Dranse à Bioge.

Cette étude a été effectuée d'après les données de la station de Bioge (1958-1976).

II.1.1. - Débits moyens mensuels et annuels (annexe IX).

Les débits moyens mensuels et annuels ont été calculés pour la période 1958-1976 après dépouillement des données journalières.

La Dranse a un régime de type nivo-pluvial mixte avec (figure 23) :

- Un maximum principal au printemps durant la période de fonte des neiges (Mai : $36,6 \text{ m}^3/\text{s}$).

- Un maximum secondaire en Novembre correspondant aux fortes précipitations d'automne (Novembre : $18,6 \text{ m}^3/\text{s}$).

L'année 1975 est une année moyenne (débit annuel moyen : $19,2 \text{ m}^3/\text{s}$) avec 2 maxima (Mai et Novembre).

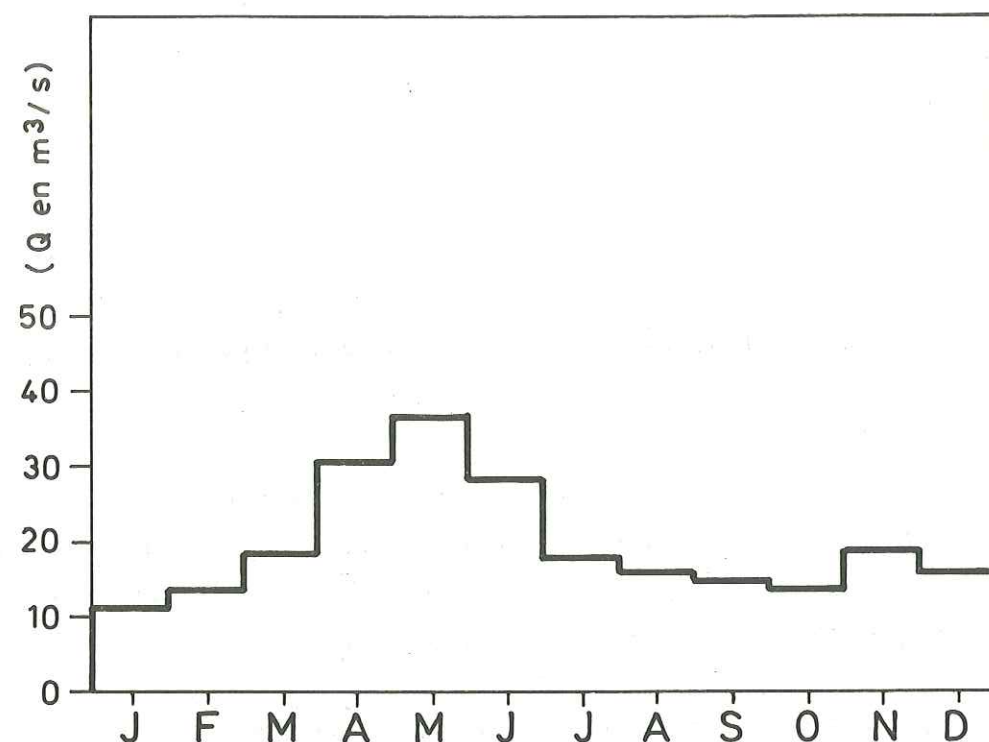


Fig. 23 : DEBITS MOYENS MENSUELS DE LA DRANSE A BIOGE (1958 - 1976) en m³/s.

L'année 1976, année peu pluvieuse, donne un débit moyen de 13,5 m³/s, l'un des plus faibles enregistrés depuis 1958 (avec l'année 1964 : 12,9 m³/s). Le maximum principal se situe en Décembre (27,8 m³/s, fortes précipitations).

II.1.2. - Débits spécifiques mensuels et annuels (annexe X).

Les débits spécifiques mensuels et annuels (en l/s/km²) ont été calculés à partir des débits moyens mensuels et annuels (en m³/s).

La superficie du bassin versant de la Dranse, fermé à Bioge, est de 495 km².

Pour les deux années d'étude, nous obtenons les débits spécifiques annuels suivants :

1975 : 38,8 l/s/km²

1976 : 27,3 l/s/km²

II.1.3. - Débits moyens interannuels.

Le débit moyen interannuel (1958-1976) de la Dranse à Bioge est de 19,6 m³/s.

Ce chiffre correspond à un débit spécifique moyen interannuel de 39,6 l/s/km².

II.1.4. - Lamé d'eau écoulée.

La lame d'eau écoulée à Bioge est équivalente à la hauteur d'une nappe répartie sur une surface horizontale égale à la surface du bassin et de volume égal au volume écoulé à la station pendant la durée de la période de référence (ROCHE M., 1963).

A l'échelle annuelle, nous pouvons écrire :

$$\text{lamé d'eau équivalente (mm)} = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/s)} \times t \text{ (s)}}{S \text{ (m}^2\text{)}} \times 10^3$$

avec $t = 1 \text{ an} = 31,6 \cdot 10^6 \text{ s}$

Soit, pour la période 1958-1976 :

$$\text{lamé d'eau écoulée annuelle moyenne} = 1 \text{ 251 mm}$$

II.2. - Evaluation quantitative des échanges nappe-rivière au niveau du delta.

Afin d'évaluer ces échanges, il était nécessaire d'envisager l'extrapolation des débits de Bioge à Vongy.

Quelques mesures de débits simultanées ont pu être effectuées en amont (Pont de Vongy) et en aval (Chez Gur) du delta.

II.2.1. - Débits de la Dranse à Vongy.

Nous avons dans un premier temps mesuré le temps de transit entre Bioge et le Pont de Vongy.

Pour cela, nous possédons les données du limnigraphe de Bioge situé en aval de l'usine électrique.

Les relevés limnimétriques ont été effectués à l'échelle du Pont S.N.C.F., situé à 200 m. en aval du Pont de Vongy, le 26 Août 1976. Le lâché du barrage du Jotty, en amont de Bioge, a débuté à 8 h 45 (figure 24). A 9 heures, le niveau de la Dranse se stabilisait pour baisser brusquement (retenue du barrage) à 12 h 45.

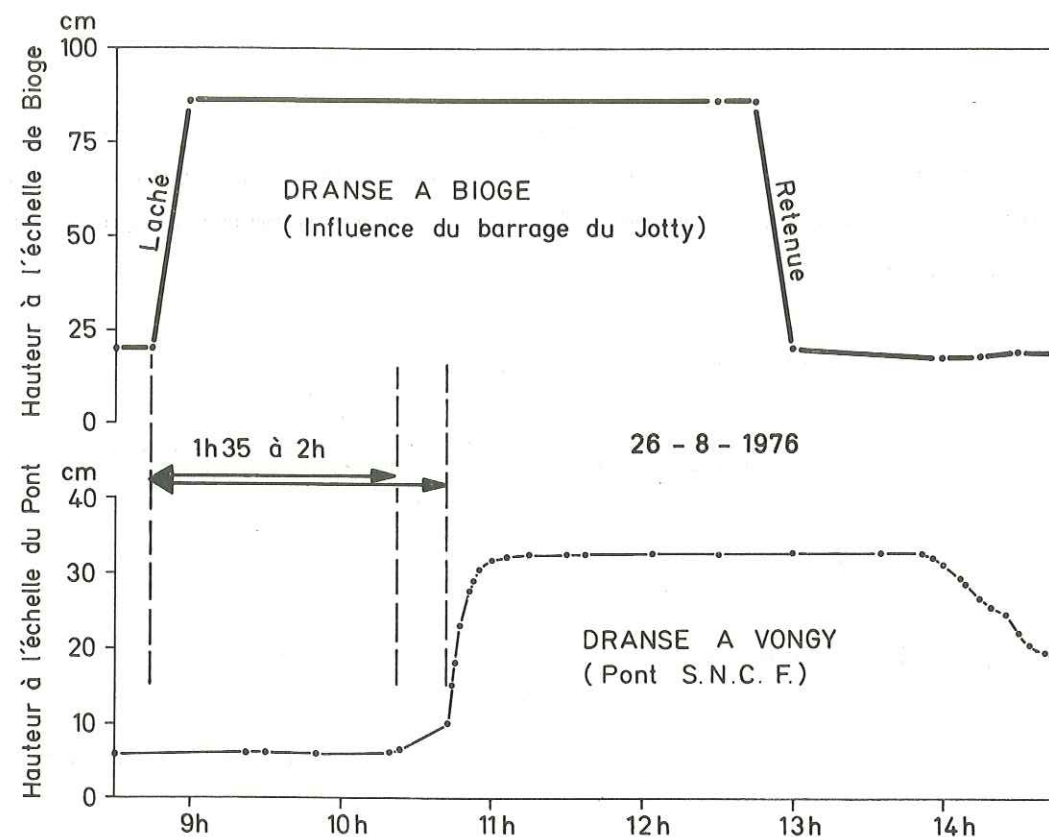


Fig. 24 : MESURE DU TEMPS DE TRANSIT ENTRE BIOGE ET VONGY (Dranse)

Ce même phénomène, a pu être observé à l'échelle S.N.C.F. (figure 24), avec un temps de décalage :

- Niveau stable jusqu'à 10 h 20.
- De 10 h 20 à 11 h : montée rapide du niveau.
- De 11 h à 13 h 50 : stabilisation.
- A partir de 13 h 50 : baisse progressive du niveau.

Par conséquent, le temps de transit entre Bioge et Vongy est, en période d'étiage, (débit moyen journalier : $2,08 \text{ m}^3/\text{s}$), de 1 h 30 environ.

Cette évaluation du temps de transit de la Dranse, pour une distance de 10 km environ, a été effectuée en période d'étiage.

Nous pouvons estimer en première approximation à 1 heure le temps de transit de la rivière en période de crue, pour le même trajet.

Afin d'opérer en régime d'écoulement naturel au niveau du delta, les relevés d'échelles sur la rivière ont été corrigés ou non selon les cas après dépouillement du limnigraphe de Bioge.

Les débits de la Dranse à Vongy peuvent alors être évalués à partir des données de Bioge, si l'on tient compte des 2 facteurs suivants :

- Le bassin versant de la Dranse fermé à Vongy représente une superficie de 530 km^2 environ (535 km^2 delta compris).

- Il existe entre Bioge et Vongy quelques ruisseaux (Maravant, Flon, Féternes, Chullien...) dont le débit moyen n'a pu être calculé.

Néanmoins, nous pouvons évaluer à 15 l/s/km^2 l'apport des ruisseaux compris entre Bioge et Vongy (18 l/s/km^2 pour la partie supérieure du bassin du Maravant, d'après J.J. JEREMIE). L'augmentation du débit moyen de la Dranse est donc de $15 \times 35 = 525 \text{ l/s}$.

Nous aboutissons ainsi aux résultats suivants pour la Dranse en amont du delta (Pont de Vongy) :

Débit moyen interannuel (m^3/s).....	20,1
Débit spécifique moyen interannuel (l/s/km^2)....	37,9
Lame d'eau écoulée moyenne interannuelle (mm)...	1 197,0
Volume d'eau écoulé moyen interannuel (10^6 m^3)..	635,0

11.2.2. - Mesures de débits :

Deux mesures de débits simultanées ont été effectuées aux points suivants (figure 25) :

- Pont de la Douceur.
- Pont de Vongy (delta amont).
- Chez Gur (delta aval).

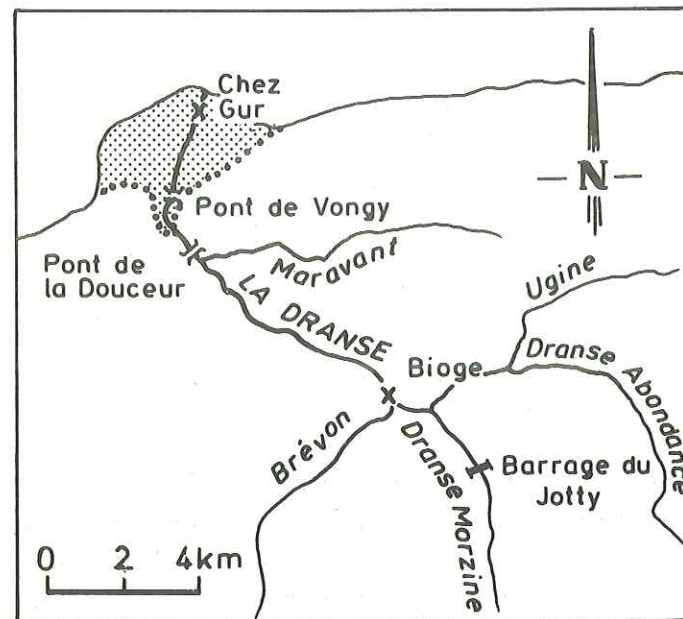


Fig. 25 : EMLACEMENT DES POINTS DE JAUGEAGE

La première a eu lieu le 7 Juillet 1976 et a donné les résultats suivants :

Point de jaugeage	Début de la mesure	Débit (m^3/s)
Bioge*		4,35*
Pont de la Douceur	7 h 15	4,43
Pont de Vongy	7 h 50	4,50
Chez Gur	8 h 35	5,27

*Données du limnigraphe + courbe de tarage.

Après lecture de l'enregistrement du limnigraphe de Bioge, il est apparu que l'écoulement en aval du delta (Chez Gur) était déjà influencé par un lâché du barrage du Jotty.

L'augmentation du débit enregistrée entre Vongy et Gur n'est donc pas due, contrairement à ce que l'on aurait pu supposer, à une alimentation de la rivière par la nappe du delta. Une seconde tentative a

donc été entreprise le 31 Août 1976. Cette fois, les résultats étaient les suivants :

Point de jaugeage	Début de la mesure	Débit (m^3/s)
Pont de la Douceur	7 h 30	3,56
Pont de Vongy	8 h 05	3,65
Chez Gur	8 h 30	3,32

Après vérification de l'heure du dernier lâché de barrage, il est apparu que les mesures avaient été faites dans des conditions analogues et non influencées.

Par conséquent, il semble donc que la rivière alimente la nappe du delta entre le Pont de Vongy et le lieu-dit "Chez Gur", situé légèrement en amont de son exutoire.

Les mêmes constatations avaient été faites en 1966, à l'issue d'une première série de débit simultanés, dont nous rappelons les résultats dans le tableau suivant (M. DRAY, 1970) :

Date des jaugeages	Débit (m^3/s)		Pertes (%)
	Pont de Vongy (amont)	Chez Gur (aval)	
29.07.1966	24,00	18,80	22
29.07	16,00	14,70	8
09.09	5,40	4,30	20
23.11	9,50	9,40	1
24.11	8,00	7,80	3
29.11	13,70	12,20	11
03.12	39,50	36,20	8
31.08.1976	3,65	3,32	9

TABLEAU 23 - Mesures de débits simultanées en amont et en aval du delta de la Dranse.

Les mesures de débits effectuées en amont et en aval du delta de la Dranse montrent donc une variation dans le sens de la diminution, allant de 1 à 22 % du débit mesuré à l'amont.

Une corrélation a été calculée pour 8 couples de valeurs, donnant les résultats suivants :

$$Q_{\text{aval}} = 0,899 Q_{\text{amont}} + 0,273 \quad (r = 0,996 ; N = 8)$$

Une étude détaillée des pertes au niveau du delta aurait peut-être permis de relier ce phénomène à un paramètre hydrologique connu (débit de la rivière, niveau piézométrique de la nappe...).

Ceci n'a pu être fait en raison du faible nombre de mesures effectuées (8) et du fait que les écarts (5 à 10 %) sont presque toujours de l'ordre des erreurs de mesure sur les débits.

L'évaluation quantitative de ce type d'apports (infiltration des eaux de surface I_Q) à la nappe, pourra être envisagée à partir du bilan hydrologique global à condition d'en connaître tous les autres termes.

A l'échelle d'un évènement averse-crue, il est également possible d'évaluer la part respective des précipitations et de la rivière dans la recharge de la nappe. Pour cela, il est nécessaire d'envisager à présent l'étude des fluctuations piézométriques de la nappe du delta de la Dranse.

III - ETUDE PIEZOMETRIQUE. SENS D'ECOULEMENT DE LA NAPPE DU DELTA DE LA DRANSE.

L'étude piézométrique de la nappe du delta de la Dranse a débuté par un recensement des différents points d'observation (figure 20) et leur nivellement si nécessaire.

Les relevés de niveaux effectués dans des conditions bien précises ont permis alors de tracer des cartes isopièzes. Nous verrons quels sont les renseignements fournis par l'interprétation de ces cartes.

III.1. - Nivellement et relevés piézométriques.

Le nivellement des différents points d'observation (puits, piézomètres) de la nappe du delta de la Dranse, s'est effectué en 2 étapes :

- En 1965, tous les puits et piézomètres existants sur le delta sont nivelés par R. RAMILLON. Géomètre expert.

- En 1976, une équipe du Centre de Recherches Géodynamiques complète les résultats antérieurs par nivellement des puits récents ou modifiés et des échelles limnimétriques posées provisoirement dans la Dranse. La précision des mesures est de l'ordre du centimètre.

Les repères ainsi nivelés sont situés schématiquement sur les figures 26 et 27.

Les mesures de niveau, effectuées à l'aide d'une sonde électrique ont été faites à partir de ces points de repère. Les jours où ces mesures ont été réalisées correspondent dans la mesure du possible aux périodes au cours desquelles les conditions d'équilibre de la nappe étaient respectées.

Nous avons vu précédemment que deux types de précautions devaient en effet être pris avant d'entamer une campagne piézométrique sur le delta de la Dranse :

- D'une part, vérifier que la nappe n'est pas en période de remontée au moment de la mesure, consécutivement à un pompage interrompu depuis peu. Le grand nombre de puits équipés de pompes amène à donner une importance particulière à cette vérification.

- D'autre part, opérer aux périodes où la Dranse n'est pas affectée par le fonctionnement du barrage du Jotty. Nous avons pu constater d'après les enregistrements du limnigraphe d'Amphion situé à 300 m. de la Dranse que la nappe n'est pas influencée par ce mécanisme (voir figure 28).

Il n'en n'est pas de même pour la rivière dans sa partie comprise entre le Pont de Vongy et son exutoire dans le lac. C'est ainsi que le 26 Août le niveau de la Dranse à l'échelle du Pont S.N.C.F. a monté de 26 cm. consécutivement à un lâché du barrage du Jotty (voir figure 24 et chapitre II.2.1.).

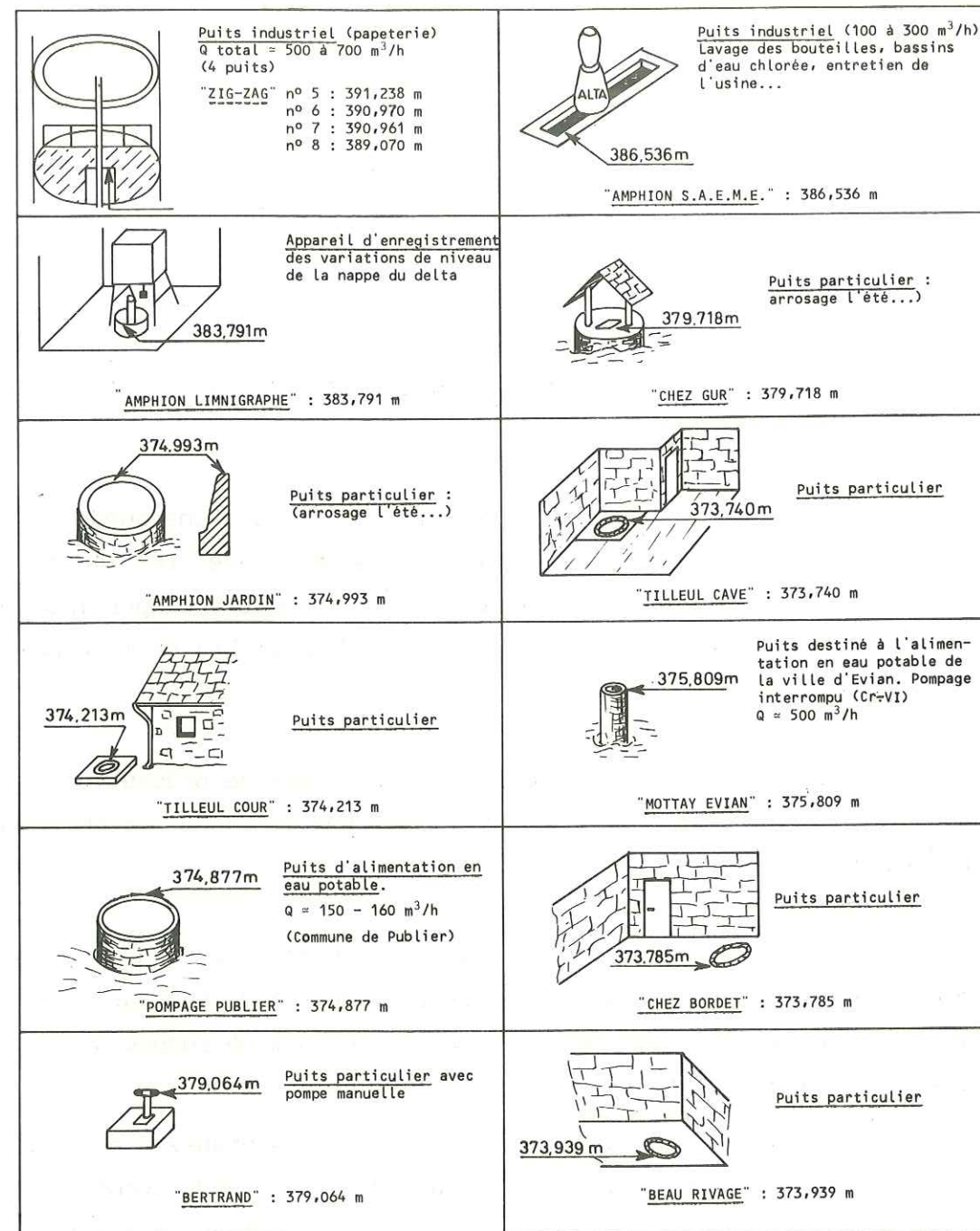


Fig. 26: NIVELLEMENT DES PUIITS (Rive droite)

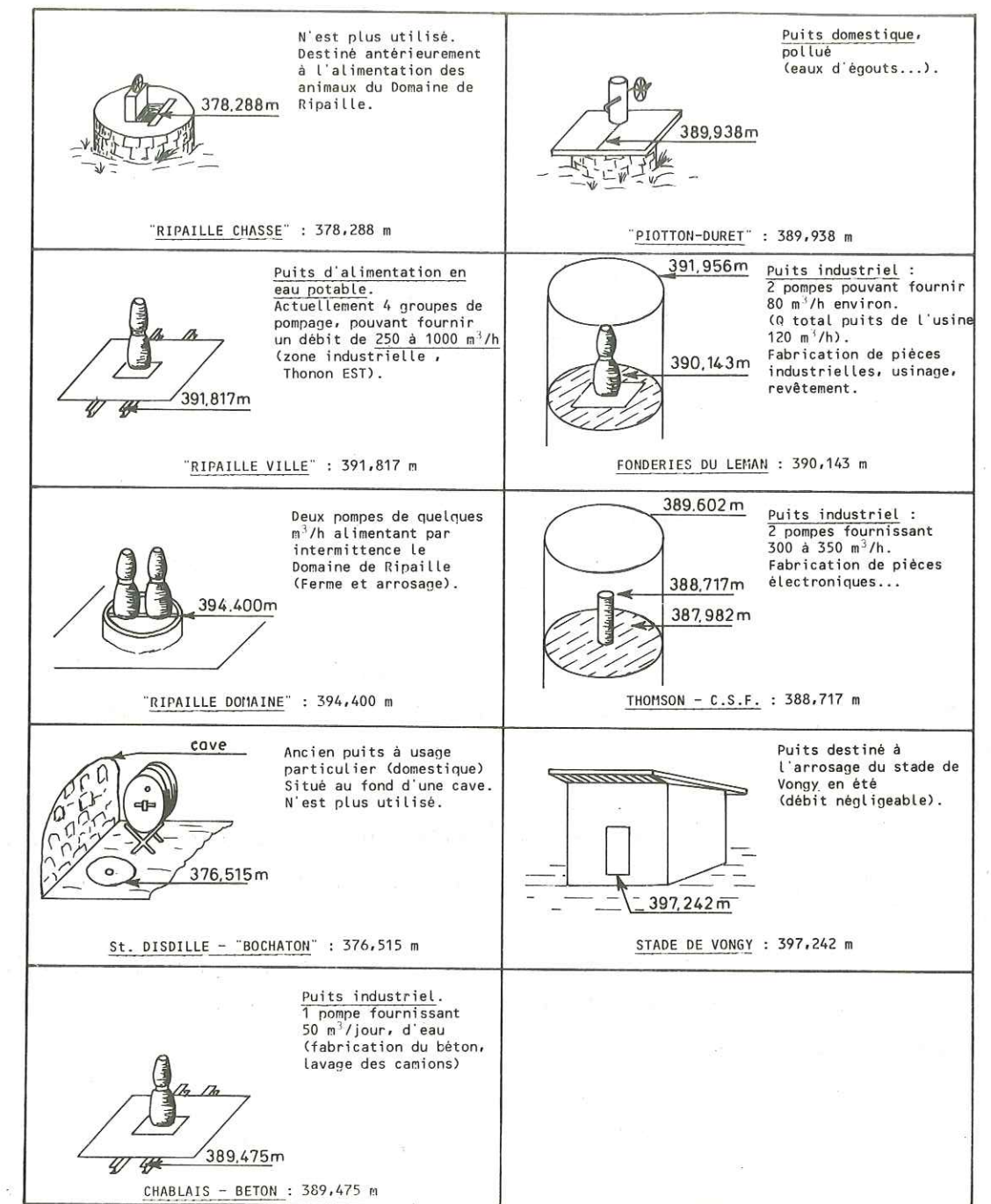


Fig. 27: NIVELLEMENT DES PUIITS (Rive gauche)

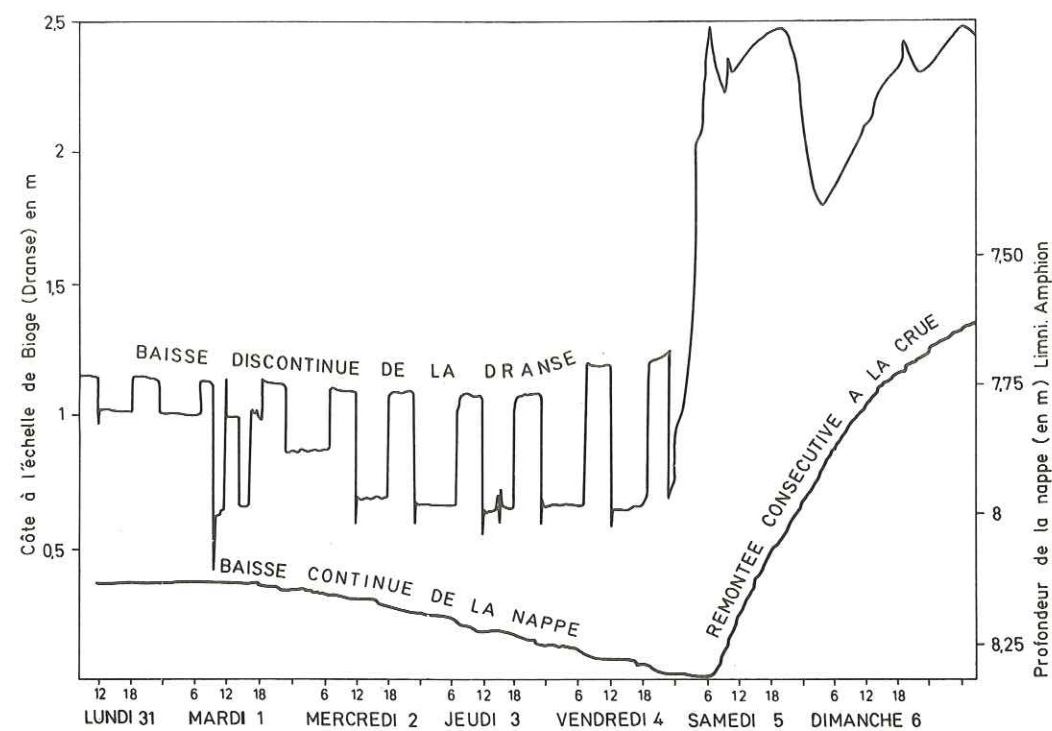


Fig.28: VARIATIONS COMPAREES DES NIVEAUX DE LA NAPPE ET DE LA DRANSE
(31 Décembre 1976 - 7 Janvier 1977)

Ces deux conditions réunies ne se présentent guère que les jours fériés durant lesquels les pompages sont *parfois* interrompus (ex. 19 Avril 1976).

Les résultats complets des différentes campagnes piézométriques figurent en annexe XI, avec la mention "Après Pompage" le cas échéant.

Les cartes isopièzes, joignant les points d'égale "altitude", vont nous permettre à présent de définir les principales caractéristiques de l'écoulement.

III.2. - Interprétation des cartes isopiézométriques (figures 29 et 30).

Celles-ci ont été tracées pour 2 périodes de l'année 1976 :

- Le 19 Avril 1976, en période d'étiage. Ce jour là, jour férié, les pompages avaient cessé pour la plupart depuis la veille au matin, soit plus de 30 heures. De plus, le barrage du Jotty n'ayant pas modifié le débit de la Dranse, celle-ci avait un débit constant de $20,0 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une hauteur à Bioge de 1,33 m.

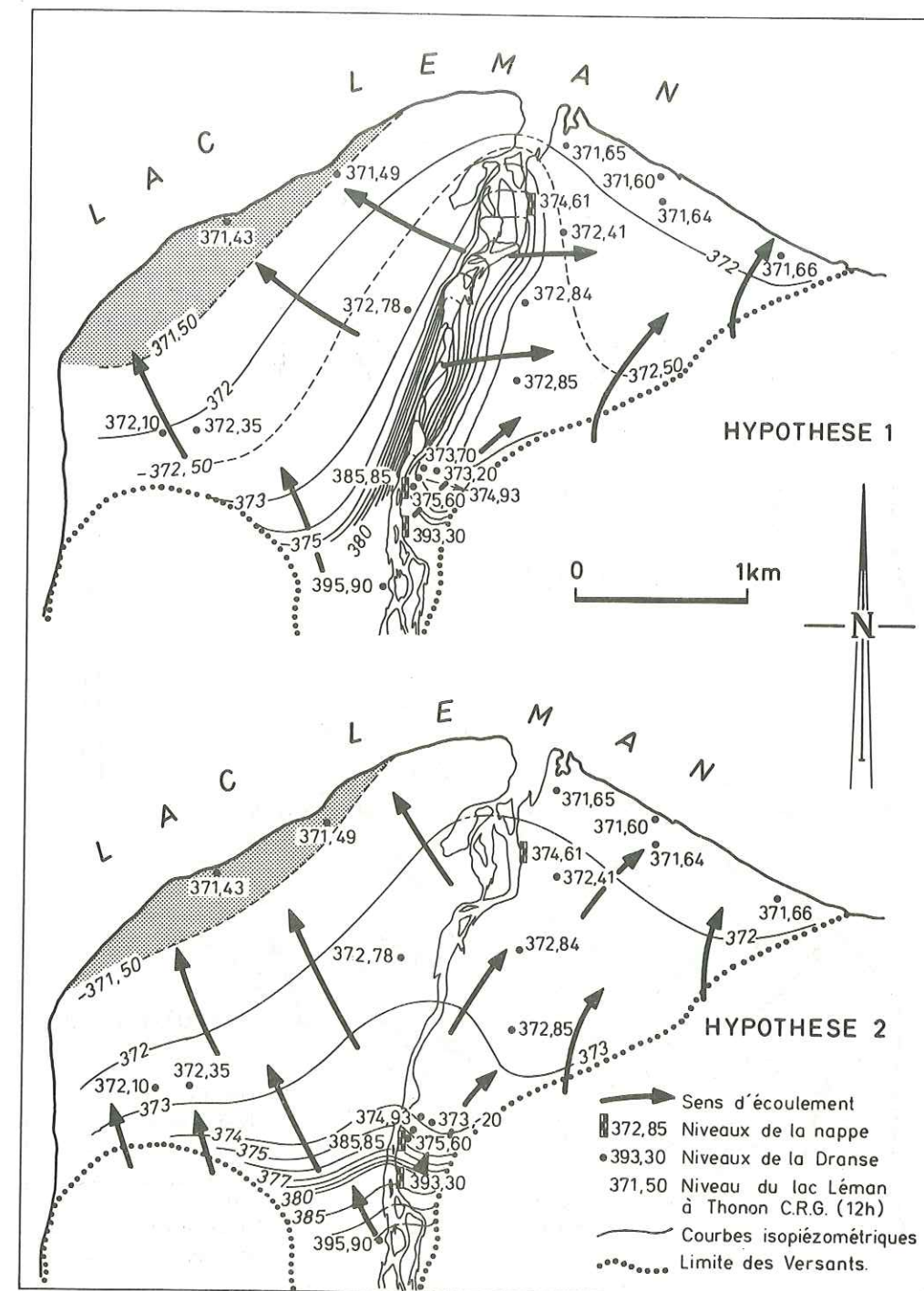


Fig.29: CARTE ISOPIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE DU DELTA DE LA DRANSE. 19 avril 1976 Etiage (14h - 15h 30)

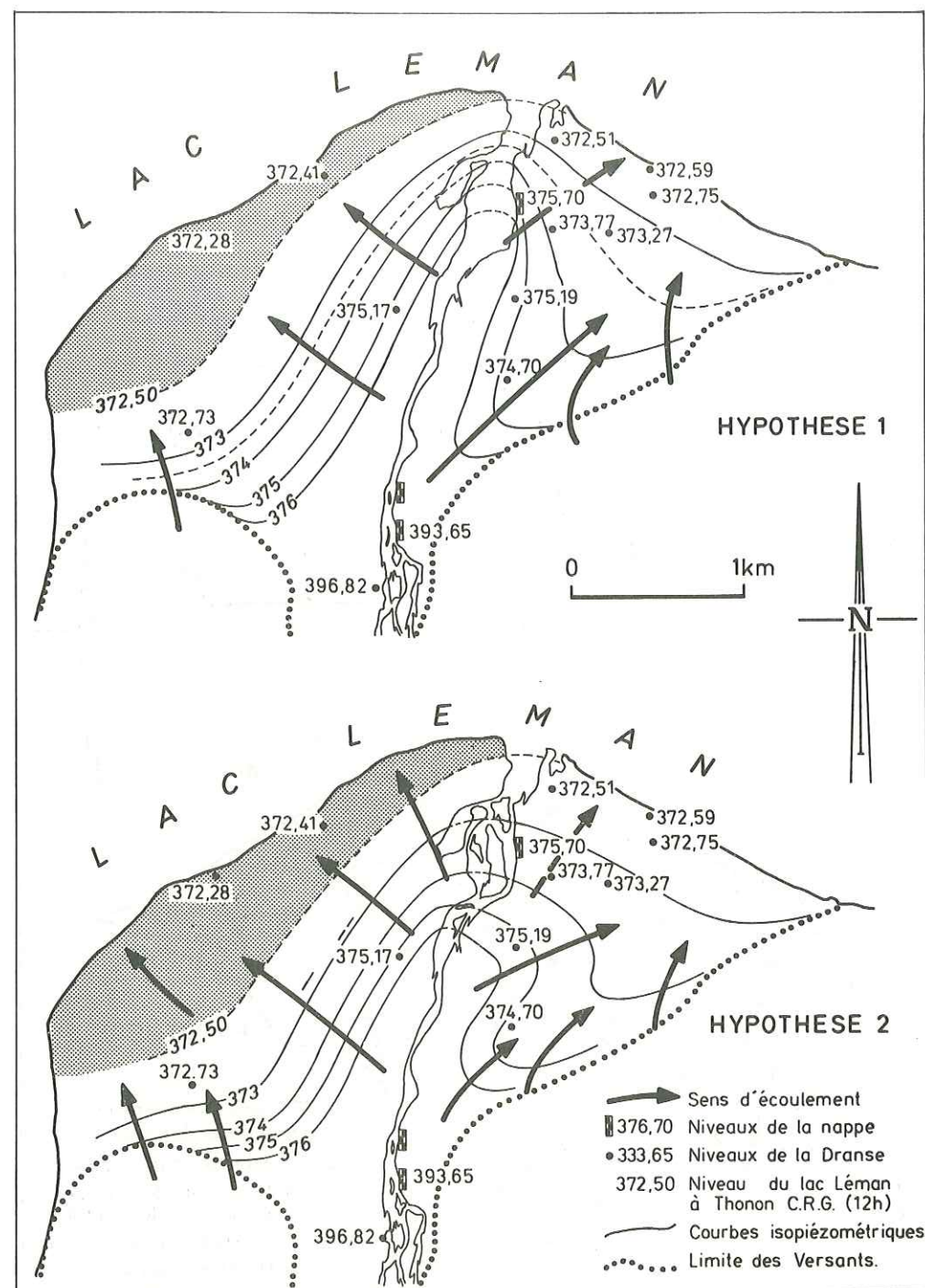


Fig.30: CARTE ISOPIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE DU DELTA DE LA DRANSE. 11 décembre 1976 (Crue 11h 5 - 12h 35)

Par conséquent, les conditions d'équilibre de la nappe se trouvaient remplies au moment des relevés piézométriques effectués entre 14 h et 15 h 30.

- Le 11 Décembre 1976, en période de crue de la nappe. La pointe maximale de crue de la rivière a été atteinte le 10 Décembre à 8 h (4,58 m. = 225 m³/s). La remontée des eaux souterraines s'est poursuivie après 12 h (début de la décrue de la Dranse), pour atteindre une cote maximale au limnigraphe d'Amphion le 13 Décembre à 7 heures.

Les relevés de niveaux ont été effectués ce même jour entre 11 h et 12 h 30. La première constatation qui s'impose à la lecture des cartes isopièzométriques est la suivante :

Aussi bien en période de crue (11.12.76) qu'en période d'étiage (19.4.76) la rivière est à une cote supérieure à celle de la nappe du delta.

Ce phénomène, qui a pu être vérifié en d'autres circonstances tout au long de l'année, apparaît en amont (Pont de Vongy) comme en aval (Chez Gur). Si l'on examine plus en détail ces cartes, on constate que la différence de niveau entre la rivière et la nappe va en s'atténuant d'amont en aval.

Par conséquent, une première direction d'écoulement s'effectue de la rivière vers la nappe. Autrement dit, la Dranse alimente la nappe du delta entre le Pont de Vongy et le Léman. Nous sommes donc en présence d'une nappe radiale à filets liquides divergents dans la direction de l'écoulement. Selon la nature des relations nappe-rivière, deux hypothèses peuvent être formulées.

Hypothèse 1.

La Dranse est en relation directe avec sa nappe d'accompagnement. Dans ce cas, les isopièzes comprises entre 385 m. et 375 m. sont quasiment parallèles au cours de la Dranse. C'est ainsi que la courbe 375 passe par la rivière au niveau de l'échelle "Chez Gur" (374,61 m. le 19 Avril) et par la nappe souterraine au niveau de l'usine Zig-Zag (374,93 m. le 19 Avril au puits n° VII).

Hypothèse 2.

La rivière serait "perchée" au-dessus de la nappe d'eau souterraine tout au moins dans sa partie amont. Dans ce cas, les isopièzes voient leur concavité toujours dirigée vers l'aval de la rivière tout en perdant leur relation avec le niveau de celle-ci. Dans cette hypothèse en effet, une discontinuité apparaît entre les deux systèmes nappe et rivière.

Ce phénomène se traduit sur les cartes isopiezométriques par 2 systèmes distincts de courbes isopiezométriques, l'un ne tenant compte que des niveaux piézométriques, l'autre raccordant ces courbes au niveau de la rivière.

Abstraction faite des relations nappe-rivière, il existe une seconde direction principale d'écoulement. Une zone d'alimentation peut être décelée en effet, marquée par les isopièzes qui s'incurvent au niveau des limites de versants. Ceux-ci alimentent donc la nappe du delta comme l'étude géologique le laissait présager.

Enfin, le lac se trouve à une cote inférieure ou très légèrement supérieure localement (rive gauche) à celle de la nappe. Il semble donc que le niveau de base de l'aquifère soit représenté par le lac.

Les analyses chimiques et isotopiques permettront de vérifier cette hypothèse, en particulier au niveau des puits de Ripaille-Chasse et St-Disdille-Bochaton où un doute peut subsister.

La figure 31 résume schématiquement les relations hydrogéologiques entre la nappe du delta d'une part, le lac Léman, la Dranse et les versants amont d'autre part, déduites de l'étude géologique, géophysique et piézométrique.

III.3. - Détermination du gradient hydraulique.

Le gradient hydraulique, ou pente, de la nappe du delta peut être déterminé sur les cartes piézométriques du 19 Avril 1976 et du 11 Décembre 1976, de la façon suivante :

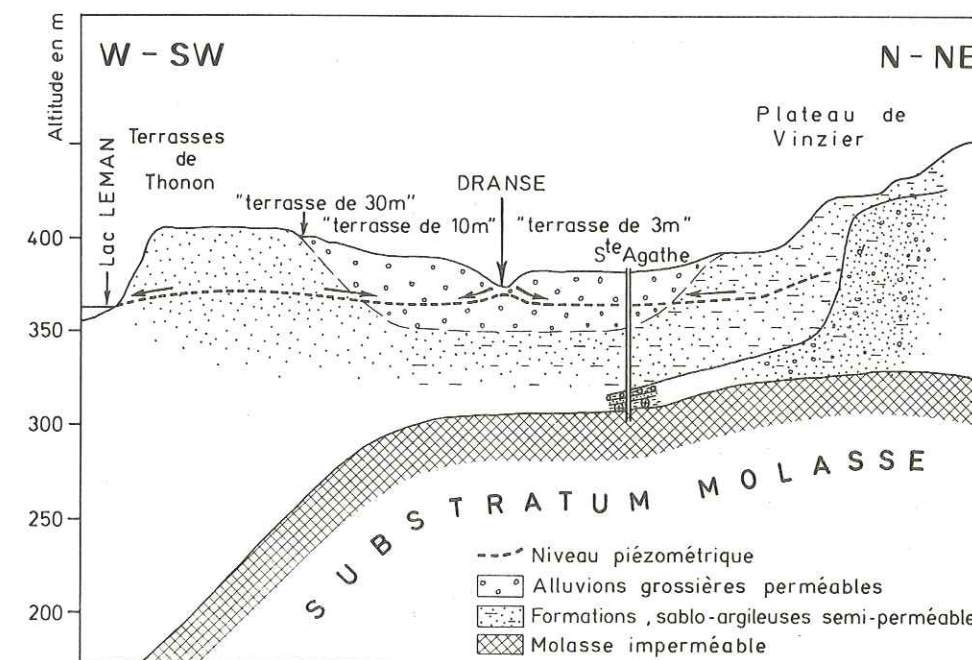
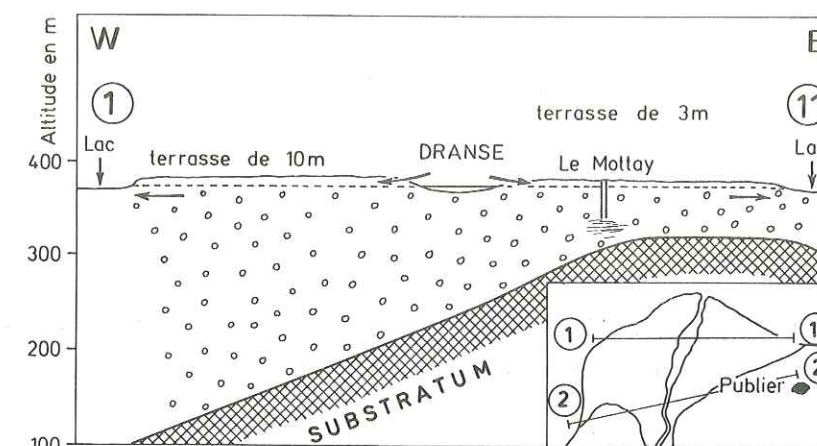


Fig.31: RELATIONS HYDROGEOLOGIQUES ENTRE LA NAPPE DU DELTA, LA DRANSE, LE LEMAN ET LES VERSANTS.

$$I = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

avec I = gradient hydraulique

$H_1 - H_2$ = différence d'altitude entre 2 niveaux piézométriques
séparés par une distance L

H_1 et H_2 sont mesurés le long d'un axe d'écoulement des eaux souterraines,
 L étant calculé d'après l'échelle de la figure (1/20 000ème).

Le tableau 24 donne quelques valeurs du gradient hydraulique
mesuré d'après les cartes isopièzes.

	19 Avril 1976 (<i>étiage</i>)		11 Décembre 1976 (<i>crue</i>)	
	Hypothèse 1	Hypothèse 2	Hypothèse 1	Hypothèse 2
RIVE GAUCHE.				
Bordure Dranse	.de 60/1000 (Vongy) à 6,25/1000 (Gur)	. 50/1000	.de 12,5/1000* à 7/1000 (Gur)	.de 4/1000* à 3,5/1000 (Gur)
Centre de la rive	.de 2,5/1000 à 2/1000	. 12,5/1000	. 5/1000	.de 10/1000 à 5/1000
Bordure Léman	. 1 à 0,7/1000	. 1/1000	. 1,25/1000	. 0,5/1000
RIVE DROITE.				
Bordure Dranse	.de 50/1000 (Vongy) à 5/1000 (Gur)	. 10/1000	.de 25/1000* à 5/1000 (Gur)	.de 6,25/1000* à 1,25/1000 (Gur)
Centre de la rive	.de 2/1000 à 0,6/1000	. 5/1000	.de 7/1000 à 1,5/1000	.de 4,25/1000 à 1,5/1000
Bordure Léman		. 0,5/1000		

TABEAU 24 - Valeurs du gradient hydraulique en période d'étiage et de crue.

* La détermination du gradient hydraulique en bordure de la Dranse, au niveau du Pont de Vongy, n'a pu être effectuée le 11 Décembre 1976. Les différents puits présents à cet endroit étant en période de pompage (Zig-Zag, Thomson, Fonderies du Léman).

Nous avons vu précédemment que la nappe du delta de la Dranse constituait un exemple de nappe radiale à filets liquides divergents (chapitre III, § 2).

Une seconde constatation importante peut être effectuée à la lecture des cartes isopièzes : l'espacement des courbes isopiézométriques augmente dans le sens de l'écoulement souterrain. Autrement dit, *le profil de dépression*, ou profil longitudinal, passant par l'un des filets liquides, est hyperbolique.

La diminution du gradient hydraulique $I = \frac{q}{T}$ dans le sens de l'écoulement est due à l'un des deux phénomènes suivants :

- Diminution du débit unitaire q .
- Augmentation de la transmissivité $T = KH$.

L'étude de la transmissivité étant envisagée plus loin (§ IV ; interprétation des pompages d'essai), nous n'envisagerons ici que les variations du débit unitaire q .

L'étude piézométrique, et les mesures de débits en amont et en aval du delta, nous ont montré que la rivière alimentait la nappe. Il existe donc une zone d'alimentation privilégiée en bordure de la rivière, à l'origine d'une augmentation locale du débit unitaire.

Cependant, cette constatation ne suffit pas à expliquer les très fortes valeurs du gradient hydraulique au niveau du Pont de Vongy (50 à 60/000). En aval du delta, ce gradient atteint en effet des valeurs nettement moins élevées (0,5 à 1,5/000).

Rappelons que l'étude géophysique nous a permis de déceler une remontée très rapide du substratum en bordure des versants.

De plus, lors d'une purge particulièrement violente du barrage du Jotty, l'eau du puits de l'usine Zig-Zag s'est trouvée brusquement chargée de limons très fins provoquant de graves problèmes d'ordre technique à l'entreprise. Si les purges du barrage sont depuis cette date plus modérées, il est possible néanmoins que les limons apportés

par la rivière provoquent en bordure de celle-ci une diminution de la perméabilité par colmatage des alluvions de la Dranse.

Dans un cas (diminution de H) comme dans l'autre (diminution de K), la transmissivité tend donc à diminuer et le gradient hydraulique à augmenter au niveau du Pont de Vongy.

L'interprétation des pompages d'essai va nous permettre à présent de déterminer quantitativement les principaux paramètres hydrogéologiques.

IV - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES ET DES FACTEURS HYDRODYNAMIQUES. INTERPRETATION DES ESSAIS DE POMPAGE.

IV.1. - Les principaux paramètres hydrogéologiques.

Leur détermination a pu être effectuée sur le terrain par l'interprétation d'essais de pompage selon la méthode de non-équilibre (transmissivité, coefficient d'emménagement). La perméabilité (K) est liée à la transmissivité (T) par la relation :

$$T = K H \quad \text{où } H \text{ représente l'épaisseur de la couche aquifère libre}$$

Au cours de l'année 1976, deux essais de pompage de longue durée ont été effectués, tous deux en rive droite du delta de la Dranse. L'interprétation des courbes de descente et de remontée du niveau d'eau utilise les expressions de *Theis et Jacob* (1942) selon la théorie préconisée du régime transitoire.

Nous rappellerons quelles sont les conditions de base requises dans l'expression générale du régime transitoire de THEIS et dans l'expression simplifiée de C.E. JACOB, appliquées à une nappe libre du type "nappe du delta de la Dranse".

Quelques essais de pompage de courte durée, dont nous donnerons les principaux résultats, avaient été réalisés antérieurement.

IV.1.1. - Pompage d'essai de la S.A.E.M.E. (18-19 Juin 1976).

Les principales caractéristiques de ce pompage sont résumées dans le tableau suivant :

Débit de pompage*	165 m ³ /h
Durée du pompage	88 200 s = 24 h 30
Profondeur initiale de la nappe	13,31 m.
Profondeur à l'issue du pompage	20,17 m.
Rabatement	6,86 m.

A partir des courbes de descente (figure 32) et de remontée (figure 33), et par application des expressions de THEIS et JACOB, nous avons pu déterminer les principaux paramètres hydrogéologiques :

$$T = 0,183 \frac{Q}{C} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (descente)}$$

$$= 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (remontée)}$$

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2 p} = 0,27 \text{ ou } 27 \%$$

$$K = \frac{T}{H} = 3,10^{-5} \text{ m/s}$$

Plusieurs remarques peuvent être effectuées à l'issue de ce pompage d'essai :

1) La pente de la droite représentative de la fonction du puits (courbes de descente et de remontée) diminue au bout d'un certain temps t_i (4800 s) déterminé graphiquement. Ce phénomène peut s'expliquer par la présence à une distance d de l'axe du puits :

- Soit d'une zone plus perméable (K) : conséquence de l'effet de puits.

* Débit évalué en mesurant le temps de remplissage (11' 03") d'une cuve préalablement volumée (30,08 m³).

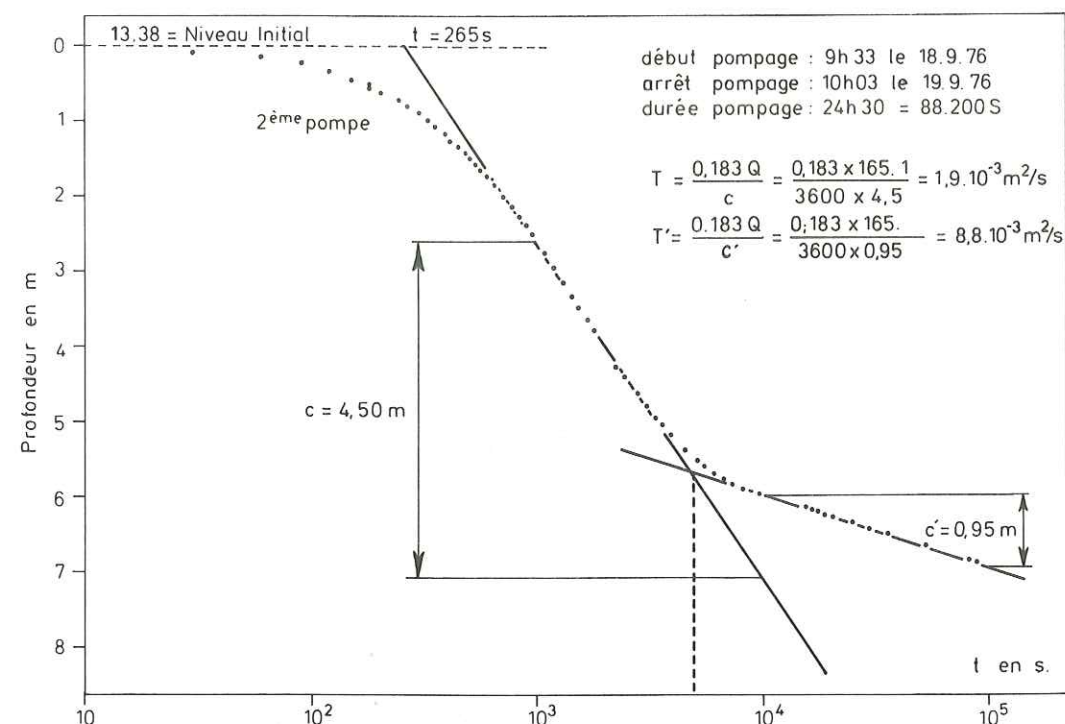


Fig. 32 : ESSAI DE POMPAGE AMPHION S. A. E. M. E. 18 septembre 1976
Descente $Q = 165 \text{ m}^3/\text{h}$

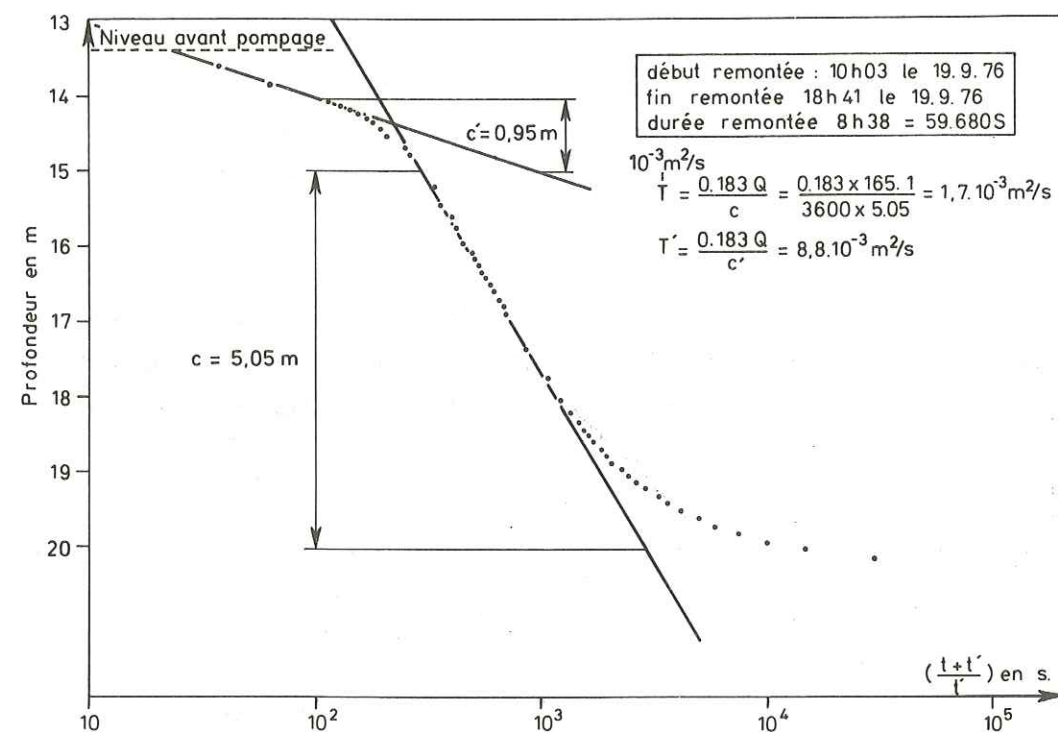


Fig. 33 : ESSAI DE POMPAGE AMPHION S. A. E. M. E. 19 septembre 1976
Remontée après pompage à $165 \text{ m}^3/\text{h}$

- Soit d'un surcreusement dans les alluvions, accroissant l'épaisseur mouillée de l'aquifère (H) : cf. géophysique.

2) Les expressions de THEIS et JACOB ne s'appliquent en toute rigueur aux nappes libres qu'à une seule condition : $s < 0,1 H$ où :

s = rabattement mesuré à la fin du pompage (6,86 m.)

H = épaisseur "mouillée" de l'aquifère (60 m. environ)

Une correction doit être introduite, la condition requise n'étant pas remplie, donnée par l'équation :

$$S_{\text{corrigé}} = S_{\text{mesuré}} - \frac{(S_{\text{mesuré}})^2}{2H}$$

Dans le cas qui nous intéresse, cette correction ne modifie pas les valeurs de transmissivité obtenues ($1,8.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$).

3) Par suite de l'effet de puits, la valeur du coefficient d'emmagasinement est une valeur par défaut. En effet, la courbe de descente du niveau d'eau doit être translatée vers le haut d'une valeur équivalente à la perte de charge consécutive à cet effet de puits, soit à Q constant :

$$DH_p = c Q^n = f(Q)$$

La valeur de t_0 est alors modifiée.

Si l'on tient compte de cette remarque, le coefficient d'emmagasinement prend une valeur corrigée de 30 %.

4) Si nous remplaçons T , t_i et S par leurs valeurs définitives dans la relation permettant de connaître la distance (d) à laquelle se situe la zone de plus forte transmissivité, nous obtenons :

$$d = 0,75 \frac{T t_i}{s}$$

$$d = 0,75 \frac{1,8.10^{-3} \times 4800}{0,30} = 4 \text{ m.}$$

L'augmentation de transmissivité constatée auparavant (remarque 1), s'effectue donc à une distance de 4 m. de l'axe du puits. Si ce phénomène est lié, hypothèse la plus probable, à une augmentation de perméabilité, deux explications peuvent être proposées :

- Il s'agit d'une conséquence de l'effet de puits.
- Il existerait à proximité du puits de la S.A.E.M.E. un drain plus perméable correspondant alors selon toute vraisemblance, à un ancien cours de la Dranse.

Arrivé à ce stade de connaissances, nous ne sommes pas en mesure actuellement de répondre à cette question (cf. chimie).

IV.1.2. - Pompage d'essai du Mottay (2 au 5 Juin 1977)
(figure 34).

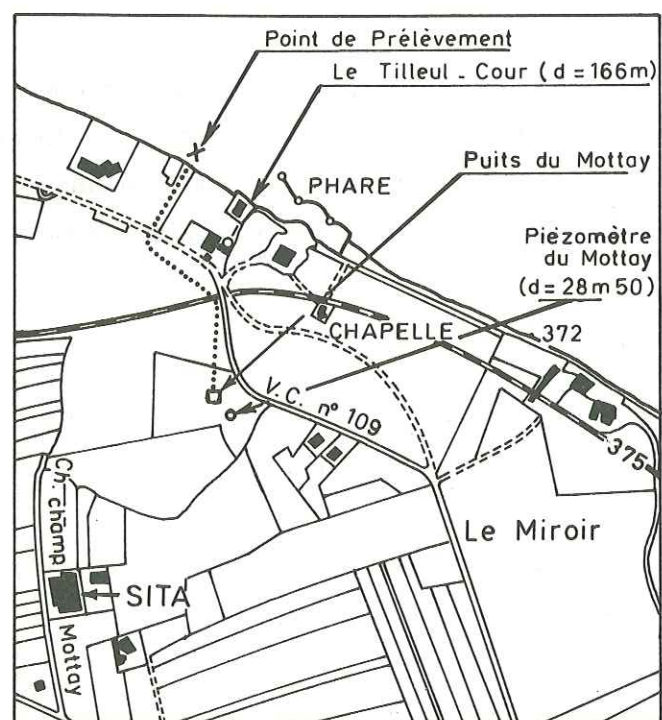


Fig. 34 :- Puits du Mottay. Plan de situation.

Ce pompage a été réalisé avec la collaboration d'étudiants de 3ème cycle. Les caractéristiques principales sont les suivantes :

Débit de pompage*	685 m ³ /h
Durée du pompage	46 h 45
Profondeur initiale de la nappe	3 m 41
Profondeur à l'issue du pompage	3 m 80
Rabatement	0 m 39

Ces chiffres correspondent au piézomètre du Mottay (distant de 28,50 m. de l'axe du puits) qui donne la meilleure estimation des paramètres hydrogéologiques de l'aquifère.

Les rabattements de la nappe ont été suivis également dans le puits ("effet de puits" prononcé) et au piézomètre du "Tilleul", distant de 165 m. de l'axe du puits (rabattement : 5 cm).

En papier log-arithmétique, la courbe de descente nous donne (figure 35) :

$$T = 0,225 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{et} \quad S = 10,2 \%$$

On remarque que la courbe s'infléchit vers le bas, ce qui correspond à une limite d'alimentation à potentiel constant : le lac qui alimente alors le puits**.

Quoique l'on n'ait pas un palier horizontal bien marqué (durée du pompage légèrement insuffisante), on peut cependant évaluer approximativement la distance du piézomètre à cette zone d'alimentation.

* Débit mesuré au micro-moulinet au lieu de déversement de l'eau pompée, dans le lac (tuyau de $\varnothing = 0,595 \text{ m}$).

** Les mesures sur le terrain de la conductivité et de la température n'ont pas permis de rendre compte d'une alimentation effective de la nappe par le lac.

01 SEP. 2003

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

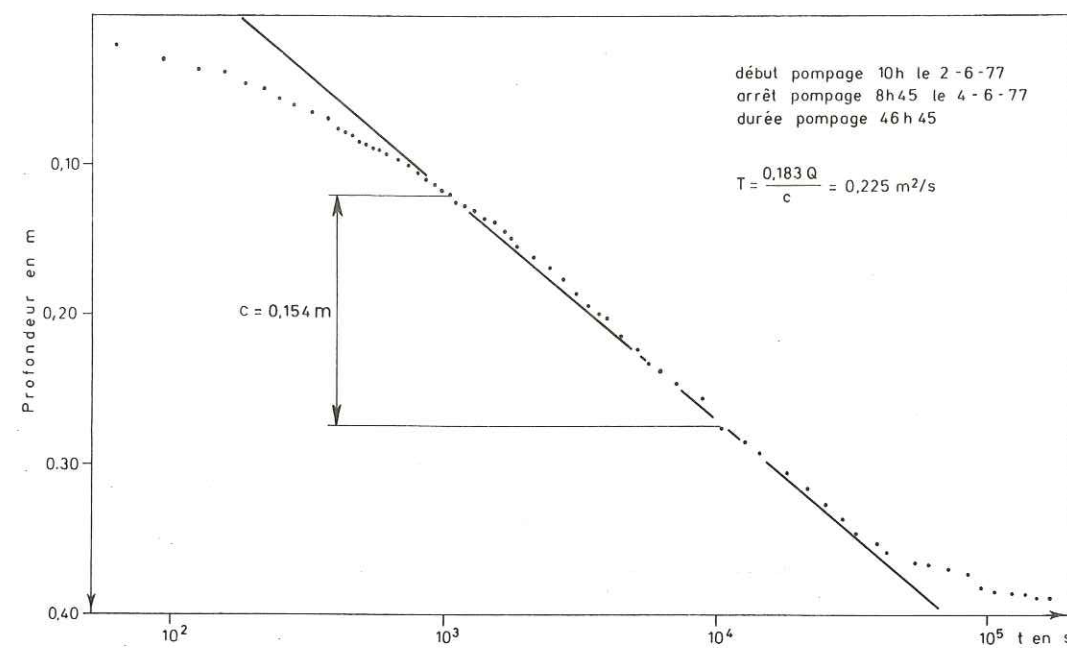


Fig. 35 : ESSAI DE POMPAGE MOTTAY - PIEZOMETRE. 2-5 juin 1977
Descente $Q = 685 \text{ m}^3/\text{h}$

On trouve alors : $d = 260 \text{ m.}$ ce qui représente bien à peu près la distance lac-piézomètre du Mottay.

De la même façon, la courbe de remontée du piézo. du Mottay donne (figure 36) : $T = 0,23 \text{ m}^2/\text{s}.$

Dans le puits du Mottay, on obtient :

$T = 0,22 \text{ m}^2/\text{s}$ (descente) et $0,20 \text{ m}^2/\text{s}$ (remontée)

Au piézomètre du "Tilleul" enfin, la transmissivité est supérieure ($0,89 \text{ m}^2/\text{s}$), mais la distance le séparant du puits de pompage (165 m.) était trop importante pour obtenir un rabattement suffisant (5 cm. seulement).

IV.1.3. - Essai de courte durée de Ripaille-Ville.

Deux essais de courte durée ont donné les valeurs suivantes de transmissivité :

$T \approx 8.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	1968	(M. DRAY)
$T \approx 9,6.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$	29.09.76	$Q \approx 220 \text{ m}^3/\text{h}$ (figure 37)

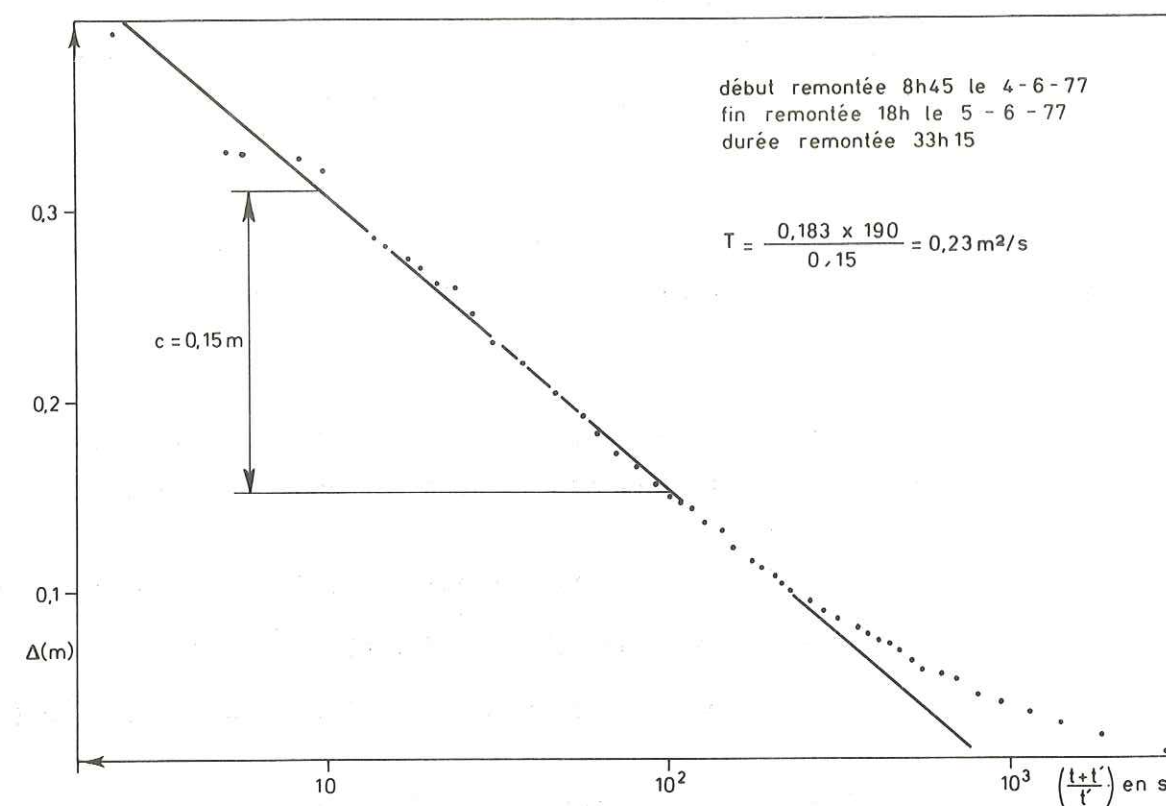
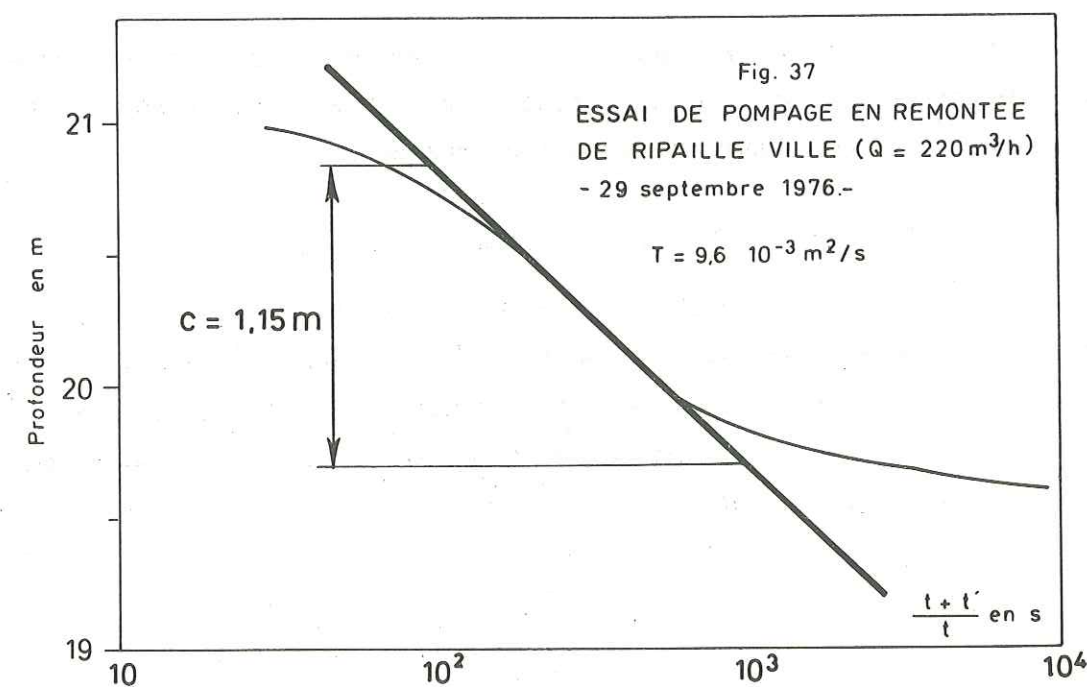


Fig. 36 : ESSAI DE POMPAGE MOTTAY - PIEZOMETRE. 2-5 juin 1977
Remontée après pompage à $685 \text{ m}^3/\text{h}$.



Les valeurs de transmissivité obtenues au puits de Ripaille sont donc supérieures à celles obtenues au puits de la S.A.E.M.E. ($1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), ce qui peut se traduire, à puissance d'aquifère égale, par une meilleure perméabilité des terrains en rive gauche qu'en rive droite.

Néanmoins, il n'est pas impossible que cette différence soit liée à une plus grande épaisseur d'alluvions en rive gauche, où le substratum n'a encore jamais été atteint, qu'en rive droite (cf. géophysique : $K = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ à Ripaille-Ville pour 200 m. d'épaisseur d'aquifère).

En résumé, nous adopterons pour la suite de cette étude et la détermination du bilan hydrologique, les valeurs moyennes suivantes :

$$T = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (delta amont) à } 20 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (delta aval)}$$

$$S = 30 \% \text{ (delta amont) à } 10 \% \text{ (delta aval)}$$

$$K = 3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \text{ (delta amont) à } 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \text{ (delta aval)}$$

IV.2. - Les facteurs hydrodynamiques : évaluation des apports (par les versants) et des sorties (vers le lac) annuels.

Il existe une méthode simple permettant d'évaluer quantitativement ces deux termes du bilan hydrologique, basée sur la détermination du débit d'écoulement traversant une section fictive (courbe isopièze par exemple).

Le gradient hydraulique ayant été déterminé à partir des cartes isopiézométriques (voir § III.3.), nous dirons auparavant un mot de la vitesse réelle d'écoulement des eaux souterraines.

IV.2.1. - Calcul de la vitesse réelle d'écoulement.

Celle-ci, fonction de la perméabilité K , du gradient hydraulique I et de la porosité efficace m_e (égale au coefficient d'emménagement S) va varier considérablement d'un point à un autre. A titre d'exemple, le calcul effectué à l'emplacement des puits de la S.A.E.M.E. et du Mottay, donne les résultats suivants :

$$VE \text{ (m/s)} = \frac{K \text{ (m/s)} I}{m_e}$$

. Puits de la S.A.E.M.E. :

$$VE \approx \frac{3 \cdot 10^{-5} \times 1/720}{0,3} \approx 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s} \approx 4,4 \text{ m/an}$$

. Puits du Mottay :

$$VE \approx \frac{3,2 \cdot 10^{-3} \times 1/800}{0,1} \approx 4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \approx 1 \text{ 265 m/an}$$

L'importance des écarts enregistrés entre les parties amont et aval du delta s'explique par les différences de perméabilité déjà notées (cf. § IV.1.3.). Les conséquences de ce résultat dans le domaine de la qualité des eaux peuvent être fondamentales (vitesse de propagation des pollutions par exemple).

IV.2.2. - Calcul du débit unitaire et du débit d'écoulement.

Le débit unitaire q est le débit traversant pendant l'unité de temps (1 seconde), l'unité de dimension de la couche aquifère prise comme référence : surface (en m^2), largeur ou puissance (en m.) (G. CASTANY, 1968).

En posant $q = KHI$ (loi de Darcy) nous pouvons calculer le débit unitaire traversant une section unitaire fictive comprise sur une courbe isopièze. Par intégration des débits unitaires successifs, nous obtenons alors le débit d'écoulement traversant l'ensemble de la section considérée, soit :

$$Q = K H I L$$

Le calcul suivant a été effectué le long de la courbe isopièze 373 m. (figure 38 et tableau 25), en prenant une largeur unitaire de 0,5 km.

Section unitaire	$\bar{H}$ (m)	$\bar{I}$	$q = K \bar{H} \bar{I}$ ($m^3/s/m$) $\times 10^{-6}$
A B	200	1/210	28,60
B C	170	1/270	18,90
C D	130	1/340	12,50
D E	100	1/450	6,66
E F	65	1/580	3,36
F G	60	1/925	1,94
G H	60	1/720	2,50
H I	50	1/470	3,20
I J	50	1/290	5,18

TABLEAU 25 - Détermination du débit d'écoulement traversant une section fictive (isopièze 373 m.).

La courbe a été divisée en 9 sections de largeur équivalente. Pour chacune d'elles, les paramètres suivants ont été évalués :

- $\bar{H}$ puissance moyenne de l'aquifère, d'après les cartes en courbes isopiézo-métriques et en courbes isohypses du toit du substratum (cf. géophysique).

- $\bar{I}$, gradient hydraulique moyen, d'après les cartes en courbes isopiézo-métriques.

- K , perméabilité, a été pris égale à $3 \cdot 10^{-5}$ m/s (cf. données des essais de pompage). Par intégration des débits unitaires le long de la courbe 373 m., nous obtenons le débit d'écoulement Q transitant à la verticale de cette section fictive, de la façon suivante :

$$Q = \int_{AB}^{IJ} dq \cdot L \quad \text{avec } L = 500 \text{ m.}$$

Soit $Q = 41$ l/s.

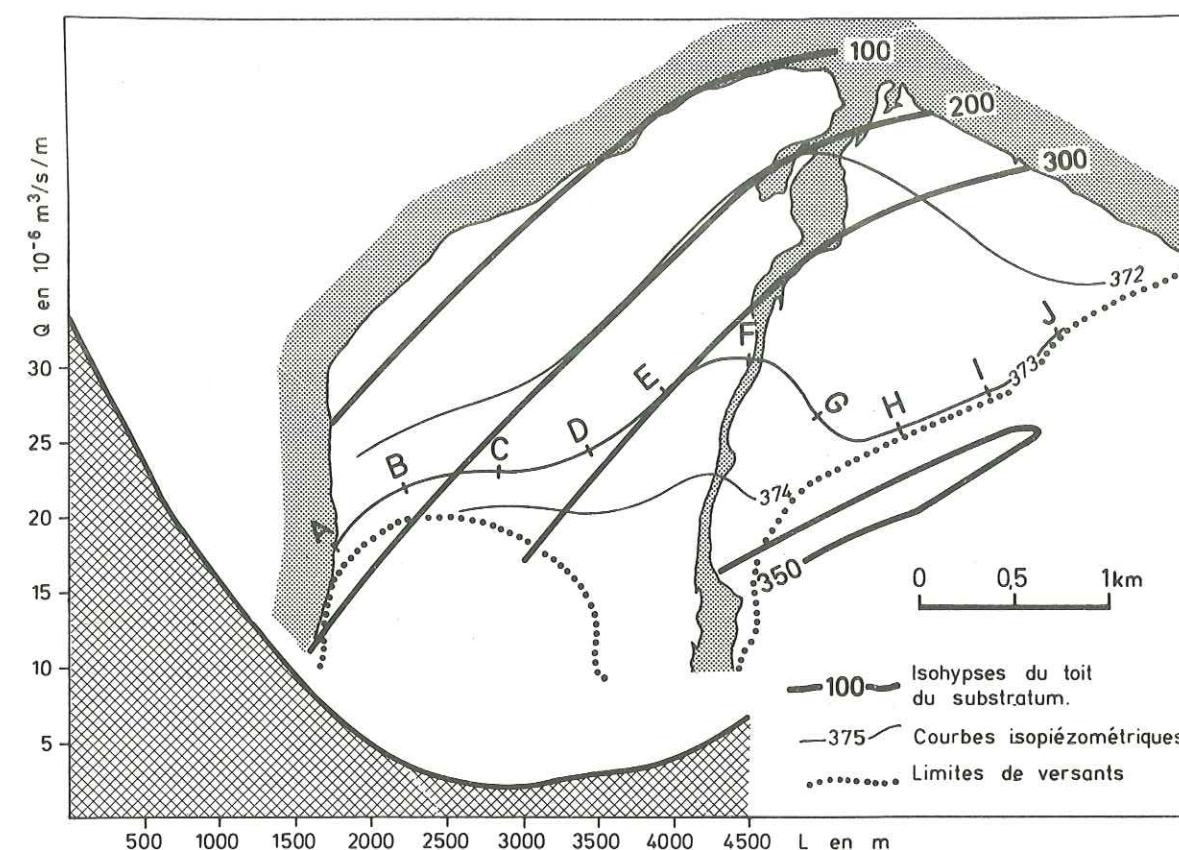


Fig.38 : DETERMINATION DU DEBIT D'ECOULEMENT PAR APPLICATION DE LA LOI DE DARCY

Nous avons, de la même façon, évalué le débit de la nappe au front des versants, soit 14 l/s. En bordure du lac, le débit unitaire de la nappe peut s'exprimer de la façon suivante :

$$q \text{ (l/s)} = \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (\text{formule de G.N. KAMENSKI, 1933})$$

$$\text{avec } \frac{H_1 - H_2}{L} = I = \text{gradient hydraulique}$$

$$\frac{h_1 + h_2}{2} \text{ (m)} = \text{épaisseur moyenne de l'aquifère dans le cas où le substratum est incliné}$$

$$K_{(m/s)} = \text{perméabilité}$$

Après intégration, nous obtenons un débit de 64 l/s représentant les sorties de la nappe en direction du lac Léman. Ces valeurs instantanées de 14 et 64 l/s peuvent être étendues à l'échelle annuelle, en posant les approximations suivantes :

- Les variations de niveau de la surface piézométrique sont négligeables par rapport à "l'épaisseur mouillée" de l'aquifère. Cette dernière étant supérieure à 50 m., l'approximation est vérifiée.

- Le gradient hydraulique unitaire I est constant dans le temps. Malgré une légère différence entre les périodes de crue et d'étiage, cette hypothèse peut être également conservée.

Nous retiendrons donc les résultats suivants :

- $Q_{sout.} = 0,45.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, ce qui représente les apports annuels des versants à la nappe du delta.

- $Q'_{sout.} = 2.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, représentant les sorties annuelles de la nappe en direction du lac Léman.

L'étude des variations des niveaux piézométriques à diverses échelles de temps va nous permettre à présent d'évaluer la variation des réserves en eaux souterraines, autre terme essentiel du bilan hydrologique.

V - DYNAMIQUE DE LA NAPPE. VARIATIONS DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES.

L'étude des variations des niveaux piézométriques va nous permettre :

- De vérifier l'influence des principaux facteurs de l'alimentation naturelle de la nappe (Dranse, précipitations).

- De contrôler l'évolution de la nappe d'eau dans son cadre naturel d'alimentation et d'exploitation.

V.1. - Les variations naturelles de la surface piézométrique.

Les données dont nous disposons sont de 2 types :

- Données continues fournies par le limnigraphe d'Amphion depuis 1965.

- Données discontinues des campagnes piézométriques effectuées en 1976.

Il est possible de distinguer les variations naturelles *cycliques* (annuelles ou saisonnières) et celles de *courte durée* (à l'échelle de la crue par exemple).

V.1.1. - Variations cycliques en relation avec le mode d'alimentation de la nappe.

Nous avons vu que les précipitations et la Dranse alimentent conjointement la nappe du delta et que le lac sert de niveau de base à celle-ci.

Sur la figure 39, sont reportés les enregistrements des appareils suivants :

- Limnigraphe d'Amphion pour la nappe du delta de la Dranse. Certaines pointes de crue n'ayant pu être enregistrées (Décembre 1968, Septembre 1975), le dispositif simple a été remplacé en 1976 par un système à renversement.

- Limnigraphe de Bioge pour la rivière. Celui-ci enregistre les fluctuations, naturelles et artificielles (liées au fonctionnement du barrage du Jotty), de la Dranse.

- Limnigraphe du Lac Léman et pluviographe CERF du Centre de Recherches Géodynamiques.

Il est possible à présent d'étudier simultanément les variations du niveau piézométrique de la nappe, de la pluviométrie, de la Dranse et du lac.

Nous n'envisageons ici que les fluctuations annuelles et saisonnières.

a) A l'échelle annuelle.

Le tableau 26 permet de comparer les principaux résultats de l'étude hydroclimatologique (précipitations, évapotranspiration) et hydrologique (débits de la Dranse et infiltration des eaux de surface), aux fluctuations annuelles du niveau piézométrique de la nappe.

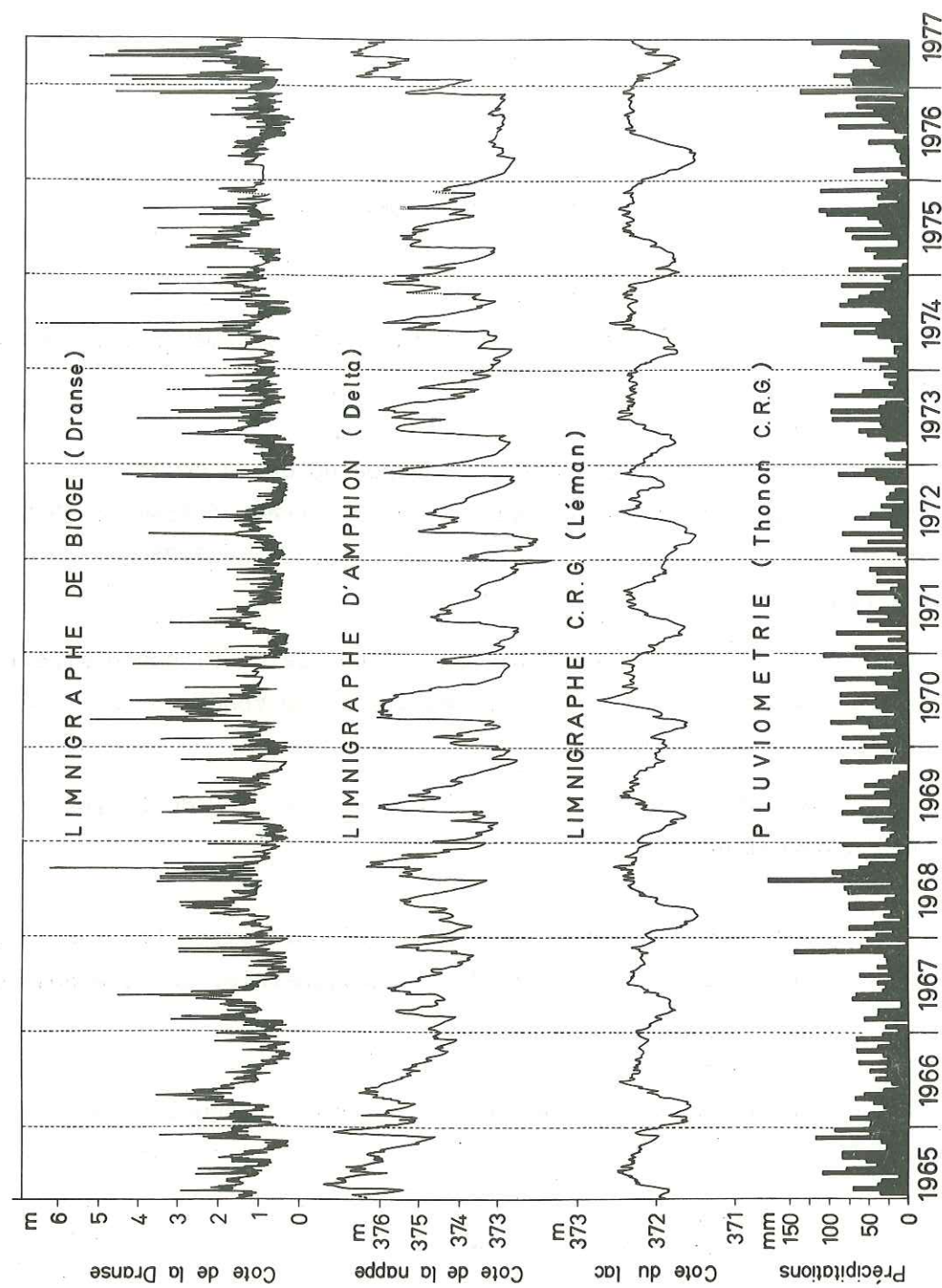


Fig. 39 : VARIATIONS DE NIVEAUX COMPAREES (Nappe, Dranse, Lac) ET DE LA PLUVIOMETRIE

Année	$\bar{P}$ (mm)	$\bar{P} - \bar{ET}_p$ (10^6 m^3)	$\bar{Q}$ (m^3/s)	$\bar{I}_Q$ (10^6 m^3)	Côte maximale minimale (m)	Amplitude (m)
1965	1 178	12,10	21,90	75,60	377,40 374,52	2,88
1966	1 026	9,90	26,80	92,60	376,50 374,00	2,50
1967	969	9,00	18,00	62,40	375,76 373,58	2,18
1968	1 183	12,20	23,70	82,20	376,30 373,24	3,06
1969	841	6,60	17,40	60,40	376,02 372,46	3,56
1970	1 077	11,10	26,50	91,60	376,10* 372,66	3,44
1971	733	5,50	13,60	47,20	374,72 371,60	3,12
1972	774	6,60	15,70	54,10	375,88 372,56	3,32
1973	818	6,00	14,70	50,60	376,02 372,66	3,36
1974	991	8,80	17,20	59,70	375,90 372,60	3,30
1975	997	8,40	19,20	66,60	375,60* 373,04	2,56
1976	800	6,20	13,50	46,80	375,60 372,55	3,05
Moyenne (1965-1976)	949	8,50	19,00	65,80	375,98 372,96	3,03

TABEAU 26 - Variations annuelles du niveau piézométrique en relation avec les principaux facteurs de l'alimentation de la nappe.

* Valeurs estimées, car non enregistrées par le limnigraphe.

A l'échelle annuelle, le niveau piézométrique de la nappe du delta suit d'assez près le rythme des précipitations sur l'ensemble de son impluvium (voir figure 39). Il en est de même pour le débit de la Dranse, bien que celui-ci corresponde à un bassin versant 30 fois plus grand.

Les niveaux minimums (étiages) de la nappe varient d'une année à l'autre de la façon suivante :

- Baisse de 1965 à 1971, année où le minima absolu est enregistré (371,60 m.) avec cependant une légère remontée en 1970 liée aux plus fortes précipitations enregistrées (1 077 mm).

- Augmentation en 1972 puis stabilisation jusqu'en 1976, année au cours de laquelle le niveau d'étiage s'est prolongé durant plusieurs mois consécutivement aux faibles précipitations enregistrées.

L'amplitude annuelle, différence entre les 2 cotes extrêmes relevées, varie de 2,18 m. (1967) à 3,56 m. (1969) pour une valeur moyenne de 3,03 m. (période 1965-1976).

Le niveau du lac présente une cote maximale et une cote minimale remarquablement constantes en dehors des années bissextiles (1968, 1972 et 1976) :

- Cote maximale : 372,50 m. $\pm$ 0,20.

- Cote minimale : 371,68 m. $\pm$ 0,10.

L'explication de ce phénomène réside dans le fait que le niveau du lac est régularisé par la présence d'un barrage à son exutoire (Genève). De plus, le niveau est abaissé artificiellement tous les 4 ans afin de permettre divers travaux d'entretien des rives. La cote minimale est par conséquent plus basse en 1968 (371,48 m.), 1972 (371,52 m.) et 1976 (371,51 m.).

L'amplitude des variations annuelles du lac, donc du niveau de base de la nappe, est de 1 m. en moyenne.

En 1971, un étiage exceptionnel apparaît au cours duquel la surface piézométrique de la nappe se trouve momentanément sous le niveau

du lac (18-21 Décembre 1971). C'est ainsi que le 21 Décembre, la cote de la nappe (371,60) se trouvait nettement inférieure à celle du lac (371,91). Il est donc possible qu'en période de basses eaux, l'écoulement des eaux souterraines soit nul et que le lac alimente partiellement la nappe du delta de la Dranse.

Il existe donc une indétermination qui n'a pu être levée faute de prélèvements à l'époque considérée.

b) A l'échelle saisonnière.

Rappelons dans un premier temps les principaux résultats obtenus jusqu'à présent :

- *La répartition mensuelle des précipitations* est caractérisée par deux maximas : Août et Novembre avec respectivement 12 % et 11,5 % des précipitations annuelles. Les mois les moins pluvieux sont ceux de Décembre, Janvier et Octobre avec 6 % des précipitations annuelles chacun.

- *La répartition mensuelle des débits moyens de la Dranse* montre également deux maxima, dont l'un (Mai = période de fonte des neiges) avec 15,6 % du débit annuel, est très marqué. Le maximum secondaire de Novembre, lié aux fortes précipitations de ce mois, ne représente que 8 % du débit annuel, soit moins que Avril et Juin et autant que Mars et Juillet.

Ce bref rappel permet d'expliquer l'alternance des périodes de basses eaux (étiage) et de hautes eaux de la nappe du delta de la Dranse (figure 39).

L'année hydrologique moyenne commence début Novembre et s'achève fin Octobre, en période de basses eaux de la rivière (Annexe IX) et de faible pluviométrie (tableau 15).

Les fortes précipitations de Novembre provoquent une brève remontée des eaux souterraines (1er maximum). Par la suite, les précipitations étant bloquées sous forme de neige, la recharge de la nappe est interrompue. Il y a vidange de celle-ci et apparition d'un second niveau d'étiage en Mars. Il arrive parfois que le minimum de Mars soit plus accentué que celui d'Octobre-Novembre (cas des années 1974-1975). Avec la

fonte des neiges et une reprise des précipitations, le niveau piézométrique de la nappe remonte pour atteindre un second maximum en Mai. En été, les fortes valeurs de l'évapotranspiration (le plus souvent supérieures aux précipitations) font que la recharge s'interrompt de nouveau. Le niveau baisse alors de façon régulière jusqu'à la reprise des précipitations de Novembre-Décembre.

Nous pouvons résumer, sous forme de tableau, ce qui vient d'être dit (tableau 27) :

Basses eaux	Hautes eaux
Octobre-Novembre P - ET_p faible à moyenne Q faible	Novembre-Décembre P - ET_p forte (fortes précipitations) Q moyen
Février-Mars P - ET_p faible à moyenne Q faible	Mai-Juin P - ET_p forte à moyenne Q fort (fonte des neiges)

TABEAU 27 - Répartition saisonnière des périodes de hautes eaux et basses eaux de la nappe du delta.

Il apparaît important de noter que la nappe du delta a retrouvé en 1977 une cote qu'elle n'avait pas atteinte depuis 10 ans (376,50 m.). Ceci peut s'expliquer par l'importance des précipitations tombées entre début Décembre (1976) et fin Février (1977), à savoir 458 mm., en 3 mois.

L'étude des variations cycliques annuelles et saisonnières du niveau piézométrique nous a permis de déterminer le rythme des périodes de recharge et de vidange de la nappe du delta.

L'unique enregistrement du limnigraphe d'Amphion ne permet pas néanmoins d'évaluer l'évolution des réserves en eaux souterraines de l'aquifère. C'est pourquoi les fluctuations de la surface piézométrique sur l'ensemble du delta ont été suivies en période d'alimentation naturelle (crue) de la nappe. C'est cette étude qui fait l'objet du paragraphe suivant.

V.1.2. - Variations de courte durée. Exemple de la crue de Décembre 1976.

Durant l'année 1976, une seule crue importante s'est produite, consécutive à d'importantes précipitations. Il s'agit de la crue de la Dranse des 9 et 10 Décembre 1976.

Le débit de la Dranse à Bioge évalué grâce à l'enregistrement du limnigraphe a atteint le *vendredi 10 Décembre* un débit maximal instantané de $225 \text{ m}^3/\text{s}$ (8 h), (figure 40).

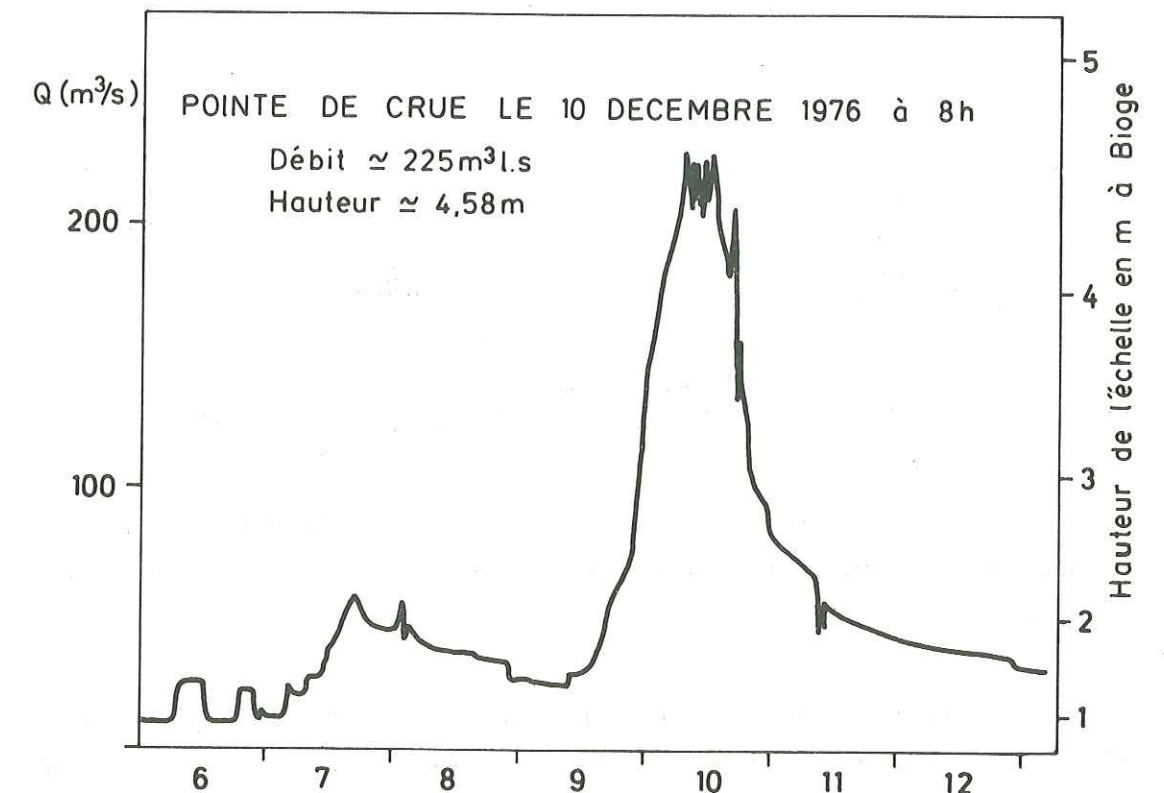


Fig. 40: HYDROGRAMME DE LA CRUE DES DRANSES LE 10 DECEMBRE 1976 A BIOGE

Corrélativement, le niveau piézométrique de la nappe, mesuré au limnigraphe d'Amphion, est passé de 372,70 m. (le 1er Décembre à 7 h) à 375,36 m. (le 13 Décembre à 2 h). Localement, la hauteur de fluctuation (dH) de la nappe a donc été de 2,66 m. Nous avons pu suivre l'évolution du niveau piézométrique dans différents puits ou piézomètres situés sur le delta de la Dranse (figure 41).

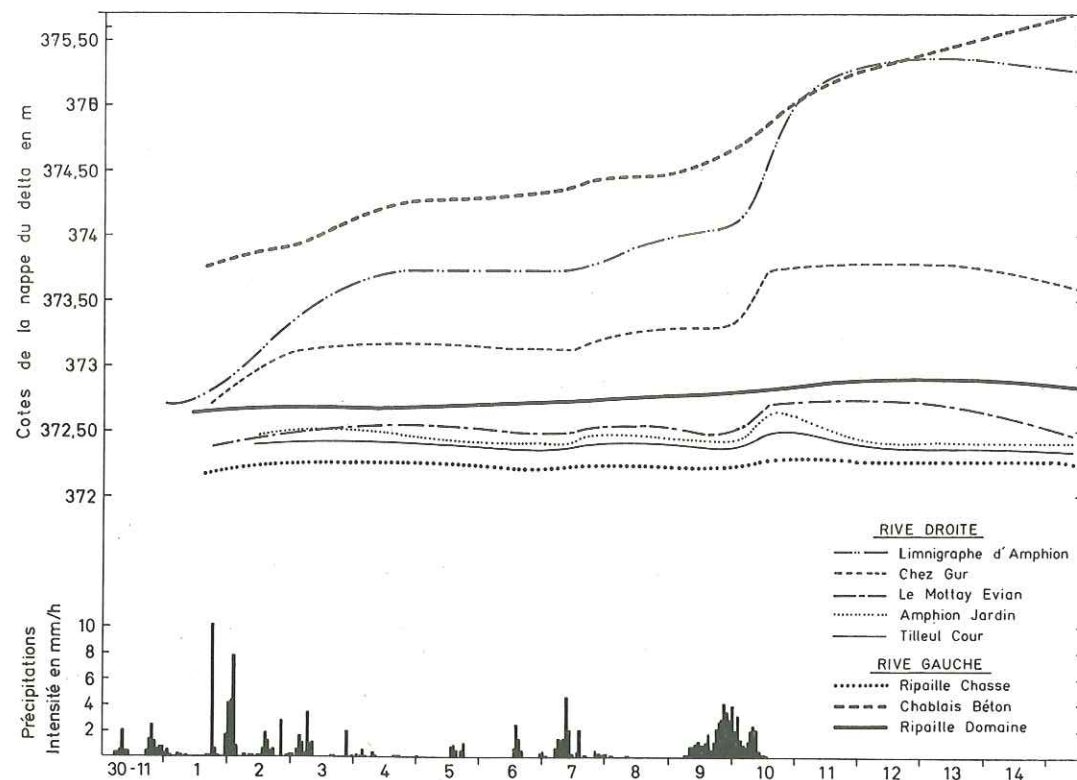


Fig. 41: FLUCTUATIONS PIEZOMETRIQUES ET PLUVIOMETRIE EN PERIODE DE RECHARGE DE LA NAPPE DU DELTA. (du 30 Nov. au 15 Déc. 1976.)

La carte en courbes d'égale recharge a pu être tracée pour la période comprise entre le début (1er Décembre) et la fin (13 Décembre) de la remontée (figure 42).

Le décalage horaire existant entre le début des précipitations (30 Décembre à 6 h) et le début de la remontée de la nappe (1er Décembre à 7 h) représente *le retard à l'onde de pression* déclenchée soit par l'infiltration efficace, soit par l'onde de crue de la Dranse.

Par planimétrie, il est alors possible d'évaluer la hauteur de fluctuation moyenne de la nappe dH_m :

$$dH_m = 1,32 \text{ m.}$$

Il apparaît donc que la hauteur de fluctuation de la nappe enregistrée au limnigraphe d'Amphion est double de la valeur moyenne étendue à l'ensemble du delta de la Dranse.

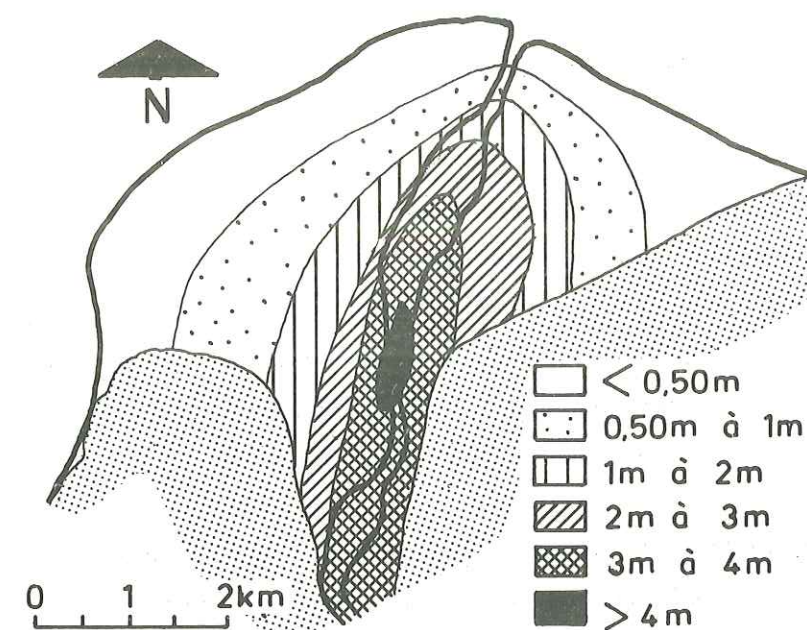


Fig. 42 : CARTE EN COURBES D'EGALE RECHARGE DE LA NAPPE DU DELTA (13 décembre 1976)

Cette relation simple $dH_m \approx 0,5 dH_L$ permet désormais d'estimer pour un événement déterminé (recharge de la nappe en période de crue ou vidange en période d'étiage) la variation des réserves en eaux souterraines à partir du seul enregistrement du limnigraphe.

Ce résultat doit être considéré toutefois avec des réserves, car la relation entre les variations au limnigraphe d'Amphion et les variations moyennes de l'aquifère n'a été établie qu'une seule fois, et en montée de crue.

Connaissant la superficie de la surface piézométrique A et le coefficient d'emménagement S, on a la relation suivante :

$$dW = A. dH_m. S$$

avec $A = 8,2.10^6 \text{ m}^2$

$$S \approx 30 \% \text{ (S.A.E.M.E.)}$$

$$dH_m \text{ en m.}$$

et dW = variation des réserves en eaux souterraines pour la période considérée en m^3 .

Dans le cas de la crue du 1er au 13 Décembre 1976, nous avons :

$$dW = 8,2 \cdot 10^6 \times 0,3 \times 1,32$$

$$dW = + 3,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Le signe (+) indique que les réserves *augmentent* entre le début et la fin de la période considérée. Ce chiffre de $3,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, équivalent au 1/4 de l'exploitation annuelle de la nappe du delta de la Dranse ($12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en 1976, voir § VI), montre l'importance de la recharge durant ces 15 jours de crue.

L'étude des variations naturelles de la surface piézométrique a une application immédiate : l'évaluation des réserves en eaux souterraines de la nappe du delta et de ses ressources exploitables.

La variation des réserves au cours d'une année hydrologique est déterminée par la différence de hauteur de la nappe entre 2 étiages successifs.

Ces différentes notions seront envisagées au cours de l'étude du bilan hydrologique (§ VI).

Il existe un second type de variations de niveaux de la surface piézométrique. Il s'agit des variations artificielles qui ne sont pas liées à des facteurs hydroclimatologiques.

V.2. - Les variations artificielles de la surface piézométrique.

Nous avons vu (§ III.1.) que le fonctionnement du barrage du Jotty influençait le niveau de la Dranse, mais non de la nappe.

Les pompages effectués dans cette nappe sont relativement importants ($12 \text{ millions de m}^3$ en 1976) pour la superficie de l'aquifère ($8,2 \text{ km}^2$). D'autant plus qu'une part infime est restituée à la nappe, les effluents industriels et urbains étant tous collectés à la station d'épuration de Saint-Disdille située en aval du delta.

L'observation des variations du niveau piézométrique au limnigraphe d'Amphion sur une période de 12 ans (1965-1976) montre néanmoins que le degré d'exploitation de la nappe reste convenable. La sécheresse marquée de l'année 1976 ne paraît pas avoir entraîné un dépassement des ressources exploitables. Les fluctuations du niveau de base (le lac Léman) restent trop faibles (amplitude annuelle moyenne : 1 m.) pour avoir des répercussions sensibles sur la surface piézométrique.

Il existe enfin des cas de fluctuations fortuites de la surface piézométrique, tel celui du 6 Mai 1976, lié au tremblement de terre du Frioul (amplitude de la secousse : 5 cm.).

VI - ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE DE LA NAPPE DU DELTA DE LA DRANSE.

L'équation du bilan hydrologique peut s'écrire :

$$P + I_Q + Q_r + q_{\text{surf.}} + q_{\text{sout.}} = E_{\text{Tr}} + R + Q_{\text{ex.}} + q'_{\text{sout.}} \pm dW$$

avec	P = précipitations	ETr = évapotranspiration réelle
	I _Q = infiltration des eaux de surface (Dranse)	R = ruissellement
	Q _r = restitution d'eaux domestiques et industrielles	Q _{ex} = prélèvements (pompages)
	q _{surf.} = apports des eaux de surface des versants amont	q' _{sout.} = déversement de la nappe dans le Léman
	q _{sout.} = apports des eaux souterraines des versants amont	
	Σ = entrées	Σ' = sorties

$\pm dW$ = variation de la réserve en eaux souterraines entre le début et la fin de la période considérée.

Les différents termes de ce bilan sont à présent connus, excepté I_Q (infiltration des eaux de surface) et Q_{ex} (débit d'exploitation de la nappe) :

1) $P - E_{\text{Tr}} \approx I_{\text{eff.}} \approx Q$ (drainage mesuré sur le lysimètre du C.R.G.) (tableau 22, Chapitre II).

2) $q_{\text{sout.}}$ et $q'_{\text{sout.}}$ ont été évalués par la méthode dite du débit unitaire et intégration le long d'une section fictive (Chapitre III, § IV.2.2.).

3) Le terme dW représentant la variation de la réserve en eaux souterraines au cours de la période considérée (événement hydrologique, année ou année hydrologique moyenne...) est obtenu par l'étude des fluctuations piézométriques de la nappe du delta (chapitre III, § V).

4) Les prélèvements (Q_{ex}) effectués dans la nappe du delta se sont élevés pour l'année 1976 à 12 millions de m^3 ainsi répartis :

Rive gauche		Rive droite	
Ripaille ville (puits d'alimentation en eau potable de la ville de Thonon-les-Bains)	1,8	Zig-Zag (alimentation en eau industrielle)	4,8
Thomson (alimentation eau industrielle)	0,9	Le Mottay (essai de dépollution du puits, voir chimie)	1,4
Fonderies du Léman (alimentation eau industrielle)	0,8	S.A.E.M.E. (alimentation en eau industrielle)	1,3
Chablais-Béton et Ripaille-Domaine	négligeable	Pompage Publier (puits d'alimentation en eau potable de la Commune de Publier)	1,0
$\Sigma_G = 3,5$		$\Sigma_D = 8,5$	

TABLEAU 28 - Exploitation de la nappe du delta de la Dranse (en $10^6 m^3$). Année 1976.

5) Les termes Q_r , $q_{\text{surf.}}$ et R sont négligeables.

6) Le terme I_Q représentant les apports de la Dranse à la nappe au cours de la période considérée, pourra être obtenu par simple différence entre les autres facteurs du bilan.

VI.1. - Bilan à l'échelle d'un événement hydrologique.

Nous avons choisi l'exemple d'une crue (1er-13 Décembre 1976), au cours de laquelle l'augmentation des réserves en eaux souterraines a pu être évaluée de façon précise (cf. chapitre III, § V).

$$dW = + 3,25.10^6 m^3$$

Au cours de la même période, il est tombé 139 mm. pour une évapotranspiration nulle (données lysimètre).

Nous avons donc :

$$I_{\text{eff.}} = 0,139 \times 8,2.10^6 = 1,14.10^6 m^3$$

Le débit d'exploitation de la nappe a été évalué à $0,45.10^6 m^3$. Les termes $q_{\text{sout.}}$ et $q'_{\text{sout.}}$ peuvent être estimés de la façon suivante :

$$q_{\text{sout.}} \approx q_{i \text{ sout.}} \times t \approx 0,02.10^6 m^3$$

$$q'_{\text{sout.}} \approx q'_{i \text{ sout.}} \times t \approx 0,07.10^6 m^3$$

avec $q_{i \text{ sout.}}$ = apports des versants à la nappe en l/s

$q'_{i \text{ sout.}}$ = déversement de la nappe vers le lac en l/s

t = durée de la période considérée (13 jours)

L'équation réduite du bilan hydrologique permet d'écrire :

$$\begin{aligned} I_Q &= (Q_{\text{ex}} + q'_{\text{sout.}} + dW) - (I_{\text{eff.}} + q_{\text{sout.}}) \\ &= (0,45 + 0,07 + 3,25) - (1,14 + 0,02) \end{aligned}$$

$$I_Q = 2,61.10^6 m^3$$

Durant la même période, il s'est écoulé dans la Dranse à Vongy, en amont du delta : $40,9.10^6 m^3$.

Cette valeur est obtenue par extrapolation du volume écoulé à Bioge (chapitre III, § II).

L'infiltration des eaux de la rivière dans les alluvions du delta, représente donc un pourcentage du débit écoulé égal à :

$$\frac{2,61}{40,9} \approx 6,4 \%$$

Ce chiffre est en accord satisfaisant avec les variations de débits trouvées entre Bioge et le Pont de Vongy (tableau 23 : 9 % le 31.08.76).

De plus, l'alimentation de la nappe pour la période considérée se décompose de la façon suivante :

Alimentation par :	% des apports
La Dranse	69,2 %
Les précipitations	30,3 %
Les versants	0,5 %

Le même type de calcul a été appliqué à d'autres périodes de recharge de la nappe. Le tableau 29 donne les résultats ainsi obtenus :

Période	Q ex*	q sout.*	d W*	I eff.*	I Q*	I q (% du débit de la Dranse)
13.03.72 12.04.72	0,90	0,16	+ 3,71	0,67	4,10	5,60
10.11.72 25.11.72	0,42	0,08	+ 4,06	1,10	3,46	3,00
28.05.74 07.06.74	0,33	0,06	+ 2,74	0,47	2,66	5,50
27.06.74 30.06.74	0,12	0,02	+ 1,72	0,32	1,54	6,10
22.08.75 27.08.75	0,16	0,03	+ 0,79	0,21	0,77	5,60
01-13.12.77	0,45	0,02	+ 3,25	1,14	2,61	6,40

TABEAU 29 - Bilan hydrologique en périodes de crue.

Q ex = débit d'exploitation de la nappe

q sout. = apports par les versants

I eff. = infiltration efficace

d W = variation des réserves en eaux souterraines

I Q = infiltration des eaux de la Dranse

Il apparaît à la lecture de ces résultats que la part de la Dranse dans l'alimentation de la nappe du delta est, en période de recharge exceptionnelle, voisine de 80 %.

La valeur évaluée pour la crue de Décembre 1976 (70 %) est liée au fait que la totalité des précipitations (140 mm) s'est infiltrée (évapotranspiration nulle), phénomène conférant à l'infiltration efficace une part exceptionnelle dans la recharge de la nappe.

VI.2. - Bilan à l'échelle annuelle.

Le bilan annuel a été calculé pour l'année 1976, avec les valeurs suivantes :

$$I \text{ eff.} = 3,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$q \text{ sout.} = 0,45 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$q^* \text{ sout.} = 2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$Q \text{ ex.} = 12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$d W = + 0,98 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ (entre le 1er Janvier et le 31 Décembre 1976)}$$

$$\text{d'où } I Q = (12 + 2 + 0,98) - (3,2 + 0,45) = 14,98 - 3,65$$

$$I Q = 11,33 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ soit } 2,6 \% \text{ du débit de la Dranse}$$

La part de la Dranse dans l'alimentation de la nappe du delta a donc été en 1976 de 75,6 %.

L'infiltration efficace (P - ETr) représente 21,4 % et les versants 3 % des apports à la nappe.

Nous donnons dans le tableau 30 les valeurs de IQ obtenues de la même façon pour les années 1966 à 1975 :

Année	dW (10 ⁶ m ³)	I eff. (10 ⁶ m ³)	I Q		
			(10 ⁶ m ³)	(% de l'alimentation annuelle)	(% du débit de la Dranse)
1966	- 1,89	4,69*	4,97	49	0,60
1967	+ 0,57	4,48*	7,64	61	1,30
1968	- 0,32	6,28*	4,95	42	0,60
1969	- 2,09	3,40	6,06	61	1,10
1970	+ 0,15	5,80	5,90	49	0,70
1971	+ 0,64	2,30	9,89	78	2,30
1972	+ 0,79	2,80	9,54	75	1,90
1973	- 1,48	3,00	7,07	67	1,50
1974	+ 2,48	4,60	9,43	65	1,70
1975	- 2,02	4,60	4,93	49	0,80
1976	+ 0,98	3,20	11,30	76	2,60

* Valeurs estimées d'après l'équation de régression ($Q = 0,93 P - 351$).

TABLEAU 30 - Bilan hydrologique interannuel (1966-1976).

dW = variation des réserves en eaux souterraines au cours de l'année civile considérée.

I eff. = P - ETr = infiltration efficace (alimentation par les précipitations).

Iq = infiltration des eaux de surface (la Dranse).

et $Q_{ex} \approx 10.10^6$ m³/an ; $q_{sout.} \approx 0,45.10^6$ m³/an ; $q'_{sout.} \approx 2.10^6$ m³/an.

VI.3. - Bilan de l'année civile moyenne.

Si nous considérons la période de 11 années (1966-1976) d'enregistrement du limnigraphe, le bilan hydrologique devient :

$$\bar{I}Q = \bar{Q}_{ex} + dW + \bar{q}'_{sout.} - (\bar{I} eff. + \bar{q}_{sout.})$$

avec $\bar{Q}_{ex} = 10.10^6$ m³

$$\bar{q}'_{sout.} = 2.10^6$$
 m³

$$\bar{q}_{sout.} = 0,45.10^6$$
 m³

$$\bar{I} eff. = 4,10.10^6$$
 m³

$$dW = - 2,02.10^6$$
 m³

d'où : $\bar{I} Q = 5,43.10^6$ m³ = 6,9 % du débit moyen interannuel de la Dranse à Vongy, soit 55 % des apports à la nappe, le restant étant fourni par les précipitations ou plus précisément l'infiltration efficace (41 % des apports) et par les versants (4 % des apports).

Les infiltrations de la Dranse au profit de la nappe du delta représentent, à l'échelle de l'année moyenne, 0,8 % du débit de la rivière à Vongy. Il apparaît donc nettement que l'alimentation de la nappe se fait essentiellement en période de crue (6,4 % à l'échelle d'une crue comme celle du 13.12.76).

VII - CONCLUSION A L'ETUDE HYDROLOGIQUE.

Au cours de cette étude, nous avons déterminé qualitativement, puis évalué quantitativement les différents termes du bilan hydrologique.

L'alimentation de la nappe du delta de la Dranse est triple :

- Par infiltration des eaux de la rivière.
- Par les précipitations (ou infiltration efficace).
- Par les eaux souterraines des versants.

De plus, la part respective des 3 types d'apports varie selon l'échelle de temps considérée :

- La Dranse alimente la nappe à raison de 80 % des apports globaux en période de crue, mais 55 % seulement à l'échelle de l'année moyenne.

- Les versants ne participent que faiblement à l'alimentation de la nappe du delta (4 % à l'échelle de l'année moyenne).

- L'infiltration efficace par les précipitations représente 41 % des apports à l'échelle de l'année moyenne.

QUATRIEME CHAPITRE

QUATRIEME CHAPITRE

ETUDE CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE

I - GENERALITES.

I.1. - Points de prélèvements et problèmes d'échantillonnage.

Au cours de cette étude, 5 campagnes de prélèvements ont été effectuées sur les points d'eau suivants :

- *Puits et piézomètres* présents sur le delta de la Dranse à la date du 1er Décembre 1975.

Les 5 nouveaux piézomètres installés en 1977 n'ont pas encore été utilisés*.

Les différents prélèvements ont été effectués, dans la mesure du possible, après un pompage dans l'ouvrage (puits industriels et d'alimentation).

- *Principales sources et ruisseaux* situés sur les versants amont ou à proximité du delta de la Dranse. C'est ainsi que les sources de l'Hôtel des Princes et du Parc Maxima ont été analysées pour leurs qualités particulières, bien que ne faisant pas partie du delta ou de ses versants.

- *La Dranse*, en amont (Pont de Vongy) et au niveau du lieu-dit "Chez Gur".

De plus, la Dranse à Bioge est analysée une fois par mois par le Centre de Recherches Géodynamiques.

* A la date du 31 Mai 1977, ces piézomètres non pompés contenaient de grandes quantités de sel dissous et de phosphates déversés lors des forages.

- Le lac Léman a fait l'objet d'un prélèvement par campagne à proximité de l'un des puits du delta situé en bordure du rivage (Ripaille-Chasse, ou St-Disdille-Bochaton), afin de mieux percevoir ses relations éventuelles avec la nappe.

L'échantillonnage comprenait outre un prélèvement en flacon plastique d'1 litre pour l'analyse chimique complète :

- 1 pilulier en verre pour le dosage de l'oxygène-18.
- 1 flacon en verre pour le dosage de l'oxygène dissous.
- 1 bouteille en verre de 2 l. lavée à l'acide chlorhydrique pour l'étude des éléments traces (Octobre 1976).

I.2. - Méthodes d'analyse.

Les eaux de la nappe du delta de la Dranse sont bicarbonatées calciques et légèrement magnésiennes. Les méthodes d'analyse employées comprennent donc la détermination sur le terrain d'un certain nombre de paramètres indispensables à l'étude de telles eaux.

Nous sommes amenés par conséquent à distinguer deux types de mesures :

- Les mesures de terrain.
- Les mesures de laboratoire.

I.2.1. - Les mesures de terrain.

L'étude du système $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{CaCO}_3$ nécessite la plus grande précision possible dans la détermination des 3 paramètres suivants :

- Température.
- pH.
- CO_2 dissous.

Le dosage des bicarbonates (HCO_3^-) et la mesure de la conductivité complètent l'étude de terrain.

. La température :

La mesure de la température a été effectuée au moment du prélèvement à l'aide d'un thermomètre à mercure avec une précision de $0,05^\circ\text{C}$.

. Le pH :

En Février 1976, le pH a été mesuré à l'aide d'un comparateur Helligé (10 cc. de prise d'essai + 0,5 ml de rouge de Crésol). La précision est de 0,1 unité pH.

Par la suite (Juin et Octobre 1976), l'emploi d'un pH-mètre de terrain équipé d'une électrode combinée verre-calomel saturé, a permis de porter la précision à 0,05 unité pH.

Les valeurs mesurées sont comprises entre 6,7 (puits de Piotton-Duret, Décembre 1975) et 8,9 (lac Léman, Juin 1976) unités pH.

. Le CO_2 dissous :

Le dosage du CO_2 dissous a été effectué par *titrimétrie*, de la façon suivante :

A 100 cc. de prise d'essai, on ajoute quelques gouttes d'un indicateur coloré (phénol-phtaléine à 1 % dans de l'alcool à 95°), puis on verse doucement de la soude N/50 à l'aide d'une burette graduée de 10 ml.

Au virage (apparition d'une couleur rose pâle stable), tout le CO_2 dissous est neutralisé par la soude, à un pH de 8,3 et l'on a la relation :

$$\text{CO}_2 \text{ dissous} = \text{X ml. NaOH (N/50)} \times 8,8$$

à 1 ml de soude versé correspondent donc 8,8 mg/l de CO_2 dissous.

La précision est de 1,1 mg de CO_2/l ($\approx$ 4 gouttes de NaOH N/50).

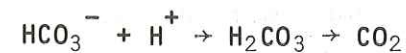
. La conductivité :

La mesure de la conductivité a été effectuée à l'aide d'un conductimètre de terrain à électrodes en platine platiné. Les valeurs mesurées à t°C ont été ramenées ultérieurement à 25°C.

En dehors des 4 campagnes citées précédemment, nous avons effectué des mesures de conductivités sur le terrain à différentes périodes. Nous verrons plus loin comment varie ce paramètre dans le temps et dans l'espace.

. Dosage des bicarbonates :

Les bicarbonates HCO_3^- sont neutralisés par l'acide sulfurique H_2SO_4 selon la réaction suivante :



A 25 cc. de prise d'essai, on ajoute environ 100 ml d'eau distillée, quelques gouttes d'indicateur coloré puis, goutte à goutte, la solution d' H_2SO_4 (N/50) jusqu'à virage du bleu au rose pâle stable.

A chaque ml d'acide versé correspondent 48,82 mg/l de HCO_3^- . La précision est de 3 mg de HCO_3^- /l (2 gouttes d' H_2SO_4 N/50).

Une question s'est posée au cours de cette étude, à propos de la reproductibilité des teneurs en HCO_3^- , au bout de quelques jours. Il est courant en effet, qu'un écart de 2 à 4 jours sépare le moment du prélèvement et celui de l'analyse au laboratoire.

Pour tenter de répondre à cette question, un prélèvement a été effectué au puits de Ripaille-Ville (puits d'alimentation de la ville de Thonon-les-Bains), puis conservé dans les conditions du laboratoire.

Les analyses effectuées périodiquement ont donné les résultats suivants : (tableau 31) :

Date	H_2SO_4 N/50 (en ml. versés)	HCO_3^- (mg/l)
23 Avril 1976 (terrain)	6,77	330,38
27 Avril 1976 (laboratoire)	6,82	332,82
29 Avril 1976 (laboratoire)	6,80	331,84
05 Mai 1976 (laboratoire)	6,81	332,33

TABLEAU 31 - Dosage des bicarbonates : Comparaison des résultats obtenus sur le terrain et au laboratoire.

Il apparaît donc, qu'aux erreurs d'analyses près, la teneur en bicarbonates ne varie pratiquement pas entre le moment du prélèvement (330,38 mg/l) et les 12 jours qui suivent (332,33 mg/l). La mesure des bicarbonates sur le terrain n'apparaît donc pas indispensable.

Le tableau 32 résume les principales données relatives aux 4 campagnes de prélèvements effectuées au cours de cette étude.

1.2.2. - Les mesures de laboratoire.

Les analyses chimiques et isotopiques complétant les mesures de terrain, ont été effectuées aux laboratoires suivants :

- Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains, en ce qui concerne le dosage des éléments majeurs : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Sr^+ d'une part ; Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{---} , P total d'autre part.

De plus, le chrome hexavalent Cr^{VI} a été dosé tout au long de l'année sur le puits du Mottay, situé en rive droite du delta, et en bordure du Léman (voir figure 34, chapitre III).

- Laboratoire du Service des Eaux de la ville de Paris, pour les éléments traces suivants : Mn, Zn, Cd, Cu, Hg, As, Cr, Co, Ni, Hg (Octobre 1976).

- Laboratoire de Géologie Dynamique de l'Université Pierre et Marie Curie à Paris, pour le dosage de l'oxygène-18.

Date	Nombre d'analyses effectuées	Mesure sur le terrain	Niveau de la Dranse à Bioge (m)	Profondeur de la nappe (limnigraphe) (m)
03-04.12.75 (début de la décrue)	22	t°	1,10	9,60 à 9,40
24 au 26.02.76 (étiage)	31	t°, pH, χ HCO_3^-	~ 0,85 (limnigraphe gelé)	10,10
17-18.06.76 (étiage)	26	t°, pH, HCO_3^- CO_2 dissous	0,35 à 0,80	10,75
26-27.10.76 (étiage)	35	t°, pH CO_2 dissous	0,40 à 0,90	10,90
31.05-01.06.77 (crue)	34	t°, χ	1,75 à 1,65	7,35

TABEAU 32 - Campagnes de prélèvements : mesures de terrain.

II - QUALITE GENERALE DES EAUX DE LA NAPPE DU DELTA : DONNEES DES ANALYSES CHIMIQUES.

II.1. - La nappe du delta de la Dranse : un important réservoir d'eau potable.

En 1976, le volume d'eau soutiré à la nappe du delta a pu être évalué à 12 millions de m^3 environ (cf. étude du bilan hydrique). Cette eau, dont une partie est restituée à la Dranse par l'intermédiaire de la Station d'Epuration, comprend :

- L'eau destinée à la consommation urbaine (Thonon, Publier, Marin et vraisemblablement Evian dans un proche avenir).

- L'eau industrielle (Zig-Zag, Thomson, Fonderies du Léman, S.A.E.M.E., Chablais-Béton).

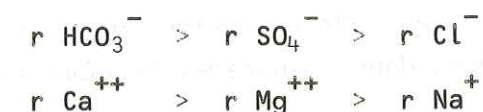
Les analyses bactériologiques effectuées sur un certain nombre de puits indiquent l'absence de contamination bactérienne à caractère péjoratif*.

La recherche des éléments traces** en dehors du Cr^{VI} étudié plus loin (voir chapitre II.2.2.), a permis de détecter la présence de manganèse à raison de 0,69 mg/l au puits de "Tilleul-Cave" (puits perdu), de zinc (1,05 mg/l) à Thomson et de cadmium (0,05 mg/l) à la source de Rives-Pêcheurs ("Versant Thonon").

Les résultats complets des analyses d'éléments traces figurent en annexe XII.

Les analyses chimiques effectuées au laboratoire du Centre de Recherches Géodynamiques, (annexes XIII à XVII) permettent d'aboutir aux conclusions suivantes :

Les eaux de la nappe du delta sont moyennement minéralisées, bicarbonatées calciques et magnésiennes, parfois légèrement sulfatées.



Les teneurs respectives en chacun de ces éléments varient largement selon la plus ou moins grande proximité des sources d'alimentation décelées (Dranse, versants).

Néanmoins, la formule ionique demeure identique sur chacun des points d'eau analysés, sauf quelques exceptions liées à des cas de pollutions essentiellement (voir chapitre II.2.).

* Analyses effectuées par l'Institut Pasteur de Lyon (Institut Bactériologique) : Puits du Mottay (12.05.64 et 09.10.68) ; Puits de la Société Thomson-C.S.F. (09.10.73) ; Puits de Ripaille-Ville (25.10.73).

** Analyses effectuées par M. MONTIEL (Service des Eaux de la ville de Paris).

Une étude détaillée des variations chimiques fera l'objet du paragraphe III.

II.2. - Principaux paramètres physico-chimiques.

Nous étudierons successivement :

- La conductivité.
- La température.
- Le pH.

II.2.1. - Conductivité.

Les eaux de la nappe du delta de la Dranse sont, selon la réglementation française, moyennement minéralisées. Les valeurs mesurées oscillent entre 350 et 700 μmho , sauf exceptions : pollutions locales ou dilutions par l'eau du lac (250-325 μmho) en Juin 1977 aux piézomètres des "Sbleunes" et du "Pré de Vigny" (voir annexe XVII).

II.2.2. - Température.

Elle varie avec la saison, la profondeur de l'eau dans le puits, l'existence ou non de pompes dans l'ouvrage, de déversements d'eaux usées...

Les valeurs mesurées tout au long de cette étude (comprises entre 8° et 14° pour la nappe, 6° et 16° pour les sources des versants, 3° et 18° pour la Dranse, 5° et 18° pour le Léman) sont donc liées à de nombreux phénomènes altérant la qualité des résultats.

II.2.3. - Le pH.

Les valeurs du pH de la Dranse, mesurées en amont et en aval du delta, sont comprises entre 7,9 (Décembre 1975) et 8,8 (Juin 1976, aval). Celles du lac Léman varient de 7,8 (Décembre 1975) à 8,9 (Juin 1976), selon la quantité de CO_2 présente dans l'eau.

Les valeurs maximales, en ce qui concerne la nappe, sont mesurées en bordure de la Dranse ("Zig-Zag": 7,85 en Juin 1976 et 8,25 en Juin 1977 ; "Stade de Vongy" : 7,90 en Juin 1977), et du lac à "Ripaille-Chasse" (7,80 en Juin 1976).

L'influence de la rivière se trouve donc confirmée, tandis que le lac paraît alimenter, localement et temporairement, la nappe du delta (7,20 seulement à Ripaille-Chasse en Octobre 1976).

II.3. - Cas de pollutions de la nappe.

Au cours de cette étude, plusieurs cas de pollutions existantes ou prévisibles ont pu être recensés. Outre le problème de la dureté des eaux, qui ne constitue pas réellement un cas de pollution, nous étudierons successivement :

- La contamination de la nappe par du chrome hexavalent (rive droite).
- La pollution chimique et biologique due aux dépôts d'ordures ménagères (rive gauche).
- La pollution par les puits perdus.

Les versants participant à l'alimentation de la nappe du delta de la Dranse, le problème de la qualité des eaux des nappes superficielles sera également évoqué.

II.3.1. - Dureté.

La dureté, ou degré hydrotimétrique total, donne la teneur globale d'une eau en sels de calcium et de magnésium.

Le degré français (° dh) est équivalent à 10 mg/l de CaCO_3 .

Sans avoir à parler de "pollution", il existe néanmoins des normes de potabilité pour une eau, en fonction de son degré hydrotimétrique total :

TH (°français)	Type d'eau
< 3	très douce
3 à 15	douce
15 à 30	dure
> 30	très dure

(d'après
G. CASTANY, 1968)

Une eau est d'autant plus incrustante que son TH est élevé.

Les eaux de la nappe du delta de la Dranse sont dures ($15^{\circ} < TH < 30^{\circ}$), parfois même très dures ($TH > 30^{\circ}$).

Nous donnons, dans le tableau 33, les valeurs de TH calculées pour les puits d'alimentation de Ripaille (rive gauche) et Publier (rive droite), ainsi que pour certains puits caractéristiques :

Puits	03-04.12.75	24-25-26.02.76	17-18.06.76	26-27.10.76	31.05.77	Moyenne
Ripaille-Ville (A.E.P.)	32,2	32,4	32,7	32,6	32,2	32,4
Pompage Publier (A.E.P.)	37,2	37,7	34,5	26,0	36,0	34,3
RIVE DROITE.						
S.A.E.M.E.	32,1	33,4	34,5	29,8	29,0	31,8
Amphion-Limnigraphe	27,9	28,6	28,8	30,2	28,6	28,8
Zig-Zag	26,7	31,8	21,6	28,2	30,9	27,8
RIVE GAUCHE.						
Thomson	26,1	29,9	30,9	30,3	29,4	28,3
Fonderies du Léman	26,0	25,7	25,4	25,5	28,7	26,3
Stade de Vongy	25,6	29,6	21,6	27,7	20,0	24,9
Ripaille-Chasse	23,9	29,1	20,9	25,9	22,2	24,4
St-Disdille-Bochaton	31,8	31,8	30,9	31,1	30,6	31,2

TABLEAU 33 - Dureté des eaux de la nappe du delta.

L'eau de la nappe du delta de la Dranse a donc une dureté accentuée, en relation avec la nature des alluvions de la rivière constituant l'aquifère (sables, graviers et galets essentiellement calcaires).

Les valeurs relevées aux deux puits d'"Alimentation en Eau Potable" situés sur le delta, sont à la limite de celles que la législation conseille, sans l'imposer, de ne pas dépasser (30°).

De plus, la gamme des variations enregistrées est bien plus importante en bordure de la rivière (de $21,6^{\circ}$ à $31,8^{\circ}$ à Zig-Zag, de 20° à $29,6^{\circ}$ au stade de Vongy) qu'à distance de celle-ci, où les valeurs augmentent tout en se stabilisant autour d'une valeur moyenne ($32,2^{\circ}$ à $32,7^{\circ}$ à Ripaille-Ville ; $30,6^{\circ}$ à $31,8^{\circ}$ à St-Disdille-Bochaton, ...).

En résumé, la nappe du delta de la Dranse présente une dureté accentuée due essentiellement aux fortes concentrations de Ca^{++} . Cette dureté augmente en s'éloignant de part et d'autre de la Dranse (sens d'écoulement général des eaux souterraines).

II.3.2. - Contamination de la nappe du delta de la Dranse par du chrome hexavalent. Essai de décontamination.

a) Contamination de la nappe :

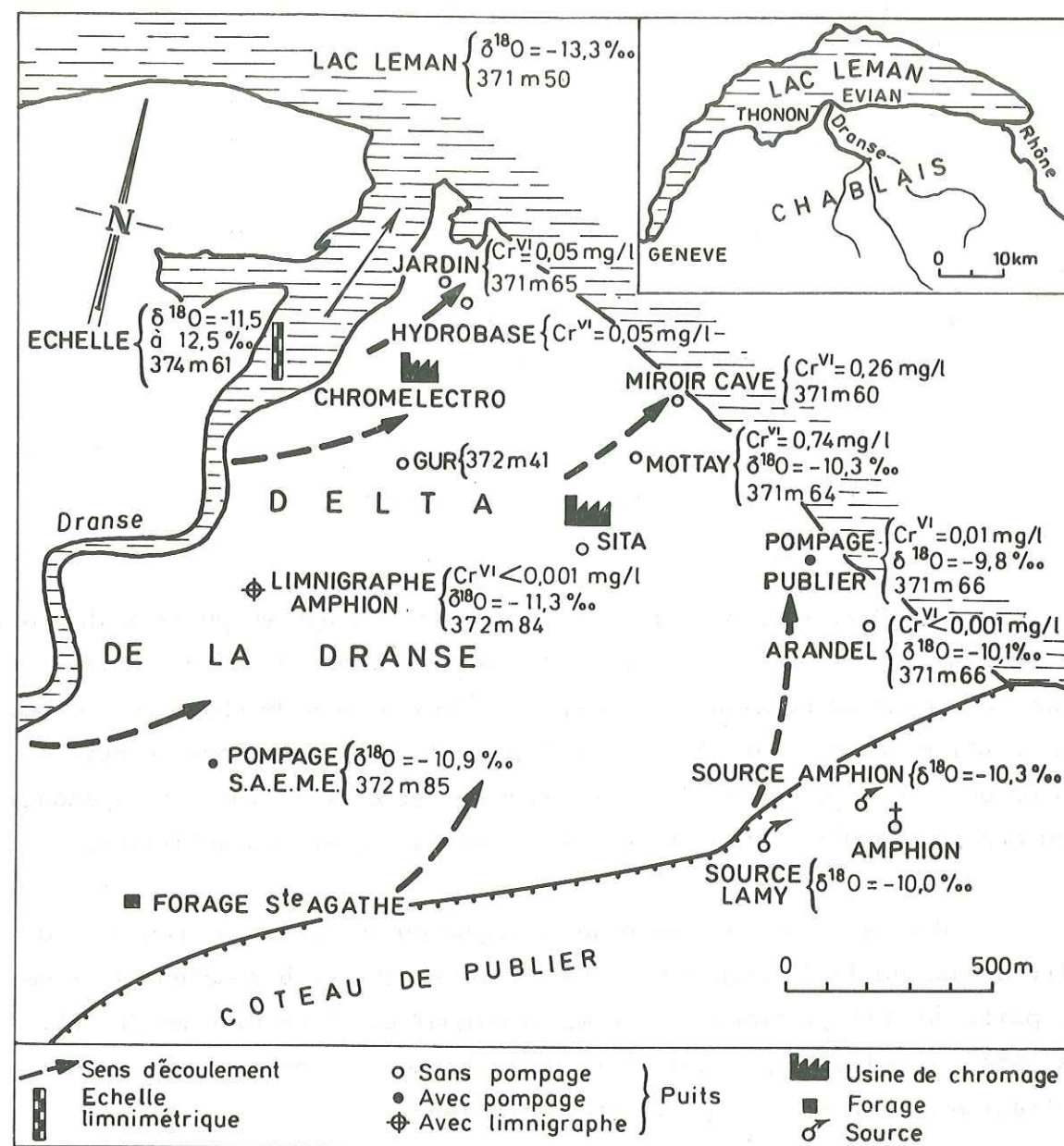
En 1972, lors de l'installation d'un pompage au puits du Mottay, il apparaît que l'eau de la nappe est contaminée par du chrome hexavalent. Or, dans le voisinage, il existait deux usines de chromage. L'une, de création récente, était équipée d'un système de traitement manuel des bains usés avec fosses de décantation et rejet de l'effluent en épandage souterrain. Depuis, cet atelier a été amené à cesser ses activités.

Une carte de pollution de la nappe du delta de la Dranse a pu être dressée en 1973 (figure 43). La teneur en chrome hexavalent de l'eau du puits du Mottay, alors en régime statique, était de $0,74 \text{ mg Cr}^{VI}/\text{l}$. Le sens d'écoulement présumé de la nappe permettait de préciser l'installation à l'origine de cette contamination.

b) Essai de dépollution du puits du Mottay :

Un essai de dépollution du puits du Mottay a été entrepris en 1976, à l'initiative de la ville d'Evian. La teneur en chrome résiduel était, avant le pompage, de $0,43 \text{ mg/l}$. Sans pompage, la teneur en Cr^{VI} avait donc diminué "naturellement" de moitié en 3 ans (Juillet 1973 : $0,74 \text{ mg/l}$).

Dans un premier temps, un pompage à $650 \text{ m}^3/\text{h}$ a débuté le 23 Mars 1976 et a duré 8 mois, à raison de 10 heures par nuit (22 h à 8 h). Les prélèvements ont été effectués le matin, en période de remontée de la nappe.



Sur la figure 44, sont reportées les teneurs en Cr^{VI} de l'eau de la nappe (tableau 34), l'enregistrement du limnigraphe d'Amphion et les relevés piézométriques instantanés effectués au puits du Mottay.

A la fin du pompage (6 Décembre 1976), la teneur en Cr^{VI} était passée à 0,05 mg/l, valeur proche mais encore supérieure aux normes fixées pour une eau potable (< 0,01 mg/l).

Date	Cr ^{VI} (mg/L)	Date	Cr ^{VI} (mg/L)
23.03.76	0,426-0,430	29.09.76	0,105
(avant le début du pompage)		15.10.76	0,094
		19.10.76	0,077
30.03.76	0,243-0,245	22.11.76	0,085
06.04.76	0,201-0,204	29.11.76	0,082
13.04.76	0,209	01.12.76	0,028
20.04.76	0,201	02.12.76	0,033
27.04.76	0,191	03.12.76	0,022
04.05.76	0,180	04.12.76	0,029
11.05.76	0,168	06.12.76 arrêt du pompage	0,031
18.05.76	0,154	14.04.77 reprise du pompage	0,167
26.05.76	0,173	après 20 secondes de pompage	0,175
15.06.76	0,137	après 1 heure de pompage	0,154
17.06.76	0,153	20.04.77	0,133
22.06.76	0,134	29.04.77	0,082
06.07.76	0,129	02.05.77	0,084
30.08.76	0,115	06.05.77	0,088
07.09.76	0,122	12.05.77	0,104
15.09.76	0,119	13.05.77	0,077
22.09.76	0,114	25.05.77	0,067

TAB. 34 - Puits du Mottay : teneur en chrome hexavalent.

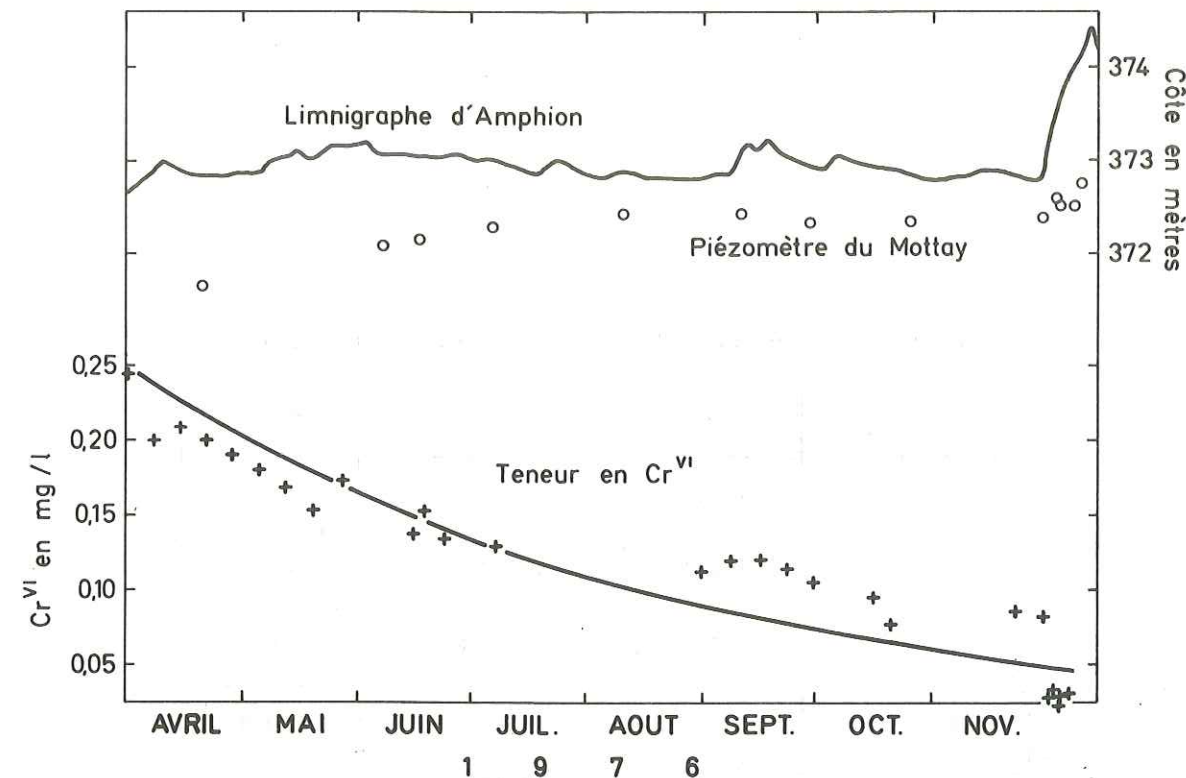


Fig. 44 : DECONTAMINATION DE LA NAPPE (Cr^{VI})

A l'issue de ces premières constatations, notre conclusion était alors la suivante (CHASSAING B., PONCET CL., 1977) :

"L'extrapolation de cette courbe exponentielle montre qu'à partir d'une teneur initiale de 0,25 mg/l en Cr^{VI} , un pompage s'étalant sur 500 jours sera nécessaire pour aboutir à une teneur acceptable".

En Avril 1977, date de la reprise du pompage, la teneur en chrome avait augmenté pour atteindre 0,170 mg/l environ (14 Avril 1977). Au bout de 40 jours (25 Mai 1977), celle-ci n'était plus que de 0,07 mg/l.

Il apparaît néanmoins que l'efficacité de ce procédé de décontamination est liée à la continuité du pompage et aux battements de la nappe.

Les 2, 3 et 4 Juin 1977, un pompage d'essai a été effectué au puits du Mottay, avec contrôle des niveaux piézométriques dans le puits, ainsi que dans 2 piézomètres situés à 28 m. et à 166 m. du puits (voir hydrologie).

Des prélèvements ont été effectués pendant la descente de l'eau dans le puits (du 2 Juin 10 h. au 4 Juin 8 h.), à l'endroit où celle-ci se déverse dans le lac Léman (figure 34).

Les mesures de la conductivité sur le terrain et de la teneur en Cr^{VI} au laboratoire du C.R.G. nous ont montré le même phénomène (tableau 35).

Date	Heure*	Teneur en Cr^{VI} (mg/l)	Conductivité (μmhos)	Profondeur nappe (m)
02.06.77	10 h 10	0,103	575	4,430
	11 h 10	0,063	559	4,570
	12 h 10	0,056	557	4,605
	14 h 55	0,055	556	4,670
	18 h 00	0,055	556	4,700
	21 h 00	0,060	556	4,710
03.06.77	3 h 00	0,060	558	4,740
	9 h 00	0,058	559	4,745
	15 h 30	0,059	558	4,750
	24 h 00	0,060	558	4,750
04.06.77	8 h 00	0,060	558	4,750

TABEAU 35 - Essai de pompage du Mottay (2 au 4 Juin 1977).
Variations de la conductivité et de la teneur en Cr^{VI} au cours de la descente.

* Début du pompage à 10 heures (profondeur initiale : 3,36 m.).

La baisse de la conductivité et de la teneur en Cr^{VI} constatée durant la première heure de pompage, est vraisemblablement liée à la vidange du puits qui s'observe également sur les courbes de descente et de remontée du niveau piézométrique ("effet de puits").

Au bout d'1 heure de pompage environ, les valeurs se stabilisent avec apparition d'un palier situé autour de :

- 555 à 560 μ mhos pour la conductivité.
- 0,060 mg/l pour le Cr^{VI} .

Signalons enfin que la teneur en chrome hexavalent de la nappe du delta de la Dranse, est partout ailleurs inférieure aux normes fixées pour une eau potable.

A la date du 31 Mai 1977, la teneur en Cr^{VI} des principaux puits en *pompage* était en effet inférieure à 0,01 mg/l. (valeur maximale mesurée : 0,02 mg Cr^{VI} /l, excepté au puits du Mottay : 0,077 mg/l).

Points de prélèvement	Teneur en Cr^{VI} (mg/l)
<u>RIVE DROITE.</u>	
Le Mottay	0,077
Pompage Publier	0,002
S.A.E.M.E.	0,001
<u>RIVE GAUCHE.</u>	
Thomson	0,002
Ripaille-Ville	0,002
Ripaille-Domaine	0,002
Chablais-Béton	0,001
Fonderies du Léman	0,000
<u>LAC LEMAN</u> (en bordure du delta, rive gauche)	0,001
<u>DRANSE</u> ("Chez Gur", en amont de la station d'épuration)	0,005

TABEAU 36 - Teneurs comparées en Cr^{VI} des puits de pompage, du lac et de la rivière - 31 Mai 1977.

c) Conclusion :

Il apparaît en résumé que la pollution localisée de la nappe du delta de la Dranse, apparue en 1972 au puits du Mottay, n'a pu être entièrement résorbée à la date du 4 Juin 1977.

Néanmoins, un pompage à 650 m³/h pendant 8 heures chaque nuit, a permis de ramener la teneur initiale de 0,25 mg Cr^{VI} /l. à une valeur 4 fois moindre (0,06 mg Cr^{VI} /l) au bout de 14 mois, dont 10 de pompage.

Cette décroissance de la teneur en Cr^{VI} est sujette, dans le détail, à des fluctuations. Celles-ci peuvent être liées à des phénomènes hydrologiques (pluviométrie, niveau de la nappe...), mais aussi au mode de prélèvement. Nous avons en effet été amenés à constater que la teneur en Cr^{VI} de l'eau pompée diminue rapidement au cours de la première heure de pompage, pour se stabiliser ensuite.

Dans l'optique d'une utilisation future de ce puits pour l'alimentation en eau potable, la poursuite du pompage s'avère donc nécessaire.

II.3.3. - Pollution chimique due aux dépôts d'ordures ménagères :

Il existe sur le delta de la Dranse un dépôt d'ordures ménagères en communication directe avec la nappe phréatique affleurante (photo).

Cette décharge se situe en rive gauche de la Dranse, à quelques dizaines de mètres de celle-ci et légèrement en amont de la Station d'Épuration et d'Incineration Intercommunale.

Les ordures préalablement brûlées, auxquelles s'ajoutent les boues séchées de la S.T.E.P., sont déversées dans d'anciennes gravières dont le fond est continuellement en eau (malgré l'importance des battements de la nappe en bordure de la rivière : cf. étude hydrogéologique).

Un tel milieu favorise la prolifération bactérienne, elle-même provoquant, à plus ou moins long terme, une décomposition de la matière organique végétale ou animale (ABRARD R., 1963 ; DEUTSCH M., 1963).

Les analyses effectuées, dans le cadre de cette étude, sur l'eau du puits "Chablais-Béton" nous ont permis de constater l'existence locale d'une pollution organique naissante. Il s'agit là d'une entreprise utilisant l'eau de la nappe pour la fabrication de béton et le lavage des camions uniquement.

Une analyse bactériologique montrerait vraisemblablement l'existence d'une pollution biologique parallèle (E. COLI, Streptocoques...).

Le tableau 37 donne, à titre de comparaison, les résultats des analyses d'eau de 3 puits :

- Puits industriel de "Chablais-Béton", situé à 50 m. à l'Ouest de la décharge.

- Puits industriel des "Fonderies du Léman", situé à 500 m. en amont de la décharge (Sud-Ouest).

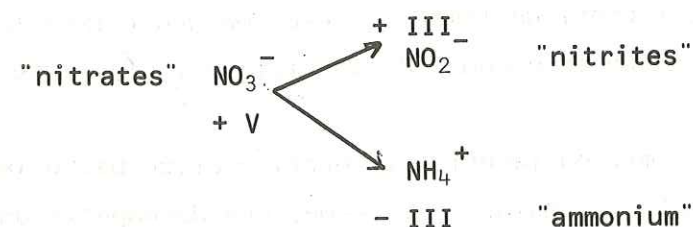
- Puits domestique de "St-Disdille-Bochaton", situé à 850 m. en aval de la décharge (Nord-Ouest).

Concrètement, la pollution localisée de la nappe par le dépôt d'ordures ménagères et industrielles se traduit par l'apparition d'une "zone de réduction".

Un cas identique de pollution est signalé par F. NORING (1968).

Les phénomènes suivants ont pu être mis en évidence à l'aide des analyses effectuées :

- Les nitrates sont réduits en nitrites ou en ions ammonium par l'activité bactérienne.



	X25°	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	P Total
CHABLAIS-BETON	645	13,26	4,73	0,388	20,90	20,60	5,05	0,065	0,005
	887	14,16	7,33	1,690	24,60	14,20	2,04	0,007	0,012
	647	14,70	6,95	1,040	29,40	22,10	5,32	0,015	0,029
	608	15,10	6,70	1,060	33,30	27,50	3,23	0,020	0,012
	.	13,20	9,23	2,450	15,12	51,30	1,64	0,012	0,014
FONDERIES DU LEMAN	499	2,72	1,03	0,002	3,00	71,40	5,36	0,000	0,004
	482	2,91	1,15	0,002	2,75	72,50	4,56	0,000	0,013
	484	2,42	0,99	0,005	2,78	76,70	3,85	0,001	0,024
	449	2,41	1,06	0,009	2,93	72,40	3,68	0,000	0,007
	.	3,29	1,26	0,006	4,19	76,60	8,31	0,002	0,013
St-DISDILLE-BOCHATON	625	9,28	3,77	0,000	11,00	54,70	6,73	0,000	0,049
	567	12,60	9,84	0,018	13,40	69,60	18,87	0,005	0,187
	574	7,65	1,91	0,005	11,29	56,50	4,16	0,001	0,021
	545	7,06	3,20	0,017	10,13	58,20	6,29	0,000	0,028
	.	8,74	5,41	0,018	7,28	55,90	14,00	0,005	0,111

TABEAU 37 - Pollution "organique et chimique". Apparition d'une zone de réduction.

C'est ainsi que la teneur en nitrites est de 0,007 à 0,065 mg/l à proximité de la décharge ("Chablais-Béton"), tandis qu'elle reste inférieure à 0,002 mg/l en amont de celle-ci ("Fonderies du Léman").

La teneur en ions NH_4^+ au puits de Chablais-Béton est 100 à 800 fois supérieure à celle mesurée au puits des Fonderies du Léman. Rappelons que les normes pour une eau potable sont les suivantes :

- Moins de 0,5 mg/l d'azote ammoniacal NH_4^+
- Moins de 44 mg/l de nitrates (NO_3^-) ou de 10 mg/l d'azote nitreux et nitriques.

La dernière analyse chimique effectuée (31 Mai 1977) donne une teneur en NH_4^+ 5 fois supérieure à la norme, en ce qui concerne le puits de Chablais-Béton.

En aval de la décharge (puits de St-Disdille-Bochaton), cette pollution "organique" s'estompe sans disparaître totalement (0,015 mg/l d'ions NH_4^+ en moyenne).

- Les sulfates sont également réduits à proximité de la décharge. La teneur en ions SO_4^{--} passe de 75 mg/l en amont de la décharge à 25 mg/l à proximité de celle-ci.

- Une augmentation notable des chlorures (3 à 25 mg/l), du sodium (3 à 14 mg/l) et du potassium (1 à 7 mg/l) résulte également de cette pollution par les dépôts d'ordures ménagères.

Les fortes teneurs en Cl^- , Na^+ et K^+ mesurées en aval de la décharge, au puits de "St-Disdille-Bochaton", paraissent liées à la présence de cette décharge, et non pas à des déversements d'eaux résiduaires ménagères comme nous avons pu le supposer dans un premier temps.

Ce dernier type de pollution existe néanmoins sur le delta de la Dranse, comme nous allons le voir à présent.

II.3.4. - Pollution due aux puits perdus :

Un certain nombre de puits perdus domestiques recensés en 1967 par M. DRAY, avaient été colmatés en 1975. Entre temps, le réseau d'égouts souterrain s'est considérablement développé.

Il existe néanmoins quelques cas de pollutions de la nappe, liés à des rejets d'eaux résiduaires ménagères, contenant des détergents, dans des puits.

C'est ainsi qu'au puits "Piotton-Duret" une analyse effectuée le 4 Décembre 1975 a donné une teneur en orthophosphates PO_4^{---} de 1,05 mg/l (1,15 mg/l de phosphore total). Les teneurs en chlorures (38,2 mg/l), nitrites (0,020 mg/l), sodium (28,3 mg/l) montraient une pollution par des eaux de lessive. On sait qu'une poudre à laver contient en moyenne 35 % de phosphate et 40 % de sels de sodium.

Les sources des versants, alimentées par des aquifères superficiels pour la plupart, sont très vulnérables à la pollution.

La carte des teneurs en nitrates à la date du 31 Mai 1977 (figure 45) amène plusieurs constatations :

- 2 types de sources peuvent être distingués :

. des sources d'origine superficielle, mal protégées, et donc aisément contaminées. La teneur en nitrates de ces sources est supérieure à 20 mg/l, parfois même à 40 mg/l (43 mg/l pour la source captée de Sussinges en rive droite ; 40 mg/l pour celle de la Pisciculture en rive gauche). Le ruisseau des Gennevrilles (22 mg/l de NO_3^-) peut être classé parmi ce groupe de sources.

. des sources d'origine profonde, mieux protégées. Il s'agit du groupe de sources situé autour du village d'Amphion.

La teneur en nitrates de celles-ci est inférieure à 10 mg/l (3,5 mg/l à Amphion Vieux-Village, source captée ; 6 mg/l à Amphion-Maxima).

- La nappe superficielle des versants de Thonon participe bien à l'alimentation de la nappe du delta. Les teneurs en NO_3^- aux puits de "Ripaille-Ville" et "Ripaille-Domaine" sont systématiquement plus fortes malgré le réseau de protection existant (autour du puits de la ville en particulier).

- Le puits de la S.A.E.M.E. (14 mg NO_3^- /l) est dans l'axe d'alimentation de la nappe du delta par la nappe superficielle du versant d'Evian.

- Les fortes teneurs de "Gur", "Le Mottay" et "Pompage Publier" sont liées, soit à une alimentation par le versant, soit à une moins bonne protection de la nappe (moins profonde en bordure du lac qu'en bordure des versants).

- Le cas du puits "St-Disdille-Bochaton" évoqué plus haut (voir chapitre II.2.3.), paraît lié à la présence de la décharge en amont de celui-ci.

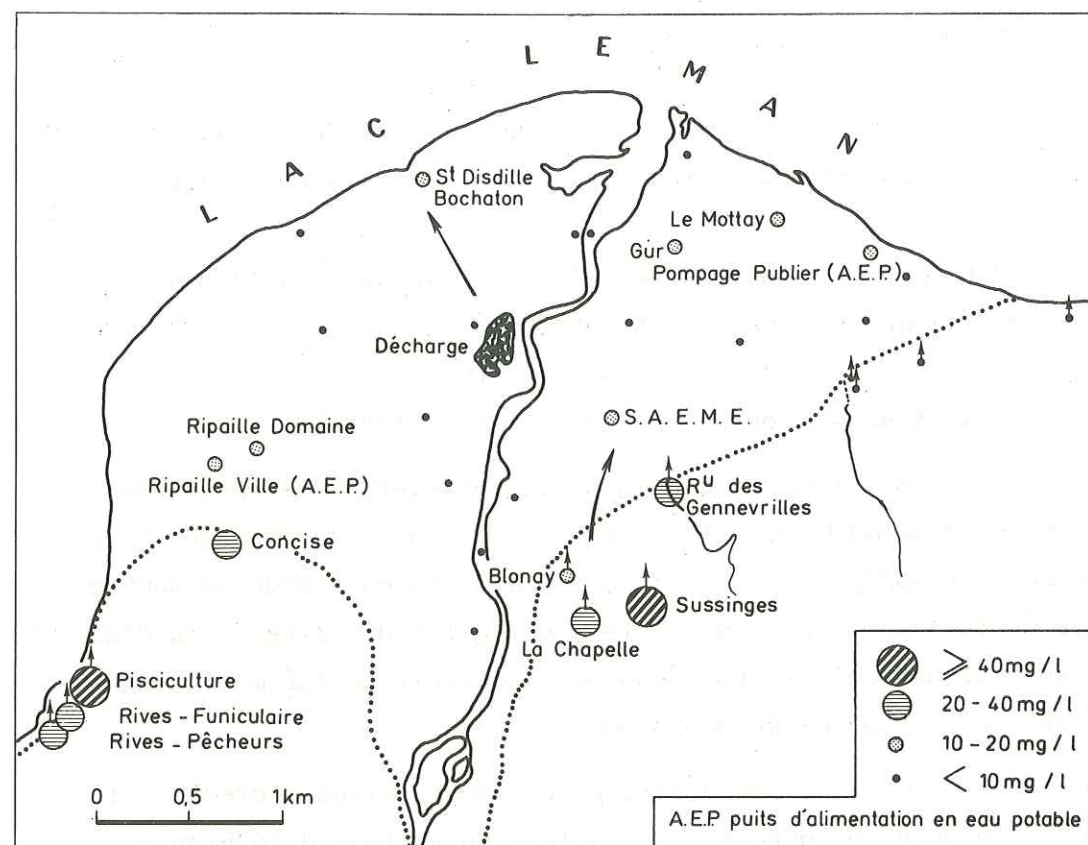


Fig.45 : TENEUR EN NITRATES (mg NO₃/l - 31 mai 1977)

II.4. - Conclusion : carte des "pollutions".

Nous avons été amenés à l'issue des résultats obtenus, à dresser une carte dite des "pollutions" (figure 46). Nous entendons par ce terme aussi bien les pollutions existantes, que l'extension prévisible de certaines zones dites "sensibles". La connaissance du sens d'écoulement des eaux souterraines grâce à l'étude piézométrique (voir hydrologie), permet en effet de prévoir un tel résultat.

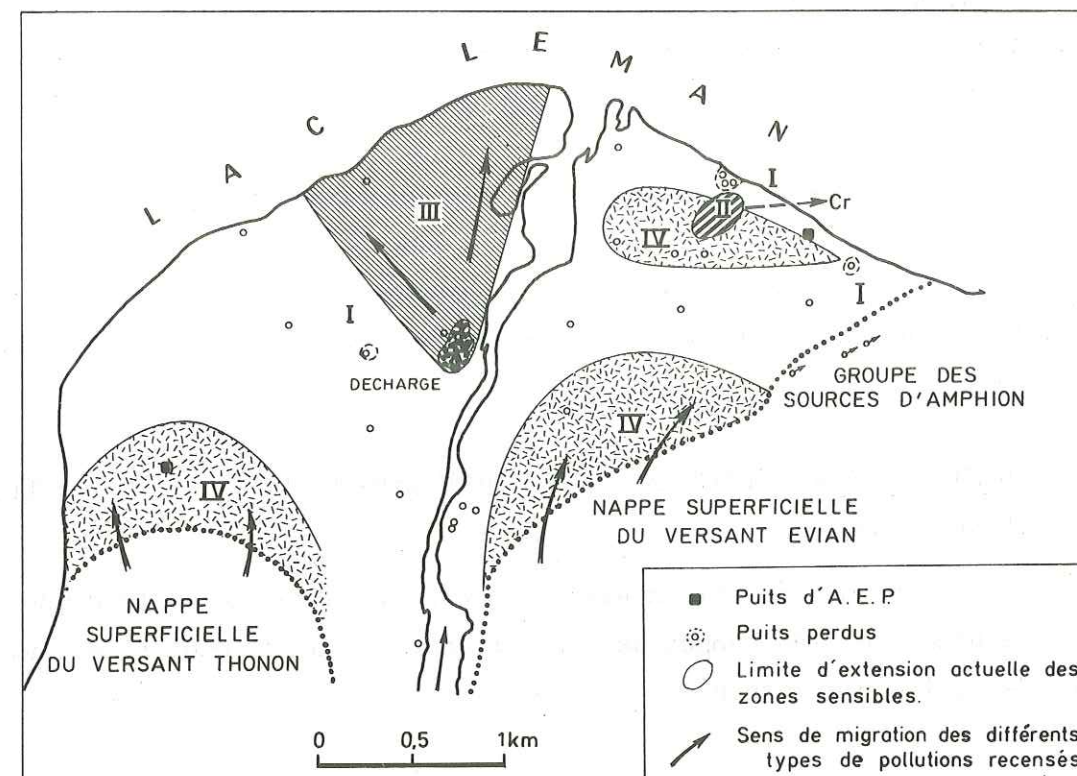


Fig.46 : DELTA DE LA DRANSE "Carte des pollutions"

Quatre types de "pollutions" figurent sur cette carte :

1) Pollution chimique par des rejets en puits perdus. Voir chapitre II.2.4.

Une solution paraît s'imposer : le colmatage pur et simple de ces trois puits domestiques.

2) Pollution par du chrome hexavalent au lieu-dit Le Mottay. Dans l'éventualité d'une utilisation future de ce puits par la ville d'Evian, l'essai de décontamination par pompage doit être poursuivi.

3) Pollution organique et chimique liée à la présence de la décharge en bordure de la Dranse.

Il est vraisemblable que cette zone contaminée sera amenée à s'étendre dans les années qui viennent, et à menacer la qualité de la nappe sur une importante superficie. L'accent doit être mis impérieusement sur ce danger, et ce, dans les plus brefs délais.

4) Existence de zones "sensibles" car mal protégées ou sous l'influence directe des nappes superficielles des versants, elles-mêmes très vulnérables à différentes causes de pollutions.

Au puits de "Ripaille-Ville", alimentant Thonon et la zone industrielle de Vongy, la teneur en nitrates a doublé en 10 ans* (1965 : 8,5 mg/l ; 1976 : 16 mg/l). Il en est de même pour les chlorures (de 4 à 7,5 mg/l). Les sources de plus en plus contaminées sont à l'origine de ce phénomène.

III - CHIMIE, ISOTOPES (OXYGENE-18) ET ALIMENTATION DE LA NAPPE DU DELTA DE LA DRANSE.

L'étude des relations existant entre la nappe du delta d'une part, la Dranse et les nappes de versants d'autre part, peut être envisagée de la façon suivante :

- Approche géochimique : recherche de quelques rapports caractéristiques ($r_{Mg/rCa}$, r_{HCO_3/rSO_4} , ...).

- *Approche isotopique* : étude des teneurs en $\delta^{18}\text{O}$.

III.1. - Etude de quelques rapports caractéristiques.

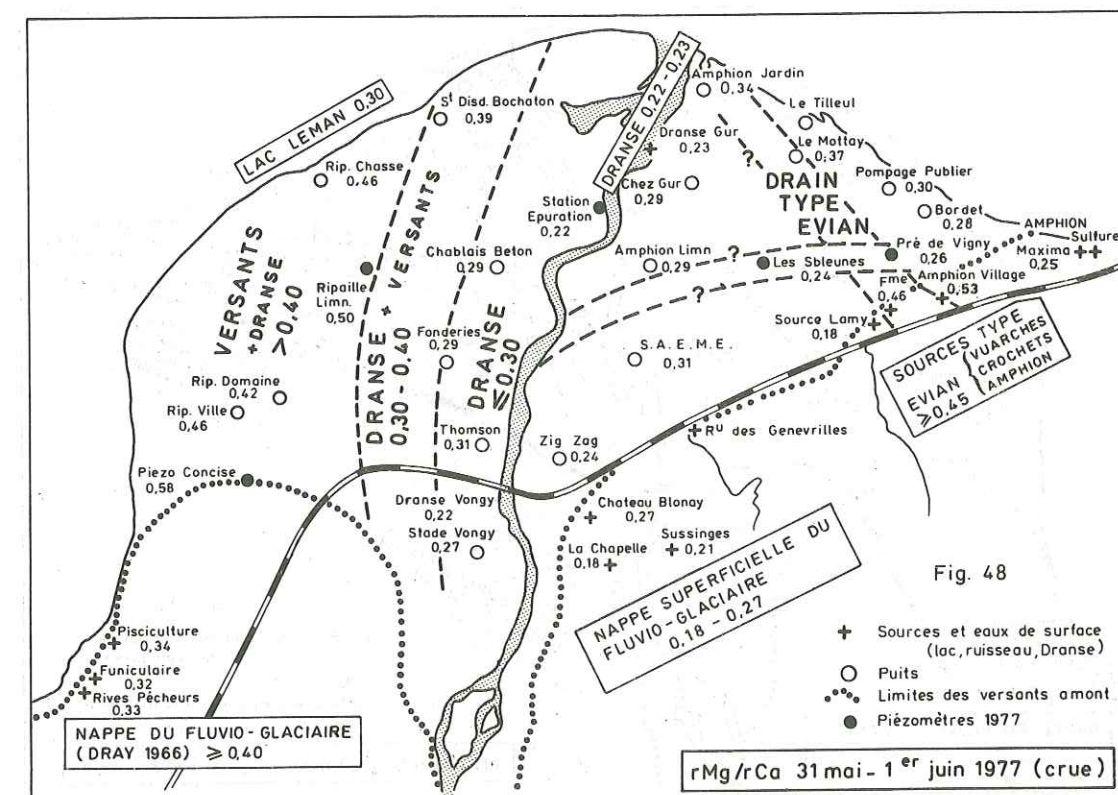
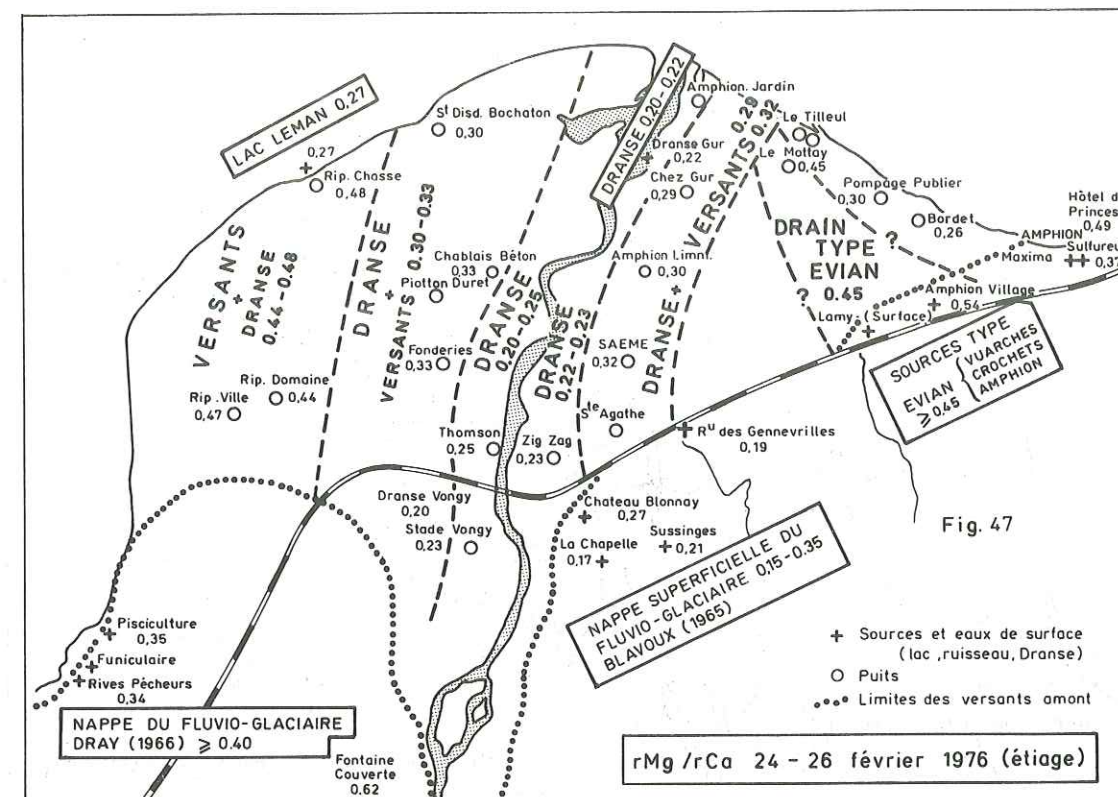
Le choix des rapports étudiés est fonction de la nature des eaux, bicarbonatées calciques (et magnésiennes), légèrement sulfatés.

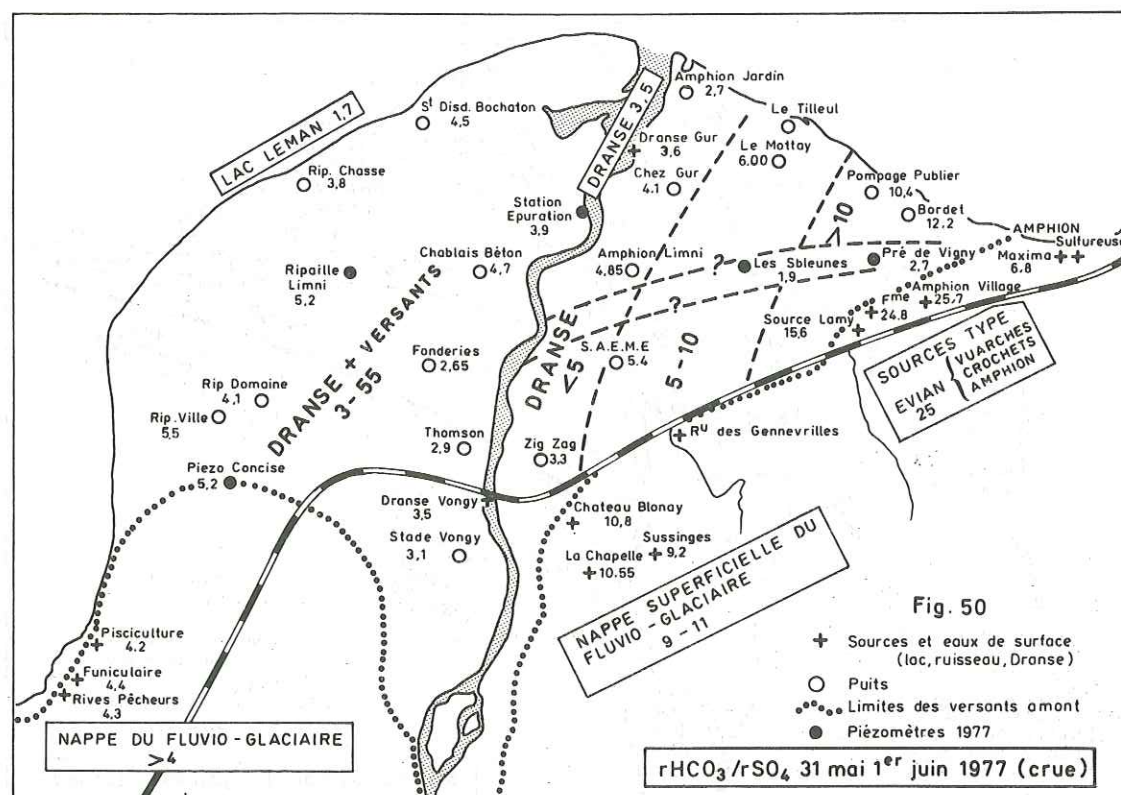
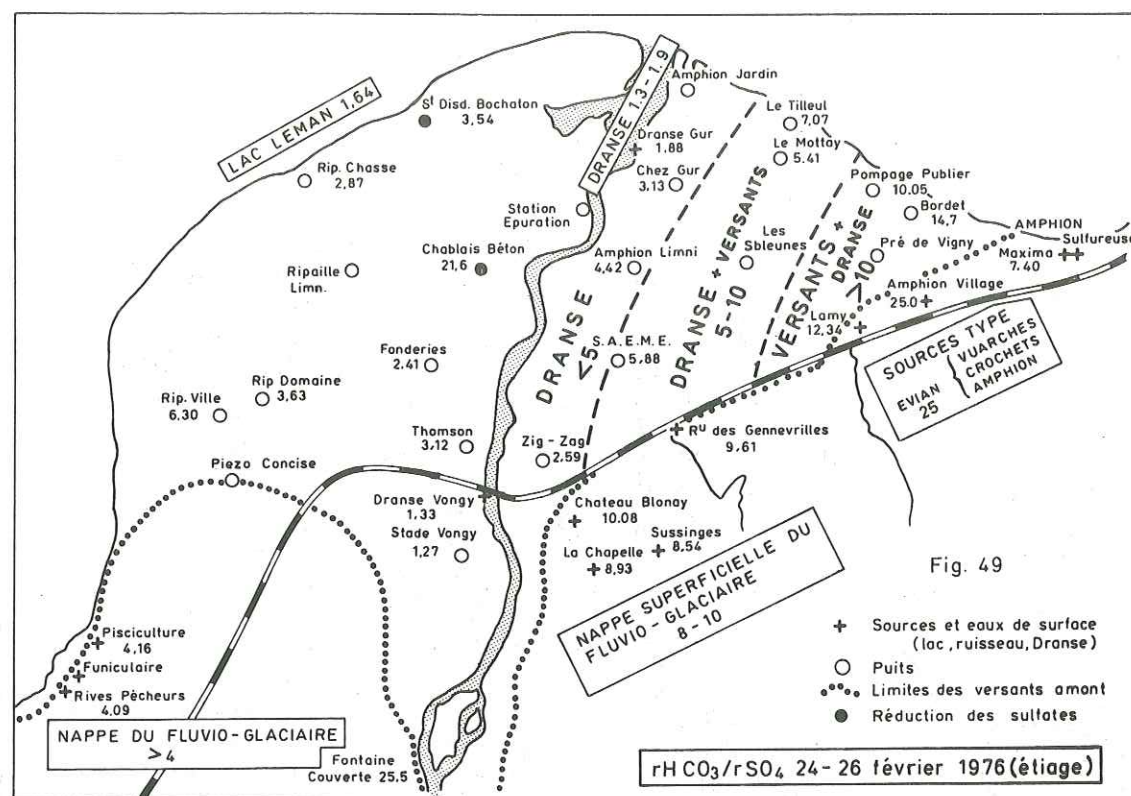
Les rapports rMg/rCa et $rHCO_3/rSO_4$ ont été calculés et situés dans l'espace (figures 47 à 50), lors des campagnes du 24 au 26 Février 1976 (étiage) et du 31 Mai au 1er Juin 1977 (crue).

En ce qui concerne les rapports rMg/rCa , nous avons pu observer les phénomènes suivants :

- Les valeurs obtenues en chaque point de prélèvement sont sensiblement les mêmes en période d'étiage et en période de hautes eaux.

* Il s'agit de valeurs moyennes dans chaque cas.





Certaines différences sensibles (Thomson, Fonderies du Léman, Chablais-Béton...) sont liées aux pompages affectant par intermittence ces puits.

- Il semble qu'au puits du Mottay ($rMg/rCa = 0,37$ à $0,45$), la nappe alluviale soit influencée par la présence en profondeur d'un drain type Evian, capté aux sources du Vuarche et des Crochets ($> 0,45$). Ce même drain se retrouve aux sources du Vieux-Village d'Amphion ($0,53$ à $0,54$).

- En effet, la valeur trouvée au Mottay n'est liée ni au lac (0,27 à 0,30), ni à la Dranse (0,20 à 0,23), ni aux sources de la nappe superficielle du fluvio-glaciaire (0,17 à 0,27).

- Les valeurs mesurées lors de la campagne de 1977 aux piézomètres des Sbleunes (0,24) et du Pré de Vigny (0,26) peuvent s'expliquer par la présence à cet endroit d'un cours ancien de la Dranse (0,22 à 0,23), encore actif actuellement. Nous verrons à l'aide des autres résultats ($\text{rHCO}_3/\text{rSO}_4$ et $\delta^{18}\text{O}$) que penser de cette hypothèse.

- Excepté ces 2 derniers points, l'influence de la Dranse apparaît nettement en bordure de la rivière. En s'éloignant, ce sont les eaux souterraines des versants qui alimentent la nappe alluviale.

Lorsque les deux types d'alimentation sont en présence, on obtient des valeurs intermédiaires (phénomène visible en rive gauche essentiellement).

L'étude des rapports $r\text{HCO}_3^-/r\text{SO}_4$ amène d'autres constatations :

- En hautes eaux, ce rapport est 2 à 3 fois plus fort pour la rivière qu'en étiage (3,5 contre 1,6). Ceci s'explique par le fait qu'en période de crue, les eaux souterraines chargées sont diluées par les eaux de ruissellement beaucoup moins minéralisées (M. MEYBECK, 1970). Pour les ions sulfates en particulier, la variation en fonction du débit est de 1 à 10.

- Nous retrouvons les valeurs exceptionnelles des Sbleunes (1,89) et du Pré de Vigny (2,71) plus proches de la composition des eaux de la Dranse (3,5) que d'autres puits plus proches de la rivière (S.A.E.M.E. : 5,38 ; Amphion-Limnigraphie : 4,85).

- La valeur exceptionnelle trouvée au puits de Chablais-Béton le 24 Février 1976 (21,6) est liée au phénomène de réduction des sulfates décrit précédemment (voir chapitre II.2.3.).

- En ce qui concerne les relations nappe-rivière-versants, les mêmes constatations peuvent être effectuées que pour l'étude des rapports rMg/rCa.

III.2. - Etude des teneurs en $\delta^{18}O$.

L'étude isotopique des eaux de la nappe du delta de la Dranse, ainsi que de ses versants, de la Dranse et du lac Léman, a porté essentiellement sur l'oxygène-18 qui constitue l'un des isotopes stables de l'oxygène.

Les échantillons préparés selon la technique classique décrite par EPSTEIN S. et MAYEDA T. (1953), ont été analysés au spectromètre de masse au laboratoire de Géologie Dynamique de l'Université Pierre et Marie Curie.

La précision des résultats, exprimés en δ ou ppm de différence par rapport au standard international de référence (le SMOW : Standard Mean Oceanic Water), est de 0,15 ‰. Nous avons la relation suivante :

$$\delta^{18}O = \frac{R \text{ échantillon}}{R \text{ standard}} - 1 \times 1000$$

avec $R = \frac{\text{isotope lourd}}{\text{isotope léger}}$, soit $\frac{180}{160}$ dans l'échantillon

comme dans l'eau de mer ("standard").

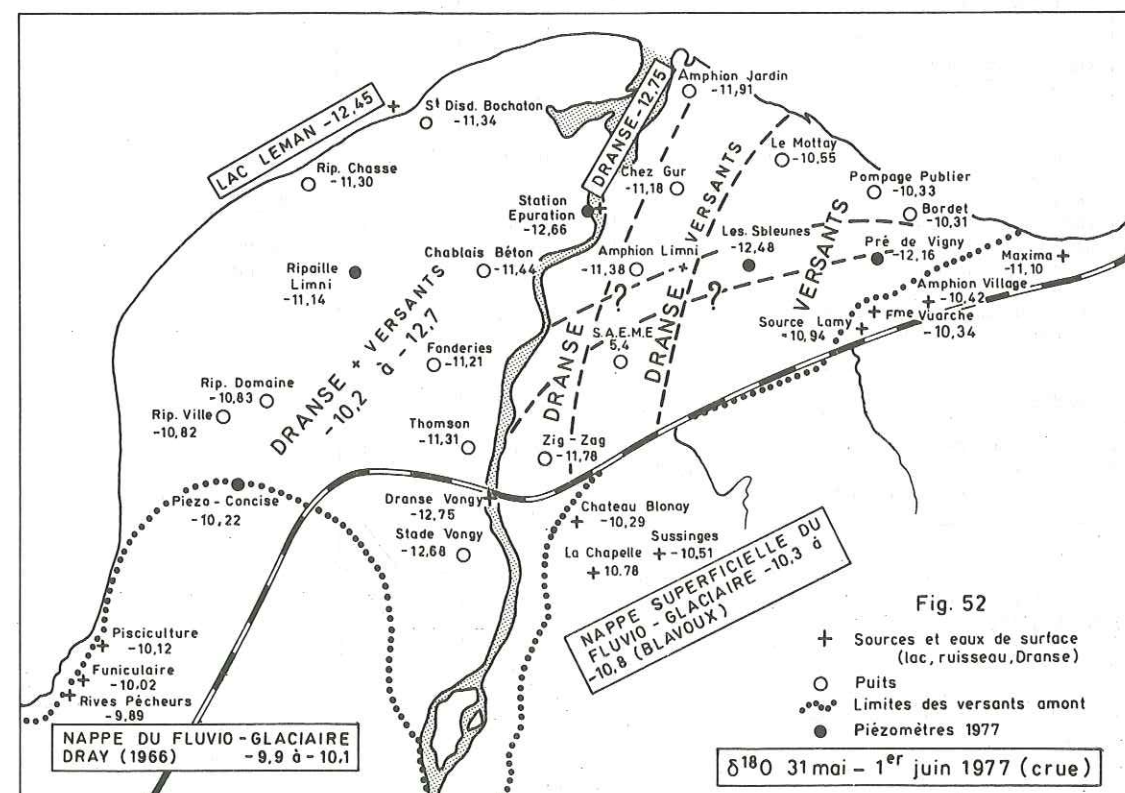
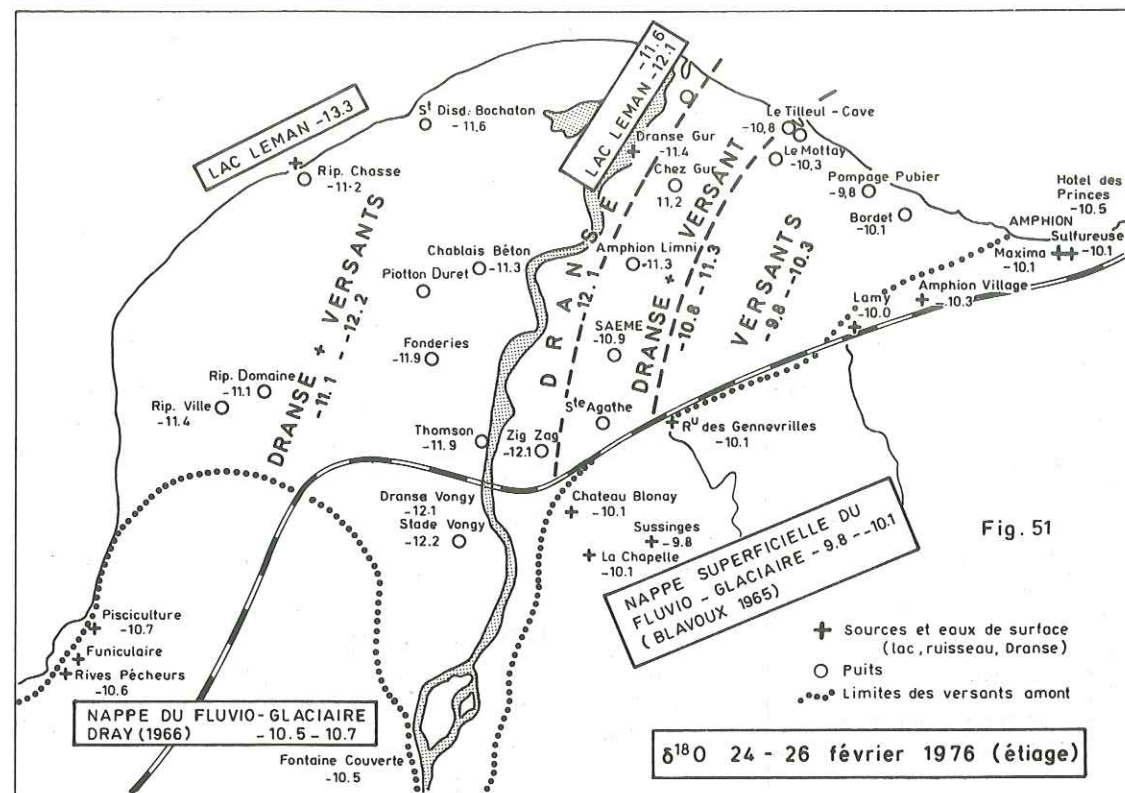
Les résultats complets des analyses figurent dans le tableau 38.

Les figures 51 et 52 permettent de situer dans l'espace les différents points de prélèvements avec leur teneur en oxygène-18, en période d'étiage (24-26 Février 1976, figure 51) et en période de crue (31 Mai - 1er Juin 1977, figure 52).

Dans un cas comme dans l'autre, l'influence de la Dranse apparaît nettement sur les deux rives.

Lieu de prélèvement	03-04.12.75	24-26.02.76	17.06.76	11.08.76	31.06-01.07.77
NAPPE. (rive gauche)					
Stade de Vongy	- 11,50	- 12,20	- 12,40	- 11,90	- 12,68
Thomson	- 11,40	- 11,90	- 11,60	- 12,30	- 11,31
Fonderies du Léman	- 11,30	- 11,90	- 11,50	- 11,50	- 11,21
Béton-Chablais	- 10,70	- 11,30	- 11,00	- 11,00	- 11,44
St-Disdille-Bochaton	- 11,30	- 11,60	- 11,60	- 11,30	- 11,34
Ripaille Ville	- 10,90	- 11,40	- 10,70	- 10,80	- 10,82
Ripaille Domaine	- 11,10	- 11,10	.	- 11,20	- 10,83
Ripaille Chasse	- 10,80	- 11,20	- 10,80	- 12,10	- 11,30
Ripaille Limnigraphe	.	.	.	.	- 11,14
Piezomètre-Concise	.	.	.	.	- 10,22
Piezomètre-Station Epuration	.	.	.	.	- 12,66
NAPPE. (rive droite)					
Zig-Zag	.	- 12,10	.	.	- 11,78
Amphion-S.A.E.M.E.	- 10,80	- 10,90	- 10,80	- 11,10	- 11,10
Amphion-Jardin	- 11,80	.	- 12,00	- 11,00	- 11,91
Amphion-Limnigraphe	- 11,40	- 11,30	- 11,10	- 11,50	- 11,38
Chez Gur	- 10,90	- 11,20	- 11,30	- 11,70	- 11,18
Le Tilleul-Cave	- 10,30	- 10,80	- 10,60	- 12,50	.
Pompage Publier	- 10,10	- 9,80	- 10,90	.	- 10,33
Chez Bordet	- 9,90	- 10,10	- 10,80	- 10,50	- 10,31
Le Mottay-Evian	.	- 10,30	- 10,30	- 10,80	- 10,56
Piezomètre-Les Sblennes	.	.	.	.	- 12,48
Piezomètre du Pré de Vigny	.	.	.	.	- 12,16
SOURCES VERSANT. (rive gauche)					
Pisciculture	- 10,00	- 10,70	- 10,30	- 10,30	- 10,12
Rives-Pêcheurs	- 10,10	- 10,60	- 10,20	- 10,20	- 9,89
Rives-Funiculaire	.	.	.	.	- 10,02
Fontaine-Couverte	.	.	.	.	.
SOURCES VERSANT. (rive droite)					
Château de Blonay	.	- 10,10	- 9,90	- 10,05	- 10,29
La Chapelle	.	- 10,10	.	- 12,90	- 10,78
Sussinges	.	- 9,80	.	- 9,20	- 10,51
Amphion-Vieux Village	- 10,20	- 10,30	- 10,30	- 10,20	- 10,42
Lamy-Le Vuarché	.	- 10,00	- 10,20	- 10,00	- 10,94
Amphion-Maxima	.	- 10,10	.	- 10,00	- 11,10
Amphion-Sulfureuse	.	- 10,10	.	- 10,00	.
Hôtel-des-Princes	.	- 10,50	.	- 10,60	.
Ruisseau des Gennevillles	.	- 10,10	.	.	.
Fontaine-Le Vuarché	.	.	.	.	- 10,34
DRANSE.					
Amont (Pont de Vongy)	.	- 12,10	- 11,20	- 12,20	- 12,74
Aval (Chez Gur)	- 10,10	- 11,40	- 12,30	- 11,40	.
Aval (Station Epuration)	.	.	.	.	- 12,76
LAC.					
Ripaille-Chasse	- 12,30	- 13,30	- 13,00	.	.
St-Disdille	.	.	.	.	- 12,45

TABLEAU 38 - Teneurs en oxygène-18 ($\delta^{18}O$ S.M.O.W.).



1) En étiage (Février 1976), les valeurs varient de -12 ‰ environ ($-12,2\text{ ‰}$ au "Stade de Vongy" ; $-12,1\text{ ‰}$ à "Zig-Zag" ; $-11,9\text{ ‰}$ à "Thomson" et "Fonderies du Léman"), en bordure de la Dranse ($-12,1\text{ ‰}$ au "Pont de Vongy"), à -10 ‰ environ ($-9,8\text{ ‰}$ à "Pompage Publier" ; $-10,1\text{ ‰}$ chez "Bordet") en bordure du lac Léman ($-13,3\text{ ‰}$).

L'influence des versants, masquée en bordure de la rivière, apparaît de plus en plus nettement lorsqu'on s'éloigne de celle-ci.

Il est à noter, dans ce cas, la valeur du lac nettement différenciée par rapport à celles de la Dranse et de la nappe.

De plus, il existe en rive droite du delta une "zone intermédiaire" où les valeurs oscillent autour de -11 ‰ . L'influence de la rivière s'estompe tandis que celle des versants apparaît. Il se produit donc un "mélange" des 2 sources d'alimentation que constituent la Dranse d'une part, les versants d'autre part.

2) En période de crue (31 Juin - 1er Juillet 1977), les mêmes constatations peuvent être effectuées : influence de la Dranse en bordure de celle-ci, puis valeurs se rapprochant progressivement de celles des versants.

Les faibles valeurs notées aux nouveaux piézomètres des "Sbleunes" ($-12,48\text{ ‰}$) et du "Pré de Vigny" ($-12,16\text{ ‰}$) peuvent s'expliquer de deux façons :

- Confirmation de l'existence d'un cours (ou d'un drain) ancien de la Dranse ($-12,75\text{ ‰}$) sensiblement parallèle à la voie de chemin de fer.
- Présence locale d'eau du lac Léman déversée lors de l'exécution des sondages pour le nettoyage des piézomètres.

La teneur en oxygène-18 du lac Léman à St-Disdille ($-12,45\text{ ‰}$) se rapproche en effet de celles mesurées dans les piézomètres.

Nous ne pouvons actuellement trancher en faveur de l'une ou l'autre de ces hypothèses, aucun pompage n'ayant été effectué à ce jour dans les piézomètres.

La chimie (voir résultats en annexe XVII) tendrait néanmoins à faire penser que l'eau du lac déversée dans les sondages, ne s'était pas encore écoulée au moment du prélèvement (teneurs en Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{--} voisines dans les piézomètres et dans le lac).

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

C O N C L U S I O N S G E N E R A L E S

La nappe du delta de la Dranse représente la plus importante réserve d'eau souterraine du Bas-Chablais. C'est elle qui constitue, et de loin, la principale source d'alimentation en eau potable des communes de Thonon (+ Marin) et Publier, et aussi d'une zone industrielle en pleine extension.

D'où l'intérêt, non seulement scientifique, mais pratique et économique d'une telle étude.

Nous disposions au début de cette étude, de données hydrologiques et hydrométéorologiques accumulées au Centre de Recherches Géodynamiques depuis 1965 (précipitations, lysimètre, débits de la Dranse, niveau de la nappe au limnigraphe d'Amphion...). Partant de ces premières données, nous avons été amenés, durant les deux années passées à Thonon, à multiplier les recherches nécessaires pour arriver à élaborer une meilleure connaissance des problèmes posés par la nappe du delta.

A l'issue de ces travaux, nous avons abouti à une bonne connaissance des processus réglant l'alimentation de la nappe, ainsi que de la qualité des eaux.

Encore les résultats obtenus nous paraissent-ils plutôt préciser et donner du corps scientifiquement à certains problèmes, qu'y apporter des réponses définitives du point de vue pratique.

1) Géologie.

La nappe du delta de la Dranse, comprise dans les alluvions qui s'étagent entre plusieurs niveaux de terrasses deltaïques (3, 10 et 30 m. au-dessus du niveau du lac), semble ne former qu'un seul aquifère. En effet, les matériaux constitutifs de ces alluvions sont de nature relativement homogène (sables, graviers et galets), malgré la présence discontinue de passées sablo-argileuses peu épaisses.

L'épaisseur de ces alluvions varie de 60 m. environ en amont (au forage de Sainte-Agathe, le substratum anté-quaternaire, qui serait représenté par la molasse, a été atteint à une profondeur de 64 m.), à 200 m. en bordure du lac Léman (données de la géophysique).

Ceci est confirmé par l'interprétation de 2 pompages d'essai effectués en rive droite du delta de la Dranse, l'un à proximité des versants ("S.A.E.M.E."), l'autre en bordure du lac ("Le Mottay"). Rappelons que les valeurs de transmissivité obtenues varient d'un facteur 100 ($1,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ dans le premier cas ; $2,25 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ dans le second), pour un coefficient d'emmagasinement respectif de 30 % et 10 %.

2) Alimentation de la nappe.

Elle est triple :

- Par les précipitations.
- Par les apports de la Dranse.
- Par les apports des versants.

La nappe, dans sa partie aval, s'écoule progressivement en direction du lac pour se mettre en équilibre avec celui-ci.

En d'autres termes, le lac sert de niveau de base à l'aquifère et ne participe pas à l'alimentation de la nappe.

Ce résultat est confirmé par l'étude chimique et isotopique des eaux du lac et de la nappe en bordure de celui-ci.

La part respective des différents apports a pu être évaluée à différentes échelles chronologiques, par l'étude du bilan hydrologique. Le tableau suivant résume les principaux résultats obtenus concernant la recharge de la nappe :

	Crue du 13.12.76		Moyenne de crues		Année 1976		Année moyenne (1966-1976)	
Précipitations*	30,30 %	1,14	18 %	.	21,4 %	3,20	41 %	4,10
Dranse	69,20 %	2,61	80 %	.	75,6 %	11,33	55 %	5,43
Versants	0,50 %	0,02	2 %	.	3,0 %	0,45	4 %	0,45

Quantification des apports à la nappe du delta pour différentes périodes (en % et en 10^6 m^3).

* P - ETr = I efficace

. L'étude des précipitations (940 mm/an) et de l'évapotranspiration (420 mm/an) à la station de Thonon-C.R.G., nous a permis d'évaluer à $4,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (moyenne 1963-1976), l'infiltration efficace annuelle moyenne sur le delta de la Dranse (8,2 km²), compte tenu du fait que le ruissellement de surface reste négligeable.

. L'alimentation par la rivière et par les versants a été estimée dans notre étude en fonction de diverses méthodes d'approche :

- Approche hydrologique par mesure de débits simultanées en amont et en aval du delta.

- Approche piézométrique, qui nous a permis de tracer le sens d'écoulement des eaux souterraines, tout en montrant la nature des relations nappe-rivière (rivière perchée dans sa partie amont).

- Approche géochimique et isotopique. L'étude de quelques rapports caractéristiques ($r\text{Mg}/r\text{Ca}$; $r\text{HCO}_3/r\text{SO}_4$) et des teneurs en $\delta^{18}\text{O}$, confirme, en les précisant, les résultats précédents : influence de la Dranse en bordure de la rivière. Si l'on s'éloigne de celle-ci, ce sont les eaux souterraines des versants qui alimentent la nappe alluviale.

L'existence de deux drains en rive droite du delta en relation, l'un avec un ancien cours de la Dranse, l'autre avec un aquifère profond de type Evian, reste hypothétique en l'état actuel des choses.

3) Exploitation et gestion de la nappe.

Au total -et pour une période d'observation de 11 ans (1966-1976)-, nous pouvons donc estimer que l'ensemble des apports à la nappe du delta s'est élevé à 10 millions de m^3 par an. Le débit d'exploitation de la nappe évalué à $10.10^6 m^3/an$ auquel s'ajoutent $2.10^6 m^3/an$ représentant les déversements de la nappe vers le lac, est à l'origine d'une diminution des réserves en eaux souterraines, pour cette même période, de $2.10^6 m^3/an$. Corrélativement, la nappe du delta a baissé globalement de 80 cm.

Néanmoins, il apparaît que les facteurs climatiques (précipitations, infiltration des eaux de la Dranse) sont à l'origine des importantes fluctuations piézométriques annuelles, et surtout saisonnières, relevées. Les pompages actuellement effectués sur le delta n'affectent pas de façon sensible les réserves de la nappe. Cette constatation ne doit pas nous empêcher de mettre en garde les utilisateurs contre une croissance abusive des pompages.

4) Qualité des eaux.

Si la qualité générale des eaux reste bonne, il n'en reste pas moins que nous croyons nécessaire de signaler l'existence de plusieurs zones dites "sensibles", parfois même contaminées (chrome hexavalent, puits perdus). La plus importante de celles-ci est centrée autour de la décharge située en bordure de la Dranse.

Par conséquent, il apparaît nécessaire de poursuivre l'étude entreprise par des mesures et analyses régulières, et aussi à l'occasion d'un événement exceptionnel (crue ou étiage prononcé). Pour cela, il existe à présent un réseau de surveillance comprenant, outre les puits d'alimentation et industriels, deux limnigraphes (un sur chaque rive) et cinq piézomètres.

A moyen terme, la recherche de nouvelles ressources en eau sur le delta de la Dranse pourrait donner lieu à l'exécution d'un ou plusieurs forages profonds. Ceux-ci mettraient peut-être en évidence l'existence de niveaux aquifères alimentés par des écoulements indécélés jusqu'à présent, qu'ils rejoignent ou non le vaste réservoir lémanique. Tel est le souhait que je formulerais en guise d'aboutissement.

B I B L I O G R A P H I E

B I B L I O G R A P H I E

- ARDESTANI H., 1965. Monographie hydrologique du bassin de la Dranse d'Abondance. Thèse d'Ingénieur Docteur, Paris, 272 p.
- AUBOUIN J., BROUSSE R., LEHMAN J.P., 1967. Précis de géologie, 3 tomes. Editions Dunod, Paris.
- BADOUX H., 1965. Feuille Thonon-Châtel au 1/50 000ème. XXV-28 et notice. Carte géologique France.
- BANU A.C., 1970. L'équilibre naturel des deltas. I.A.S.H. et Unesco. Hydrology of deltas. Procceding of the Bucharest Symposium. vol. 1, 184-188.
- BERKALOFF E., 1966. Effet de capacité des puits sur la dépression du niveau piézométrique. Limites de validité des formules de THEIS et de JACOB. Bull. B.R.G.M., Rapport DS.66.A.128.
- BIELER P.L., 1976. Etude paléoclimatologique de la fin de la période Quaternaire dans le bassin lémanique. Arch. Sci. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève, 29, 1, 1-55.
- BLANC P., DRAY M., 1968. La nappe du delta de la Dranse. Qualité chimique des eaux en rapport avec son alimentation. Rev. Inst. Pasteur Lyon, I, 2, 277-295.
- BLANC P., DRAY M., OLIVE Ph., 1969. Nouvelles données sur les caractéristiques chimiques et isotopiques des eaux du complexe quaternaire de la région de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie). Rev. Géogr. Alpine, LVII, 4, 823-830.
- BLAVOUX B., 1966. Les sources minérales d'Evian. Thèse 3ème cycle, Hydrogéologie, Paris.
- BLAVOUX B., BRUN A., 1966. Nouvelles données sur les terrains quaternaires de la région lémanique. C.R. Acad. Sci. Paris, 262, 2569-2572.

- BLAVOUX B., DRAY M., 1971. Les sondages dans le complexe quaternaire du Bas-Chablais et leurs enseignements stratigraphiques. Leur intérêt pour l'hydrogéologie et l'hydrochimie régionales. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., 13, 1, 17-34.
- BRUN A., 1966. Révision de la stratigraphie des dépôts quaternaires dans la basse vallée de la Dranse (Haute-Savoie). Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., VIII, 5, 399-404.
- BUCHLI H., PAQUIN R., DONZE A., 1976. Etude géoélectrique et gravimétrique du Chablais entre Anières et Evian. Géophysique n° 18. Commission Suisse de Géophysique et Commission Géotechnique Suisse.
- CASTANY G., 1963. Traité pratique des eaux souterraines. Editions Dunod, Paris.
- CASTANY G., 1968. Prospection et exploitation des eaux souterraines. Editions Dunod, Paris.
- DOUDOUX B., 1965. Rapport sur les conditions géologiques d'un puits destiné à l'alimentation en eau potable de la ville d'Evian.
- DRAY M., 1970. Etude hydrogéologique du quaternaire de la région de Thonon (Haute-Savoie). Thèse 3ème cycle, Hydrogéologie, 146 p., 111 fig., 31 tabl., Paris.
- DRAY M., 1971. Le sondage de Chessy (Haute-Savoie). Contribution nouvelle à la géologie du Quaternaire du Bas-Chablais. Arch. Sci. Genève, 24, 1, 57-72.
- DUBREUIL P., 1974. Initiation à l'analyse hydrologique. Edition Masson et Cie, Paris.
- DUBUS J., 1969. Le quaternaire en tant qu'aquifère. Réflexions concernant la contribution de la géomorphologie à la prospection des eaux souterraines. Rev. Géogr. Alp., LVII, 1, 465-470, Grenoble.

- DUPRAT A., SIMLER L., UNGEMACH P., Contribution de la prospection électrique à la recherche des caractéristiques hydrodynamiques d'un milieu aquifère. Extrait de "Terres et Eaux", XXIII, 62, 23-31.
- FLORET J., HUBERT P., 1977. Les fonctions socio-économiques du lac Léman. Rev. Géogr. Alp., LXV, 2, 181-201.
- FONTES J.C., LETOLLE R., OLIVE Ph., BLAVOUX B., 1967. Oxygène-18 et tritium dans le bassin d'Evian. "Isotopes in Hydrology" I.A.E.A., Vienne, SM 83/28, 401-415.
- FOREL F.A., 1892-1901. Le Léman. Monographie limnologique. Lausanne. Rouge et Cie, 3 volumes.
- FORKASIEWICZ J., 1972. Interprétation des données de pompages d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères. B.R.G.M., rapport 72 SGN 273 AME, 2ème édition.
- FOURNEAUX J.C., 1968. Hydrogéologie du Grésivaudan. Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- GAGNEBIN E., 1937. Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne, 58, 82 p., 6 fig. Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat., 59, 243, 335-416, 6 fig.
- GAGNEBIN E., 1938. Le delta de la Dranse de Savoie près de Thonon. Bull. Lab. Géol. Univ. Lausanne, 60, 17-25.
- GIDON P., 1957. Rapport sur les possibilités d'alimentation en eau de l'usine Pathé-Marconi à Thonon-Vongy (Haute-Savoie).
- GIDON P., 1960. Rapport sur les conditions géologiques d'un forage de puits destiné à fournir un complément d'eau potable à la ville d'Evian-les-Bains (Haute-Savoie).
- HAUBERT M., 1975. Bilan hydrochimique d'un bassin versant de moyenne montagne : la Dranse de Bellevaux (Brévon), Haute-Savoie. Thèse 3ème cycle, 331 p., 77 fig., 81 tabl., annexes, Paris.

- HAUBERT M., SIWERTZ E., CHASSAING B., OLIVE Ph., 1975. Apports en nutriments au lac Léman pour la période 1963-1972 (II). Arch. Sci. Genève, 28, 1, 41-52.
- HUBERT P., 1971. Etude par le tritium de la dynamique des eaux du lac Léman. Apport du tritium à la limnologie physique. Thèse, 149 p., 41 fig., 23 tabl., Paris.
- JEREMIE J.J., 1976. Contribution à l'étude des paramètres hydrologiques de la région lémanique. Thèse 3ème cycle, 247 p., 82 fig., 44 tabl., annexes, Paris.
- LAKSHMANAN J., LUNSKI S., 1973. Rive droite de la Dranse-Marine : prospection électrique. Rapport C.P.G.F.
- LOUP J., 1969. La défense contre les crues. Rev. Géogr. Alp., LVII, 1, 817-822.
- LOUP J., BILLET J., 1971. L'influence d'une nappe d'eau lacustre sur les températures de l'air de ses rives : exemples du lac Léman et du lac Majeur. Rev. Géogr. Alp., LIX, 4, 457-471.
- LUGRIN M., 1974. Premières données sur les composés organiques dissous dans le bassin du lac Léman. Thèse 3ème cycle, 216 p., 36 fig., 40 tabl., annexes, Paris.
- MARGAT J., MONITION L., 1967. Les cartes hydrogéochimiques. B.R.G.M., Rapport DS. 67. A. 146.
- MEYBECK M., HUBERT P., MARTIN J.M., OLIVE Ph., 1970. Etude par le tritium du mélange des eaux en milieu lacustre et estuarien. Application au lac de Genève et à la Gironde. I.A.E.A., Vienne "Isotope Hydrology 1970", 523-541.
- MEYBECK M., HUBERT P., OLIVE Ph., SIWERTZ E., GLANGEAUD L., 1969. Nouvelles données obtenues par sismique continue sur la structure de la cuvette lémanique. C.R. Acad. Sci. Paris, 269, 2503-2508.

- MEYBECK M., 1970. Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman. Thèse 3ème cycle, 245 p., 56 fig., 30 tabl., Paris.
- OLIVE Ph., 1972. La région du lac Léman depuis 15 000 ans : données paléoclimatologiques et préhistoriques. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., 14, 2, 253-264.
- OLIVE Ph., 1976. Le système $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{CaCO}_3$. Rapport interne : Centre de Recherches Géodynamiques, Thonon, 34 p.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE GENEVE, 1965. Normes internationales pour l'eau de boisson, 224 p., 2ème édition.
- PODANI M., ZAVAIANU I., BALUTA D., 1970. Interaction des eaux phréatiques et des eaux de surface dans le delta du Danube. I.A.S.H. Unesco Hydrology of deltas Proceeding of the Bucharest Symposium., 2, 431-436.
- POLDINI E.M., 1932. Les sondages électriques. Estimation de l'épaisseur de formations géologiques horizontales au moyen de mesures électriques exécutées en surface. Bull. Tech. Suisse Romande, Année 1932.
- PONCET C., CHASSAING B., 1977. Exemple de contamination d'une nappe par du chrome hexavalent, et décontamination. Colloque National B.R.G.M. Orléans.
- ROCHE M., 1963. Hydrologie de surface. Editions Gauthier-Villars, Paris.
- SAYAR M., 1966. Etude géologique, hydrologique, hydrogéologique, climatologique, limnologique, hydrochimique du bassin de la Dranse de Morzine. Thèse 3ème cycle, 434 p., 108 fig., 3 pl., Paris.
- SCHOELLER H., 1962. Les eaux souterraines. Editions Masson et Cie, 642 p., 187 fig., Paris.
- SERRUYA C., 1965. Quelques données nouvelles sur la structure profonde du lac Léman. Arch. Sci. Genève, 18, 1, 108-113.

- SERRUYA C., VERGNAUD-GRAZZINI C., 1966. Evolution paléoclimatologique des sédiments du lac Léman. Arch. Sci. Genève, 19, 2, 197-210.
- SERRUYA C., LEENHARDT O., LOMBARD O., 1966. Etudes géophysiques dans le lac Léman. Interprétation géologique. Arch. Sci. Genève, 19, 2, 179-196.
- SERVICE GEOLOGIQUE D'ALSACE ET DE LORRAINE, 1970. Pollution des eaux souterraines. Etude bibliographique, 179 p.
- SIMMLER L., CARNEIRO-FEITOSA E., 1968. Prospection électrique. Application de la méthode et notion pratique d'exploitation et de présentation des résultats. Bull. B.R.G.M., 2ème série, Section III, n° 4, 45-50.
- SIWERTZ E., BLANC P., MEYBECK M., OLIVE Ph., 1971. Etude de la variabilité des éléments nutritifs dans les rivières. Exemple de la Dranse du Chablais (Haute-Savoie). Arch. Sci. Genève, 24, 2, 299-304.
- SIWERTZ E., 1973. Etude expérimentale par le tritium et l'oxygène-18 de l'infiltration sur les lysimètres et le bassin de Thonon. Thèse 3ème cycle, t. I, 170 p., 41 fig., 15 tabl., t. II, 121 p., 20 fig., 71 tabl., Paris.
- SIWERTZ E., 1974. Rapport géologique sur le forage de Sainte-Agathe. Société Anonyme des Eaux Minérales d'Evian.
- SOCIETE ANONYME DES EAUX MINERALES D'EVIAN. Sondages Villa-Magnin, Gare, Grottes, Tours, Buvette.
- TURC L., GOBILLOT Th., HLAVEK R., LECARPENTIER C., 1963. Cartes d'évapotranspiration potentielle. Interprétation et utilisation. Bull. Techn. Génie Rural, 60, 20 p.
- VERNET J.P., MEYBECK M., PACHOUD A., SCOLARI G., 1971. Le Léman : une synthèse bibliographique. Extr. Bull. B.R.G.M., 2ème série, section IV, 2, 47-84.

- VERNET J.P., HORN R., BADOUX H., SCOLARI G., 1974. Etude structurale du Léman par sismique réflexion continue. Ecl. Géol. Helv., 67, 3, 515-530.
- VIAL R., 1975. Le quaternaire dans le Bas-Chablais (Haute-Savoie). Les derniers épisodes de retrait glaciaire. Géol. Alp., 51, 129-144.
- VIAL R., JAMIER D., OLIVE Ph., 1976. Adaptation de la morphologie quaternaire à la structure tectonique dans la région du Bas-Chablais (Haute-Savoie). Rev. Géogr. Alp., 64, 1, 79-92.
- VIAL R., 1976. Etude géologique et hydrogéologique de la région de Douvaine (Haute-Savoie). Thèse 3ème cycle, 169 p., 72 fig., 39 tabl., annexes, Grenoble.

LISTE DES TABLEAUX

L I S T E D E S T A B L E A U X

	Pages
Tableau 1 - Evolution de la région lémanique depuis 25 000 ans.....	6
Tableau 2 - Piézomètres du delta de la Dranse. Caractéristiques techniques.....	27
Tableau 3 - Tamisage "Ripaille" (17.01.77).....	28
Tableau 4 - Calcimétrie "Ripaille" (01.02.77).....	29
Tableau 5 - Tamisage et calcimétrie "Concise" (11.02.77).....	30
Tableau 6 - Tamisage et calcimétrie "Pré de Vigny".....	30
Tableau 7 - Résistivité spécifique des principales formations régionales.....	42
Tableau 8 - Caractéristiques des stations pluviométriques.....	45
Tableau 9 - Moyennes annuelles de précipitations pour différentes stations.....	46
Tableau 10 - Test du χ^2 : application aux précipitations annuelles à Thonon-Rives.....	48
Tableau 11 - Précipitations annuelles. Quantiles caractéristiques à Thonon-Rives.....	51
Tableau 12 - Impluvium du delta de la Dranse : répartition de la superficie en tranches d'altitude.....	53
Tableau 13 - Pluviométrie mensuelle comparée à Thonon-C.R.G. et à la S.A.E.M.E. (Mars à Décembre 1976).....	54
Tableau 14 - Précipitations annuelles sur le delta de la Dranse (1963-1976).....	55
Tableau 15 - Précipitations mensuelles sur le delta de la Dranse (1963-1976).....	57
Tableau 16 - Nombre de jours de pluie par classes de lames d'eau écoulées à Thonon-C.R.G. (1975).....	59
Tableau 17 - Nombre de jours de pluie par classes de lames d'eau écoulées à Thonon-C.R.G. (1976).....	60
Tableau 18 - Températures annuelles et mensuelles à Thonon-C.R.G....	60
Tableau 19 - Humidité relative de l'air à Thonon-C.R.G.....	61
Tableau 20 - ETp annuelle en mm.....	66
Tableau 21 - Données lysimétriques à Thonon-C.R.G. (1969-1976). Evaluation du bilan hydrologique.....	69

Tableau 22 - Précipitations et infiltration efficace annuelles sur le delta de la Dranse (1969-1976).....	71
Tableau 23 - Mesures de débits simultanées en amont et en aval du delta de la Dranse.....	83
Tableau 24 - Valeurs du gradient hydraulique en période d'étiage et de crue.....	94
Tableau 25 - Détermination du débit d'écoulement traversant une section fictive (isopièze 373 m.).....	106
Tableau 26 - Variations annuelles du niveau piézométrique.....	111
Tableau 27 - Répartition saisonnière des périodes de hautes eaux et basses eaux de la nappe du delta.....	114
Tableau 28 - Exploitation de la nappe du delta de la Dranse en 1976 (en 10^6 m^3).....	120
Tableau 29 - Bilan hydrologique en périodes de crue.....	122
Tableau 30 - Bilan hydrologique interannuel (1966-1976).....	124
Tableau 31 - Dosage des bicarbonates : comparaison des teneurs obtenues sur le terrain et au laboratoire.....	130
Tableau 32 - Campagnes de prélèvements : mesures de terrain.....	131
Tableau 33 - Dureté des eaux de la nappe du delta.....	135
Tableau 34 - Puits du Mottay : teneur en chrome hexavalent.....	138
Tableau 35 - Essai de pompage du Mottay (2 au 4 Juin 1977) : variations de χ et de la teneur en Cr^{VI} au cours de la descente.....	140
Tableau 36 - Teneurs comparées en Cr^{VI} des puits de pompage, du lac et de la rivière (31 Mai 1977).....	141
Tableau 37 - "Pollution organique et chimique" : apparition d'une zone de réduction.....	144
Tableau 38 - Teneurs en $\delta^{18}\text{O}$ (nappe + versants).....	154

L I S T E D E S F I G U R E S

L I S T E D E S F I G U R E S

	Pages
Figure 1 - Situation géographique du delta de la Dranse.....	1
Figure 2 - Cadre géologique régional.....	3
Figure 3 - Schéma théorique d'une cote d'alluvions ou delta.....	4
Figure 4 - Description morphologique des côtes du Léman.....	5
Figure 5 - Schéma phytosociologique du delta de la Dranse et de ses versants.....	8
Figure 6 - Carte géologique du delta de la Dranse et de ses versants.....	12
Figure 7 - Situation des sondages.....	17
Figure 8 - Extrait de la carte structurale du Léman.....	20
Figure 9 - Forage de Sainte-Agathe.....	23
Figure 10 - Logs des sondages du delta de la Dranse.....	25
Figure 11 - Etude géophysique (C.P.G.F., 1969 ; B.R.G.M., 1971)....	34
Figure 12 - Plan de situation des sondages électriques.....	35
Figure 13 - Coupes dans le delta de la Dranse.....	37
Figure 14 - Isohypes du toit du substratum.....	40
Figure 15 - Carte des résistivités électriques apparentes.....	41
Figure 16 - Equipement hydrométéorologique 1976.....	44
Figure 17 - Polygones des fréquences observées à Thonon-Rives (1890-1917 ; 1934-1976).....	47
Figure 18 - Représentation des modules pluviométriques annuels à Thonon-Rives par la loi de Gauss.....	49
Figure 19 - Impluvium du delta de la Dranse. Courbes hypsométriques et fréquences altimétriques.....	52
Figure 20 - Le réseau hydrométrique.....	74
Figure 21 - Courbe de tarage (1969) - Dranse à Bioge.....	75
Figure 22 - Courbe de tarage de la Dranse à l'échelle du Pont S.N.C.F. (Vongy).....	76
Figure 23 - Débits moyens mensuels de la Dranse à Bioge en m ³ /s (1958-1976).....	78

	Pages
Figure 24 - Mesure du temps de transit entre Bioge et Vongy.....	80
Figure 25 - Emplacement des points de jaugeage.....	82
Figure 26 - Nivellement puits et piézomètres (rive droite).....	86
Figure 27 - Nivellement puits et piézomètres (rive gauche).....	87
Figure 28 - Variations comparées des niveaux de la nappe et de la Dranse (31.12.76 et 7.01.77).....	88
Figure 29 - Carte isopiézométrique de la nappe du delta de la Dranse (19.04.76 - étiage).....	89
Figure 30 - Carte isopiézométrique de la nappe du delta de la Dranse (11.12.76 - crue).....	90
Figure 31 - Relations hydrogéologiques entre la nappe du delta, la Dranse, le Léman et les versants.....	93
Figure 32 - Essai de pompage : Amphion S.A.E.M.E. (descente) 18.09.76.....	98
Figure 33 - Essai de pompage : Amphion S.A.E.M.E. (remontée) 19.09.76.....	98
Figure 34 - Puits du Mottay : plan de situation.....	100
Figure 35 - Essai de pompage du Mottay : descente.....	102
Figure 36 - Essai de pompage du Mottay : remontée.....	103
Figure 37 - Essai de pompage en remontée de "Ripaille-Ville" 29.09.76.....	103
Figure 38 - Calcul du débit d'écoulement le long d'une section fictive (isopièze 373 m.).....	107
Figure 39 - Variations de niveaux comparées (nappe, Dranse, lac) et de la pluviométrie.....	110
Figure 40 - Hydrogramme de la crue des Dranses le 10.12.76 à Bioge.....	115
Figure 41 - Fluctuations piézométriques et pluviométrie en période de recharge de la nappe du delta (du 30.11.76 au 15.12.76).....	116
Figure 42 - Carte en courbes d'égale recharge de la nappe du delta (13.12.76).....	116
Figure 43 - Carte de pollution de la nappe du delta par le Cr ^{VI}	137
Figure 44 - Teneurs en Cr ^{VI} , limni. d'Amphion et relevés piézométriques au "Mottay".....	139
Figure 45 - Carte des teneurs en nitrates.....	147

	Pages
Figure 46 - Carte des "pollutions".....	148
Figure 47 - rMg/rCa - les 24-26.02.76 (étiage).....	150
Figure 48 - rMg/rCa - les 31.05-01.06.77 (crue).....	150
Figure 49 - rHCO ₃ /rSO ₄ - les 24-26.02.76 (étiage).....	151
Figure 50 - rHCO ₃ /rSO ₄ - les 31.05.-01.06.77 (crue).....	151
Figure 51 - δ ¹⁸ O - les 24-26.02.76 (étiage).....	155
Figure 52 - δ ¹⁸ O - les 31.05-01.06.77 (crue).....	155

ANNEXE

Année	THONON-C.R.G. (385 m)	THONON-RIVES (375 m)	MARIN (582 m)	LARRINGES (795 m)
1963	1 121	1 124	1 060	1 366
1964	800	770	859	1 078
1965	1 176	1 173	1 180	1 358
1966	992	897	1 059	1 165
1967	963	859	975	1 047
1968	1 201	1 099	1 164	1 371
1969	837	703	845	983
1970	1 083	974	1 070	1 213
1971	669	582	797	803
1972	725	643	822	895
1973	812	786	824	1 001
1974	978	906	1 003	1 189
1975	1 029	932	965	1 102
1976	800	721	.	874

ANNEXE 1 - Pluviométrie annuelle.

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
S.A.E.M.E. (390 m)	.	.	25	25	64	8	91	50	141	67	72	136
Chez Bruchon (550 m)	11	63	30	34	86	8	114	71	134	76	62	134
Villa Magnin (405 m)	.	.	28	35	73	8	100	49	128	69	67	130

ANNEXE 2 - Pluviométrie mensuelle (Année 1976).

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1963	37	51	143	89	98	175	32	219	43	24	210	3
1964	11	20	149	67	59	97	40	105	67	74	55	26
1965	95	7	116	58	109	45	178	112	162	39	140	112
1966	71	121	21	114	77	34	73	73	84	93	55	84
1967	41	44	44	18	112	100	50	83	71	58	187	52
1968	61	91	32	77	101	73	118	221	136	61	67	61
1969	30	39	73	75	71	92	54	96	34	1	108	30
1970	73	131	64	129	35	124	27	125	36	59	156	15
1971	52	43	90	31	59	93	15	68	33	21	71	6
1972	16	62	49	77	32	92	56	34	34	28	110	53
1973	27	26	2	93	84	121	125	68	93	70	36	41
1974	52	60	21	26	119	131	54	56	150	96	113	28
1975	61	5	64	53	81	80	62	160	137	49	133	47
1976	4	61	18	16	59	5	102	46	131	74	73	131
Moyenne 1963-1976	45	54	63	62	78	90	70	105	87	53	108	49

ANNEXE 3 - Pluviométrie mensuelle. THONON-RIVES (375 m).

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1963	69	26	130	88	38	186	36	195	51	22	214	5
1964	15	24	155	78	101	58	53	135	76	90	42	32
1965	53	19	127	42	118	54	163	113	157	54	161	119
1966	77	120	52	150	85	45	118	111	62	100	57	82
1967	52	57	76	16	157	92	33	98	96	59	186	53
1968	80	95	43	83	117	56	107	224	147	67	70	75
1969	54	57	67	100	99	104	72	77	50	5	115	45
1970	85	119	98	145	30	73	66	134	57	75	147	41
1971	83	27	103	39	96	106	19	153	26	44	90	11
1972	16	63	48	112	48	128	63	50	43	36	156	59
1973	21	31	4	91	75	107	143	69	99	93	46	41
1974	55	55	36	50	130	158	56	61	142	104	121	35
1975	38	0	87	55	100	106	39	147	129	54	154	56
Moyenne 1963-1975	54	53	79	81	92	98	74	121	87	62	120	50

ANNEXE 4 - Pluviométrie mensuelle. MARIN (582 m).

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1963	90	88	152	106	70	235	45	232	72	24	246	6
1964	13	31	199	101	98	136	82	132	78	106	51	51
1965	102	33	108	83	120	92	218	93	177	52	158	122
1966	87	120	63	156	88	66	91	152	66	108	80	88
1967	44	44	93	35	171	85	71	94	82	84	182	62
1968	107	100	43	89	148	90	150	245	157	74	77	91
1969	48	72	69	97	97	130	84	149	44	6	135	53
1970	90	120	80	152	48	162	71	186	37	85	153	29
1971	62	25	106	57	90	114	31	123	46	40	97	12
1972	20	69	49	92	60	142	108	66	50	42	136	61
1973	38	38	8	89	99	171	180	114	117	53	38	56
1974	50	89	32	23	153	225	100	64	145	142	110	56
1975	65	10	95	50	76	156	65	160	167	60	145	53
1976	16	49	26	37	85	4	99	101	141	77	88	151
Moyenne 1963-1976	59	72	80	83	100	129	100	137	99	68	121	64

ANNEXE 5 - Pluviométrie mensuelle. LARRINGES (795 m).

Année	Pluviométrie	Rang (r)	Probabilité	Année	Pluviométrie	Rang (r)	Probabilité
1916	1 319			1898	985	34	0,515
1896	1 274			1913	985	35	0,530
1960	1 272	1	0,015	1970	974	36	0,545
1891	1 233	2	0,030	1909	961	37	0,561
1939	1 231	3	0,045	1944	950	38	0,576
1915	1 198	4	0,061	1911	933	39	0,591
1936	1 181	5	0,076	1947	932	40	0,606
1965	1 173	6	0,091	1975	932	41	0,621
1905	1 168	7	0,106	1894	927	42	0,636
1937	1 167	8	0,121	1907	918	43	0,652
1914	1 154	9	0,136	1903	916	44	0,667
1917	1 139	10	0,152	1974	906	45	0,682
1963	1 135	11	0,167	1966	899	46	0,697
1935	1 134	12	0,182	1941	867	47	0,712
1952	1 118	13	0,197	1967	859	48	0,727
1959	1 117	14	0,212	1899	849	49	0,742
1940	1 116	15	0,227	1961	845	50	0,758
1954	1 106	16	0,242	1938	841	51	0,773
1958	1 103	17	0,258	1908	823	52	0,788
1968	1 099	18	0,273	1904	806	53	0,803
1902	1 085	19	0,288	1893	804	54	0,818
1951	1 067	20	0,303	1943	802	55	0,833
1955	1 058	21	0,318	1973	786	56	0,848
1946	1 058	22	0,333	1964	769	57	0,864
1948	1 053	23	0,348	1957	753	58	0,879
1910	1 049	24	0,364	1949	750	59	0,894
1956	1 040	25	0,379	1942	748	60	0,909
1950	1 033	26	0,394	1945	746	61	0,924
1897	1 032	27	0,409	1953	725	62	0,939
1890	1 011	28	0,424	1976	721	63	0,955
1892	1 009	29	0,439	1962	705	64	0,970
1901	1 008	30	0,455	1969	703	65	0,985
1912	1 008	31	0,470	1972	643	66	1,000
1895	1 003	32	0,485	1906	619		
1900	1 003	33	0,500	1971	582		

ANNEXE 6 - Pluviométrie annuelle. THONON-RIVES (1890-1917 ; 1935-1976).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
P	82	7	81	66	81	99	67	153	149	49	143	52	1 029
ET _p	14	10	21	46	80	98	127	115	79	38	22	3	654
I _p	68	- 3	60	20	1	1	- 60	38	70	11	121	49	439
ET _r	14	10	21	46	80	98	117	115	79	38	22	3	643
ΔR	.	- 3	+ 3	.	.	.	- 50	+ 38	+ 12	.	.	.	.
R	50	47	50	50	50	50	0	38	50	50	50	50	.
IR = Excédent = "Water Surplus"	68	0	57	20	1	1	.	.	58	11	121	49	386
Déficit Agricole = "Water-Efficiency"	.	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	10

ANNEXE 7 - Bilan de l'eau en mm à THONON-C.R.G. Méthode de THORNTWHAITE (Année 1975).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel
P	10	68	20	23	66	6	104	55	146	79	71	152	800
ET _p	2	5	18	45	86	127	133	103	64	46	20	2	651
I _p	8	63	2	- 22	- 20	- 121	- 29	- 48	82	33	51	150	389
ET _r	2	5	18	45	86	14	104	55	64	46	20	2	461
ΔR	.	.	.	- 22	- 20	- 8	- 29	- 8	50	33	51	34	.
R	50	50	50	28	8	0	0	0	50	50	50	50	.
IR = Excédent = "Water Surplus"	8	63	2	.	.	.	.	.	32	33	51	150	339
Déficit Agricole = "Water-Efficiency"	.	.	.	.	.	113	29	48	.	.	.	.	190

ANNEXE 8 - Bilan de l'eau en mm à THONON-C.R.G. Méthode de THORNTWHAITE (Année 1976).

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Débit annuel
1958	13,00	42,50	16,80	25,30	59,50	34,00	23,00	18,40	18,00	22,00	17,70	13,30	25,10
1959	16,10	10,10	23,10	25,50	27,80	17,70	13,70	10,70	5,78	9,26	11,30	22,60	16,20
1960	14,50	19,80	28,30	24,60	27,50	22,00	25,30	43,90	32,50	37,10	35,60	15,40	27,20
1961	10,00	22,10	21,00	36,10	26,20	28,10	31,00	16,40	8,10	11,90	15,00	39,40	22,10
1962	31,60	10,80	21,50	33,00	39,10	24,20	8,59	5,73	5,20	3,48	3,27	6,08	16,10
1963	7,15	3,35	21,30	43,50	46,40	58,50	17,70	26,20	17,50	11,80	45,40	9,60	25,70
1964	3,86	3,71	15,90	24,80	26,70	13,80	7,25	7,35	8,90	23,10	12,30	7,15	12,80
1965	8,50	8,35	22,40	23,80	39,90	28,40	26,80	16,60	25,80	10,10	17,60	32,40	21,80
1966	19,90	34,50	22,00	51,90	69,80	37,10	22,60	19,70	9,24	7,38	8,90	18,70	26,70
1967	11,10	16,00	31,20	23,20	39,70	29,60	14,00	6,12	6,72	7,16	19,70	11,20	18,00
1968	11,50	15,00	17,80	46,30	39,10	20,20	15,60	38,00	42,10	18,00	12,10	9,15	23,70
1969	5,95	6,75	17,50	33,80	42,40	26,30	18,30	18,00	11,60	3,75	15,80	8,40	17,40
1970	13,30	26,80	17,70	47,70	45,90	55,00	24,50	19,90	15,20	17,70	21,60	13,20	26,40
1971	7,40	6,25	7,65	26,90	28,30	23,30	12,10	11,70	9,15	7,60	11,70	10,80	13,60
1972	5,65	7,90	12,60	28,20	22,10	25,00	14,60	6,45	5,65	4,77	45,80	9,80	15,60
1973	2,75	2,26	5,95	16,80	37,40	22,30	25,80	14,00	10,60	16,80	10,90	10,00	14,60
1974	11,20	12,10	17,40	16,30	22,00	33,10	14,00	3,56	11,40	22,60	23,20	19,00	17,20
1975	15,90	10,10	8,65	31,20	35,60	31,50	17,10	13,50	23,20	13,50	16,30	14,20	18,20
1976	11,00*	11,50*	18,97	23,27	18,99	9,07	5,46	3,92	11,80	10,26	9,79	27,84	13,60
Débit moyen mensuel (1958-1976)	11,02	13,50	18,30	30,64	36,55	28,38	17,78	16,80	14,65	13,59	18,63	15,70	19,60
% débit annuel	4,70 %	5,80 %	7,80 %	13,10 %	15,60 %	12,10 %	7,80 %	6,70 %	6,20 %	5,80 %	7,90 %	6,70 %	

ANNEXE 9 - Débits moyens mensuels et annuels en m³/s. DRANSE A BIOGE - 1958-1976.

*Débits estimés (limnigraphe gelé).

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
1958	26,30	85,90	33,90	51,10	120,20	68,70	46,50	37,60	36,40	44,40	35,80	26,90	51,70
1959	32,50	20,40	46,70	51,50	56,20	35,80	27,70	21,60	11,70	18,70	22,80	45,70	32,60
1960	29,30	40,00	57,20	49,70	55,60	44,40	51,10	88,70	65,70	74,90	71,90	31,10	55,00
1961	20,00	45,00	42,00	73,00	53,00	57,00	63,00	33,00	16,50	24,00	30,00	80,00	46,00
1962	63,80	21,90	43,50	66,60	79,00	48,90	17,40	11,60	10,50	7,03	6,60	12,30	32,50
1963	14,40	6,80	43,00	88,00	94,00	118,00	36,00	53,00	35,00	24,00	92,00	19,00	52,00
1964	7,80	7,50	32,00	50,00	54,00	27,80	14,60	14,90	18,00	46,60	24,80	14,50	26,10
1965	17,20	16,90	45,30	48,10	80,50	57,50	54,00	33,50	52,00	20,40	35,60	65,50	44,00
1966	40,20	69,80	44,50	104,90	141,00	75,00	45,80	39,80	18,60	14,90	17,90	37,80	54,00
1967	22,40	32,40	63,00	46,90	80,30	59,70	28,30	12,30	13,50	14,40	39,80	22,70	36,30
1968	23,30	30,40	36,00	93,60	79,00	40,80	31,60	76,80	85,20	36,40	24,40	18,40	48,00
1969	12,00	13,60	35,40	68,30	85,70	53,10	37,00	36,40	23,40	7,60	31,90	17,00	35,10
1970	26,90	54,10	35,80	96,40	92,70	111,00	49,50	40,20	30,70	35,80	43,60	26,70	53,40
1971	14,90	12,60	15,50	54,30	57,20	47,10	24,40	23,60	18,50	15,40	23,60	21,80	27,40
1972	11,40	16,00	25,50	57,00	44,60	50,50	29,50	13,00	11,40	9,60	92,50	19,80	31,60
1973	5,60	4,60	11,90	34,00	75,50	45,10	52,00	28,40	21,40	33,90	22,00	20,30	29,60
1974	22,70	24,50	35,30	33,10	44,50	67,00	28,40	7,20	23,10	45,70	47,00	38,50	34,70
1975	32,10	20,40	17,50	63,00	71,90	63,60	34,50	27,30	46,90	27,30	32,90	28,70	38,80
1976	22,20	23,20	38,30	47,00	38,40	18,30	11,00	7,90	23,80	20,70	19,80	56,20	27,30
Moyenne mensuelle (1958-1976)	22,30	27,30	37,00	61,90	73,80	57,30	35,90	31,90	29,80	27,50	37,60	31,70	39,60

ANNEXE 10 - Débits spécifiques mensuels et annuels en l/s/km². DRANSE A BIOGE (S = 495 km²) 1958-1976.

Date	03.12.75	26.12.75	20.01.76	03.02.76	24.02.76	19.04.76	07.06.76	17.06.76	06.07.76	11.08.76	10.09.76	29.09.76	26.10.76
NAPPE. (rive gauche)													
Stade de Vongy	1,98	1,20	.	1,33	1,34	1,33	16,86	1,33	.	1,43	1,20	1,34	1,42
Thomson	.	13,91	.	12,23	16,55	16,10	17,15	17,15	.	15,29	.	.	17,80
Fonderies du Léman	.	15,78	16,13	15,44	17,21	16,70	18,02	18,02	.	15,52	17,25	18,00	18,27
Béton-Chablais	.	14,72	15,14	15,44	15,74	15,42	15,50	15,50	.	15,45	15,43	15,49	15,68
St-Disdille-Bochaton	.	4,38	4,55	4,70	4,90	5,02	4,53	4,53	.	4,29	4,25	4,35	4,32
Ripaille Ville	.	19,35	19,19	19,66	20,12	20,28	21,58	21,58	.	20,55	20,55	21,70	21,14
Ripaille Domaine	.	21,12	21,29	21,58	21,82	21,82	22,11	22,11	.	21,74	21,89	21,74	21,81
Ripaille Chasse	.	6,20	6,39	6,53	6,75	6,86	6,40	6,40	.	6,10	6,09	6,18	6,13
NAPPE. (rive droite)													
Zig-Zag n° 5	13,10	12,09	15,18	24,45	18,35	18,04	18,17	18,17	23,15	15,34	19,14	20,53	20,32
Zig-Zag n° 6	.	12,93	16,22	.	.	15,35	15,53	15,53	.	13,35	.	.	.
Zig-Zag n° 7	.	13,67	20,42	.	.	16,03	25,40	21,75	.	21,66	.	.	.
Zig-Zag n° 8	12,44	2,73	12,80	13,84	14,23	13,70	15,55	21,66	22,50	13,04	14,10	16,65	15,75
Amphion-S.A.E.M.E.	9,45	10,20	2,93	10,96	3,24	3,34	2,92	2,85	2,67	2,62	2,57	2,69	2,62
Amphion-Jardin	6,40	6,76	7,11	10,70	11,08	10,95	10,70	10,78	10,80	10,92	10,95	10,86	10,95
Chez Gur	3,04	3,56	3,77	3,92	7,36	7,31	7,13	7,13	7,09	7,11	7,07	7,11	7,14
Le Mottay-Evian	2,10	2,76	3,08	3,29	4,09	4,17	3,74	3,68	3,53	3,41	3,42	3,49	3,49
Pompape Publier	1,60	1,54	1,67	2,03	2,09	2,12	1,82	3,00	.	1,45	.	1,54	2,67
Chez Bordet	.	.	.	.	.	2,14	1,73	1,75	1,45	1,41	.	1,54	1,50
Le Tilleul-Cave	.	.	.	.	.	.	.	2,08	1,85	.	1,80	1,79	1,45
Le Tilleul-Cour	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
DRANSE.													
Pont de Vongy	.	.	.	.	.	393,30	393,25	393,20	393,10	393,30	393,40	393,32	393,20
Chez Gur	.	.	.	.	.	.	.	0,15	0,005	0,25	.	0,19	0,07
Pont S.N.C.F.	.	.	.	.	.	.	.	0,20	0,09	0,38	.	0,42	0,23
LAC.													
Lac Léman	372,33	372,18	372,00	371,87	371,66	371,52	372,00	372,10	372,32	372,36	372,38	372,27	372,33

ANNEXE 11 - Relevés piézométriques, en mètres. Décembre 1975 à Octobre 1976.

. Les chiffres en italique sont les relevés effectués après un pompage dans le puits.

N.B. : Les mesures faites en Décembre 1976, période de crue, font l'objet d'un paragraphe particulier.

Station	As	Cr	Mn	Co	Ni	Zn	Cd	Cu	Hg*
Rives Pêcheurs-Source	< 2	0,06	0	< 0,05	< 0,05	0	0,05	tr	140
Funiculaire-Source	.	0,06	0	.	.	0	< 0,02	tr	0
Pisciculture-Source	.	0,07	< 0,020	.	.	0,08	.	< 0,05	80
Ripaille-Ville	.	0,06	0,025	.	.	0	.	tr	0
Ripaille-Chasse	.	0,06	< 0,020	.	.	0	.	tr	50
Ripaille-Domaine	.	0,07	0,035	.	.	0,70	.	< 0,05	50
Fonderies du Léman	.	0,06	< 0,020	.	.	0,10	.	tr	160
Chablais-Béton	.	0,07	0,050	.	.	0,03	.	tr	100
St-Disdille-Bochaton	.	0,08	0,060	.	.	0,05	.	< 0,05	80
Thomson	.	0,05	0,055	.	.	1,05	.	tr	0
Dranse amont (Vongy)	.	0,07	< 0,020	.	.	0,05	.	.	50
Stade de Vongy	.	0,05	0,300	.	.	0	.	.	0
Zig-Zag VIII	.	0,07	0,025	.	.	0	.	.	0
S.A.E.M.E.	.	0,05	0,035	.	.	0,03	.	.	0
Amphion-Limmigraphe	.	0,06	< 0,020	.	.	0	.	.	40
Chez Gur	.	0,05	0,170	.	.	0	.	.	50
Amphion-Jardin	.	0,05	0,180	.	.	0,04	.	.	85
Le Tilleul-Cave	.	0,05	0,690	.	.	0,12	.	.	75
Le Mottay-Evian	.	0,13	0,025	.	.	0,09	.	.	40
Chez Bordet	.	0,06	0,025	.	.	0	.	.	0
Pompape Publier	.	0,10	0,035	.	.	0	.	.	0

* En nanogrammes.

ANNEXE 12 - Eléments traces. Campagne de 26-27 Octobre 1976 (mg/l).

Lieu de prélèvement	t°C	pH	X25°C µmho	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Σ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	P total	Σ ⁻
NAPPE (rive gauche)																			
Stade de Vongy	10,70	7,50	489	4,04	83,90	11,24	2,32	1,16	0,001	0,98	5,264	1,90	89,10	206,90	0,48	0,000	0,001	0,006	5,332
Thonson	10,30	7,20	503	4,92	83,90	12,55	3,26	1,19	0,007	1,02	5,415	3,80	56,00	253,80	0,66	0,000	0,000	0,003	5,478
Fonderies du Léman	10,00	7,30	499	4,60	80,10	14,46	2,72	1,03	0,002	1,02	5,354	3,00	71,40	230,30	1,21	0,000	0,000	0,004	5,431
Béton-Chabais	10,10	7,10	645	5,80	94,70	18,67	13,26	4,73	0,388	1,31	7,016	20,90	20,60	350,40	0,15	0,000	0,001	0,005	6,947
Piton-Duriet**	13,50	6,70	755	8,20	68,30	17,69	28,28	9,83	0,022	0,85	6,965	38,20	54,50	324,50	0,15	0,000	0,001	0,005	7,639
St-Bisduille-Bochaton	10,60	7,20	625	6,68	91,10	21,95	9,28	3,77	0,000	1,18	6,278	11,00	54,70	318,20	1,52	0,000	0,000	0,008	6,778
Ripaille Ville	10,60	7,10	609	5,44	87,80	24,95	4,40	1,71	0,000	1,31	6,699	6,30	40,00	332,30	2,10	0,000	0,000	0,003	6,690
Ripaille Domaine	10,30	7,35	528	5,48	89,40	26,96	4,40	1,71	0,000	1,31	6,699	6,30	40,00	332,30	2,10	0,000	0,000	0,003	6,690
Ripaille Chasse	9,80	7,40	465	5,28	64,90	16,78	3,73	0,99	0,016	0,50	5,992	4,70	43,30	236,20	1,17	0,000	0,001	0,005	5,999
NAPPE (rive droite)																			
Zig-Zag n° VI	11,70	7,45	512	4,28	87,80	11,53	2,72	1,22	0,005	1,06	5,503	2,10	96,20	204,00	0,50	0,000	0,002	0,008	5,440
Amphion-S.A.E.M.E.	11,50	7,35	670	6,94	97,60	18,78	18,85	2,22	0,001	0,66	7,308	16,50	44,30	346,00	2,62	0,000	0,004	0,068	7,250
Amphion-Jardin	8,30	7,60	467	4,70	75,20	12,91	3,79	1,11	0,002	0,77	5,027	3,70	54,80	225,00	0,95	0,000	0,005	0,011	4,983
Amphion-Limnigraphie	10,10	7,60	556	4,96	86,80	15,22	9,28	1,31	0,000	0,94	6,042	6,80	45,50	294,30	1,20	0,000	0,004	0,012	6,046
Chez Gur	10,50	7,70	536	9,68	80,10	14,18	5,67	1,30	0,000	0,59	5,466	13,70	59,60	256,20	1,87	0,000	0,004	0,011	5,781
Le Tilleul-Cave	10,30	7,35	717	6,86	114,70	22,23	8,31	1,65	0,410	0,63	7,999	13,70	56,10	377,20	3,57	0,000	0,012	0,024	7,992
Pompas Publier	11,30	7,05	696	6,70	116,40	19,96	6,93	1,46	0,012	0,31	7,987	9,20	28,90	412,40	2,67	0,000	0,004	0,004	7,969
Chez Bortet	12,70	7,10	662	8,78	114,10	17,18	7,35	6,69	0,005	0,27	7,604	6,10	19,10	410,90	2,56	0,001	0,023	0,038	7,499
SOURCES VERSANT (rive gauche)																			
Pisciculture	9,10	7,60	844	9,30	120,20	24,69	16,99	5,18	0,000	0,57	8,913	23,00	63,50	361,10	4,85	0,000	0,053	0,061	8,239
Rives-Pêcheurs	11,50	7,00	907	9,20	132,80	27,50	17,94	5,80	0,001	0,65	8,833	26,90	72,70	391,90	4,90	0,002	0,036	0,051	9,047
SOURCES VERSANT (rive droite)																			
Amphion-Vieux Village n° 1	10,00	7,70	567	12,20	80,60	26,50	5,48	1,00	0,000	0,31	6,472	1,90	9,20	368,00	0,87	0,000	0,004	0,010	6,339
DRANSE																			
Aval (Chez Gur)	8,20	7,95	550	4,56	82,60	9,92	21,07	1,54	0,132	0,76	5,980	7,80	101,70	202,00	0,72	0,007	0,028	0,047	5,701
LAC																			
Lac Ripaille	8,20	7,80	322	2,14	47,20	8,63	3,37	1,25	0,007	0,56	3,257	3,90	52,50	120,00	0,48	0,000	0,022	0,035	3,205

ANNEXE 13 - Analyses chimiques - 3 et 4 décembre 1975.
(Les valeurs sont données en mg/l. L'ammoniac NH₄⁺, les nitrates NO₃⁻ et les nitrites NO₂⁻ sont donnés en mg d'azote/litres, les ortho-phosphates PO₄⁻⁻⁻ et le phosphore total en mg de phosphore/litre). (2° arr : 5°).

** Puits perdu.

Lieu de prélèvement	t°C	pH	x25°C µmho	O ₂	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Σ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	P total	Σ ⁻
NAPPE (rive gauche)																				
Stade de Vongy	8,00	7,60	559	10,16	3,88	96,80	13,34	3,11	1,20	0,006	1,15	6,120	3,61	129,10	207,40	0,910	0,000	0,005	0,011	6,252
Thonson	10,20	7,40	549	8,68	4,10	95,70	14,71	4,09	1,36	0,009	1,17	6,225	4,72	70,60	279,10	0,770	0,000	0,010	0,015	6,232
Fonderies du Léman	9,60	7,40	482	6,77	4,74	77,40	15,44	2,91	1,15	0,002	1,05	5,312	2,75	72,50	221,60	1,030	0,000	0,009	0,013	5,292
Béton-Chabais	10,70	7,40	887	3,86	9,70	99,40	19,72	14,16	7,33	0,690	1,44	7,444	24,60	14,20	388,90	0,460	0,007	0,006	0,012	7,397
St-Disduille-Bochaton	10,20	7,60	567	7,17	5,78	98,00	17,76	12,60	9,84	0,018	0,89	7,172	13,40	69,60	312,30	4,260	0,005	0,157	0,187	7,264
Ripaille Ville	10,50	7,30	597	6,54	6,66	88,30	25,20	4,97	1,90	0,007	1,29	6,773	7,99	41,60	332,30	3,510	0,000	0,005	0,010	6,768
Ripaille Domaine	10,40	7,40	594	8,17	6,14	88,50	23,50	4,38	1,69	0,002	1,29	6,612	5,78	55,40	301,60	2,610	0,011	0,019	0,061	6,661
Ripaille Chasse	8,80	7,50	434	6,75	4,92	59,90	17,32	4,11	1,28	0,033	0,83	4,646	6,15	65,50	202,00	0,630	0,007	0,005	0,012	4,662
NAPPE (rive droite)																				
Zig-Zag	10,10	7,60	597	8,55	6,88	103,10	14,70	7,08	2,08	0,002	1,06	6,739	4,59	87,90	289,40	0,910	0,000	0,009	0,012	6,767
Amphion-S.A.E.M.E.	11,70	7,60	619	8,66	7,40	101,20	19,72	16,80	2,54	0,010	0,66	7,483	16,80	47,30	352,80	2,850	0,001	0,055	0,067	7,449
Amphion-Limnigraphie	9,70	7,80	537	8,31	4,74	88,30	16,10	6,63	1,32	0,004	0,91	6,066	8,36	51,50	288,90	1,150	0,001	0,007	0,017	6,125
Chez Gur l-Cave**	7,40	8,40	206	6,81	1,06	26,50	2,03	8,45	4,33	0,002	0,64	5,818	8,54	10,40	93,20	0,500	0,005	0,007	0,046	6,089
Le Motte-Evian	10,10	7,40	546	5,53	7,04	79,30	21,64	9,92	2,19	0,100	0,52	6,208	20,60	41,90	287,90	1,440	0,070	0,007	0,021	6,260
Pompas Publier	10,40	7,20	692	3,37	7,80	116,70	20,91	7,42	1,35	0,010	0,34	7,908	9,77	31,90	407,00	3,080	0,000	0,015	0,019	7,928
Chez Bortet	10,30	7,40	668	9,29	9,00	115,00	18,02	8,65	6,09	0,010	0,32	7,760	9,77	22,20	414,80	1,520	0,003	0,031	0,049	7,666
SOURCES VERSANT (rive gauche)																				
Pisciculture	10,00	7,20	806	8,51	9,00	120,10	25,31	16,39	5,08	0,000	0,57	8,930	25,30	69,20	365,00	8,920	0,000	0,057	0,063	8,779
Rives-Pêcheurs	11,50	7,20	854	7,01	9,40	136,10	27,72	17,22	6,43	0,014	0,68	10,001	28,70	78,80	409,40	8,600	0,000	0,180	0,187	9,799
Fontaine-Couverte	9,60	7,40	515	10,55	8,60	71,00	26,54	2,47	0,88	0,023	0,26	3,863	4,07	10,20	329,90	1,200	0,002	0,008	0,020	5,821
SOURCES VERSANT (rive droite)																				
Château de Blonay	8,60	7,20	666	9,33	7,20	128,40	21,14	8,15	4,88	0,000	0,35	8,633	13,10	35,00	447,50	2,040	0,000	0,008	0,012	8,578
La Chapelle	6,70	7,40	888	9,59	7,36	139,70	14,54	9,73	8,92	0,025	0,32	8,882	20,10	39,30	445,00	3,170	0,000	0,142	0,190	8,923
Sustinges	6,50	7,40	854	10,65	5,58	140,10	17,76	11,55	5,75	0,012	0,32	9,109	29,70	39,60	421,40	0,540	0,000	0,032	0,032	8,249
Amphion-Vieux Village n° 1	7,20	7,40	579	11,00	100,90	26,32	2,53	1,33	0,000	0,20	0,32	6,462	1,96	11,60	359,60	2,480	0,001	0,008	0,031	6,293
Amy-Le Vuchet	9,20	7,40	583	15,25	8,00	99,40	15,18	6,46	1,49	0,067	0,32	6,582	10,10	35,60	336,20	1,450	0,004	0,012	0,018	6,583
Maxime Sulfureuse	9,20	7,20	591	0,39	10,20	93,70	21,17	8,79	1,40	0,950	0,70	8,897	4,42	35,80	354,30	0,030	0,000	0,012	0,024	6,931
Hôtel-des-Princes	11,40	7,40	498	2,66	11,70	56,40	23,54	18,93	1,18	0,443	0,70	5,651	1,35	5,66	334,30	0,000	0,000	0,009	0,024	5,658
Ruisseau des Genevillies	6,10	8,10	711	11,26	6,80	128,80	14,54	12,83	7,76	0,016	0,29	8,366	17,60	34,70	423,10	4,920	0,101	0,420	0,770	8,552
DRANSE.																				
Amont (Pont de Vongy)	3,40	8,00	629	12,98	9,30	112,70	13,89	4,30	1,84	0,001	1,59	7,036	4,99	141,50	238,60	0,690	0,009	0,033	0,045	7,048
Aux2 (Chez Gur)	6,60	8,00	511	12,90	3,64	88,50	12,03	2,47	1,75	0,007	1,06	5,582	7,03	92,20	220,10	0,770	0,015	0,055	0,086	5,785
LAC.																				
Lac Ripaille	5,40	8,00	309	12,60	1,30	46,00	7,44	3,74	2,17	0,020	0,52	3,139	4,29	55,80	116,10	0,480	0,001	0,034	0,046	3,222

Lieu de prélèvement	t°C	pH	x25°C limo	O ₂	CO ₂	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Σ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	P total	Σ ⁻
NAPPE. (rive gauche)																					
Stade de Vongy	6.50	7.65	433	4.00	5.28	3.46	69.40	10.40	2.57	1.00	0.014	0.86	4.476	1.84	63.50	190.80	0.49	0.001	0.002	0.016	4.556
Thomson	10.00	7.45	571	6.12	14.08	5.60	98.40	15.40	3.98	1.27	0.010	1.24	6.411	5.03	73.60	290.80	1.11	0.002	0.007	0.028	6.519
Fonderies du Léman	9.50	7.60	484	6.04	8.80	4.68	76.60	15.30	2.42	0.99	0.005	1.04	5.835	2.78	76.70	221.60	0.87	0.001	0.003	0.024	6.368
Béton-Chablais	11.00	7.30	647	7.09	22.88	6.28	86.10	19.60	14.70	6.95	0.040	1.32	7.066	29.40	320.60	1.20	0.015	0.003	0.029	6.597	
St-Odille-Bochaton	11.00	7.30	647	7.09	22.88	6.28	86.10	19.60	14.70	6.95	0.040	1.32	7.066	29.40	320.60	1.20	0.015	0.003	0.029	6.597	
Ripaille Ville	11.00	7.45	574	5.65	21.65	5.86	86.10	22.80	4.93	1.84	0.003	1.31	6.890	17.42	44.10	336.70	0.94	0.001	0.004	0.033	6.871
Ripaille domaine	11.00	7.55	594	7.88	20.24	7.00	88.50	25.80	4.93	1.84	0.003	1.31	6.890	17.42	44.10	336.70	0.94	0.001	0.004	0.033	6.871
Ripaille Chasse	9.60	7.80	430	3.82	7.92	4.36	56.60	16.40	3.80	1.53	0.005	0.79	4.485	6.47	46.30	194.20	0.91	0.022	0.045	0.061	4.599
NAPPE. (rive droite)																					
Zig-Zag	7.50	7.85	582	10.16	3.96	3.72	70.70	9.70	2.33	0.98	0.005	0.86	4.472	1.76	62.50	197.60	0.61	0.001	0.005	0.013	4.632
Amphion-S.A.E.M.E.	12.50	7.70	658	8.09	19.36	7.28	105.10	20.20	14.60	2.14	0.003	0.69	7.611	17.73	50.90	359.70	2.55	0.001	0.014	0.027	7.638
Amphion-Jardin	12.50	7.55	514	8.23	11.44	5.26	80.00	16.70	3.42	1.28	0.049	0.88	5.570	3.64	66.80	247.90	0.86	0.003	0.007	0.015	5.617
Amphion-Limnigraphe	9.50	7.30	557	6.87	15.40	5.04	89.00	16.00	8.50	1.27	0.004	0.96	6.181	7.48	46.30	303.00	1.13	0.001	0.006	0.030	6.221
Chez Gur	10.00	7.40	524	7.17	15.84	5.32	85.30	15.60	7.66	1.30	0.006	0.62	5.860	7.99	56.80	265.50	1.83	0.001	0.008	0.020	6.091
Le Trilleul-Cave	12.50	7.30	602	2.44	30.80	4.70	79.00	16.80	7.72	4.38	1.144	0.42	5.897	10.27	46.90	278.20	2.73	0.001	0.011	0.054	6.091
Le Trilleul-Cour	12.50	7.30	602	2.44	30.80	4.70	79.00	16.80	7.72	4.38	1.144	0.42	5.897	10.27	46.90	278.20	2.73	0.001	0.011	0.054	6.091
Le Mottey-Evian	11.00	7.20	632	6.79	30.80	7.32	100.30	23.80	6.83	1.20	0.009	0.64	7.305	11.29	44.70	359.70	2.82	0.001	0.006	0.008	7.329
Pompape Publier	11.00	7.50	639	7.64	25.52	7.64	106.30	19.30	6.89	1.28	0.004	0.51	7.232	9.18	33.50	357.20	2.39	0.001	0.002	0.009	7.291
Chez Bordet	12.00	7.80	588	8.05	7.92	8.44	93.10	16.10	8.50	6.55	0.005	0.27	6.513	11.57	28.70	315.20	5.48	0.002	0.052	0.065	6.466
SOURCES VERSANT. (rive gauche)																					
Pisciculture	16.00	7.65	808	6.46	19.10	9.72	118.50	25.20	14.80	5.47	0.006	0.54	6.782	25.40	66.30	363.60	8.40	0.002	0.347	0.380	6.688
Rives-Pêcheurs	12.00	7.20	891	0.43	42.59	10.40	132.10	27.30	14.30	6.42	0.007	0.66	6.639	26.40	71.70	406.00	7.54	0.001	0.051	0.068	6.468
SOURCES VERSANT. (rive droite)																					
Château de Blonay	10.60	7.40	714	9.02	22.88	10.40	109.50	24.00	9.19	5.24	0.006	0.33	7.279	15.00	36.10	363.10	2.06	0.001	0.004	0.010	7.273
Amphion-Vieux Village n° 1	14.00	7.60	562	7.13	20.24	14.50	79.20	26.30	5.40	1.90	0.008	0.31	6.585	2.53	12.40	369.40	0.87	0.000	0.004	0.021	6.446
Lamy-Le Vuarché	11.00	7.60	695	10.28	20.24	8.56	123.80	16.40	6.98	0.75	0.008	0.33	7.267	14.59	38.00	378.20	3.88	0.001	0.002	0.007	7.278
DRANSE.																					
Amont (Pont de Vongy)	13.80	8.55	545	11.09	-	3.08	93.40	13.50	2.33	0.91	0.009	1.43	5.229	1.72	118.60	202.50	0.27	0.006	0.008	0.034	5.854
Abazl (Chez Gur)	18.50	8.80	581	10.26	-	2.76	68.20	11.00	4.82	1.01	0.025	0.88	4.565	2.77	71.10	175.70	0.16	0.015	0.013	0.032	4.450
LAC.																					
Lac Ripaille	17.50	8.90	290	10.63	-	0.39	39.90	6.70	3.71	1.33	0.035	0.49	2.754	4.19	50.30	96.10	0.31	0.003	0.003	0.020	2.762

ANNEXE 15 - Analyses chimiques - 17 et 18 Juin 1976.
(Les données sont données en mg/L. L'azote NH₄⁺ et les nitrates NO₃⁻ sont donnés en mg d'azote/litre, les ortho-phosphates PO₄⁻⁻⁻ et le phosphate total en mg de phosphate/litre. (Σ⁺ act : 17°6).

Lieu de prélèvement	t°C	pH	x25°C limbo	O ₂	CO ₂	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Σ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	P total	Σ ⁻
NAPPE- (rive gauche)																					
Stade de Vongy	12,50	7,45	489	7,21	8,45	4,56	91,20	12,10	2,60	1,28	0,009	1,09	5,717	2,26	106,50	208,90	0,48	0,000	0,004	0,009	5,738
Thonon	10,50	7,45	531	5,99	14,61	5,10	96,10	15,50	3,86	1,38	0,009	1,02	5,702	4,15	74,90	280,60	1,09	0,005	0,004	0,008	5,754
Fonderies du Léman	9,50	7,35	449	6,50	8,36	4,48	76,90	15,30	3,42	1,28	0,009	1,02	5,751	3,66	63,60	274,30	1,06	0,001	0,052	0,076	5,824
Béton-Chablais	10,85	7,35	608	5,87	20,24	5,88	93,10	22,60	1,40	1,30	0,012	1,36	7,260	33,30	341,60	0,73	0,020	0,004	0,012	7,349	
St-Odille-Bochaton	11,80	7,05	545	8,53	23,76	6,40	88,60	16,30	7,00	3,20	0,017	1,12	6,646	10,13	58,20	306,50	1,42	0,000	0,023	0,028	6,684
Ripaille Ville	10,85	7,35	568	7,66	12,10	5,78	85,30	25,60	4,52	1,85	0,009	1,27	6,800	7,53	39,80	330,90	4,06	0,000	0,003	0,012	6,754
Ripaille Domaine	10,70	7,45	550	8,84	16,70	5,78	85,30	23,60	4,36	1,79	0,009	1,26	6,562	5,68	60,60	299,60	3,17	0,000	0,009	0,010	6,568
Ripaille Chasse	10,80	7,20	485	3,23	16,60	5,20	70,90	19,90	4,28	1,19	0,118	0,97	5,421	6,02	54,20	246,90	0,96	0,019	0,005	0,010	5,474
NAPPE- (rive droite)																					
Zig-Zag	9,75	7,60	491	8,90	7,48	4,22	92,50	12,50	2,84	1,27	0,005	1,07	5,865	2,62	103,00	223,50	0,73	0,001	0,003	0,008	5,832
Amphion-S.A.E.M.E.	11,80	7,25	562	9,18	14,08	6,94	88,60	18,60	18,00	2,18	0,009	0,31	6,566	18,10	42,50	325,50	1,82	0,000	0,066	0,076	6,873
Amphion-Jardin	12,15	7,40	489	7,72	13,40	5,40	88,60	16,10	3,22	1,38	0,012	1,02	5,751	3,66	63,60	274,30	1,06	0,001	0,052	0,076	6,873
Amphion-Limnigraphie	10,00	7,05	532	6,03	17,60	5,24	93,90	16,40	7,88	1,30	0,012	1,36	7,260	33,30	341,60	0,73	0,020	0,004	0,012	7,349	
Chez Gur	11,80	7,05	525	5,87	20,24	5,60	85,30	16,30	6,86	1,35	0,012	1,36	7,260	33,30	341,60	0,73	0,020	0,004	0,012	7,349	
Le Trilleul-Cave**	17,50	7,60	358	3,92	6,15	5,20	58,60	16,30	4,86	1,35	0,012	1,36	7,260	33,30	341,60	0,73	0,020	0,004	0,012	7,349	
Le Mottey-Evian	12,35	7,75	472	8,84	16,70	5,78	85,30	23,60	4,36	1,79	0,008	0,56	5,656	6,12	49,40	269,00	1,37	0,000	0,007	0,022	5,708
Pompape Publier	14,30	7,40	487	3,50	16,70	5,78	85,30	23,60	4,36	1,79	0,008	0,23	5,604	7,28	44,00	269,00	0,84	0,002	0,003	0,041	5,598
Chez Bordet**	14,60	7,55	487	3,78	12,76	8,40	100,90	15,80	20,70	1,50	0,118	0,29	5,565	20,20	47,70	316,20	9,00	0,083	0,483	0,494	7,418
SOURCES VERSANT - (rive gauche)																					
Pisciculture	12,10	7,05	768	7,70	33,40	8,26	123,60	25,80	16,50	5,70	0,014	0,58	6,167	41,60	63,50	380,20	8,06	0,000	0,064	0,077	9,303
Rives-Pêcheurs	12,00	6,90	775	5,95	46,60	8,50	143,50	28,20	16,70	6,30	0,034	0,71	6,886	25,30	66,80	414,80	7,40	0,000	0,071	0,089	9,427
Funiculaire	12,10	7,00	775	5,75	40,50	9,00	130,40	27,30	14,60	5,40	0,007	0,70	6,842	23,46	56,20	417,20	6,76	0,000	0,040	0,051	9,153
Fontaine-Couverte	10,00	7,30	483	9,96	13,20	7,58	71,10	26,60	1,97	0,73	0,008	0,27	5,647	4,85	9,70	328,40	1,18	0,000	0,006	0,008	5,799
SOURCES VERSANT - (rive droite)																					
Château de Blonay	10,80	7,50	809	8,84	22,00	9,50	125,80	23,00	9,01	5,40	0,006	0,31	6,756	15,85	34,80	447,50	2,04	0,000	0,002	0,005	6,661
La Chapelle	13,00	7,60	875	7,29	27,30	8,00	134,70	17,00	14,70	9,70	*	0,38	9,280	23,60	38,30	451,40	4,20	0,192	0,666	0,694	9,289
Sussegny	12,50	7,35	520	5,83	27,30	7,88	143,50	18,60	14,50	3,20	0,002	0,32	6,779	32,30	42,80	440,20	9,00	0,000	0,017	0,036	9,296
Amphion-Vieux Village n°1	11,50	7,40	561	8,83	19,36	10,20	81,10	25,60	5,45	1,09	0,005	0,31	6,449	2,41	10,40	368,00	0,84	0,000	0,003	0,007	6,393
Amphion-Vieux Village n°2	11,55	7,40	600	6,00	2,71	10,60	79,10	26,20	5,56	1,93	0,006	0,32	6,579	10,55	25,70	368,90	0,77	0,000	0,003	0,003	6,393
Lancy-Le Marché	10,90	7,40	673	9,34	22,00	8,00	111,70	14,40	7,80	1,004	0,26	7,253	10,55	34,00	370,90	1,42	0,000	0,009	0,024	6,691	
Les Rives	11,40	7,20	551	3,58	31,24	7,80	102,70	15,30	6,74	1,67	0,042	0,30	6,729	8,70	34,00	359,20	0,01	0,000	0,030	0,048	6,911
Les Rives Sulfureuse	11,00	7,25	558	0,30	28,16	9,60	93,90	20,30	8,96	1,43	0,888	0,51	6,802	4,00	4,70	335,70	0,00	0,000	0,011	0,033	6,693
Wézel-des-Princes	11,45	7,45	463	0,45	14,96	11,00	95,90	23,30	18,90	1,16	0,427	0,58	5,602	29,70	39,00	430,40	1,28	0,160	1,550	1,630	9,292
Ruisseaux des Genevrières	12,10	7,90	740	9,67	5,28	8,50	126,60	16,30	21,70	16,80	0,58	0,28	6,220	29,70	39,00	430,40	4,93	0,000	0,066	0,093	6,440
Ruisseau d'Amphion	10,15	8,30	523	10,42	-	8,50	93,60	16,20	8,09	3,20	0,017	0,26	6,444	11,64	23,20	337,70	1,23	0,005	0,006	0,007	6,440
DRANSE -																					
Amont (Pont de Vongy)	8,80	8,25	508	12,40	-	3,86	96,70	13,10	2,44	1,09	0,008	1,34	6,066	2,22	118,60	217,20	0,40	0,004	0,016	0,023	6,190
Abaz (Chez Gur)	9,70	8,20	497	10,53	-	3,62	93,90	12,90	5,04	1,30	0,020	1,23	6,028	4,29	36,50	213,30	0,43	0,012	0,117	0,427	5,882
LAC -																					
Lac St-Denisille	14,20	8,40	264	10,53	-	0,52	39,70	6,40	3,73	1,43	0,009	0,44	2,717	4,59	50,50	90,80	0,32	0,002	0,007	0,012	2,700

Lieu de prélèvement	t°C	pH	x25°C umho	O ₂	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Si ⁺⁺	Σ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁼⁼	P total	Σ ⁻
MAPPE (rive gauche)																				
Stade de Vongy	7,50	7,90	365	6,50	3,84	63,10	10,40	2,75	1,00	0,015	0,78	4,168	2,73	48,60	190,30	0,48	0,003	0,003	0,005	4,242
Thomson	7,90	7,90		6,66	5,96	89,50	17,10	3,76	1,48	0,042	1,12	6,102	5,22	73,40	273,30	1,72	0,003	0,015	0,020	6,278
Fondettes du Léman	10,20	7,75	500	8,78	5,24	89,00	15,70	3,29	1,26	0,006	1,07	5,532	4,19	76,60	257,70	1,72	0,002	0,006	0,013	6,059
Béton-Chablais	10,00	7,90	553	8,74	6,28	90,40	15,70	13,20	9,23	2,450	1,22	6,215	15,12	51,30	304,50	0,34	0,012	0,008	0,014	6,610
St-Basille-Rochaton	11,50	7,75	518	8,78	6,96	90,70	19,40	8,74	5,41	0,018	0,98	6,264	7,28	55,90	316,20	2,90	0,003	0,102	0,111	6,768
Ripaille Ville	11,00	7,70	537	6,77	6,96	88,70	24,60	4,66	1,78	0,004	1,25	6,228	7,26	47,50	329,90	3,78	0,003	0,013	0,024	6,871
Ripaille Domaine	10,50	7,70	531	9,04	6,58	87,90	22,50	4,66	1,71	0,004	1,18	6,510	3,06	58,50	307,40	3,13	0,002	0,009	0,014	6,666
Ripaille Chasse	9,80	7,70	397	6,71	5,60	60,80	17,10	3,82	1,05	0,022	0,80	4,653	4,69	45,70	221,10	1,04	0,005	0,020	0,020	6,783
Ripaille Limnigraphe*	10,00	7,80	520	3,82	7,04	73,40	22,30	14,10	1,51	0,015	1,08	6,274	6,48	47,40	310,90	0,88	0,074	0,212	0,224	6,853
Piezomètre-Concise*	11,20	7,80	774	6,93	12,30	55,20	19,30	> 80,00	3,00	0,090	0,45	7,214	11,70	63,30	420,20	5,35	0,124	0,074	0,224	6,853
Piezomètre-Station Epuration*	9,00	7,90	327	10,20	3,86	57,30	7,60	2,65	1,07	0,027	0,64	5,643	1,98	35,80	177,10	0,40	0,004	0,030	0,081	5,735
MAPPE (rive droite)																				
Zig-Zag	11,50	8,25	537	9,98	5,90	100,20	14,30	9,45	2,43	0,012	0,85	6,669	7,02	71,30	299,70	1,77	0,002	0,002	0,004	6,720
Amphion-S.A.E.M.E.	13,00	7,90	590	9,79	7,54	89,00	16,60	32,00	2,33	0,009	0,62	7,272	23,00	49,00	334,30	2,90	0,004	0,072	0,145	7,361
Amphion-Jardin	10,50	7,75	466	7,15	5,40	78,90	16,10	3,74	1,24	0,011	0,81	5,476	4,52	68,70	237,70	0,74	0,003	0,006	0,009	6,506
Amphion-Limnigraphe	10,00	7,70	508	7,11	5,26	89,00	15,50	7,96	1,30	0,013	0,92	6,117	8,04	48,90	301,10	1,18	0,002	0,001	0,005	6,263
Chez Gur	12,00	7,70	496	7,13	7,80	88,20	15,50	7,83	1,70	0,014	0,62	6,075	11,17	52,30	274,70	3,00	0,003	0,013	0,020	6,121
Le Mottay-Evian	11,50	7,70	561	3,86	7,10	98,10	22,20	7,02	1,16	0,010	0,63	7,071	9,87	46,20	351,40	2,72	0,003	0,007	0,011	7,194
Pompage Publier	11,00	7,60	617	6,12	7,88	111,50	20,00	7,16	1,43	0,008	0,36	7,565	9,52	30,40	399,20	3,70	0,003	0,004	0,008	7,708
Chez Bordet	11,20	7,85	553	6,12	9,80	96,40	16,60	10,70	7,30	0,028	0,32	6,837	10,98	23,70	367,50	1,79	0,006	0,023	0,030	6,966
Piezomètre-Les Sbleunes*	11,00	7,05	311	7,25	5,86	47,90	6,91	15,00	2,04	0,025	0,47	3,700	5,33	53,20	127,90	0,09	0,006	0,006	0,030	3,400
Piezomètre-Pre de Vigny*	11,25	7,80	350	8,33	7,80	51,80	8,15	14,30	2,18	0,342	0,45	3,967	6,99	49,10	166,90	0,45	0,003	0,134	0,074	5,032
SOURCES VERSANT - (rive gauche)																				
Pisciculture	13,00	7,60	734	7,72	10,40	117,30	24,30	17,20	6,05	0,006	0,58	8,768	25,40	68,70	368,00	8,25	0,010	0,077	0,035	8,774
Rives-Pêcheurs	12,00	7,50	784	7,19	11,30	129,50	26,10	18,20	6,37	0,003	0,63	8,578	29,60	75,50	408,90	7,90	0,006	0,106	0,121	9,632
Funiculaire	12,00	7,50	797	7,15	11,30	134,50	26,50	18,10	6,24	0,005	0,71	8,874	27,44	74,10	416,80	7,95	0,002	0,038	0,043	9,718
SOURCES VERSANT - (rive droite)																				
Château de Blonay	7,55	7,55	732	9,04	11,30	125,40	20,40	8,02	5,05	0,003	0,32	8,421	13,60	32,60	445,10	2,25	0,004	0,007	0,017	8,518
La Chapelle	7,80	7,80	835	9,23	9,80	132,90	14,50	11,60	7,42	0,380	0,31	8,600	18,00	32,70	437,70	4,90	0,163	0,275	0,063	8,700
Sustinges	7,80	7,80	820	9,23	7,96	129,50	16,20	11,10	19,10	0,003	0,30	8,723	23,50	35,80	438,70	8,90	0,005	0,023	0,027	8,908
Amphion-Vieux Village	7,90	7,90	717	12,05	18,10	79,20	25,30	5,79	1,13	0,010	0,33	6,300	2,68	11,30	368,00	0,80	0,004	0,015	0,010	8,400
Lany-Le Vuarché	7,85	7,85	601	12,05	7,84	105,80	11,40	5,06	1,07	0,007	0,26	6,421	9,00	18,80	355,30	1,20	0,005	0,015	0,015	8,556
Fontaine-Le Vuarché	8,00	8,00	583	8,58	16,00	82,80	23,30	5,77	1,03	0,004	0,32	6,333	3,55	11,70	368,00	0,84	0,010	0,012	0,011	8,437
Amphion-Maxima	7,60	7,60	-	6,34	7,90	94,60	14,30	7,78	1,52	0,013	0,30	6,282	12,14	36,20	313,30	1,24	0,005	0,006	0,011	8,430
DRANSE -																				
Amont (Pont de Vongy)	12,00	8,15	289	6,81	3,20	53,60	7,29	1,42	0,54	0,012	0,49	3,362	0,94	36,50	162,50	0,34	0,005	0,037	0,512	3,477
Abat (Piezomètre STEP)	10,80	8,15	296	11,50	3,16	53,90	7,39	1,22	0,54	0,009	0,49	3,376	0,95	35,80	162,50	0,35	0,005	0,015	0,017	3,462
LAC -																				
Lac St-Disdille	16,00	8,15	256	12,80	0,94	40,70	7,53	3,85	1,42	0,024	0,50	2,887	4,52	49,40	103,90	0,09	0,006	0,002	0,009	2,865

ANNEXE 17 - Analyses chimiques - 31 Mai et 1er Juin 1977.
(Les valeurs sont données en mg/l. L'ammoniaque NH₄⁺, les nitrates NO₃⁻ et les nitrites NO₂⁻ sont donnés en mg d'azote/litre, les ortho-phosphates PO₄⁼⁼ et le phosphore total en mg de phosphate/litre).

*Piezomètres 1977 non pompés.

LISTE DES TABLEAUX EN ANNEXE

L I S T E D E S T A B L E A U X E N A N N E X E

	Pages
Annexe 1 - Pluviométrie annuelle.....	174
Annexe 2 - Pluviométrie mensuelle (Année 1976).....	175
Annexe 3 - Pluviométrie mensuelle à Thonon-Rives (375 m.).....	176
Annexe 4 - Pluviométrie mensuelle à Marin (582 m.).....	177
Annexe 5 - Pluviométrie mensuelle à Larringes (795 m.).....	178
Annexe 6 - Pluviométrie annuelle. Modules classés (Thonon-Rives).	179
Annexe 7 - Bilan de l'eau à Thonon-C.R.G.. Méthode de THORNTHWAITE. (Année 1975).....	180
Annexe 8 - Bilan de l'eau à Thonon-C.R.G. Méthode de THORNTHWAITE. (Année 1976).....	180
Annexe 9 - Débits moyens mensuels et annuels en m ³ /s : Dranse à Bioge (1958-1976).....	181
Annexe 10 - Débits spécifiques mensuels et annuels en l/s/km ² : Dranse à Bioge (1958-1976).....	182
Annexe 11 - Relevés piézométriques (1975-1976).....	183
Annexe 12 - Eléments traces. Campagne des 26-27 Octobre 1976.....	184
Annexe 13 - Analyses chimiques - 3 et 4 Décembre 1975.....	185
Annexe 14 - Analyses chimiques - 24, 25 et 26 Février 1976.....	186
Annexe 15 - Analyses chimiques - 17 et 18 Juin 1976.....	187
Annexe 16 - Analyses chimiques - 26 et 27 Octobre 1976.....	188
Annexe 17 - Analyses chimiques - 31 Mai et 1er Juin 1977.....	189