Etude morphométrique, physicochimique et sédimentologique de quelques lacs de montagne des préalpes du Chablais (Haute-Savoie)

Georges Serra Bertral

▶ **To cite this version:**

Georges Serra Bertral. Etude morphométrique, physicochimique et sédimentologique de quelques lacs de montagne des préalpes du Chablais (Haute-Savoie). Hydrologie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 1976. Français. NNT : . tel-00822904

HAL Id: tel-00822904

https://theses.hal.science/tel-00822904

Submitted on 15 May 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.

GEOLOGIE GRENOBLE UJF
D 050 033074 9

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

— PARIS 6 —

12 AVR. 1999

25 MAI 1977

ETUDE MORPHOMETRIQUE, PHYSICO-CHIMIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE DE QUELQUES LACS DE MONTAGNE DES PREALPES DU CHABLAIS (Haute-Savoie)

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE et MÉDICALE de Grenoble
INSTITUT DE GÉOLOGIE
Rue Maurice Gignoux
38 - GRENOBLE

Georges SERRA - BERTRAL

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GÉOLOGIE
DOCUMENTATION
15, RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TÉL. (33) 76 63 59 66
FAX. (33) 76 87 82 43

CENTRE DE RECHERCHES GEODYNAMIQUES

1976 74203 THONON-LES-BAINS FRANCE

12 AVR. 1999

THESE

Présentée à
L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE
(PARIS VI)

pour obtenir le titre de DOCTEUR-INGENIEUR

SPECIALITE : GEODYNAMIQUE EXTERNE

MENTION : SCIENCES DE L'EAU

par

Georges SERRA-BERTRAL

ETUDE MORPHOMETRIQUE, PHYSICO-CHIMIQUE ET SEDIMENTOLOGIQUE DE QUELQUES LACS DE MONTAGNE DU CHABLAIS (HAUTE-SAVOIE)

Soutenue le : 4 Novembre 1976

Devant la Commission composée de :

Président	A. JAUZEIN
Examinateur	R. LETOLLE
"	Ph. OLIVE
"	M. MEYBECK
"	P. TESTARD

CENTRE DE RECHERCHES GEODYNAMIQUES
74203 THONON (FRANCE)

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GÉOLOGIE
DOCUMENTATION
15, RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TÉL. (33) 76 63 59 66
FAX. (33) 76 87 82 43

10191280

12 AVR. 1999
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
27 AOUT 2003

S O M M A I R E

Pages

AVANT-PROPOS 1

INTRODUCTION 3

I. - VOUA DE LA MOTTE 6

I.1. - BASSIN-VERSANT.

Situation, morphométrie, géologie, couverture végétale 6

I.2. - LE LAC.

I.2.a - Origine 7

I.2.b - Morphométrie et bathymétrie 8

I.2.c - Régime thermique 9

I.2.d - Oxygène dissous 11

I.2.e - Transparence 13

I.2.f - Conductivité 13

I.2.g - pH 14

I.2.h - Caractères chimiques généraux 16

I.2.i - Mode d'alimentation 19

I.2.j - Evolution des principaux éléments nutritifs. 22

1) L'Azote 22

2) Le Phosphore 25

I.2.k - Le carbone organique total (C.O.T) 27

I.2.l - Etude des sédiments et du milieu interstitiel 31

RESUME 36

II. - LAC DE MONTRIOND 38

II.1. - BASSIN-VERSANT.

II.1.a - Situation géographique 38

II.1.b - Géologie 40

II.1.c - Végétation 42

II.1.d - Hydrologie des affluents 43

II.1.e - Apports dissous des affluents 44

Pages

II.1.f - Apports dissous des précipitations..... 49

II.2. - LE LAC.

II.2.a - Origine..... 52
II.2.b - Bathymétrie et morphométrie..... 52
II.2.c - Fluctuation du niveau du lac et temps de renouvellement des eaux..... 54
II.2.d - Régime thermique..... 56
II.2.e - Oxygène dissous..... 58
II.2.f - Transparence..... 59
II.2.g - pH..... 59
II.2.h - Conductivité..... 61
II.2.i - Caractères chimiques généraux..... 61
II.2.j - Evolution des principaux éléments nutritifs 62
1) Azote..... 62
2) Phosphore..... 64
II.2.k - Le carbone organique total (C.O.T)..... 65
II.2.l - Géochimie des sédiments..... 68
RESUME..... 71

III. - LAC DE VALLON..... 74

III.1. - BASSIN-VERSANT.

III.1.a - Géographie et morphométrie du bassin versant..... 74
III.1.b - Géologie..... 76
III.1.c - Couverture végétale..... 77
III.1.d - Hydrologie..... 80
Apports liquides des affluents..... 80
III.1.e - Apports dissous des affluents..... 82
III.1.f - Apports dissous des précipitations atmosphériques..... 86
III.1.g - Vitesse d'apports spécifiques en éléments nutritifs par unité de surface du lac..... 87

Pages

III.2. - LE LAC.

III.2.a - Origine..... 87
III.2.b - Morphométrie et bathymétrie..... 89
III.2.c - Temps de renouvellement des eaux lacustres.. 91
III.2.d - Régime thermique..... 92
III.2.e - Oxygène dissous..... 95
III.2.f - Transparence..... 95
III.2.g - pH et conductivité..... 97
III.2.h - Caractères chimiques généraux..... 98
III.2.i - Carbone organique total (C.O.T)..... 101
III.2.j - Géochimie des sédiments..... 105
RESUME..... 108

IV. - LAC DE ROI..... 111

IV.1. - BASSIN-VERSANT.

IV.1.a - Cadre géographique et morphométrie..... 111
IV.1.b - Géologie..... 113
IV.1.c - Couverture végétale..... 115

IV.2. - LE LAC.

IV.2.a - Origine, morphométrie et bathymétrie..... 115
IV.2.b - Mode d'alimentation et temps de renouvellement des eaux..... 117
IV.2.c - Régime thermique..... 117
IV.2.d - Oxygène dissous et conductivité..... 119
IV.2.e - Transparence..... 119
IV.2.f - pH..... 120
IV.2.g - Caractères chimiques généraux..... 121
IV.2.h - Les sédiments..... 127
RESUME..... 129

Pages

V. - LAC D'ARVOUIN..... 132

V.1. - BASSIN-VERSANT.

V.1.a - Géographie et morphométrie..... 132

V.1.b - Géologie et végétation..... 134

V.2. - LE LAC.

V.2.a - Origine..... 134

V.2.b - Morphométrie et bathymétrie..... 137

V.2.c - Température, oxygène dissous et conductivité 139

V.2.d - Transparence et pH..... 141

V.2.e - Mode d'alimentation et temps de renouvellement des eaux..... 142

V.2.f - Caractères chimiques généraux..... 143

V.2.g - Les sédiments..... 146

RESUME..... 148

VI. - LAC DE TAVANEUSE..... 150

VI.1. - BASSIN-VERSANT.

VI.1.a - Cadre géographique et morphométrie..... 150

VI.1.b - Géologie et couverture végétale..... 152

VI.2. - LE LAC.

VI.2.a - Origine, morphométrie et bathymétrie..... 154

VI.2.b - Température, oxygène dissous, pH, conductivité et transparence..... 156

VI.2.c - Mode d'alimentation et temps de renouvellement des eaux lacustres..... 158

VI.2.d - Caractères chimiques généraux..... 159

VI.2.e - Les sédiments..... 161

RESUME..... 164

Pages

VII. - LAC DE DARBON..... 165

VII.1. - BASSIN-VERSANT.

VII.2. - LE LAC.

VII.2.a - Origine, morphométrie, bathymétrie, transparence des eaux..... 168

VII.2.b - Mode d'alimentation et temps de renouvellement des eaux..... 169

VII.2.c - Température, oxygène dissous, conductivité, pH..... 170

VII.2.d - Caractères chimiques généraux..... 171

VII.2.e - Les sédiments..... 173

RESUME..... 174

DISCUSSION..... 175

1) CONCLUSIONS GENERALES..... 175

2) CYCLE DU CARBONE ORGANIQUE TOTAL (C.O.T) DANS LES EAUX LACUSTRES..... 180

3) ETAT TROPHIQUE DES LACS DU CHABLAIS..... 182

ANNEXES.

ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES..... 185

A - EAUX LACUSTRES..... 185

B - SEDIMENTS..... 186

C - HYDROLOGIE..... 187

D - BATHYMETRIE..... 187

FIGURES EN ANNEXE..... 188

TABLEAUX EN ANNEXE..... 190

BIBLIOGRAPHIE..... 219

LISTE DES FIGURES..... 227

LISTE DES TABLEAUX..... 232

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX EN ANNEXE..... 236

AVANT - PROPOS

Au moment de conclure ce travail, c'est pour moi un agréable devoir d'exprimer ici ma sincère reconnaissance à :

- 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 Ph. OLIVE, Sous-Directeur du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon, qui m'a accueilli il y a deux ans dans l'équipe du C.R.G. et qui par ses conseils et critiques lors de nos nombreuses discussions, ainsi que son soutien continuel m'a permis de mener à bien ce travail,

- Monsieur P. TESTARD, Maître-Assistant à l'Ecole Normale Supérieure pour l'examen critique qu'il a fait à cette étude avant de la juger,

- Monsieur M. MEYBECK, Assistant, qui a bien voulu rapporter cette étude et à qui j'adresse mes plus vifs remerciements pour avoir amélioré ce travail par ses nombreuses critiques et suggestions.

Je remercie également Monsieur B. BLAVOUX, Maître-Assistant, dont les conseils et critiques m'ont été très utiles.

Mes remerciements vont aussi à mes camarades de travail : B. CHASSAING, M. HAUBERT, D. JAMIER, J.J. JEREMIE, R. VIAL pour leur collaboration amicale.

Je tiens à remercier toute l'équipe technique du C.R.G. et tout particulièrement Messieurs G. OLIVIER et F. CHESSEL avec qui nous

avons réalisé, dans des conditions souvent difficiles, les diverses campagnes de prélèvements sur les lacs d'altitude.

La réalisation technique de ce travail a été assurée avec beaucoup de soin et gentillesse par Madame C. DUCHAMP pour la frappe, Madame J. TESSIER pour les dessins et Melle A.M. CHIARA pour le tirage, qu'elles trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Enfin à tous ceux qui ont collaboré à la réalisation de ce travail : en particulier Mesdames M. BOUVET, S. CHESSEL, O. CONTAMINE, L. FERRARI, C. JAMIER, A. NOIR, j'adresse mes plus vifs remerciements.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Depuis 1958, les travaux du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains sont orientés vers la connaissance des problèmes régionaux relatifs à la climatologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, la géochimie et la limnologie. Dans ce dernier domaine les recherches concernent particulièrement le Léman (Glangeaud, Dussart, Serruya, Olive, Sauvage, Vergnaud-Grazzini, Hubert, Meybeck, Fontes, Siwertz, Lugrin) et plus récemment le lac d'Annecy (Bénédetti-Crouzet, Meybeck). L'accès aisé du Léman et la proximité de nombreux centres de recherches ont favorisé ces travaux qui ont nécessité la mise en oeuvre de techniques et méthodes nouvelles comme la stratigraphie des sédiments superficiels, la sismique continue, les isotopes, la palynologie, la paléoclimatologie, l'étude des composés organiques des eaux lacustres.

Si actuellement on peut considérer que sur de nombreux points le Léman est parfaitement connu, il est loin d'en être de même pour les nombreux lacs de montagne de la région, qui de par leurs volumes restreints et leurs accès relativement difficiles ont souvent été ignorés par les limnologues.

A l'heure où dans le monde moderne l'eau devient chaque jour plus nécessaire, on s'aperçoit que la multitude de lacs de montagne représente une importante réserve en eaux et l'intérêt de ces lacs comme lieu de récréation (pêche, tourisme, etc...) va sans cesse croissant. Or actuellement, l'étude des lacs de montagne n'est qu'amorcée et sur beaucoup de petits lacs subalpins nous ne possédons aucune donnée. Si certains d'entre eux sont mieux connus c'est grâce aux travaux de A. Delebecque et de B. Dussart.

Les lacs qui font l'objet de cette étude sont échelonnés entre 600 et 1800 mètres d'altitude dans les Préalpes du Chablais. Du point de vue géologique on appelle les Préalpes l'ensemble tectonique situé à l'Ouest des Hautes-Alpes calcaires de l'ensemble helvétique qui est formé d'un empilement de nappes de charriage qui sont du bas vers le haut : la nappe ultrahelvétique, la nappe des Préalpes médianes, la nappe de la Brêche et la nappe de la Simme.

Bien que situés sur un territoire relativement restreint, ces lacs présentent une diversité prononcée tant par leurs origines que par leurs états actuels : sur les 7 lacs étudiés, 2 sont des lacs de barrage naturel (Montriond et Vallon) et deux autres ont une origine glaciaire (Roi, Tavaneuse). Le lac d'Arvouin résulte d'un surcreusement torrentiel, celui de Darbon est un lac de doline alors que le Voua de la Motte devrait son existence à la fonte tardive d'une lentille de glace emprisonnée dans les formations quaternaires que sont les "terrasses de Thonon".

Dans le cadre de cette étude nous nous sommes proposés d'étudier d'une part les différents facteurs susceptibles d'intervenir sur l'évolution de ces lacs : cadre géologique, dynamique des eaux, climat, régime thermique, végétation, morphométrie des lacs et bassins versants, physico-chimie des affluents, des eaux lacustres et des sédiments, etc... et d'autre part les variations des teneurs du carbone organique total en vue de son utilisation comme critère analytique de l'état actuel des lacs.

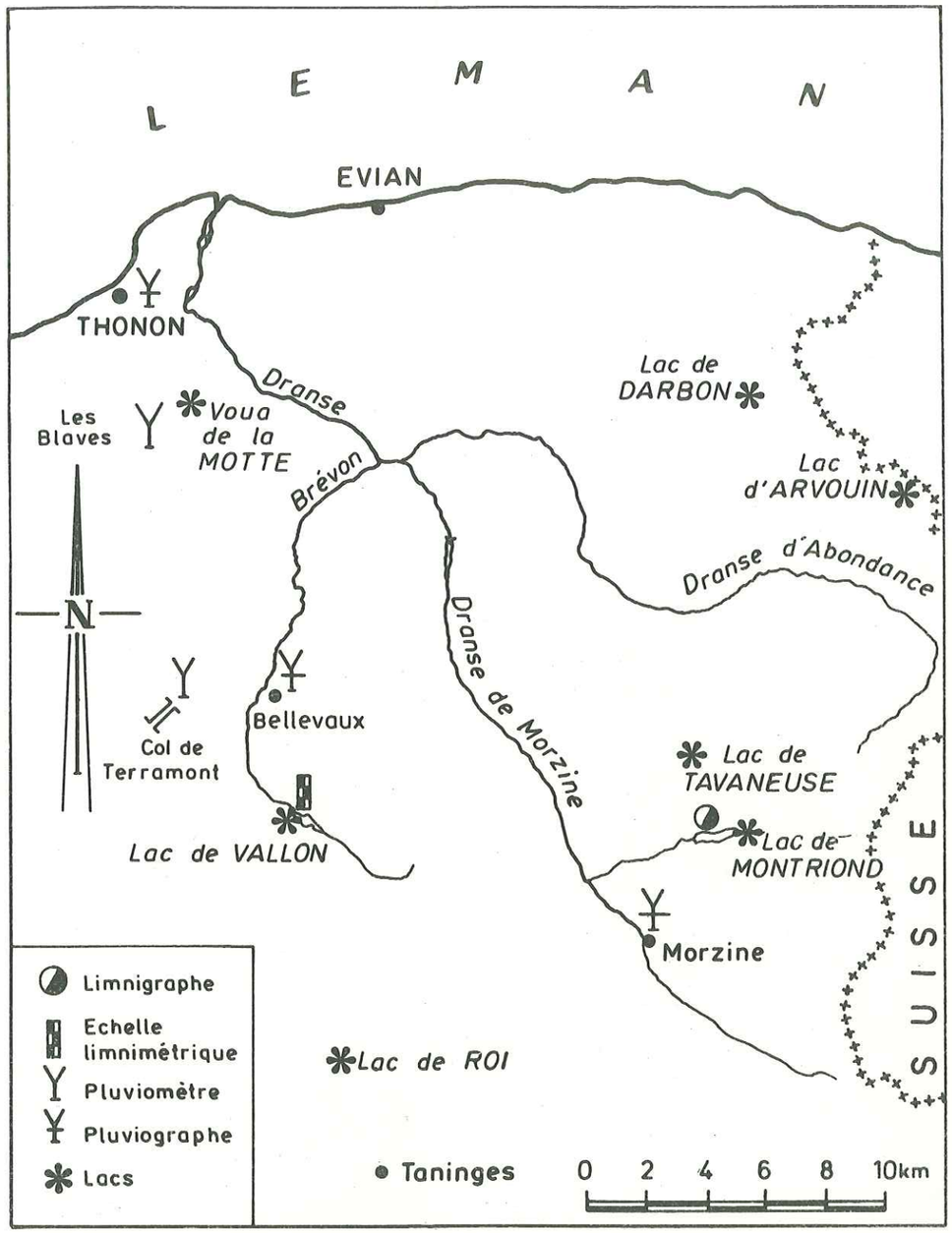


Fig. 1 : CADRE GEOGRAPHIQUE GENERAL : SITUATION DES LACS ET DES STATIONS.

VOUA DE LA MOTTE

I. - VOUA DE LA MOTTE (600 m)

I.1. - BASSIN-VERSANT.

Situation, morphométrie, géologie, couverture végétale.

Situé à 15 km au Sud-Ouest de Thonon, entre les villages de Noyer et Le Lyaud, le Voua de la Motte est la plus profonde d'une série de dépressions naturelles, creusées dans les terrasses de Thonon. Les coordonnées Lambert du lac sont : x = 920,28 ; y = 156,94 (carte 1/20.000e Thonon-les-Bains, nº 5).

Le bassin versant topographique, dont les principales caractéristiques morphométriques sont reportées sur le tableau nº 1, est entièrement recouvert par les dépôts fluvioglaciaires tardi-würmiens, connus sous le nom de "terrasses de Thonon".

A'	Superficie (ha)	8,2
L	Périmètre (m)	1025
h_m	Altitude maximum (m)	612
$\bar{h}$	Altitude moyenne (m)	600
h	Niveau du plan d'eau (m)	595
K (*)	Indice de compacité (Gravelius)	1,01
$\bar{P}$	Pluviométrie annuelle (mm)	1085
$\bar{T}^oC$	Température moyenne annuelle (ºC)	6,9

(*) $K = \dfrac{L}{2\sqrt{\pi A'}}$

Tableau nº 1 : Caractéristiques générales du bassin versant du Voua de la Motte.

Le module pluviométrique ($\bar{P}$) ainsi que la température moyenne annuelle ($\bar{T}°C$) ont été calculés d'après les données climatologiques recueillies à la station météorologique des Blaves pendant 8 ans (1966-1974). Cette station est située à environ 1 km au Nord-Est du lac, à l'altitude de 600 mètres. En tenant compte que le total des précipitations recueillies à Thonon pendant l'année hydrologique étudiée (Novembre 1974-Octobre 1975) (993 mm) est proche du module pluviométrique calculé à cette même station pour la période 1963-1975 (963 mm), il résulte que l'année considérée est une année moyenne. Du fait que la région lémanique est climatiquement homogène (J.J. JEREMIE, 1976), on peut admettre qu'il en est de même à la station des Blaves et que les valeurs reportées sur le tableau nº 1 sont représentatives de l'année étudiée.

La couverture végétale du bassin est représentée essentiellement par la forêt de feuillus dont l'étage principal est formé de chênes (Quercus robur) et de châtaigniers (Castanea vesca) parmi lesquels on retrouve isolés de l'épicéa (Picea excelsa) et du frêne (Fraxinus americana). Le sous-bois est composé de noisetiers (Corrylus avellana), et de cornouillers mâles (Cornus mas). La forêt recouvre environ 70 % de la surface du bassin, le reste étant occupé par un pâturage.

I.2. - LE LAC.

I.2.a - Origine.

L'origine du Voua de la Motte est assez controversée. L'hypothèse de E. GAGNEBIN (1937) retient particulièrement l'attention : la création du lac serait due à la fonte tardive d'une lentille de glace emprisonnée dans les terrasses après le retrait du glacier rhodanien, créant ainsi une dépression qui est alimentée essentiellement par la nappe phréatique de la terrasse. Ces terrasses ont un âge compris entre 16.000 ans et 10.000 ans (datation d'une dent de mammouth dans la terrasse : 14.000 ans B.P., B. BLAVOUX et al., 1971), le glacier du Rhône s'étant retiré il y a 10.000 ans environ (Ph. OLIVE, 1972). (Fig. 2).

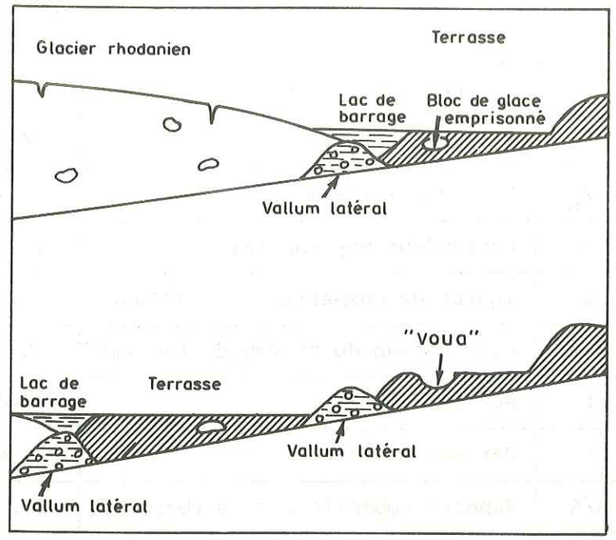


Fig. 2 : SCHEMA THEORIQUE DE LA CREATION DU VOUA DE LA MOTTE APRES LE RETRAIT DU GLACIER RHODANIEN

(D'après R. VIAL, 1976)

I.2.b - Morphométrie et bathymétrie.

Les caractéristiques morphométriques du Voua de la Motte sont reportées sur le tableau nº 2. La carte bathymétrique, relevée pendant le mois de Mai 1975 est présentée sur la figure nº 3.

h	Altitude du plan d'eau (m)	595
A	Superficie (ha)	0,83
l	Longueur (m)	132
$\bar{b}$	Largeur moyenne (m)	63
V	Volume (m^3)	23.842
z_m	Profondeur maximum (m)	8,9
$\bar{z}$	Profondeur moyenne (m)	2,8
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,05
$h(x)$	Fluctuation du niveau du lac (m)	0,70
L	Périmètre (m)	340
-	Période de gel	0-1 mois
A/A'	Rapport superficie : lac/bassin	10,1 %

Tableau n° 2 : Caractéristiques générales du Voua de la Motte

I.2.c - Régime thermique.

Les variations mensuelles des valeurs de la température aux différentes profondeurs du Voua de la Motte sont reportées sur la figure n° 4.

Une des particularités de ce lac est qu'il ne gèle que rarement en hiver, et quand cela se produit, l'épaisseur de la glace n'excède pas quelques centimètres. Il arrive que le lac gèle pendant la nuit et dégèle durant la journée. Le 15.01.1975 à 10 heures le lac était entièrement recouvert de glace. L'épaisseur de cette dernière était de 7 mm au milieu du lac et de 10-12 mm sur le bord.

Pendant la période hivernale, on observe une nette différenciation entre la couche superficielle (0-4 m) où la température oscille autour de 4°C et la couche du fond où la température est toujours supérieure à 5°C. Cette stratification est stable en raison de la présence constante d'eau plus minéralisée au fond du lac et est donc liée à l'état méromictique du lac. Les valeurs de la conductivité des eaux sont reportées sur la figure n° 4. (Ce phénomène a déjà été décrit pour le lac Pavin par J. PELLETIER, 1968).

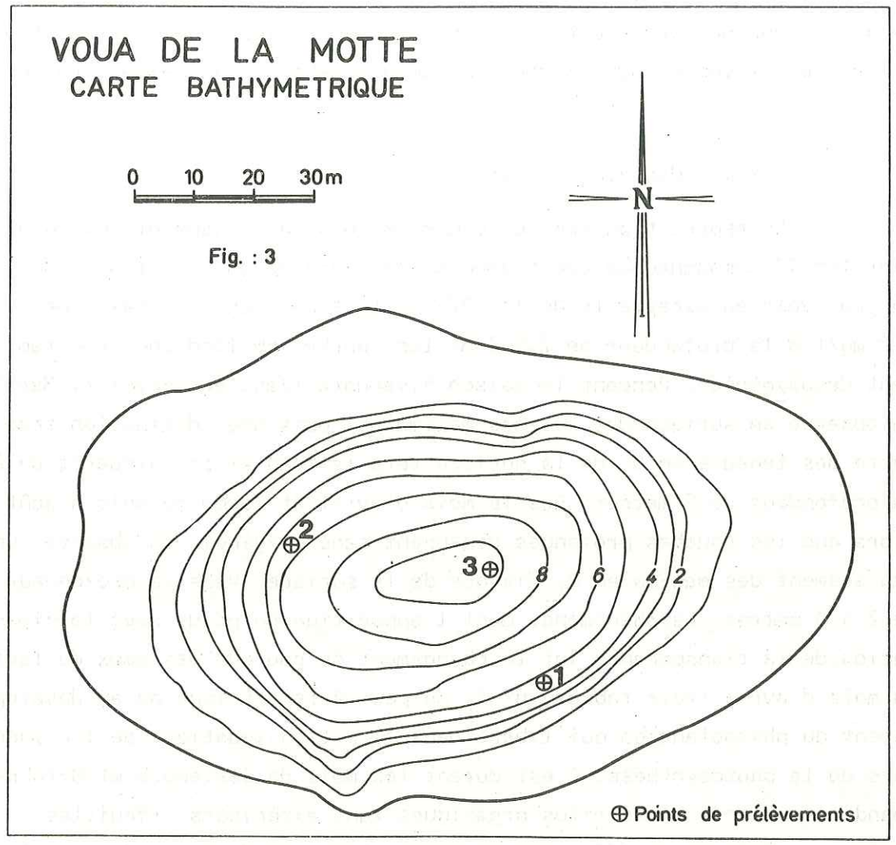


Fig. : 3

Dès le mois d'avril on observe un réchauffement rapide de la couche superficielle. Pendant la saison estivale les températures de surface sont de l'ordre de 22-23°C alors que les températures du fond ne sont jamais supérieures à 7°C. Dès le mois de Septembre la tempéra-

ture de la couche superficielle diminue entrainant une homogénéisation thermique de toute la masse d'eau vers le mois de Novembre quand la température à toutes les profondeurs est voisine de 6°C.

Il est difficile de situer le Voua de la Motte dans la classification de G.E. HUTCHINSON et H. LOFFLER (1956). Il est à la limite des lacs du type monomictiques chauds et dimictiques du deuxième ordre dont la température ne descend ni en surface ni en profondeur au-dessous de 4°C et qui ne comportent de ce fait qu'une période de stratification directe en saison chaude et une période d'isothermie en saison froide.

I.2.d - Oxygène dissous.

La répartition verticale des teneurs en oxygène dissous pendant les 12 campagnes de prélèvements est reportée sur la figure n° 4. On peut voir qu'excepté le 06.11.1974 où la teneur en O_2 était de 8,7 mg/l à la profondeur de 7,5-8 m, les couches du fond sont constamment désoxygénées. Pendant la saison hivernale (Janvier, Février, Mars) on observe en surface des valeurs maximales puis une diminution très nette des teneurs en O_2 de la surface vers le fond et sa disparition à la profondeur de 5 mètres. Dès le mois d'avril et jusqu'au mois d'août, alors que les couches profondes demeurent sans oxygène, on observe un déplacement des maxima en O_2 dissous de la surface vers la profondeur de 2 à 3 mètres. Ce phénomène, dont l'apparition coïncide avec la diminution de la transparence (et le changement de couleur des eaux du lac) au mois d'avril (voir tableau n° 3) ne peut être attribué qu'au développement du phytoplancton qui libère dans le milieu aquatique de l'oxygène lors de la photosynthèse. C'est durant les mois de Septembre et Octobre, quand les apports en détritus organiques tant extérieurs (feuilles mortes) qu'intérieurs (disparition des macrophytes de la surface du lac) augmentent l'intensité des phénomènes de décomposition que l'on observe les plus faibles valeurs des teneurs en O_2. Les fortes valeurs de l'O_2 dissous du fond pendant l'homothermie du mois de Novembre 1974 laissent supposer qu'il s'est produit un brassage des eaux lacustres en cette période.

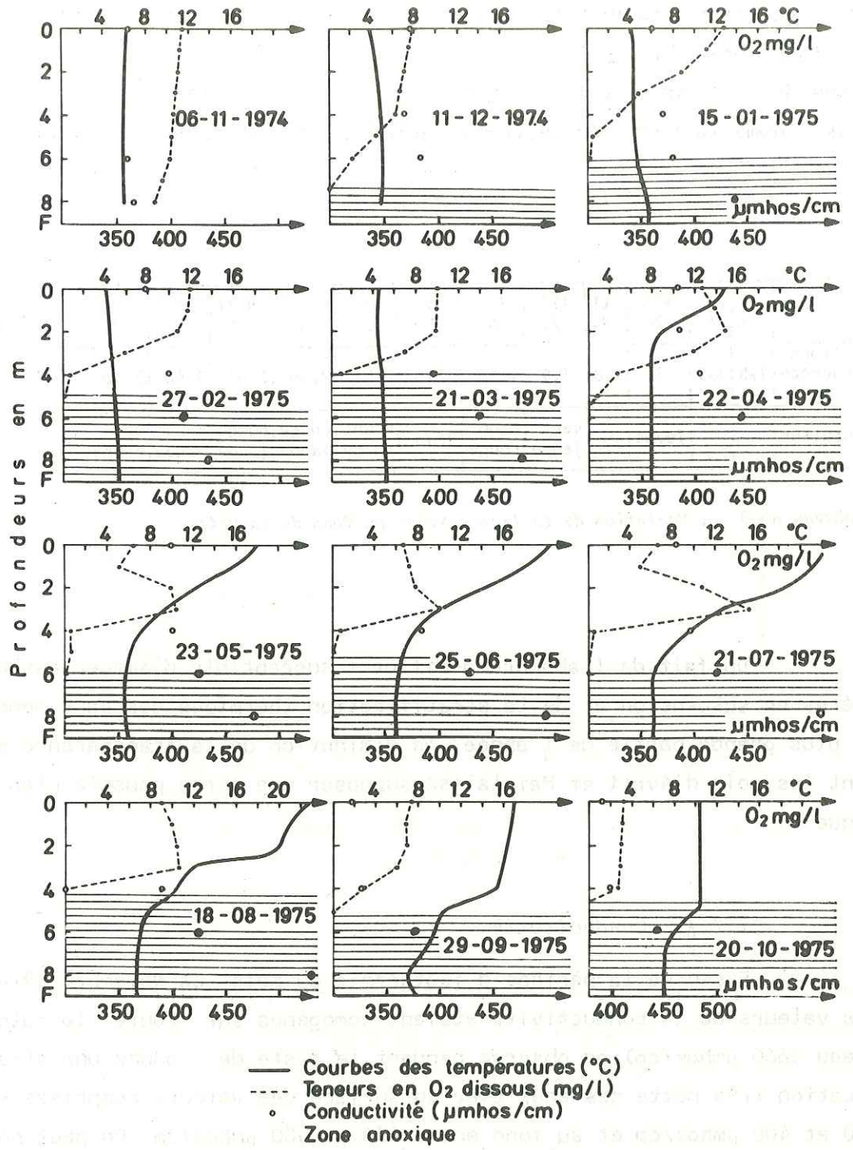


Fig 4 : VARIATIONS MENSUELLES DES VALEURS DE LA TEMPERATURE, DE L'OXYGENE DISSOUS ET DE LA CONDUCTIVITE DANS LES EAUX DU VOUA DE LA MOTTE (Novembre 1974 - Octobre 1975)

I.2.e - Transparence.

Les mesures de la transparence ainsi que la couleur des eaux déterminées à l'aide du disque de Secchi sont reportées sur le tableau nº 3. La transparence est faible, en moyenne 1,95 mètre et analogue à des lacs comme Annecy (E. BENEDETTI-CROUZET, 1972). Les faibles variations de la transparence indiquent que le lac ne "récupère" pas en hiver comme le Léman où celle-ci varie de 2 à 8 mètres (M. MEYBECK, 1970).

	X 74	XI 74	XII 74	II 75	III 75	IV 75	V 75	VI 75	VII 75	VIII 75	IX 75	X 75	Moyenne
Transparence (m)	1,5	1,9	2	1,8	1,9	1,55	1,3	2	2,70	2,08	2,40	2,30	1,95
Couleur			jaune	-	vert jaune	Brun rouge	Brun	Brun rouge	rouge jaune	rouge jaune	brun rouge	brun rouge	

Tableau nº 3 : Variation de la transparence au Voua de la Motte.

Du fait de l'absence d'affluent susceptible d'amener des matières en suspension et de la stratification thermique des eaux pendant la plus grande partie de l'année, la diminution de la transparence pendant les mois d'Avril et Mai laisse supposer une forte poussée planctonique.

I.2.f - Conductivité.

Exceptée la période d'isothermie du mois de Novembre 1974 où les valeurs de la conductivité étaient homogènes sur toute la colonne d'eau (360 µmhos/cm) on observe pendant le reste de l'année une stratification très nette des eaux avec en surface des valeurs comprises entre 360 et 400 µmhos/cm et au fond entre 430 et 580 µmhos/cm. On peut noter sur la figure nº 4 que les valeurs de la conductivité, relativement stables dans la couche d'eau entre la surface et 4 mètres, augmentent brusquement au delà de cette profondeur et atteignent leurs maxima au fond.

I.2.g -pH.

Les eaux du Voua de la Motte ont pendant l'isothermie du mois de Novembre un pH voisin de 8 (figure nº 5). Après un passage à la neutralité sur toute la colonne d'eau au mois de Décembre, on observe une augmentation des valeurs du pH en surface qui atteignent au mois de Septembre-Octobre la valeur de 7,8. Au fond du lac dès le mois de Mars on observe des valeurs du pH inférieures à 7. La différence maximale observée entre le pH de la zone supérieure et celui de la zone profonde était de 1,34 unité de pH le 18.08.1975.

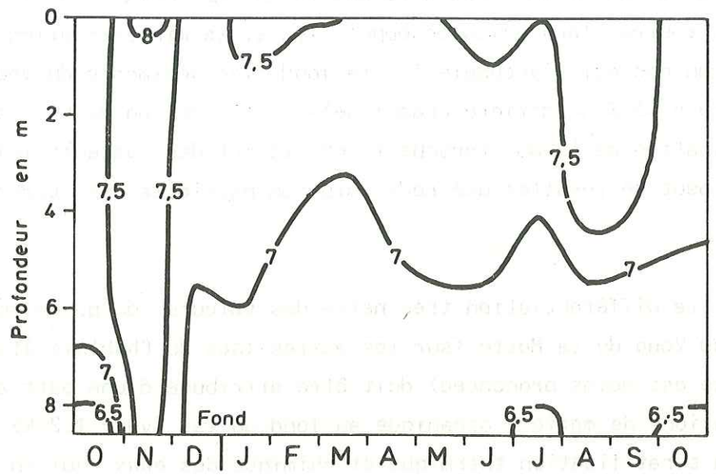


Fig. 5 : VOUA DE LA MOTTE - DISTRIBUTION DES VALEURS DU pH
Octobre 1974 - Octobre 1975

Le pH des eaux est fonction de l'équilibre qui s'établit entre le gaz carbonique, les bicarbonates et les carbonates. Cet équilibre est régit d'une part par les équations d'équilibre du gaz carbonique dans l'eau :

$$CO_2 + H_2O \rightleftarrows HCO_3^- + H^+ \rightleftarrows CO_3^{--} + H^+ \qquad (1)$$

et d'autre part par l'équation d'équilibre entre le gaz carbonique et les différents sels alcalino-terreux, parmi lesquels le Ca^{++} tient un rôle prépondérant :

$$CO_2 + H_2O + CaCO_3 \rightleftarrows (HCO_3^-)_2 + Ca^{++} \qquad (2)$$

En été, dans la couche superficielle du Voua de la Motte, la consommation du CO_2 par les végétaux primaires lors de la photosynthèse, déplace l'équilibre de l'équation (2) dans le sens de la reformation du CO_2 et des carbonates. Ceci provoque la diminution des bicarbonates en surface (ils précipitent sous la forme insoluble de $CaCO_3$) ainsi que l'augmentation du pH de l'eau (8,0 en surface au mois d'Août 1975). Au fond, par contre, lors de la décomposition et la minéralisation de la matière organique qui s'accumule sur le fond (les sédiments du Voua contiennent jusqu'à 46 % de matière organique), la libération de CO_2 provoque l'acidification de l'eau. Lorsque le pH atteint des valeurs inférieures à 7,2 il peut en résulter une redissolution partielle des carbonates de calcium.

La différenciation très nette des valeurs du pH de surface et du fond au Voua de la Motte (sur les autres lacs du Chablais étudiés cette différence est moins prononcée) doit être attribuée d'une part aux fortes concentrations de matière organique au fond du lac (voir I.2.k) et d'autre part à la stratification thermique et chimique des eaux qui en l'absence d'affluents interdit toute réoxygénation des eaux des couches profondes.

Il faut aussi tenir compte du fait que les eaux du Voua de la Motte ainsi que celles de la plupart des lacs du Chablais sont essentiellement bicarbonatées calciques (voir I.2.h) et que les fortes valeurs des concentrations en HCO_3^- ont un effet tampon sur le pH des eaux. En effet les variations du pH sont d'autant plus importantes que la réserve alcaline des eaux est plus faible.

I.2.h - Caractères chimiques généraux.

Pendant la période d'étude, des prélèvements mensuels ont été réalisés à différentes profondeurs du Voua de la Motte. Ces prélèvements ont eu lieu au droit du point le plus profond considéré comme le plus représentatif d'une masse d'eau (P. HUBERT, 1972). Les différents niveaux de prélèvements, choisis arbitrairement sont 0, 4, 6 et 8 mètres. (Les résultats de toutes les analyses chimiques réalisées sur ces échantillons sont reportés en annexe).

En tenant compte des variations des concentrations de certains éléments en fonction de la profondeur (Ca^{++}, Mg^{++}, etc...) et dans le but d'obtenir des valeurs représentatives de la composition chimique des eaux, comparables à celles des lacs aux caractéristiques morphométriques distinctes, nous avons calculé pour chaque élément et pour chaque campagne, la moyenne des concentrations pondérées par les volumes des différentes tranches d'eau du lac.

Ces moyennes ont été calculées suivant la formule :

$$\bar{C} = \frac{\Sigma v_i C_i}{V} \qquad (1)$$

$\bar{C}$ = moyenne pondérée de la concentration d'un élément (mg/l)
C_i = concentration de l'élément à la profondeur i (mg/l)
v_i = volume d'eau de la tranche correspondante à la profondeur i (m^3)
V = volume total du lac (m^3).

Les valeurs mensuelles des concentrations des différents éléments calculées suivant cette formule, sont reportées sur le tableau n° 4.

Le caractère principal des eaux du Voua de la Motte est leur nature bicarbonatée calcique. En effet ces deux éléments représentent environ 87 % de la masse totale des éléments dissous. Viennent ensuite les sulfates (3,9 %), le magnésium (3,5 %), la silice (1,3 %) et les chlorures (1 %). Les valeurs moyennes des rapports ioniques classiques sont : $r\frac{Mg}{Ca} = 0,31$; $r\frac{SO_4}{Cl} = 2,86$; $r\frac{Na}{Ca} = 0,029$; $r\frac{Na}{Mg} = 0,092$.

	Octobre 1974	Novembre 1974	Décembre 1974	Janvier 1975	Février 1975	Mars 1975	Avril 1975	Mai 1975	Juin 1975	Juillet 1975	Août 1975	Septembre 1975	Octobre 1975	Moyenne annuelle	%
Ca^{++} (mg/l)	68,37	63,00	65,29	64,19	64,37	65,64	65,19	66,84	71,30	67,68	69,67	67,58	69,64	66,83	18,2
Mg^{++} (mg/l)	12,32	12,50	12,83	12,70	12,74	12,58	12,92	13,27	13,07	13,36	13,30	12,72	13,14	12,88	3,5
Na^{+} (mg/l)	2,24	1,95	2,24	2,08	1,99	2,15	2,06	2,38	2,38	2,42	2,81	2,35	1,88	2,23	0,6
K^{+} (mg/l)	1,69	1,52	1,37	1,98	2,0	1,99	2,16	2,13	2,14	1,97	1,85	1,74	1,79	1,87	0,5
HCO_3^{-} (mg/l)	260,03	239,51	244,74	241,48	242,43	249,10	247,31	255,05	258,23	261,32	260,25	262,83	262,00	252,64	68,6
SO_4^{--} (mg/l)	14,17	14,74	17,0	15,89	15,83	13,63	15,10	14,62	13,85	13,31	15,25	10,99	11,54	14,30	3,9
Cl^{-} (mg/l)	3,62	3,45	1,70	4,09	3,76	3,70	3,91	3,94	3,87	4,00	4,03	3,89	4,14	3,70	1,0
NO_3^{-} (mgN/l)	0,05	0,11	0,09	0,15	0,05	0,06	0,21	0,10	0,12	0,14	0,09	0,10	0,08	0,10	-
N min. (mg/l	0,686	-	0,375	0,271	0,285	0,627	0,811	0,434	0,614	0,495	0,490	0,691	0,611	0,533	0,1
PO_4^{---} (mgP/l)	0,009	0,003	0,004	0,003	0,002	0,008	0	0,002	0,002	0,014	0,007	0,009	0,001	0,005	-
P tot.(mg/l)	0,017	-	0,022	0,009	0,008	0,011	0,015	0,020	0,014	0,030	0,026	0,023	0,025	0,019	-
SiO_2 (mg/l)	7,34	6,26	5,88	5,90	4,29	3,96	3,09	1,83	3,80	4,16	4,88	4,84	5,98	4,79	1,3
COT (mg/l)	-	7,86	7,26	7,53	7,33	7,8	7,15	8,0	8,3	7,95	-	12,45	9,80	8,76	2,4
Conductivité en µmhos/cm	393,47	363,51	371,11	371,09	394,79	394,76	406,20	407,18	371,39	401,01	411,71	388,98	412,38	391,35	
													TOTAL	360 mg/l	

Tableau n° 4 : Voua de la Motte. Composition chimique des eaux du lac. (Moyenne pondérée des concentrations par le volume des différentes tranches d'eau dans lesquelles les prélèvements ont été réalisés.

En règle générale les variations des concentrations des éléments majeurs sont peu importantes. Les écarts maxima des valeurs mensuelles à la moyenne annuelle sont respectivement : 6,6 % pour le Ca^{++}, 5,2 % pour les HCO_3^{-}, 4,3 % pour le Mg^{++}. Les sulfates montrent des variations plus importantes (jusqu'à 23 %), mais comme nous le verrons ultérieurement ceci est principalement lié au phénomène de réduction des sulfates en SH_2 dans la zone anoxique du fond du lac. Les variations des concentrations en silice ont un caractère cyclique assez prononcé avec des valeurs maximales vers les mois d'Octobre et Novembre, une diminution progressive des concentrations qui atteint son minimum au mois de Mai puis de nouveau une augmentation progressive. Ces variations peuvent être attribuées à l'utilisation de la silice par les diatomées. Pour les chlorures, excepté le mois de Décembre 1974 où l'on a observé une diminution considérable, leurs concentrations sont relativement stables.

En ce qui concerne la répartition verticale des concentrations on note pour la plupart des éléments (Ca^{++}, Mg^{++}, HCO_3^{-}, K^{+}, SiO_2) une augmentation progressive des valeurs qui atteignent leurs maxima dans la couche du fond du lac. Pour les SO_4^{--}, au contraire, on observe pendant la plus grande partie de l'année (de Février à Septembre) un gradient inverse des concentrations avec des valeurs plus faibles en profondeur. On peut supposer que ce phénomène est dû à la réduction des sulfates dans la zone anoxique, en sulfites puis en hydrogène sulfuré (SH_2) dont l'odeur caractéristique a été décelée à différentes reprises lors des prélèvements d'échantillons de fond. Cet état réducteur du fond est confirmé par l'abondance de l'azote sous forme réduite de NH_4^{+}.

Du fait du caractère presque permanent de la stratification chimique des eaux du Voua de la Motte, et en tenant compte des observations de E. SIWERTZ (1973) selon lesquelles "la nappe superficielle circulant dans les terrasses de Thonon affleure en plusieurs points du bassin des Blaves au fond de dépressions circulaires, les Vouas", nous avons procédé à une étude comparative de la composition chimique des eaux du fond du Voua et celle des eaux de la nappe phréatique.

La composition chimique des eaux de la nappe a été déterminée par M. DRAY (1968) au captage des Blaves qui se situe à environ 1 km au Nord-Ouest du lac. Les valeurs présentées sur le tableau suivant sont les moyennes de 8 prélèvements réalisés entre 1964 et 1966.

Ca^{++} mg/l	Mg^{+} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	SiO_2 mg/l	HCO_3 mg/l	SO_4^{--} mg/l	Cl^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	TOTAL
93,4	15,3	2,8	1,5	4,61	324,6	13,8	3,2	2,04	461

Tableau n° 5 : Composition chimique des eaux de la nappe phréatique des terrasses de Thonon qui alimente le Voua de la Motte (d'après DRAY)

Pour chacune de ces eaux nous avons déterminé un certain nombre de rapports ioniques qui caractérisent le mieux ces eaux (M. DRAY) (tableau nº 6).

Il apparaît nettement (excepté le rapport r $\frac{SO_4}{Cl}$ qui est beaucoup plus faible dans les eaux de fond du Voua (voir annexe), ce qui est, comme nous l'avons vu, lié à la réduction des sulfates), que la nature des eaux du fond du lac est identique à celle des eaux de la nappe, ce qui confirme l'alimentation du lac par le fond par les eaux de la nappe.

	Fond du Voua (moyenne de 12 prélèvements)	Nappe des terrasses de Thonon (captage des Blaves)
r $\frac{Mg}{Ca}$	0,28	0,27
r $\frac{Na}{Ca}$	0,026	0,026
r $\frac{Na}{Mg}$	0,092	0,097
r $\frac{SO_4}{Cl}$	2,86	4,33

Tableau nº 6 : Rapports ioniques caractéristiques des eaux du Voua et de la nappe des terrasses de Thonon.

I.2.i - Mode d'alimentation.

Le Voua de la Motte est un lac fermé, sans affluent ni émissaire. Son alimentation résulte des apports météorologiques directs sur la surface du lac, des eaux de ruissellement du bassin versant et des apports de la nappe phréatique de l'aquifère libre des terrasses de Thonon.

Les eaux fortement minéralisées du fond du lac qui proviennent de la nappe souterraine ne se mélangent qu'occasionnellement avec les eaux superficielles qui sont essentiellement des eaux de pluie et de

ruissellement. Le fait que le lac soit situé au fond d'une dépression circulaire dont les pentes sont recouvertes de formations forestières, freine considérablement l'action du vent, qui serait susceptible de provoquer un brassage mécanique des eaux.

Le Voua de la Motte apparaît donc comme un lac à forte tendance méromictique d'origine crénogénique formé par l'apport d'eaux fortement minéralisées en profondeur sur lesquelles sont superposées les eaux affluentes superficielles. On y distingue nettement un mixolimnion (0-4 m) et un lac inférieur isolé (monimolimnion) de - 5 m au fond.

Cet équilibre méromictique apparent, peut dans certaines conditions être momentanément rompu. En effet la piézométrie de la nappe phréatique qui alimente le lac, suivie depuis 1965, montre certaines années des variations annuelles importantes de l'ordre de 2 mètres (B. BLAVOUX, M. DRAY, 1975) en fonction d'une part des paramètres pluviométriques et d'autre part de l'exploitation par pompage de l'eau de la nappe. Le niveau du lac, dont les eaux sont en équilibre hydrostatique avec la nappe n'est que le reflet du niveau piézométrique de ladite nappe. Pendant la période d'étude nous avons assisté à une montée rapide du niveau du lac (0,70 m en deux mois : Octobre et Novembre 1974) (figure nº 6), puis à une stabilisation du plan d'eau au niveau 1,80 mètre de l'échelle limnimétrique avec certaines fluctuations de l'ordre de ± 10 centimètres.

La méromicticité sus-citée a été observée après la stabilisation du niveau du plan d'eau, alors que tout laisse supposer (voir courbes d'O_2, température et conductivité sur la figure nº 4) qu'il s'est produit un brassage des eaux concernant toute la masse d'eau pendant la période de montée des eaux.

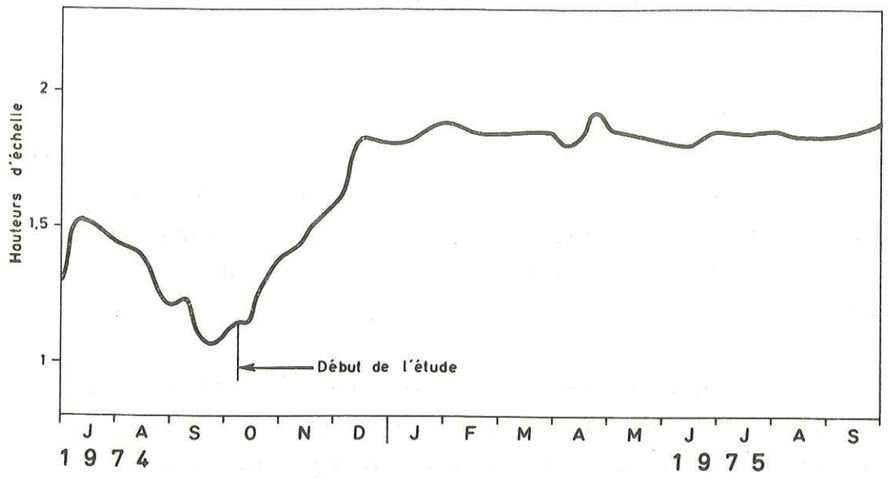


Fig. 6 : VOUA DE LA MOTTE - FLUCTUATION DU NIVEAU DU PLAN D'EAU (1974 - 1975)

En effet, la recharge rapide de la nappe, consécutive aux fortes pluies automnales de 1974 a provoqué la réalimentation du lac avec des eaux moins minéralisées. (La masse totale des éléments dissous mesurée au fond du lac le 06.11.1974 était de l'ordre de 350 mg/l, alors qu'elle est en moyenne de 450 mg/l). Il existe en effet, selon B. BLAVOUX et M. DRAY (1975) une relation apparente entre le niveau piézométrique de la nappe et la minéralisation des eaux. Pour un niveau piézométrique haut, correspond une minéralisation faible. Mais cette relation disparaît en cas de perturbation du régime pluviométrique. Selon les mêmes auteurs, "l'été 1969 n'ayant pas présenté de déficit pluviométrique, on retrouve en Décembre un haut niveau piézométrique avec des concentrations élevées".

On peut donc supposer que ce même phénomène s'est reproduit à la fin de l'année 1974, ceci expliquant les fortes valeurs de minéralisation du fond du lac après la remontée rapide et la stabilisation du niveau du lac.

Cette alimentation en eaux moins minéralisées intervenant alors que le refroidissement des couches superficielles amenait l'homogénéisation de la température de l'ensemble de la masse d'eau lacustre, il s'est créé des conditions favorables à la réalisation d'un brassage thermique. L'oxygénation des couches du fond observée le 06.11.1974 nous prouve la réalisation de celui-ci.

I.2.j - Evolution des principaux éléments nutritifs.

1) L'AZOTE.

L'importance de l'azote comme élément biogène au sein des collections d'eau est bien connue : étant un constituant essentiel des protéines, l'azote est indispensable à la formation de la matière vivante dans toute la chaine alimentaire qui va de la bactérie à l'homme.

L'azote est présent dans l'eau soit comme azote organique dissous, soit comme ion d'ammonium, ion de nitrate ou de nitrite, soit comme azote élémentaire. Selon G.C. WEBSTER (1959) l'utilisation des différentes formes de l'azote par les végétaux peut se schématiser de la manière suivante :

	Organ. N	N (NH_3)	N (NO_3)	N_2
Certaines bactéries et champignons, quelques espèces d'Eugléna	X			
Certaines bactéries et champignons	X	X		
La plupart des bactéries, des champignons, des algues et des plantes supérieures	X	X	X	
Certaines bactéries et algues bleues	X	X	X	X

Tableau n° 7 : Utilisation des différentes formes de l'azote par les végétaux (d'après Webster in Vollenweider, 1968).

De tous les lacs qui font l'objet de cette thèse, le Voua de la Motte possède, avec une moyenne annuelle des concentrations pondérées de 0,53 mgN/l, les eaux les plus chargées en azote minéral.

Sur la figure nº 7 sont reportées les variations mensuelles des composés nitriques, ainsi que de l'ammonium à trois profondeurs du lac.

En surface, excepté les mois d'Octobre, Novembre et Décembre où les concentrations en N (NH_4) sont supérieures à celles des N (NO_3), ce sont ces dernières qui prédominent pendant le reste de l'année. Le rapport $\frac{N\ (NO_3)}{N\ (NH_4)}$ est en moyenne de 1,33 avec une pointe de 4,33 observée le 22.04.1975.

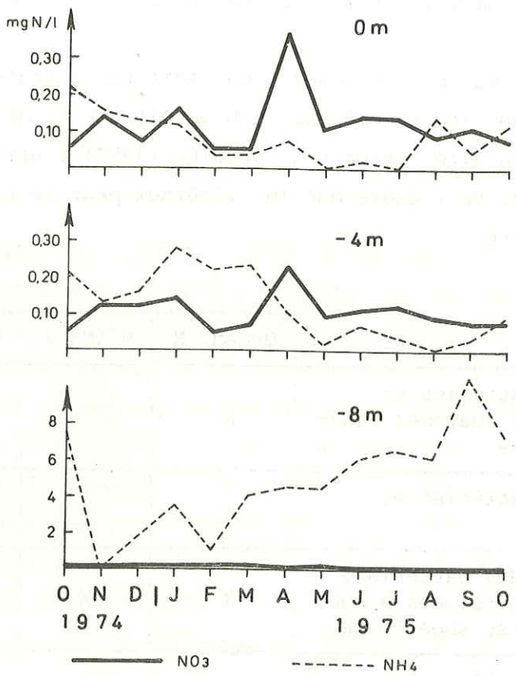


Fig. 7 : VARIATIONS MENSUELLES DE L'AZOTE INORGANIQUE AUX DIFFERENTES PROFONDEURS DU VOUA DE LA MOTTE. (Point 3. 1974-1975)

A 4 mètres de la surface on observe une alternance de la prédominance de l'une ou de l'autre des formes de l'azote minéral avec une période d'environ 6 mois. D'Octobre à Mars 1975, les concentrations des ions $(NH_4)^-$ étaient supérieures à celles des $(NO_3)^-$ et le rapport $\frac{N\ (NO_3)}{N\ (NH_4)}$ était en moyenne 0,41 pour cette période.

Dès le mois de Mars et pendant toute la période estivale, ce sont au contraire les nitrates qui prédominent à cette profondeur et le rapport $\frac{N\ (NO_3)}{N\ (NH_4)}$ passe à 2,2.

Ces variations doivent être attribuées aux phénomènes biochimiques de dénitrification et de réorganisation de l'azote nitrique en fonction des teneurs en O_2 dissous dans les eaux. Ainsi l'assimilation des nitrates par les micro-organismes constitue une dénitrification, de même que l'utilisation de l'oxygène des nitrates par certains micro-organismes pour l'oxydation de substances organiques ou minérales.

La nitrification (production des nitrates) peut s'effectuer de deux façons par la voie biologique : la nitrification autotrophe (très connue dans les sols avec l'intervention des nitrosomonas et des nitrobacters) qui se produit dans des conditions aérobies, et une nitrification hétérotrophe qui peut se produire dans des conditions d'aérobie facultative.

Il est difficile à priori de préciser laquelle de ces deux formes est prédominante. Selon M. LAURENT (1972), la nitrification hétérotrophe a au sein des étangs une importance plus grande que la nitrification autotrophe.

Au fond du Voua de la Motte, si les valeurs des N (NO_3) sont comparables à celles de la surface pratiquement toute l'année (ce qui peut être attribué à la nitrification hétérotrophe), on observe une très nette augmentation des valeurs de N (NH_4). La moyenne des concentrations au fond est de 4,95 mgN/l avec une valeur maximum de 10,4 mgN/l mesurée le 29.09.1975 à 8 mètres de profondeur. Le rapport $\frac{N\ (NO_3)}{N\ (NH_4)}$ est en moyenne 0,02.

Ces fortes concentrations en ions $(NH_4)^+$ au fond du Voua sont dues à la décomposition et à la minéralisation de la matière organique dans les eaux non renouvelées et désoxygénées du fond, ainsi que dans les sédiments. L'ammonification est un processus complexe, car l'ammoniaque peut provenir de la désamination de nombreuses substances organiques allant des polypeptides aux sucres aminés. Mais le produit final de la décomposition reste toujours l'ammoniaque sous forme libre (NH_3) ou plus souvent $(NH_4)^+$ en milieu aquatique. La présence de NH_3 libre est très rare, car dès qu'il est libéré par la vase, il se trouve aussitôt dissous et ionisé à l'intérieur du sédiment lui-même ou dans l'eau sus-jacente (M. LAURENT, 1972).

On peut résumer que les phénomènes qui caractérisent le comportement de l'azote dans les eaux du Voua sont d'une part les fortes concentrations de l'azote inorganique, et d'autre part, du fait de l'importance de la zone anoxique du lac, les composants de l'ammonium dépassent largement ceux des nitrates, alors que les nitrites (NO_2) à l'état de trace en surface, ont une moyenne annuelle des concentrations au fond du lac de l'ordre de 0,006 mgN/l.

2) LE PHOSPHORE.

Les orthophosphates et le phosphore total ont été dosés sur les échantillons d'eau filtrés à 0,45 µ.

Les courbes de la figure nº 8 indiquent des variations mensuelles assez importantes de cet élément aux différentes profondeurs du lac. En surface on note les deux maxima des concentrations en PO_4 en Mars (8 µgP/l) et Août (14 µgP/l) alors qu'il disparaît totalement au mois d'Avril. La moyenne annuelle des concentrations en surface est de l'ordre de 4 µgP/l pour les orthophosphates et de 15 µgP/l pour le phosphore total. Néanmoins il faut tenir compte que la limite de détection du phosphore est de 1 µgP/l et que pour les faibles concentrations (< 10 µgP/l) la précision de la mesure est de l'ordre de 100 %.

A 4 mètres de la surface, les concentrations sont pratiquement identiques et les variations du même ordre qu'en surface.

Au fond par contre, on observe des concentrations beaucoup plus importantes. Les PO_4 ont une teneur annuelle moyenne de 12 µgP/l et le P total de 28 µgP/l. Les variations dans le temps sont plus prononcées. On observe deux pointes des concentrations en PO_4 (Mars avec 25 µgP/l et Septembre avec 35 µgP/l) et la disparition totale de ce dernier en Février.

Avec une moyenne annuelle des concentrations en PO_4 de 5 µgP/l le Voua de la Motte apparaît comme un lac faiblement chargé en phosphates. Bien que les variations de cet élément soient importantes, il n'apparaît pas de cycle saisonnier nettement prononcé. On observe néanmoins des concentrations très faibles en surface et à 4 mètres pendant toute la période estivale (d'Avril à Août). La disparition des PO_4 de la couche superficielle au mois d'Avril, qui coïncide avec les premiers réchauffements de cette couche, pourrait être un facteur limitant de la production primaire en cette période.

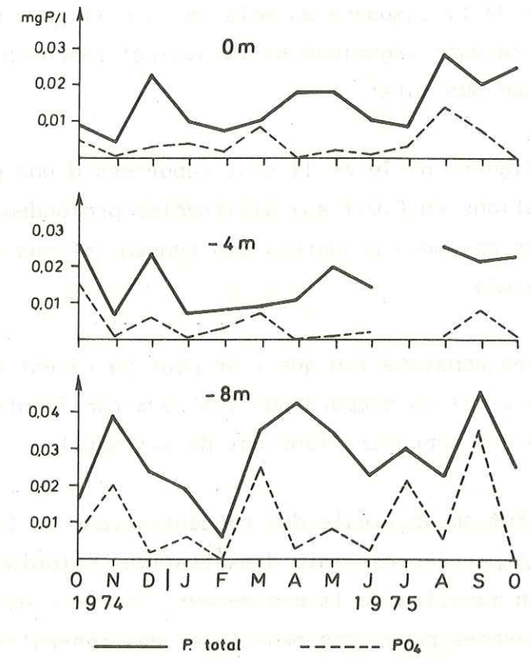


Fig. 8 : VARIATIONS MENSUELLES DU PHOSPHORE AUX DIFFERENTES PROFONDEURS DU VOUA DE LA MOTTE.
(Point 3 - 1974-1975.)

I.2.k - Le carbone organique total.

Le carbone organique total (C.O.T) a été dosé sur des échantillons d'eau non filtrée, selon la méthode de D. MENZEL et R. VACCARO (1961). Elle consiste en l'oxydation de la matière organique contenue dans l'eau, après l'élimination préalable des formes inorganiques du carbone (CO_2, CO_3^{--}, HCO_3^-) et le dosage du CO_2 résultant par analyseur infrarouge non dispersif. L'oxydation est réalisée par le persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$) dans des ampoules en verre scellées qui sont passées pendant 2 heures dans un autoclave à 130°C. Un étalonnage est effectué avec chaque série de mesure à l'aide de solution de saccharose. L'erreur absolue sur la mesure est de l'ordre de 0,05 à 0,1 mg/l suivant la concentration.

L'étude du C.O.T au sein du Voua de la Motte est basée sur l'analyse d'échantillons mensuels prélevés aux différentes profondeurs du lac (1 échantillon tous les mètres) pendant un an. La participation du carbone organique particulaire (fraction retenue sur un filtre de fibre de verre) a été déterminée lors de la campagne du mois de Juin (figure n° 9). Il apparaît que le C.O.P (carbone organique particulaire) représente en moyenne 20 % du carbone organique total.

Sur les figures n° 10 et 11 sont reportées d'une part les variations des concentrations en C.O.T aux différentes profondeurs et d'autre part l'évolution des moyennes pondérées des concentrations en C.O.T pendant la période d'étude.

La première constatation que l'on peut faire est que les eaux du Voua sont riches en C.O.T en comparaison aux eaux continentales naturelles. La moyenne annuelle des concentrations est de 8,3 mgC/l.

La distribution verticale des concentrations en C.O.T ne montre pas, en dehors de la période estivale d'exaltation biologique, de variations importantes en fonction de la profondeur. Toujours exceptée la période estivale, les moyennes pondérées mensuelles des concentrations oscillent entre 7 et 8 mgC/l, ce qui indique qu'il se maintient une quantité relativement constante de C.O.T en cette période (G. SERRA-BERTRAL et al., 1976).

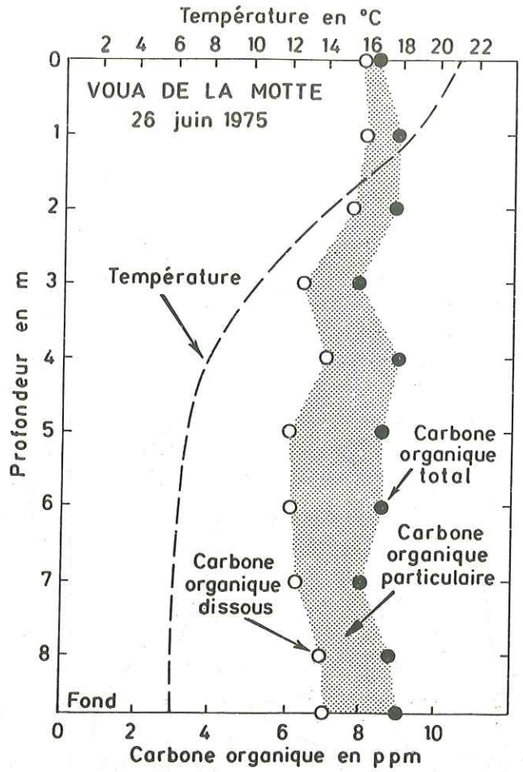


Fig. 9 : REPARTITION DES DIFFERENTES FORMES DE CARBONE ORGANIQUE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR.

Dès le mois de Juillet, par contre, on observe une différenciation très nette des concentrations en profondeur avec des pointes de 14 mgC/l à 3 mètres de la surface et au fond qui se poursuit en Septembre par une augmentation des concentrations à tous les niveaux. Après avoir atteint une valeur maximale en Septembre (12,4 mgC/l) la moyenne pondérée des concentrations diminue (9,8 mgC/l en Octobre) pour revenir à sa valeur initiale. En effet des mesures effectuées en Mars 1976 indiquaient une moyenne de 7,4 mgC/l avec une répartition homogène en profondeur.

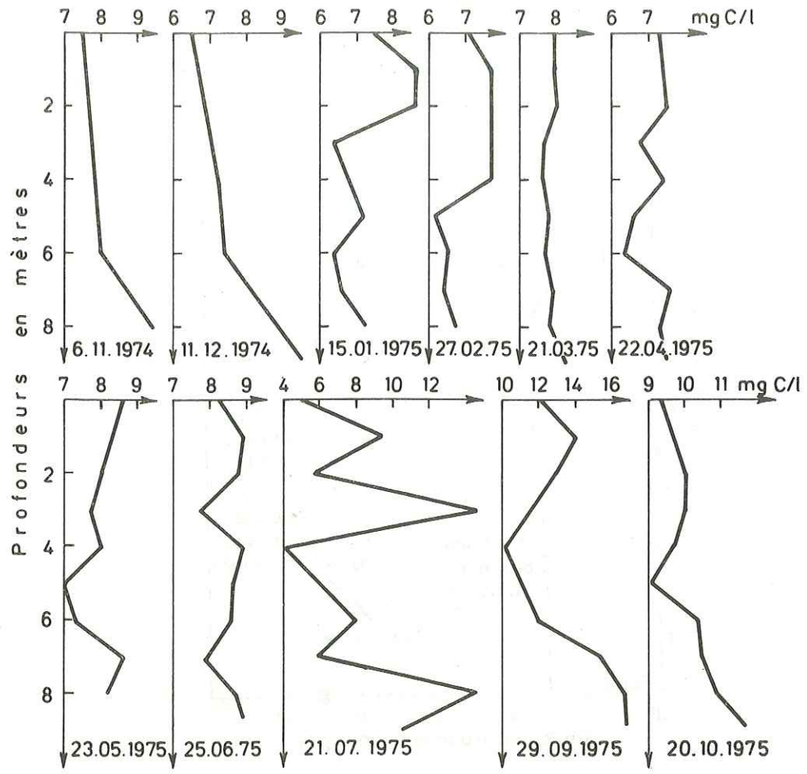


Fig. 10 : VOUA DE LA MOTTE - VARIATIONS DES TENEURS EN C. O. T. EN FONCTION DE LA PROFONDEUR 1974 - 1975

Ces résultats montrent l'existence d'un cycle du carbone organique total au sein du Voua, cycle qui peut être résumé de la façon suivante :

- Pendant la plus grande partie de l'année (exceptée la période estivale) la concentration moyenne oscille autour d'une valeur relativement stable. Pour le Voua cette valeur est située entre 7 et 8 mgC/l. En cette période les concentrations sont assez homogènes en profondeur.

- En période estivale les concentrations augmentent rapidement et après avoir atteint un maximum en fin d'été (Septembre) reviennent sur leurs valeurs initiales. En cette période la répartition verticale du C.O.T est beaucoup plus hétérogène.

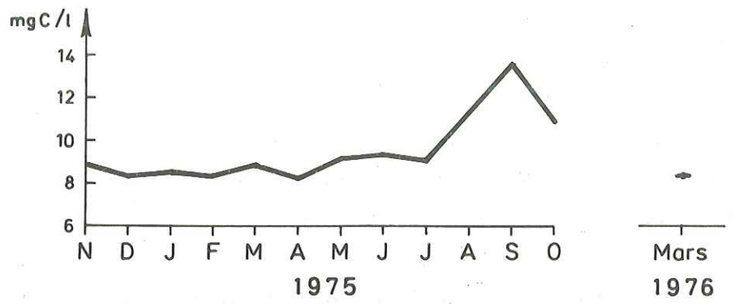


Fig. 11 : EVOLUTION DE LA TENEUR MOYENNE EN CARBONE ORGANIQUE TOTAL DANS LES EAUX DU VOUA DE LA MOTTE.

La participation du carbone dans la matière organique sèche est en moyenne de 36 % (H.U. SVERDRUP, 1942 in ODUM, 1971) et de ce fait le cycle du C.O.T n'est que le reflet du cycle de la matière organique au sein du lac. Cette dernière résulte d'une part des apports allochtones des affluents (ou du ruissellement direct) enrichis par le lessivage des sols recouvrant le bassin, et d'autre part du métabolisme des organismes végétaux et animaux dans le lac.

L'activité biologique au sein des lacs est une source importante de matière organique : d'une part par la libération de matière dissoute extra-cellulaire secrétée et excrétée par les organismes vivants, et d'autre part, par la décomposition de ces derniers après leur mort. La matière organique est alors soumise à la dégradation bactérienne : une partie est entièrement transformée en matière minérale, une autre se dépose sur les sédiments. Le fait que les valeurs du C.O.T soient relativement constantes indique qu'il se maintient pendant

la plus grande partie de l'année un état d'équilibre entre les deux processus antagonistes que sont la production (à laquelle il faut ajouter les apports externes) et la décomposition de la matière organique. Les valeurs minimales observées en cette période (Février et Mars) montrent le seuil inférieur de la minéralisation au sein du lac. Ces valeurs minimales représentent le C.O.T réfractaire que le lac ne peut minéraliser (des phénomènes semblables ont été observés sur les eaux courantes : R.G. WETZEL, B.A. MANNY, 1972).

Dans un lac, la production primaire (et de là les divers maillons de la chaine alimentaire) est étroitement liée à la présence d'éléments nutritifs et particulièrement de N et P.

La minéralisation de la matière organique, par contre, dépend principalement de l'oxygène dissous de l'eau et de ce fait du renouvellement des eaux et du régime thermique (ces derniers étant fonction du mode d'alimentation et des caractéristiques morphométriques du lac).

Il apparaît donc que la valeur du carbone organique total réfractaire d'un lac (ou moyenne mensuelle minimale du C.O.T) qui exprime le résultat de l'action simultanée des phénomènes de production et de minéralisation, représente en soi un critère très caractéristique de l'état actuel d'un lac. Pour le Voua de la Motte la valeur du C.O.T réfractaire est de 7,3 mgC/l.

I.2.l - Etude des sédiments et du milieu interstitiel.

Trois séries d'échantillonnages ont été réalisées sur le Voua de la Motte : en automne 1974, Janvier 1975 et Août 1975. Les prélèvements de vase ont eu lieu sur le point nº 3 (voir figure nº 3) à une profondeur d'environ 9 mètres, à l'aide d'une benne "Ekman". Dès l'émersion de la benne, le sédiment a été découpé en tranches d'une épaisseur de 4-5 cm. Les échantillons ont servi à l'extraction des eaux interstitielles, et à l'analyse physico-chimique.

Lors de la première campagne de prélèvements (15.10.1974) nous avons réalisé, simultanément au prélèvement à la benne, un carottage à l'aide d'un carottier du type "Jenkins". L'examen de la carotte a révélé un sédiment de couleur marron claire, très homogène sur toute la profondeur (50 cm). Les valeurs de la densité humide et des teneurs en eaux aux différentes profondeurs (de 0 à 25 cm) nous montrent une vase à faible compaction et une teneur en eau très élevée (tableau nº 8). L'analyse granulométrique révèle un sédiment particulièrement fin. La fraction fine (inférieure à 40 microns) représente en moyenne 95 %, sans variations notables dans les 25 premiers centimètres.

Profondeur \ Date	15.10.74		19.08.75	
	densité humide	teneur en eau (%)	densité humide	teneur en eau (%)
0- 4	1,04	93	1,04	93
4- 8	1,05	91	-	-
8-12	1,05	91	1,03	92
12-16	1,03	91	-	-
16-20	1,04	92	1,03	92
20-24	1,05	92	-	-

Tableau nº 8 : Densité humide et teneur en eau dans les sédiments superficiels du Voua de la Motte. (Les teneurs en eau sont exprimées en % du sédiment humide).

Les résultats de toutes les analyses chimiques effectuées sur ces sédiments sont reportés sur le tableau nº 9. Les résultats sont exprimés en % par rapport au poids du sédiment séché à 105ºC et par rapport à la fraction minérale du sédiment déterminée après élimination de la perte à 550ºC. En effet la perte à 550ºC donne une bonne estimation de la quantité de matière organique contenue dans les sédiments. Selon UNGEMACH (1960 in RYBAK, 1969) 0,4 % seulement des carbonates sont détruits lors de la calcination des échantillons à 550ºC pendant 2 heures.

La différence entre la perte à 1000°C et celle à 550°C est due principalement au CO_2 produit par la dissociation des carbonates.

Profondeur	15.10.74 Surface 0-4 cm	15.10.74 8-12 cm	15.10.74 20-24 cm	15.01.75 Surface 0-4 cm	Moyenne pour la couche 0-24 cm	% de la fraction minérale
CaO	26,18	31,49	27,94	27,33	28,2	48,6
SiO_2	7,27	7,13	8,56	5,89	7,2	12,4
Na_2O	0,10	0,92	0,17	0,10	0,3	0,5
MgO	0,53	0,59	0,55	0,53	0,6	1,0
Fe_2O_3	0,47	0,47	0,47	0,36	0,4	0,7
Al_2O_3	0,36	0	0,47	0,48	0,4	0,7
K_2O	0,35	0,32	0,29	0,32	0,3	0,5
P_2O_5	0,20	0,18	0,20	0,18	0,19	0,33
TiO_2	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,14
MnO	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,07
perte à 550°C	43,0	36,3	42,1	42,6	41	
perte à 1000°C	60,7	57,4	60,5	61,1	59,9	32,6
TOTAL	98,3	98,7	99,3	96,5	97,6	97,6

Tableau n° 9 : Composition chimique des sédiments superficiels (0-24 cm) du Voua de la Motte. (Valeurs exprimées en % par rapport au sédiment séché à 105°C et en % de la fraction minérale.

Les résultats de ces analyses ainsi que leurs comparaisons avec celles des sédiments des autres lacs qui font l'objet de cette étude nous amènent aux remarques suivantes :

- Les sédiments du Voua de la Motte sont très riches en matières organiques. Les fortes valeurs de la perte à 550°C, en moyenne 41 %, sont significatives des mauvaises conditions de décomposition et minéralisation qui existent au fond du lac, ce qui permet l'accumulation de la matière organique dans les sédiments.

- La différence entre la perte à 1000°C et celle à 550°C est en moyenne de 19 %. Vu la faible participation du magnésium dans les sédiments (0,6 % de MgO alors que le CaO est de 28,2 %), on peut admettre que les carbonates sont essentiellement sous forme de $CaCO_3$.

En tenant compte des rapports atomiques dans l'équation $CO_2 + CaO \rightleftarrows CaCO_3$ on peut estimer que la participation du $CaCO_3$ est de l'ordre de 43 % du poids du sédiment sec. Cette teneur contraste nettement avec celle des autres lacs de la région, qui bien que situés sur des bassins essentiellement calcaires et pourvus d'affluents (permanents ou temporaires) ont en règle générale des sédiments très pauvres en carbonates. Il est donc plus probable que les fortes teneurs en $CaCO_3$ des sédiments du Voua soient dues à des phénomènes internes (transformation des bicarbonates de calcium et précipitation des $CaCO_3$ sous l'influence de l'activité photosynthétique du phytoplancton) qu'à l'érosion littorale.

Les rapports $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_2} = 1$ et $\frac{SiO_2}{Al_2O_3} = 18$ diffèrent considérablement des autres lacs de la région. Le rapport silice/aluminium apparaît particulièrement élevé (il est en moyenne de 4,7 sur les autres lacs), ce qui laisse supposer que la silice d'origine biologique (des diatomées) est prédominante dans les sédiments.

Il apparaît donc que les sédiments du Voua de la Motte sont un mélange de matières organiques plus ou moins décomposées qui sont le produit de l'activité biologique au sein du lac et du bassin versant (feuilles mortes, pollen), de carbonates de calcium et de particules fines de silice d'origine biologique.

Milieu interstitiel.

L'extraction des eaux interstitielles a été pratiquée à l'aide d'une presse à air comprimé sous 4 à 5 kg/cm^2 de pression.

La composition chimique des eaux interstitielles montre, pour des éléments majeurs (Ca, Mg, Na, K) des concentrations pratiquement doubles de celles des eaux du lac, mais aucune évolution notable n'existe depuis la surface des sédiments vers les niveaux inférieurs.

En ce qui concerne les principaux éléments nutritifs (N et P) on remarque leurs fortes concentrations (jusqu'à 9 mg/l de P (PO_4) et 57 mg/l de N (NH_4)). L'azote est représenté essentiellement sous forme d'ions ammonium (NH_4), les nitrates étant de l'ordre de 0,1 mgN/l et les nitrites de 0,01 mgN/l.

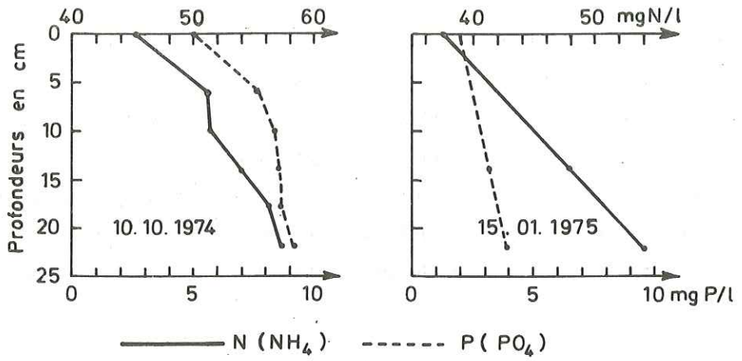


Fig. 12 : VARIATIONS DES CONCENTRATIONS EN AZOTE (NH_4) ET PHOSPHORE (PO_4) EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DANS LES EAUX INTERSTITIELLES DES SEDIMENTS DU VOUA DE LA MOTTE.

On peut noter (figure nº 12) que les variations de ces éléments en fonction de la profondeur ainsi que dans le temps sont importantes. Il nous est impossible actuellement de déterminer dans quelle mesure les phosphates des eaux interstitielles sont susceptibles de participer à l'activité biologique dans les différentes profondeurs du lac. Néanmoins ces eaux représentent une réserve potentielle très importante en éléments nutritifs.

RESUME

Le Voua de la Motte est une dépression de forme régulière, creusée à la surface des formations fluvioglaciaires que sont les terrasses de Thonon, alimentée essentiellement par la nappe aquifère supérieure (nappe libre) de ces terrasses.

Du fait de son alimentation par les eaux fortement minéralisées de cette nappe qui ne parviennent qu'occasionnellement à se mélanger avec les eaux superficielles issues des précipitations et du ruissellement, le Voua de la Motte apparaît comme un lac à tendance méromictique (d'origine crénogénique).

Le régime thermique du Voua se rapproche le plus du type monomictique chaud (G.E. HUTCHINSON et H. LOFFLER, 1956) de second ordre (G.C. WHIPPLE, 1927 in B. DUSSART, 1966).

La transparence des eaux est faible et la profondeur de visibilité du disque de Secchi est en moyenne 2 mètres.

Le pH des eaux, constamment basique en surface, oscille pendant la plus grande partie de l'année entre 6,5 et 6,8 au fond du lac.

Les eaux du Voua sont assez minéralisées pour la région et essentiellement bicarbonatées calciques. Ces deux éléments représentent environ 87 % de la masse totale des éléments dissous qui est de l'ordre de 360 mg/l.

En général une stratification chimique très prononcée a été observée. Les valeurs de la conductivité à 25°C de 380 µmhos en surface peuvent atteindre jusqu'à 580 µmhos au fond.

Excepté le mois de Novembre 1974 où l'on a observé des teneurs en O_2 de 8,7 mg/l à 8 mètres de la surface, les couches du fond sont désoxygénées. L'épaisseur de la zone anoxique varie suivant les mois mais se situe en moyenne entre 4-5 mètres et le fond du lac.

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

L'azote est présent en quantité importante (530 µgN/ℓ d'azote minéral) dont la plus grande part -surtout en profondeur- est sous forme de NH_4. Les nitrates ont une moyenne annuelle des concentrations de l'ordre de 100 µgN/ℓ, avec une répartition assez homogène en profondeur. Par contre si les teneurs en phosphates sont faibles (en moyenne 5 µgP/ℓ) dans les eaux du lac, les eaux interstitielles des sédiments sont extrêmement riches en PO_4 (jusqu'à 9000 µgP/ℓ).

Au niveau actuel de l'étude il nous est impossible de déterminer si ces phosphates des eaux interstitielles ont une participation quelconque à la production primaire des couches superficielles.

Du fait de la présence quasi permanente d'une zone anoxique, les conditions de décomposition et de minéralisation de la matière organique dissoute et particulaire sont particulièrement défavorables. Ceci se traduit d'une part par une forte concentration du C.O.T dans les eaux, et d'autre part par une accumulation de la matière organique dans les sédiments (en moyenne 41 %). La moyenne annuelle des concentrations en C.O.T est de 8,3 mgC/ℓ. La valeur du C.O.T réfractaire au système lacustre est de 7,3 mgC/ℓ.

En tenant compte de la faible transparence des eaux, de la zone anoxique quasi permanente, des teneurs élevées en éléments nutritifs, ainsi que de l'incapacité du lac à détruire et minéraliser le produit de son activité biologique, on peut considérer que le Voua de la Motte est dans un état d'eutrophisation fort avancé.

Le facteur principal qui prédomine l'évolution du lac est son mode d'alimentation par la nappe souterraine. La méromicticité résultante, qui interdit des brassages réguliers, est à l'origine des autres phénomènes sus-cités qui nous permettent de caractériser le Voua comme eutrophe.

LAC DE MONTRIOND

II. - LAC DE MONTRIOND (1060 m)

II.1. - BASSIN-VERSANT.

II.1.a - Situation géographique.

Situé à environ 30 km au Sud-Est de Thonon, le bassin versant du lac de Montriond est une vallée enfermée entre les montagnes de Seraussaix, d'Avoriaz et la pointe de Vorlaz (2347 m) au Sud, et une haute chaine de reliefs montagneux qui du Sud-Est au Nord-Ouest relie la Pointe des Mossettes (2284 m), la tête des Lindarets (1952,5 m) et la Pointe d'Entre Deux Pertuis (2146 m) (figure nº 13). Le lac est situé dans la partie la plus occidentale de son bassin versant.

Les coordonnées Lambert du lac sont : x = 938,58 ; y = 143,54 ; (carte au 1/25.000e Samoëns nº 3-4).

Les principales caractéristiques morphométriques du bassin versant du lac de Montriond sont reportées sur le tableau nº 10.

A'	Superficie (ha)	2346
L	Périmètre (km)	24,300
h_m	Altitude maximum (m)	2347
$\bar{h}$	Altitude moyenne (m)	1660
h	Niveau du plan d'eau (m)	1060
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,42
$\bar{P}$	Pluviométrie annuelle (mm)	1711
$\bar{T}°C$	Température moyenne annuelle (ºC)	1,34

Tableau nº 10 : Caractéristiques générales du bassin versant de Montriond.

Le module pluviométrique ($\bar{P}$) ainsi que la température moyenne annuelle ($\bar{T}°C$) ont été calculés d'après les données climatologiques recueillies à la station de Terramont (1090 m) de 1969 à 1973 (M. HAUBERT, 1975) en utilisant les gradients altimétriques de précipitations (+ 0,6 mm/m) et de température (- 0,7°C/100 m). La pluviométrie moyenne de cette station est de 1380 mm (1969-1973) et la température moyenne 5,2°C.

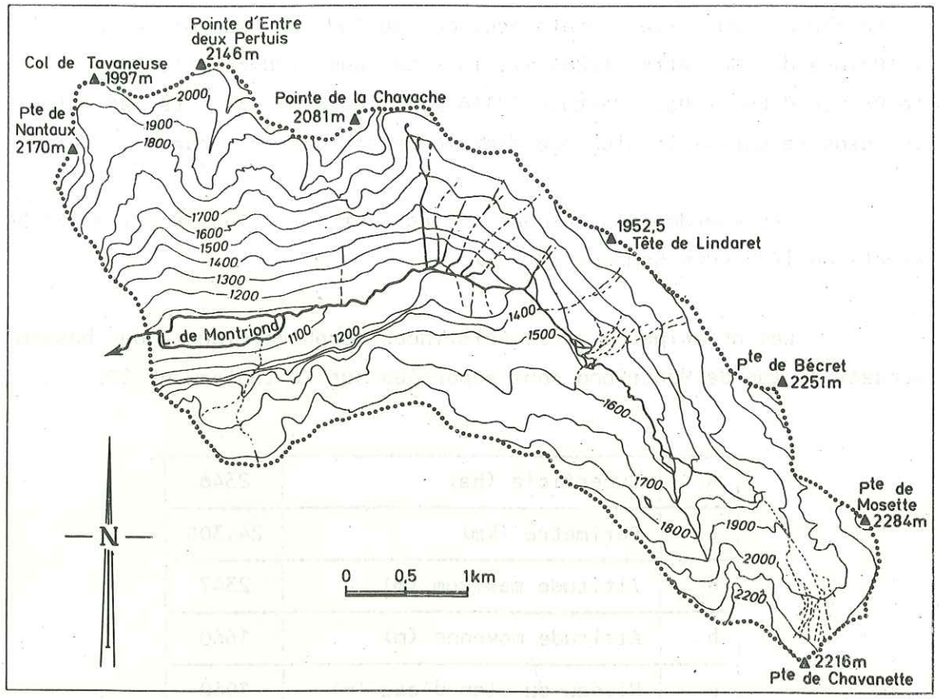


Fig.13 : TOPOGRAPHIE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU LAC DE MONTRIOND

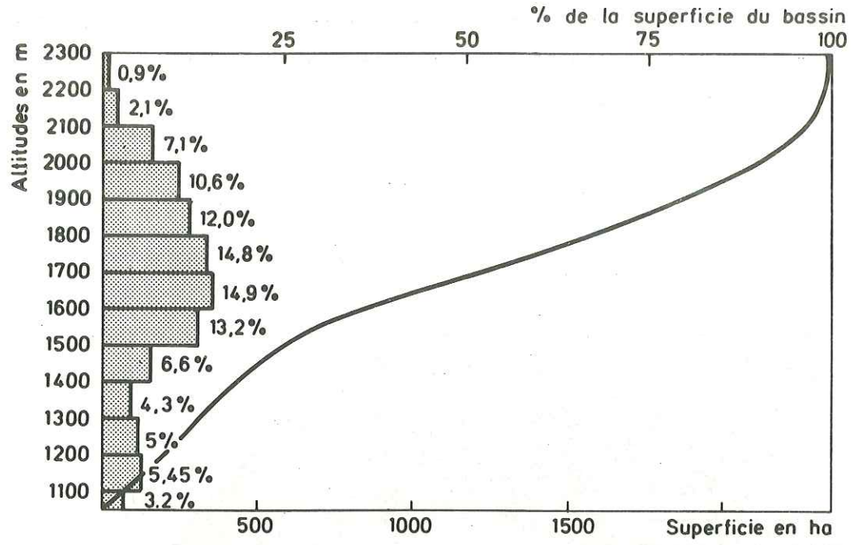


Fig. 14 : COURBE HYPSOMETRIQUE ET FREQUENCES ALTIMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DU LAC DE MONTRIOND

II.1.b - Géologie.

Exceptées les parties Sud-Ouest et Nord-Est du bassin où affleure le flysch de la nappe de la Simme, ce sont les formations de la nappe de la Brêche qui recouvrent la plus grande partie du bassin (environ 85 %). La lithologie des différentes couches de la nappe de la Brêche qui affleurent sur le bassin peut être résumée brièvement de la façon suivante (M. SAYAR, 1966) (voir figure n° 15).

- Schistes inférieurs : composés de schistes calcaires intercalés de niveaux spathiques et silicieux et de brêche fine ou grossière,

- Brêche inférieure : épais bancs de brêche, intercalés avec des calcaires spathiques, grumeleux, marneux et autres, mais contenant moins de silice que les schistes inférieurs.

- Schistes ardoisiers : intercalés entre la brêche inférieure et supérieure, ils sont constitués essentiellement de schistes calcaires gréseux, souvent recouverts de fucoïde.

- Brêche supérieure : constituée de bancs calcaires gris, compacts à grains fins, intercalés avec des bancs de brêche. Le ciment, quand il existe, consiste en calcaire finement greseux.

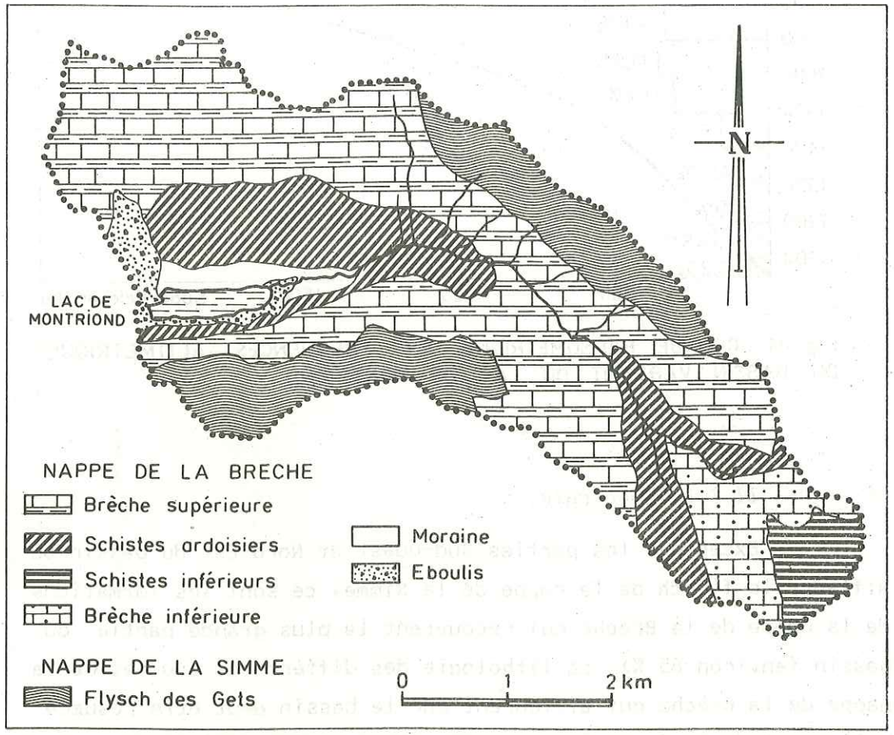


Fig. 15 :CARTE GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE MONTRIOND
(D'après SAYAR 1966)

II.1.c - Végétation.

La partie inférieure du bassin (jusqu'à environ 1500 m) est recouverte de forêt mixte de hêtre (Fagus sylvatica) et d'épicéa (Picea exelsa) où la participation de l'épicéa varie entre 60 et 90 %. A partir de 1700 mètres, la forêt est composée uniquement d'épicéa (étage subalpin). Dans le sous-bois le rhododendron et le génévrier nain sont prédominants parmi lesquels on trouve souvent des plaques de myrtilles.

Dans son ensemble la végétation forestière recouvre à peu près 33 % de la surface du bassin répartit comme suit :

- Forêt mixte de conifères et feuillus : 17 %
- Forêt d'épicéa : 15 %
- Aulnaie : 1 %

Le reste du bassin est recouvert de pelouse alpine et d'affleurement rocheux.

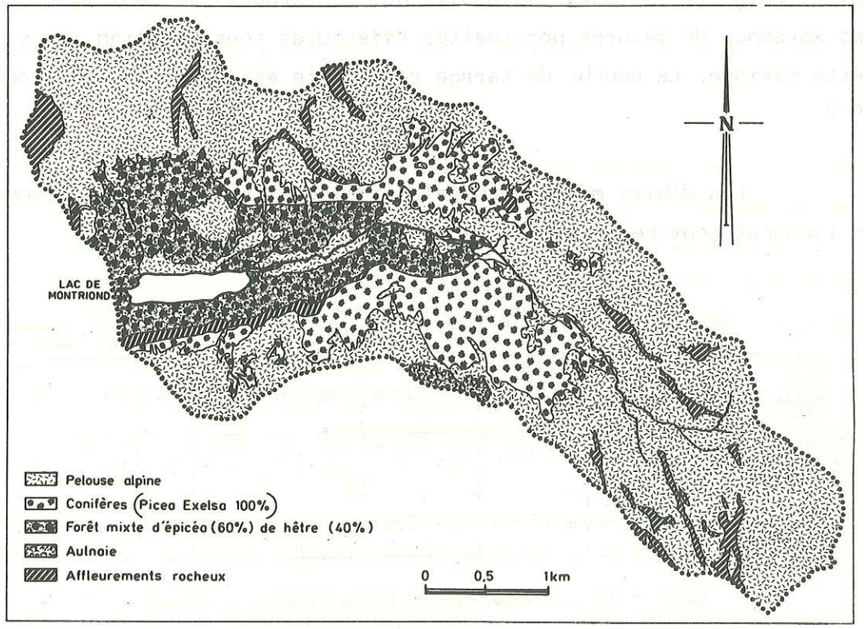


Fig. 16 :CARTE DE LA VEGETATION DU BASSIN VERSANT DU LAC DE MONTRIOND

Bien que recouvrant seulement un tiers de la surface du bassin versant, le rôle de la végétation forestière est loin d'être négligeable. Située essentiellement dans la partie basse du bassin, tout autour du lac, la forêt représente une barrière résistante aux éboulis rocheux qui proviennent essentiellement des formations altérées de la brêche supérieure susceptibles de provoquer l'oblitération de la cuvette lacustre.

II.1.d - Hydrologie des affluents.

Le lac de Montriond est alimenté essentiellement par le "Lindaret" qui draine une surface de 1650 ha soit 70,3 % de la surface du bassin versant du lac. Le restant du bassin se déverse directement dans le lac par une multitude de petits cours d'eau.

Pour l'étude des apports liquides au lac, nous avons installé un limnigraphe sur la seule section de tarage possible en amont du lac, sur le dernier pont du ruisseau des Lindarets. Le zéro de l'échelle limnimétrique est situé à la cote 1956,2. Cette section située à l'entrée même du lac a été submergée par les eaux lacustres pendant les mois de Mai et Juin. Les valeurs des débits qui concernent ces deux mois sont des moyennes de mesures ponctuelles effectuées tous les cinq jours en cette période. La courbe de tarage résultante est reportée sur l'annexe n° 2.

Les débits moyens mensuels ainsi que les débits spécifiques du Lindaret sont reportés sur le tableau ci-après :

	XI 74	XII 74	I 75	II 75	III 75	IV 75	V 75	VI 75	VII 75	VIII 75	IX 75	X 75	Moyennes annuelles
Débits moyens mensuels (l/s)	289	208	131	261	95	867	2 131	2 352	876	625	623	270	727
Débits spécifiques ($l/s/km^2$)	17,5	12,2	7,9	15,8	5,8	52,5	129,2	142,5	53	37,9	37,8	16,4	44
Coefficient mensuel des débits	0,40	0,29	0,18	0,35	0,13	1,19	2,93	3,23	1,20	0,86	0,86	0,37	

Tableau n° 11 : Débits moyens mensuels et débits spécifiques du Lindaret.

Le Lindaret est un ruisseau à régime nival de montagne caractérisé par un maximum au mois de Juin (point culminant de la fonte des neiges), un débit du mois de Mai supérieur à celui d'Avril, et un minimum hivernal. Ce type de régime qui est dû à l'altitude moyenne du bassin versant (1660 m) est assez régulier. Il dépend essentiellement du régime thermique et ne peut pratiquement pas connaître de hautes eaux en saison froide (R. FRECAUT, 1967).

Les précipitations automnales provoquent une légère augmentation des débits pendant quelques jours. Du 12 au 16 Septembre 1975 les débits journaliers étaient en moyenne de 1.500 l/s avec une pointe de crue le 15 Septembre à 6 heures (4.000 l/s).

II.1.e - Apports dissous des affluents.

Les eaux du Lindaret sont essentiellement bicarbonatées calciques. Ces deux éléments représentent environ 92 % des éléments minéraux dissous. Cette forte prédominance est liée à la nature lithologique du bassin qui comme nous l'avons précisé, est constituée principalement de calcaires. Les éléments secondaires du point de vue quantitatif sont les sulfates et le magnésium (6 %) ainsi que la silice (≃ 1 %) (voir tableau n° 13).

Les constituants chimiques dissous dans les eaux des rivières étant étroitement liés au système hydrologique, nous avons essayé de définir les lois de variation des concentrations des différents éléments en fonction des débits. Sur le Lindaret, on a pu observer une diminution des concentrations en Ca^{++}, Mg^{++}, SO_4^{--} et HCO_3^{-} avec l'augmentation du débit de la rivière, phénomène bien connu dans la région (M. HAUBERT, 1973). Dans une première approximation et pour estimer les apports au lac on peut admettre que les variations des concentrations en fonction du débit sont linéaires (voir figure n° 17). Pour les Na^{+}, K^{+}, PO_4^{---}, Cl^{-} et le C.O.T on observe une certaine variation des concentrations qui est indépendante du débit. Quant aux nitrates et à la silice, leurs teneurs dans les eaux du Lindaret sont relativement constantes.

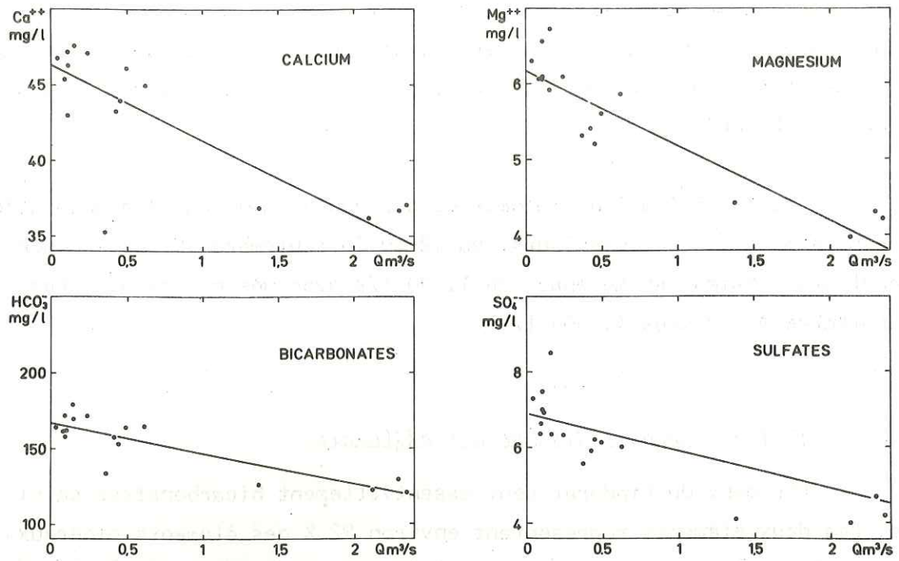


Fig. 17 : LE LINDARET - VARIATION DES ELEMENTS DISSOUS EN FONCTION DU DEBIT

En tenant compte de ces considérations nous avons établi un bilan approximatif des apports dissous au lac de Montriond. Pour les éléments dont la concentration en fonction du débit est nette, nous avons calculé les apports annuels en attribuant à chaque débit moyen mensuel la concentration correspondante :

$$M = \sum_{i=1}^{12} Q_i \cdot C_q \cdot t_i \qquad (1)$$

M = masse de l'élément apportée pendant une année (g)

Q_i = débit moyen mensuel du mois i (m^3/s)

C_q = concentration de l'élément correspondant au débit Q (g/m^3)

t_i = temps (nombre de secondes dans le mois i)

$$C_q = a\,Q + b$$

a et b = constante

Q = débit moyen mensuel.

Pour les autres éléments, le calcul des apports a été réalisé à partir des valeurs ponctuelles des concentrations affectées du débit moyen mensuel de la rivière.

$$M = \sum_{i=1}^{12} Q_i \cdot C_i \cdot t_i \qquad (2)$$

C_i = concentration ponctuelle mesurée pendant le mois i.

Eléments	Apports dissous du Lindaret t/an	Apports dissous totaux au lac de Montriond		Transport spécifique chimique t/km²/an
		t/an	%	
Ca^{++}	897,9	1 276,7	20,5	54,4
Mg^{++}	108,6	154,4	2,5	6,6
Na^{+}	15,6	22,2	0,4	0,9
K^{+}	4,9	6,9	0,1	0,3
SiO_2	48,0	68,4	1,1	2,9
HCO_3^{-}	3 151,0	4 480,2	72,0	191,0
SO_4^{--}	125,4	178,2	2,9	7,6
NO_3^{-} (en N)	4,3	6,16	-	0,263
N minéral	4,6	6,50	0,1	0,277
PO_4^{---} (en P)	0,097	0,138	-	0,006
P total	0,230	0,327	-	0,014
Cl^{-}	6,3	9,0	0,1	0,4
C.O.T.	12,6	17,9	0,3	0,8
TOTAL	4 375	6 221	100	265,2

Tableau n° 12 : Transport spécifique chimique du Lindaret et apports dissous annuels au lac de Montriond (Novembre 1974-Octobre 1975).

Comme nous l'avons précisé, le Lindaret draine une superficie de 16,50 km^2 qui représente 70,3 % de l'ensemble du bassin d'alimentation du lac. En divisant les apports dissous annuels du Lindaret par la superficie de son bassin, nous avons calculé le taux de transport spécifique chimique pour chaque élément (en $t/km^2/an$) que nous avons ensuite extrapolé à l'ensemble du bassin du lac. Ceci nous a permis de calculer l'apport dissous annuel global au lac en tenant compte des 29,7 % de la superficie non contrôlée du bassin d'alimentation (tableau n° 12).

Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	SiO_2 mg/l	HCO_3^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	N min. mg/l	PO_4^{---} mgP/l	P total mg/l	Cl^{-} mg/l	C.O.T. mgC/l
39,2	4,7	0,7	0,2	2,1	137,4	5,5	0,19	0,20	0,004	0,010	0,3	0,6

Tableau n° 13 : Composition chimique moyenne des eaux du Lindaret à l'entrée du lac de Montriond. (Ces valeurs sont les rapports de la masse de chaque élément apporté au lac en un an et du volume des apports liquides du Lindaret en cette même période. Ces moyennes tiennent compte des variations de certains éléments en fonction du débit de la rivière (Ca^{++}, Mg^{++}, HCO_3^{-} et SO_4^{--})

Pour les principaux éléments nutritifs ainsi que le carbone organique total la répartition mensuelle des apports est la suivante :

	X 74	XI 74	XII 74	I 75	II 75	III 75	IV 75	V 75	VI 75	VII 75	VIII 75	IX 75
NO_3 en kg de N	165	171	146	85	144	40	671	1867	1646	500	372	344
P total en kg de P	13	10	10	3	9	9	41	48	65	37	33	51
C.O.T. en kg de C	576	427	158	165	90	290	2045	5113	5375	1702	904	1102

Tableau n° 14 : Répartition mensuelle des apports en éléments nutritifs et en C.O.T. au lac de Montriond pendant l'année 1974-1975

Pour comparer sur une base commune les apports dissous en nutrients et en carbone organique total au lac de Montriond avec les données existantes sur différents lacs, nous avons calculé ce que R. VOLLENWEIDER (1972) a appelé "vitesse d'apport spécifique par unité de surface" (quantité d'éléments nutritifs ajoutée par unité de surface du lac et par unité de temps en $g/m^{-2}.an^{-1}$). Sur les 12 mois d'étude (Octobre 1974-Septembre 1975) nous avons obtenu les résultats suivants :

Nitrates :	18,4 $g/m^{-2}.an^{-1}$
N minéral :	21,7 $g/m^{-2}.an^{-1}$
P total :	1,0 $g/m^{-2}.an^{-1}$
C.O.T :	53,6 $g/m^{-2}.an^{-1}$

(1)

La détermination du carbone organique total dans les eaux des affluents nous permet de chiffrer les apports du bassin versant en matière organique. En effet le lac de Montriond reçoit annuellement près de 18 tonnes de C.O.T ce qui représente, en tenant compte qu'à 200 g de carbone correspondent environ 400 g de matière sèche ou 4000 g de matière organique fraiche (B. CHASSAING et al., 1975), une masse de 344 tonnes de matière organique.

La vitesse d'apports de carbone organique total par unité de surface est 54 $g/m^{-2}.an^{-1}$.

D'après les conclusions de l'étude bibliographique de R. VOLLENWEIDER (1970) la production primaire annuelle de la majorité des lacs mésotrophes et eutrophes se situe entre 50 et 200 $g/m^{-2}.an^{-1}$ de carbone.

La vitesse d'apports en C.O.T au lac de Montriond, qui comme nous le verrons ultérieurement (voir résumé) est oligotrophe, est donc du même ordre de grandeur que la production primaire d'un lac mésotrophe. Ceci permet de constater que les apports organiques du bassin versant peuvent être supérieurs à la production interne du lac (production primaire).

Les vitesses d'apports spécifiques (1) concernent les apports en éléments nutritifs dissous dans les eaux des affluents. Pour connaître les apports réels il faut tenir compte d'une part des apports internes qui résultent des échanges dans l'interface sédiment-eau et d'autre part des apports directs des précipitations sur le lac. Le calcul de la vitesse d'apports internes ($L_{int.}$ - R. VOLLENWEIDER, 1974) constitue actuellement le problème le plus difficile à résoudre. Mais en tenant compte que les concentrations en phosphates dans les eaux interstitielles des sédiments (voir milieu interstitiel) sont relativement élevées, on peut supposer que dans certaines conditions les apports internes peuvent jouer un rôle important.

II.1.6 - Apports dissous des précipitations.

Suivant les dimensions d'un lac, les apports directs en éléments nutritifs peuvent avoir un rôle important dans l'évolution trophique de celui-ci. Sur le lac de Montriond, nous avons essayé de déterminer le rôle de ces apports par rapport aux apports dissous des affluents.

Nous présentons sur le tableau nº 15 les analyses moyennes d'apports atmosphériques en éléments nutritifs obtenues par différents auteurs sur différents continents.

La grande variabilité des résultats obtenus par les différents auteurs peut s'expliquer d'une part par la différence de la situation géographique du lieu de mesure (éloignement de la mer, zone urbaine ou zone désertique) et d'autre part par les différentes méthodes d'échantillonnage utilisées pour prélever les apports atmosphériques (M. HAUBERT, 1973). Dans le cas d'échantillonnage mensuel dans des pluviomètres, l'activité microbiologique à l'intérieur de celui-ci peut sensiblement modifier la concentration des éléments nutritifs (N et P).

Lieu de mesures	Période d'étude	NO_3 en mgN/l	NH_4 en mgN/l	N min. en mgN/l	P total en mgP/l	Auteurs et dates
Moyenne pour l'Europe	-	0,27	-	-	-	Caroll (1962)
Caroline du Nord et Virginie	1962-1963	0,62	-	-	-	Gambell (1966)
Mojave désert (Californie)	1965-1966	0,3	-	-	-	Feth (1967)
Nord-Est des USA	1962-1963	0,63	-	-	-	Pearson (1971)
Amazonie (Brésil)	-	1,10	-	-	-	Ungemach
Delhi (Indes)	1964-1967	0,88	-	-	-	Kapoor (1972)
Jura Neuchâtelois (Suisse)	1972	0,32	-	-	-	Miserez (1972)
Thonon C.R.G. 1385 m (France)	1972-1973	0,18	3,15	3,41	0,06	Haubert (1975)
Terramont 1090 m (Chablais - France)	1973	0,18	2,7	2,88	0,02	Haubert (1975)

Tableau nº 15 : Concentration des éléments nutritifs dans les eaux des précipitations sur différents continents (d'après HAUBERT)

Pour estimer les apports directs des précipitations sur les lacs de Montriond et Vallon, nous avons utilisé les valeurs des concentrations en composés azotés et en phosphore total des eaux de précipitations déterminées par M. HAUBERT (1975) à la station de Terramont (1090 m) (située à environ 20 km du lac de Montriond) ainsi que le gradient altimétrique des précipitations calculé sur la base des données pluviométriques de Thonon (385 m) et du Mont-Billiat (1900 m) qui est de 0,6 mm/m. On obtient pour l'altitude du lac de Montriond (1060 m) une moyenne annuelle des précipitations de 1363 mm.

Les valeurs des apports moyens annuels directs des précipitations au lac sont :

apports en NO_3 : 82 kg de N/an^{-1}

apports en NH_4 : 1229 kg de N/an^{-1}

apports en N minéral (NO_3+NH_4+NO_2) : 1315 kg de N/an^{-1}

apports en P total : 9 kg de P/an^{-1}

II.1.g - Vitesse d'apport spécifique par unité de surface du lac.

Les valeurs des vitesses d'apports externes en P, N et C du lac de Montriond qui concernent les apports des affluents et ceux directs des précipitations sont reportées sur le tableau n° 16.

Eléments	Vitesse d'apports des affluents par unité de surface du lac en g/m^{-2}.an^{-1} (1)	Vitesse d'apports des précipitations par unité de surface du lac en g/m^{-2}.an^{-1} (2)	Vitesse d'apports externes par unité de surface du lac en g/m^{-2}.an^{-1} (1+2)	% des apports atmosphériques
NO_3 en N	18,4	0,2	18,58	1,3
NH_4 en N	3,1	3,7	6,8	54
N minéral en N	21,7	3,9	25,6	15
P total en P	1,0	0,03	1,03	2,7
C.O.T.	53,6	-	-	-

Tableau n° 16 : Vitesse d'apports de P, N, C.O.T par unité de surface du lac de Montriond.

On peut noter sur ce tableau que les apports atmosphériques en azote minéral sont importants. En effet 15 % de la totalité des apports externes en N minéral proviennent des eaux de pluie (et neige) essentiellement sous forme d'ions ammonium NH_4, alors que la participation des pluies à l'alimentation du lac en phosphore est pratiquement négligeable : 2,7 % des apports en P total au lac.

Bien que ces valeurs paraissent relativement élevées, il faut tenir compte que le temps moyen de séjour des eaux dans le lac est de 33 jours, et qu'une grande partie des nutrients est évacuée par l'émissaire du lac.

II.2. - LAC DE MONTRIOND.

II.2.a - Origine.

Le lac de Montriond est un lac de barrage, créé par un éboulement de gros blocs de roches issus de la Brêche supérieure qui a barré la vallée du Lindaret créant ainsi une retenue naturelle.

II.2.b - Bathymétrie et morphométrie.

La carte bathymétrique du lac de Montriond présentée sur la figure n° 18 a été relevée par B. DUSSART en 1959 et complétée par M. SAYAR en 1966.

Les principales caractéristiques morphométriques du lac de Montriond sont reportées sur le tableau n° 17.

h	Altitude du plan d'eau (m)	1.067
A	Superficie (ha)	Max. 33,4 (hautes eaux) Min. 18,2 (basses eaux)
l	Longueur (m)	1.320
$\bar{b}$	Largeur moyenne (m)	253
V	Volume (m^3)	Max. 3.093.632 Min. 545.400
z_m	Profondeur maximum (m)	19,7
$\bar{Z}$	Profondeur moyenne (m)	9,11
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,42
$h(x)$	Fluctuation du niveau du lac (m)	10,8
L	Périmètre (m)	3.100
-	Période moyenne de gel	mi-octobre - fin avril
τ	Temps de renouvellement moyen	1 mois
A/A'	Rapport superficie : lac/bassin total	1,4 %

Tableau n° 17 : Caractéristiques générales du lac de Montriond.

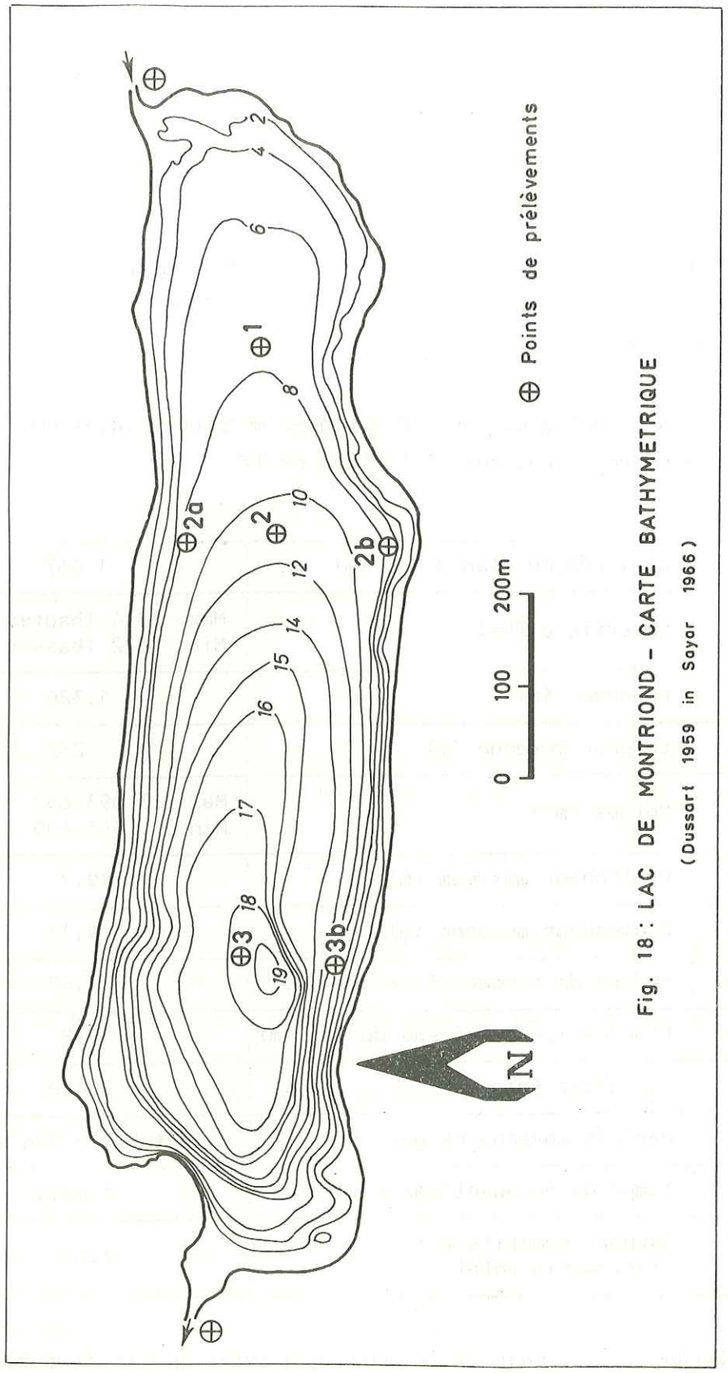


Fig. 18 : LAC DE MONTRIOND - CARTE BATHYMETRIQUE
(Dussart 1959 in Sayar 1966)

II.2.c - Fluctuation du niveau du lac et temps de renouvellement des eaux.

Comme nous l'avons précisé, le lac de Montriond est un lac de barrage. Les énormes blocs rocheux qui ont obstrué la vallée primitive du Lindaret représentent une masse d'éboulis dont la porosité est suffisante pour que l'eau du lac puisse s'infiltrer et être acheminée vers un exutoire souterrain du lac situé en aval dans le lit du Lindaret (figure nº 20). Du fait de la forte perméabilité de toute la partie Ouest du lac, le volume de ce dernier, ainsi que son niveau sont étroitement liés aux apports liquides de ses affluents.

Pendant la période d'étude (Octobre 1974 à Octobre 1975), nous avons mesuré une dénivellation du plan d'eau de 10,8 mètres (voir figure nº 19). En effet la cote minimale du niveau du lac observée le 14 Avril est de 1.049,2 mètres. Dès le début de la fonte des neiges (17-18 avril) le niveau du lac s'élève rapidement pour atteindre le 21 Mai sa cote maximale de 1.060 mètres. A ce niveau les eaux lacustres s'évacuent par un émissaire aérien. Mais ce phénomène de déversement du trop-plein par dessus le barrage est relativement rare (M. SAYAR, 1966). En effet en 1976 ce débordement ne s'est pas réalisé. Le volume du lac varie de 545.400 m^3 à la fin de l'hiver jusqu'à un maximum de 3.093.000 m^3 au moment de la fonte des neiges (figure nº 19). Avec des fluctuations insignifiantes le lac se maintient à son niveau maximal jusqu'à la fin du mois de Juin, puis diminue rapidement pour atteindre au mois d'Août 1975 la cote de 1.052 mètres et le volume de 1.000.000 m^3.

Pendant la période des hautes eaux (Mai-Juin) le temps théorique de renouvellement est de 12 jours. Pour le reste de l'été, en tenant compte des variations du volume du lac, ce temps est approximativement de 20 jours alors qu'en hiver (d'Octobre à mi-Avril) il est de 40 jours.

Sur l'ensemble de l'année le temps moyen de renouvellement théorique des eaux lacustres est de l'ordre de 33 jours pour l'année 1975.

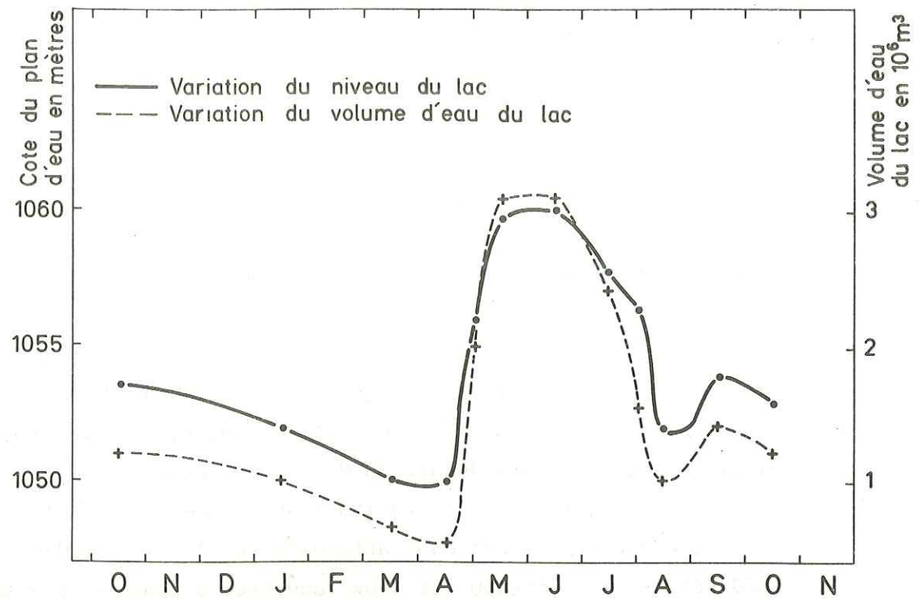


Fig. 19 : LAC DE MONTRIOND - FLUCTUATIONS DU NIVEAU DU PLAN D'EAU ET DU VOLUME D'EAU DANS LE LAC.
Octobre 1974 - Octobre 1975

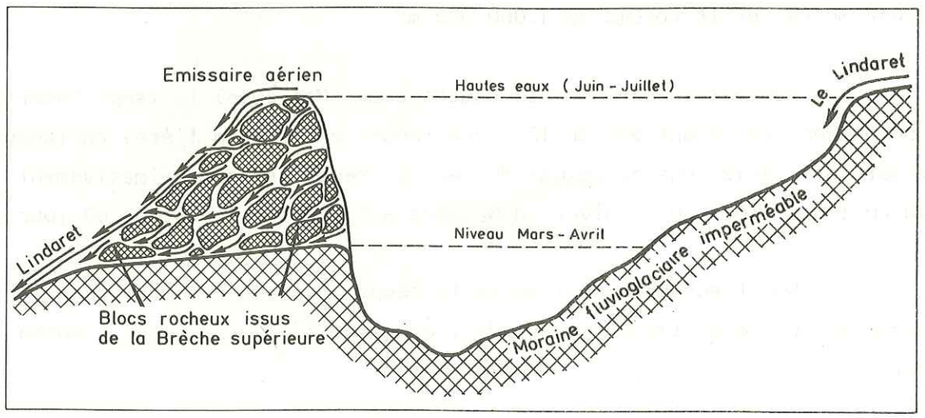


Fig. 20 : ECOULEMENT SCHEMATIQUE DES EAUX DU LAC DE MONTRIOND

II.2.d - Régime thermique.

Pour avoir une idée réelle de l'influence des eaux de l'affluent principal sur le régime thermique du lac nous présentons sur le tableau nº 18 les températures moyennes du Lindaret (2-3 mesures par mois) mesurées à l'entrée du lac.

XI 74	XII 74	I 75	II 75	III 75	IV 75	V 75	VI 75	VII 75	VIII 75	IX 75	X 75	Moyenne annuelle
2	2	0,7	1,5	1,3	3	5	4,6	8	13	9	3	4,38

Tableau nº 18 : Variations mensuelles des températures (en °C) du Lindaret à l'entrée du lac de Montriond.

Les courbes des températures du lac sont reportées sur la figure nº 21. Le lac gèle généralement pendant la deuxième quinzaine du mois d'Octobre. La couche de glace épaisse de 2,4 cm le 20.10.1974 atteignait une épaisseur de 40 cm le 09.01.1975 et 65 cm le 11.03.1975. Ces valeurs ont été mesurées au milieu du lac, à l'endroit des prélèvements habituels (point 3, voir figure nº 18).

En 1975 le lac était entièrement gelé le 16 Octobre. Pendant cette période hivernale les eaux lacustres présentent une stratification inverse bien prononcée. Le dégel s'effectue suivant les années vers la fin du mois d'Avril ou le début du mois de Mai. Après une homothermie de printemps très brève, on observe un réchauffement très lent des eaux dû aux apports froids du Lindaret en Mai-Juin. A la fin du mois de Juillet seulement, soit plus de deux mois après la fonte de la glace, on observe une stratification thermique très nette qui se prolonge pendant le mois d'Août. La température maximum mesurée en surface est de 17,7°C le 21.08.1975.

Les crues du mois de Septembre entraînent une certaine homogénéisation des températures des eaux lacustres vers la mi-Septembre, qui se prolonge jusqu'au gel.

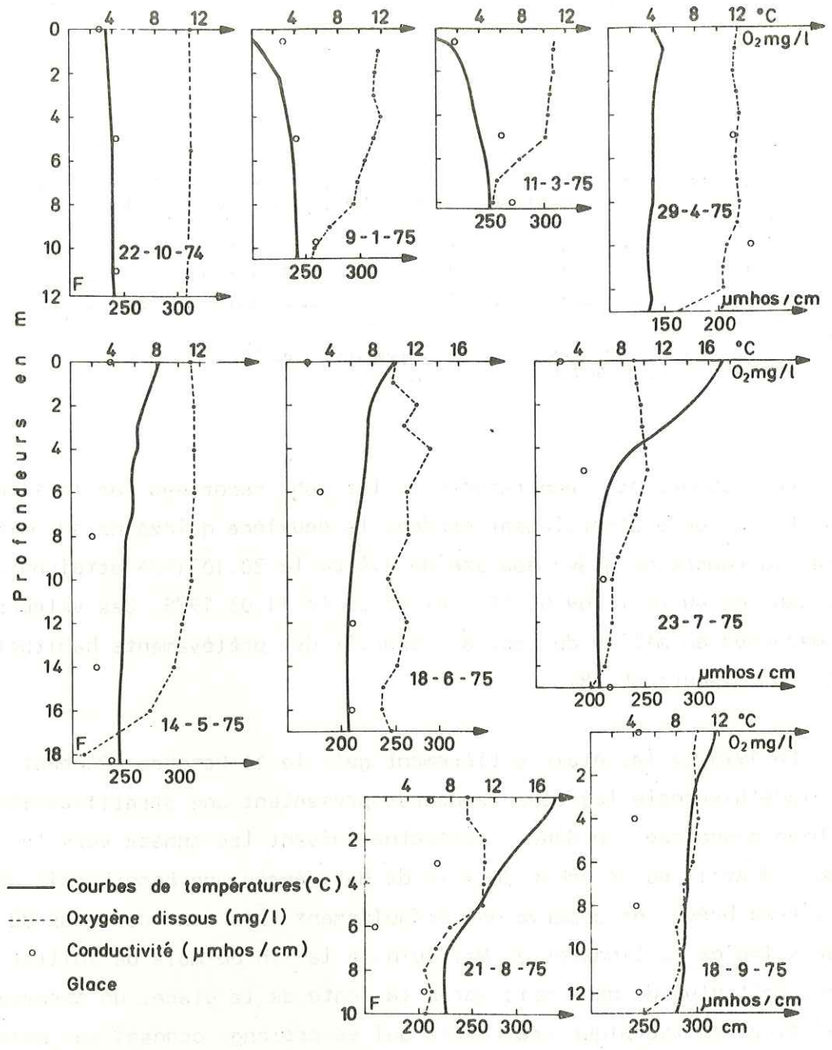


Fig. 21 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE, DE LA CONDUCTIVITE ET DE LA TENEUR EN O_2 DISSOUS DANS LES EAUX DU LAC DE MONTRIOND
(Octobre 1974 - Septembre 1975)

Le lac de Montriond dont le régime thermique est fortement influencé par le régime hydrologique et thermique de son affluent est un lac dimictique caractérisé par la brièveté de l'homothermie printanière, une stratification estivale très nette avec une thermocline peu développée située à environ 5 mètres de la surface, une homothermie automnale prolongée et une stratification inverse qui dure environ 6 mois.

II.2.e - Oxygène dissous.

La teneur en O_2 dissous des eaux du lac est étroitement liée au mode d'alimentation et au régime thermique de celui-ci. Pendant la période de fonte des neiges (Mai-Juin) les eaux du lac sont saturées en oxygène à tous les niveaux. Pendant la période estivale (fin Juillet-Août) les eaux de surface demeurent saturées ou sursaturées, avec des valeurs maximales situées à 3 ou 4 mètres de la surface (129 % de saturation à 4 mètres le 18.06.1975 et 120 % à 3 mètres de la surface le 21.08.1975) alors qu'au fond on observe une sous-saturation permanente (entre 40-60 % de la saturation).

Durant l'isothermie automnale (mois d'Octobre) on observe une atténuation de la différence entre la surface et le fond et la circulation des eaux amène un équilibre dans toute la colonne d'eau avec des valeurs voisines de la saturation (entre 98 % au fond et 101 % à 5 mètres de la surface).

Dès le début de la période de gel, il s'installe une stratification thermique "inverse" bien prononcée qui isole les couches du fond. Les phénomènes de décomposition qui se produisent dans ces couches alors que l'oxygénation ne se réalise que par une lente diffusion, provoquent un déficit important d'oxygène en profondeur. (Les teneurs en O_2 dissous du fond en hiver sont de l'ordre de 5 mg/l, ce qui représente 45-48 % de la saturation).

En surface par contre (sous la glace et jusqu'à 5 mètres) les teneurs sont relativement élevées : 11,20 mg/l (95 % de la saturation). Ces fortes valeurs doivent être attribuées d'une part à des phénomènes

physiques liés à la formation de la glace ainsi que certains processus biologiques (J. CAPBLANC, L. LAVILLE, 1968) et d'autre part au renouvellement permanent des eaux de ces couches par les eaux du Lindaret. En effet pendant cette période les eaux de l'affluent dont la température n'excède pas 2°C ne parviennent pas à se mélanger avec les eaux du fond, et ce sont les eaux des couches moyennes qui sont essentiellement renouvelées.

II.2.f - Transparence.

Les variations mensuelles des transparences mesurées à l'aide du disque de Secchi sont reportées sur le tableau n° 19.

	Octobre 1974	Janvier 1975	Mars 1975	Avril 1975	Mai 1975	Juin 1975	Juillet 1975	Août 1975	Septembre 1975	Octobre 1975
Disque (m)	1,80	5,00	1,50	3,00	3,00	1,00	3,20	5,60	2,80	5,60
Couleur	jaune vert	-	-	vert clair	vert vert	vert jaune	vert jaune	vert vert	vert jaune	vert jaune

Tableau n° 19 : Variation de la transparence et de la couleur des eaux du lac de Montriond (1974-1975)

En dehors du fait que la transparence moyenne du lac de Montriond (2,95 mètres) est supérieure à celle du Voua de la Motte, elle se caractérise surtout par des variations importantes qui vont de 1 mètre (Juin) à 5,60 mètres (Octobre 1975), qui sont essentiellement fonction des apports en suspension de la rivière.

II.2.g - pH.

Les variations des valeurs du pH des eaux du lac de Montriond sont représentées sur la figure n° 22. Exceptées les deux périodes de brassage, on observe des valeurs plus fortes du pH de la zone supérieure par rapport à la zone du fond. La différence maximale entre ces deux zones (observée au mois de Juillet), n'excède pas 0,7 unité de pH. La valeur la plus faible (7,25) a été mesurée au fond du lac au mois de Mai. Vers la fin de l'été on observe une augmentation progressive des

valeurs du pH : 8,2 le 23.07.1975 en surface. Dès la période d'homogénéisation thermique du mois de Septembre, le pH des eaux se stabilise sur la valeur de 8 sur tout le profil pour diminuer légèrement en période hivernale.

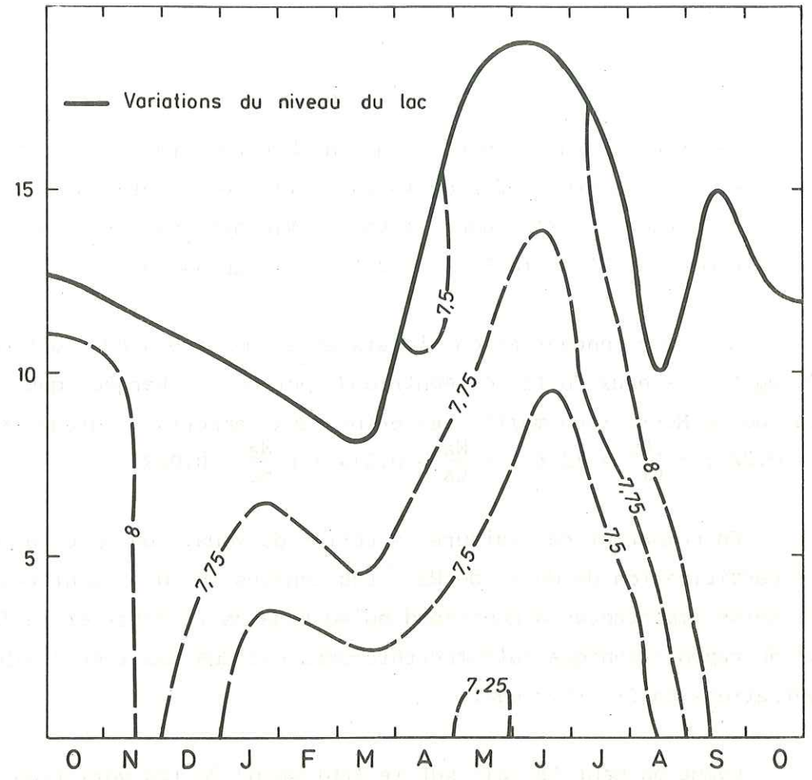


Fig. 22 : LAC DE MONTRIOND - DISTRIBUTION DES VALEURS DU pH
Octobre 1974 - Octobre 1975

II.2.h - Conductivité.

Les eaux du lac de Montriond sont relativement peu chargées. La moyenne annuelle des valeurs de la conductivité est de 217 µmhos/cm. On peut noter (figure nº 21) pendant la stratification thermique inverse, une augmentation progressive des valeurs de la conductivité vers le fond, alors que pendant le reste de l'année la distribution verticale de ces valeurs est homogène et varie peu dans le temps.

II.2.i - Caractères chimiques généraux.

Les eaux du lac de Montriond sont bicarbonatées calciques. Ces deux éléments représentent 93 % de la masse totale des éléments dissous (66 % pour les HCO_3^- et 21 % pour le Ca^{++}). Viennent ensuite les SO_4^{--} (2,8 %), le Mg (2,7 %) et le SiO_2 (1,2 %) (tableau nº 20).

Avec une concentration globale en éléments dissous de l'ordre de 190 mg/l, les eaux du lac de Montriond sont moins chargées que celles du Voua de la Motte (360 mg/l). Les principaux rapports ioniques sont :
$r \frac{Mg}{Ca} = 0,22$; $r \frac{SO_4}{Cl} = 13,6$; $r \frac{Na}{Ca} = 0,015$; $r \frac{Na}{Mg} = 0,069$

En comparant ces valeurs à celles du Voua, on note la plus faible participation du Mg et du Na. Les teneurs en SO_4^{--} sont environ 3 fois moins importantes à Montriond qu'au Voua de la Motte et la forte valeur du rapport ionique sulfates/chlorures est due aux très faibles concentrations en Cl^- (0,2 mg/l).

Comme on peut le voir sur le tableau nº 20 les variations mensuelles des éléments majeurs sont assez importantes. Les écarts maxima de ces valeurs à la moyenne annuelle sont de l'ordre de 20 % pour le Ca^{++}, 21 % pour les HCO_3^-, 25 % pour le Mg et 30 % pour les SO_4^{--}. En raison du temps de séjour théorique relativement court des eaux dans le lac (environ 1 mois) la variation du chimisme des eaux lacustres n'est que la conséquence des variations de la composition chimique du "Lindaret" qui, elles-mêmes, dépendent des facteurs pluviométriques et hydrologiques.

	Octobre 1974	Janvier 1975	Mars 1975	Avril 1975	Mai 1975	3 Juin 1975	18 Juin 1975	Juillet 1975	Août 1975	Septembre 1975	Octobre 1975	Moyenne	%
Ca^{++} (mg/l)	43,59	44,24	42,84	30,68	36,74	36,42	34,62	34,74	37,95	42,90	44,25	38,99	20,3
Mg^{++} (mg/l)	5,82	5,97	6,04	3,81	4,60	4,36	4,15	4,77	5,35	5,20	6,11	5,11	2,7
Na^+ (mg/l)	0,53	0,81	0,77	0,51	0,93	0,39	0,32	0,45	1,18	1,01	0,45	0,67	0,3
K^+ (mg/l)	0,26	0,28	0,27	0,32	0,33	0,22	0,22	0,22	0,37	0,29	0,20	0,27	0,1
HCO_3^- (mg/l)	156,43	160,98	151,61	108,03	130,14	124,12	118,65	126,12	137,08	150,78	158,89	138,44	72,0
SO_4^{--} (mg/l)	5,96	6,41	6,59	4,37	5,03	3,75	4,12	5,03	6,27	5,38	6,05	5,36	2,8
Cl^- (mg/l)	0,48	0,43	0,41	0,27	0,34	0,22	0,21	0,20	0,14	0,29	0,22	0,29	0,2
NO_3^- (mgN/l)	0,15	0,22	0,21	0,29	0,29	0,23	0,22	0,26	0,16	0,13	0,12	0,21	
N min. (mgN/l)	0,17	0,24	0,25	0,31	0,32	0,25	-	0,29	0,18	0,17	0,15	0,23	0,1
PO_4^{---} (mgP/l)	0	0	0,002	0,001	0,006	0,001	0,003	0,003	0,002	0,023	0	0,004	-
P total (mgP/l)	0,003	0,010	0,002	0,008	0,007	0,011	-	0,011	0,011	0,039	0,010	0,012	-
SiO_2 (mg/l)	2,17	2,73	2,65	1,95	2,34	2,20	2,04	-	2,02	2,09	1,97	2,22	1,2
C.O.T. (mg/l)	-	0,37	0,76	0,46	0,49	0,97	-	0,40	0,50	0,80	1,06	0,63	0,3
Conductivité en µmhos/cm^{-1}	237,7	236,4	239,5	187,0	228,0	187,7	183,8	192,3	198,9	242,3	260,6	217,7	-
											TOTAL	192 mg/l	

Tableau nº 20 : Lac de Montriand. Composition chimique des eaux du lac (toutes les valeurs sont des moyennes des concentrations pondérées par le volume des différentes tranches d'eau dans lesquelles les prélèvements ont été réalisés.

II.2.j - Evolution des principaux éléments nutritifs. (Azote et phosphore).

1) AZOTE.

La moyenne annuelle des concentrations (voir tableau nº 20) en azote des nitrates est de l'ordre de 210 µgN/l et apparaît beaucoup plus élevée qu'au Voua de la Motte. Mais contrairement à ce dernier, les nitrates du lac de Montriond représentent la presque totalité de l'azote minéral de l'eau. (La moyenne annuelle du N minéral est de 230 µgN/l). Sur la figure nº 23 sont reportées les variations mensuelles des différents composés de l'azote à 3 profondeurs du lac. Le rapport $\frac{N\ (NO_3)}{N\ (NH_4)}$ est en moyenne 6,4 en surface, 12,9 à 5 mètres et 4,1 à 0,50 mètre du fond. Les valeurs des concentrations de l'azote sous forme de nitrites sont de l'ordre de 2 µgN/l pendant toute l'année.

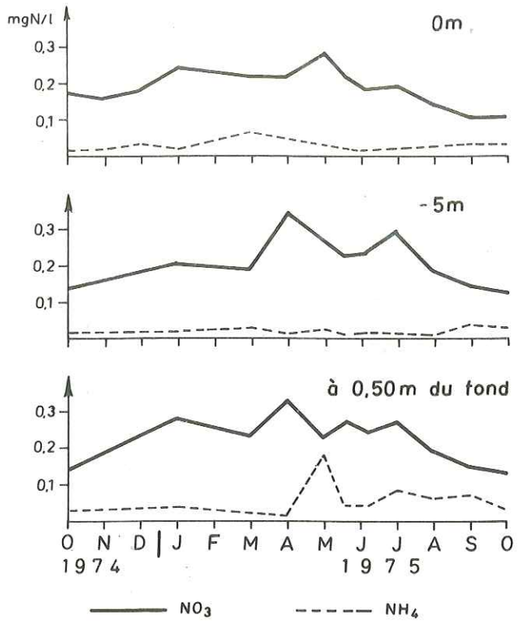


Fig. 23 : VARIATIONS DE L'AZOTE INORGANIQUE AUX DIFFERENTES PROFONDEURS DU LAC DE MONTRIOND.
(Point 3 - 1974 - 1975)

Les variations des teneurs en N (NO_3) dans le temps ont un caractère cyclique. On observe un maximum en Avril-Mai lors du renouvellement des eaux à la fonte des neiges, puis une décroissance progressive des concentrations pendant l'été par suite de l'assimilation des végétaux primaires qui atteint sa valeur minimale au mois de Septembre. Les teneurs minimales mesurées dans les eaux du lac sont toujours supérieures à 100 µgN/l et de ce fait les N (NO_3) ne peuvent en aucun cas être un facteur limitant à la production primaire.

2) PHOSPHORE.

La concentration annuelle en orthophosphates est en moyenne de 4 µgP/l. Mais cette valeur est largement influencée par les très fortes concentrations du mois de Septembre. En réalité, pendant les campagnes d'Octobre 1974, Janvier, Août et Octobre 1975, aucune trace de P (PO_4) n'a pu être décelée dans les eaux superficielles du lac de Montriond (figure nº 24). L'augmentation du P (PO_4) observée le 18.09.1975 est la conséquence des phénomènes pluvieux qui ont débuté vers le 10 Septembre. En effet les concentrations en P (PO_4) des eaux du Lindaret (affluent principal du lac) déterminées à cette même date étaient de 17 µgP/l, alors qu'elles sont pendant le reste de l'année de l'ordre de 4 µgP/l.

La disparition totale du P (PO_4) des eaux du lac au mois d'Août le laisse apparaître comme un des facteurs limitants possible à la production primaire.

Fig. 24 : VARIATIONS MENSUELLES DU PHOSPHORE AUX DIFFERENTES PROFONDEURS DU LAC DE MONTRIOND (Point 3. 1974 - 1975)

II.2.k - Le carbone organique total (C.O.T)

Pour estimer les valeurs des concentrations en carbone organique total des échantillons mensuels ont été prélevés à toutes les profondeurs du lac (1 échantillon tous les mètres). Les analyses ont été effectuées sur des échantillons d'eau brute (non filtrée).

Les variations mensuelles du C.O.T en fonction de la profondeur sont reportées sur la figure nº 25. Pendant la période de stratification inverse quand l'hypolimnion se trouve isolé du reste du lac, on observe une augmentation sensible des teneurs en C.O.T dans la couche d'eau située au-dessus même du fond et dont l'épaisseur est inférieure à 1 mètre. On peut supposer que cette augmentation qui par la suite sera remarquée sur d'autres lacs (Vallon et Roi) est due à la décomposition de la matière organique particulaire qui se dépose sur les sédiments en automne (feuilles mortes et autres débris végétaux, algues, etc...). En effet dans les processus de décomposition et minéralisation, la matière organique particulaire se transforme, à la suite de l'activité bactérienne, en substance organique dissoute (M. LUGRIN, 1974) puis minérale.

Il se produit donc une alimentation continue en substances dissoutes dans l'interface des eaux lacustres et des sédiments en provenance de ces derniers. En effet les valeurs du C.O.T dans les eaux interstitielles des sédiments de surface sont de l'ordre de 20 mg/l et on peut penser qu'il se produit une diffusion lente du C.O.T vers les eaux lacustres. Dans cette zone qui du fait de la stratification thermique "inverse" est isolée du reste du lac, les processus de minéralisation provoquent une diminution considérable de l'oxygène dissous, et il en résulte une certaine accumulation de substances organiques, d'où ces fortes valeurs du C.O.T mesurées dans la zone la plus profonde du lac.

Mais en raison de l'épaisseur relativement faible de cette couche d'eau riche en substances organiques, son influence lors de la détermination de la moyenne pondérée des concentrations en C.O.T est négligeable.

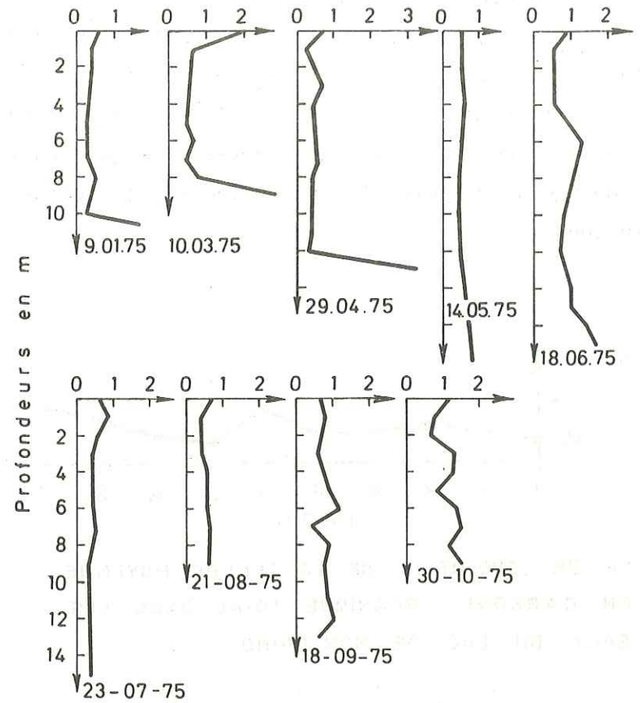


Fig. 25 : MONTRIOND - VARIATIONS MENSUELLES DES TENEURS EN C.O.T. EN FONCTION DE LA PROFONDEUR : (1975)

En dehors de ces brusques augmentations qui se produisent près du fond en période hivernale, les concentrations en C.O.T peuvent être considérées comme assez homogènes sur l'ensemble des profils.

En considérant l'évolution mensuelle des teneurs moyennes en carbone organique total (figure nº 26) on s'aperçoit qu'elles oscillent autour de valeurs comprises entre 0,4 et 1 mg/l.

En réalité deux maxima ont été observés : en Juin avec une moyenne de 0,97 mgC/l et en Octobre : 1 mgC/l. Dans les deux cas ces concentrations sont supérieures à celles du Lindaret (0,6 mgC/l) ce qui laisse supposer qu'elles sont les conséquences de phénomènes biologiques internes : poussée planctonique (des phénomènes semblables sont observés sur le Léman : J. PELLETIER, 1973). Pendant le reste de l'année ces valeurs sont relativement stables, ce qui confirme qu'il se maintient un équilibre entre la production et la destruction de la matière organique.

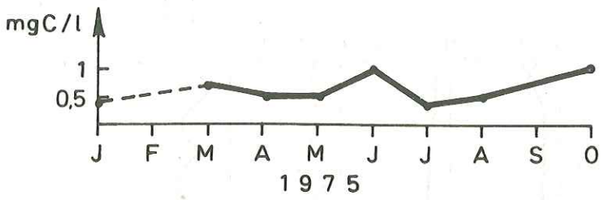


Fig. 26 :EVOLUTION DE LA TENEUR MOYENNE EN CARBONE ORGANIQUE TOTAL DANS LES EAUX DU LAC DE MONTRIOND.

La valeur mensuelle minimale des concentrations (C.O.T réfractaire au lac) est de 0,4 mgC/l et la moyenne annuelle est de 0,6 mgC/l). Il faut préciser que la moyenne du mois de Mars 1975 (0,76 mgC/l) a été fortement influencée par la très forte valeur du C.O.T mesurée en surface (2,08 mgC/l sous la glace).

En comparaison avec le Voua de la Motte, les concentrations en C.O.T apparaissent extrêmement faibles. Ceci doit être attribué d'une part à la faible production primaire (comme nous l'avons vu, en deux occasions seulement la concentration du lac est légèrement supérieure à celle du Lindaret) et d'autre part le renouvellement des eaux exclue une accumulation de la matière organique transportée par les affluents qui de ce fait ne font que transiter à travers le lac. (La moyenne annuelle des concentrations en C.O.T du Lindaret à l'entrée

du lac qui est de 0,5 mgC/l, est égale à celle des eaux prélevées à la sortie de l'exutoire souterrain).

II.2.l - Géochimie des sédiments.

L'examen d'une carotte prélevée à l'aide d'un carottier du type "Jenkins" le 09.01.1975 révèle plusieurs zones bien différenciées. De la surface vers le bas on a pu distinguer :

- une couche de 3-4 mm de couleur jaune-beige très clair,
- une couche de 40-50 mm de couleur gris assez clair, dessous la couleur du sédiment devient gris-verdâtre, de plus en plus foncée vers le fond.

Pourtant aucune différence significative n'a pu être décelée dans la densité des sédiments à ces différentes profondeurs (tableau nº 21). Par contre la teneur en eau diminue légèrement en profondeur.

Dates	22.10.74		16.01.75		03.06.75		21.08.75	
Profondeur	Densité humide	teneur en eau (%)	Densité humide	teneur en eau (%)	Densité humide	teneur en eau (%)	Densité humide	teneur en eau (%)
0 - 4 cm	1,30	74	1,21	73	1,20	72	1,21	71
4 - 8 cm	1,26	69	1,31	64	1,26	64	-	-
8 - 10 cm	1,27	65	1,27	63	1,28	62	1,26	64

Tableau nº 21 : Densité humide et teneur en eau dans les sédiments superficiels (0-10 cm) du lac de Montriond. (Les teneurs en eau sont exprimées en % du sédiment humide.

Avec une densité moyenne de 1,26 les sédiments du lac de Montriond apparaissent plus compacts que ceux du Voua de la Motte et leurs teneurs en eau (environ 67 %) sont beaucoup moins élevées. L'analyse granulométrique a révélé une vase très fine : la fraction inférieure à 40 µ représente environ 98 % du poids total du sédiment sec.

Les résultats des analyses chimiques effectuées sur des échantillons prélevés sur plusieurs niveaux à l'intérieur d'une benne "Ekman" sont reportés sur le tableau nº 22.

	22.10.74			9.01.75	Moyenne pour la couche 0-8 cm (1)	% de la fraction minérale (2)
Profondeur	Surface 0-3 cm %	3-5 cm %	6-8 cm %	Surface 0-3 cm %		
SiO_2	54,31	-	57,62	54,31	55,4	61,3
Al_2O_3	14,39	17,05	14,55	15,03	15,3	16,9
Fe_2O_3	6,96	8,07	6,84	6,49	7,1	7,9
K_2O	3,05	3,49	3,08	2,88	3,1	3,4
MgO	2,68	3,23	2,75	2,58	2,8	3,1
CaO	2,59	2,04	1,92	3,43	2,5	2,8
TiO_2	0,82	0,90	0,83	0,83	0,8	0,9
Na_2O	0,78	0,86	0,68	0,59	0,7	0,8
P_2O_5	0,258	0,290	0,240	0,227	0,25	0,27
MnO	0,21	0,15	0,09	0,16	0,15	0,16
perte à 550°C	9,75	9,65	8,65	10,4	9,61	
perte à 1000°C	12,2	11,15	10,95	13,8	12,03	2,7
TOTAL	98,25		99,54	100,33	100,1	100,2

Tableau nº 22 : Composition chimique des sédiments superficiels (0-9 cm) du lac de Montriond. Valeurs exprimées en % par rapport au sédiment séché à 105°C (1) et en % de la fraction minérale (2).

Ces résultats nous amènent aux constatations suivantes :

- la participation de la matière organique (perte à 550°C) dans les sédiments est en comparaison avec le Voua de la Motte extrêmement faible. La perte à 550°C est en moyenne 9,6 % (8,6 - 10,4) ce qui indique qu'il existe de bonnes conditions de minéralisation au fond du lac.

- Les sédiments sont pauvres en carbonates (la différence entre la perte à 550°C et à 1000°C est en moyenne 2,4 %) .

Quant à la fraction minérale de ces sédiments, elle est constituée essentiellement de silice (61,3 % de SiO_2), aluminium (16,9 % de Al_2O_3) et de fer (7,9 % de Fe_2O_3). Les rapports $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_5} = 2,1$ et $\frac{SiO_2}{Al_2O_3} = 3,6$ diffèrent considérablement de ceux du Voua de la Motte (qui sont respectivement 1 et 18,0. Par contre ils sont semblables à ceux déterminés sur les éléments en suspension de la Dranse (2,9 et 3,5), des suspensions du Rhône en amont du lac Léman (2,4 et 3,5) ainsi que dans les sédiments mêmes du lac Léman (3,1 et 3,8) ces derniers étant essentiellement d'origine détritique (M. MEYBECK, 1966). Les sédiments du lac de Montriond sont donc constitués d'un mélange d'alumino-silicates peu riches en carbonates et de particules de silice qui peuvent être soit du quartz fin, soit de la silice amorphe d'origine organique (squelettes de diatomées).

L'origine des sédiments du lac de Montriond est donc essentiellement terrigène et la source principale de ce sédiment est le produit de l'érosion du bassin versant apporté par les Lindarets.

Milieu interstitiel.

Dans les eaux interstitielles des sédiments du lac de Montriond, les éléments majeurs (Ca^{++} et Mg^{++}) ainsi que le Na^{+} et le K^{+} ont comme au Voua de la Motte des concentrations pratiquement doubles de celles des eaux du lac. En ce qui concerne les principaux éléments nutritifs on peut noter que si les concentrations en azote sous forme d'ions (NH_4^{+}) (en moyenne 5 mg/l) sont élevées par rapport à celles des eaux lacustres, elles demeurent pratiquement 10 fois inférieures à celles des eaux interstitielles du Voua de la Motte. Les teneurs en phosphore (PO_4) des eaux interstitielles, elles aussi supérieures à celles du lac restent par rapport au Voua relativement faibles (40 µgP/l de PO_4 en Octobre 1974 ; 8 µgP/l en Janvier 1975 et 26 µgP/l en Août 1975) dans les premiers centimètres du sédiment.

En tenant compte du nombre restreint d'analyses effectuées sur les eaux interstitielles il faut admettre que si les résultats sont significatifs quant à l'ordre de grandeur des concentrations, l'interprétation des variations des teneurs en phosphore observées lors des trois prélèvements serait très délicate.

RESUME

Le lac de Montriond est un lac de barrage, créé à la suite d'un éboulement de blocs rocheux qui ont obstrué la vallée d'un petit cours d'eau de montagne -Le Lindaret. Son bassin d'alimentation, situé essentiellement sur des affleurements de la Brêche est recouvert à 33 % par des formations forestières.

Le lac est alimenté principalement par le Lindaret qui est un torrent à régime nival de montagne qui draine 77 % de la superficie du bassin et dont le débit spécifique a été de 44 l/s^{-1} km^{-2} en 1975. Les variations des débits de cet affluent et la perméabilité du barrage naturel, qui permet un écoulement souterrain permanent, sont à l'origine des importantes fluctuations du niveau du plan d'eau qui peuvent atteindre jusqu'à 11 mètres. Le temps de renouvellement théorique des eaux du lac est de l'ordre de 30 jours.

Le régime thermique du lac de Montriond est du type dimictique de second ordre caractérisé par une brève période d'isothermie au printemps, une stratification estivale retardée mais assez nette (thermocline située à environ 5 mètres), une homothermie automnale prolongée et une stratification "inverse" qui dure entre 5 et 6 mois.

Les couches superficielles du lac sont constamment saturées ou sursaturées en oxygène dissous, alors qu'au fond les eaux demeurent sous-oxygénées pendant les deux périodes de stratification (40-60 % des teneurs à la saturation).

La transparence moyenne du lac, mesurée au disque de Secchi est de 3 mètres, mais présente des variations importantes (de 1 à 5,6 mètres). Les eaux du lac de Montriond sont légèrement alcalines. Le pH toujours supérieur à 7,25 atteint en été sa valeur maximum qui est de 8,2 en surface.

Les eaux du lac sont moyennement minéralisées et essentiellement bicarbonatées calciques. La concentration globale en éléments dissous est en moyenne de 192 mg/l et la conductivité moyenne à 25°C est de 217 µmhos/cm. Les teneurs en éléments majeurs présentent des variations importantes

qui sont le reflet des variations du chimisme des eaux du Lindaret elles-mêmes étroitement liées au régime hydrologique de cette rivière.

La moyenne annuelle des concentrations (*) des principaux éléments nutritifs est de 230 µgN/l d'azote minéral dont 210 µgN/l sous forme de NO_3 et de 12 µgP/l de phosphore total (4 µgP/l de PO_4). Mais pendant les campagnes d'Août et Octobre 1975 aucune trace de P (PO_4) n'a pu être décelée dans les eaux superficielles et de ce fait cet élément se présente comme le facteur limitant principal à la production primaire du lac.

La vitesse d'apports des affluents par unité de surface du lac en nutrients est de 22 $g.m^{-2}.an^{-1}$ d'azote minéral, essentiellement sous forme de NO_3 (85 %) et de 1 $g.m^{-2}.an^{-1}$ de phosphore total. Les apports directs des précipitations atmosphériques représentent environ 15 % des apports totaux en azote (essentiellement sous forme de NH_4) et 3 % des apports en phosphore total.

Les eaux du lac sont peu chargées en substances organiques. La moyenne annuelle des concentrations (*) en carbone organique total est de 0,6 mgC/l. Cette valeur peu élevée doit être attribuée d'une part à la faible production primaire et aux faibles apports du bassin versant et d'autre part au renouvellement rapide des eaux qui exclue une accumulation de la matière organique dans le milieu lacustre.

La valeur mensuelle minimale (ou C.O.T réfractaire au lac) est de 0,4 mgC/l.

Les sédiments du lac, d'origine terrigène, sont pauvres en matière organique (10 %), ce qui résulte de la faible production interne et aussi de la présence constante d'oxygène dissous dans la couche profonde du lac qui crée des conditions favorables aux processus de décomposition et de minéralisation.

(*) Concentrations moyennes pondérées par le volume des différentes tranches d'eau du lac dans lesquelles sont réalisés les prélèvements.

En tenant compte de tous ces phénomènes : fond du lac constamment oxygéné, faibles teneurs en P et N, peu de matière organique dans les sédiments, température de surface peu élevée en été, et surtout une valeur très faible du C.O.T réfractaire (0,4 mgC/l) qui nous indique que le lac est capable soit de minéraliser, soit d'évacuer le produit de l'activité biologique au sein du lac, ou les produits de lessivage du bassin versant, on peut considérer que le lac de Montriond est un lac oligotrophe dynamique.

Le facteur principal qui prédomine l'évolution du lac est le temps de renouvellement extrêmement court des eaux lacustres ce qui permet l'évacuation des déchets organiques et conditionne une réoxygénation périodique des eaux du fond.

LAC DE VALLON

III. - LAC DE VALLON (1075 m)

III.1. - BASSIN-VERSANT.

III.1.a - Géographie et morphométrie du bassin versant.

Situé à 30 km au Sud-Est de Thonon, le bassin versant du lac de Vallon est délimité au Nord-Est par une ligne de crêtes formée par la pointe de Gay (1802 m), le col des Chavannes (1601 m), la pointe de Véland (1799,9 m) pour atteindre au Sud-Est le point culminant du bassin : le Roc d'Enfer (2244 m). La limite Sud est formée par une succession de sommets qui relient le Roc d'Enfer à la pointe du Chavannais (1746,6 m). Une chaine montagneuse orientée vers le Nord et comprenant la Tête des Foglys (1763 m) et la pointe des Fougliats (1713 m) délimite la frontière Ouest.

Le lac de Vallon occupe la partie la plus occidentale de son bassin d'alimentation. Ses coordonnées Lambert sont : x = 944,3 ; y = 155,82 (carte 1/25.000e Samoëns nº 1-2).

Les principales caractéristiques morphométriques du bassin sont :

A	Superficie totale (ha)	2064
L	Périmètre (km)	18,4
h_m	Altitude maximum (m)	2243,9 - Roc d'Enfer
$\bar{h}$	Altitude moyenne (m)	1483
h	Niveau du lac (m)	1075
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,14
$\bar{P}$	Pluviométrie annuelle (mm)	1600
$\bar{T}°C$	Température moyenne annuelle (°C)	2,6

Tableau nº 23 : Caractéristiques générales du bassin versant du lac de Vallon.

Le module pluviométrique ($\bar{P}$) ainsi que la température moyenne annuelle ($\bar{T}°C$) ont été calculés comme pour le lac de Montriond, d'après les données de la station de Terramont (1090 m), en utilisant les gradients altimétriques de température et de précipitations (voir page 39). (Cette station est située à environ 6 km au Nord-Ouest du lac (voir figure n° 1).

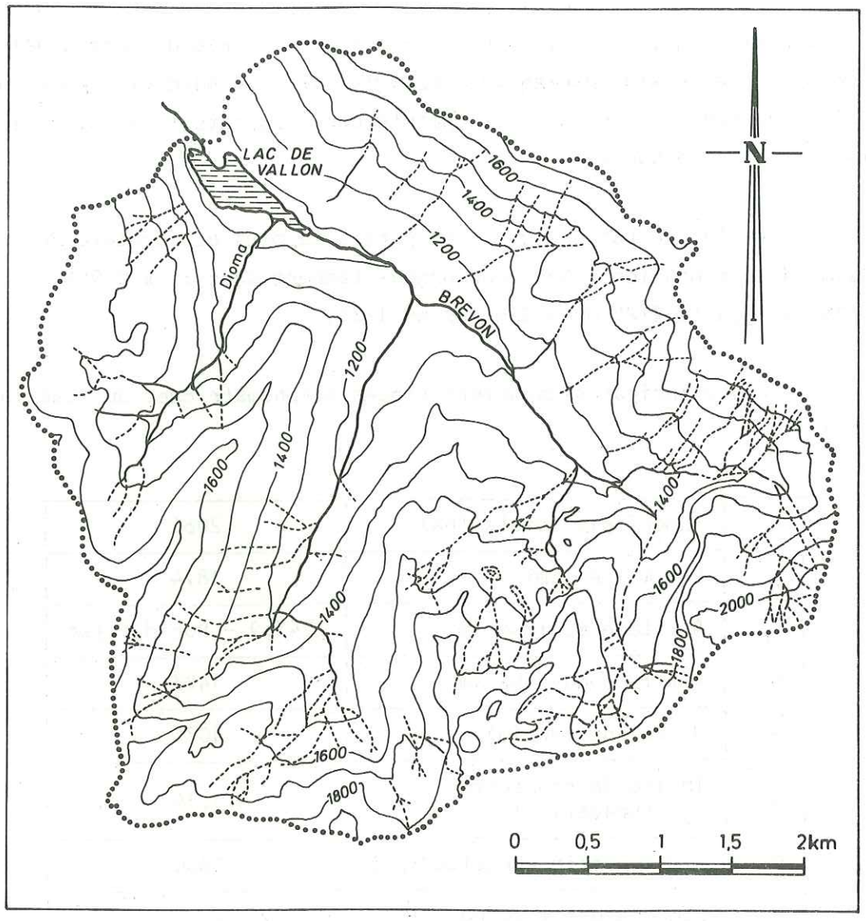


Fig. 27 : TOPOGRAPHIE ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE VALLON

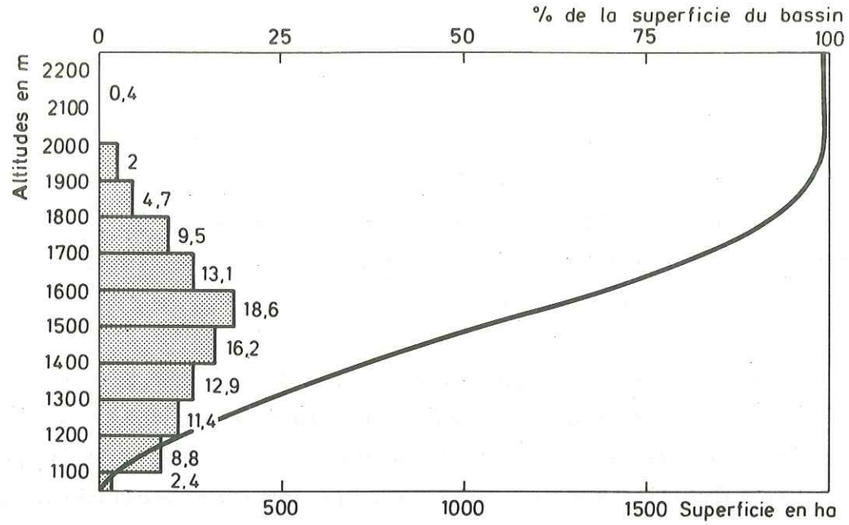


Fig. 28 : COURBE HYPSOMETRIQUE ET FREQUENCES ALTIMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DU LAC DE VALLON

III.1.b - Géologie.

Trois des nappes qui forment l'ensemble tectonique des Préalpes du Chablais affleurent sur le bassin versant du lac (Haubert, 1975). Ce sont par ordre d'apparition, du Nord au Sud :

- la nappe de la Simme,
- la nappe des préalpes médianes,
- la nappe de la Brêche.

1) La nappe de la Simme, recouvrant toute la partie Nord du bassin est représentée par le flysch. Ce dernier est formé par une alternance de marnes en plaquettes de calcaires et de grès à ciment

calcaire. L'altération superficielle de ces roches friables et leurs désagrégations ont provoqué la création de formations meubles plus ou moins argileuses et d'épaisseur variée, qui recouvrent la roche sur place et donnent lieu à de riches pâturages humides. C'est précisément un glissement de ces terrains meubles qui est à l'origine de la formation du lac (voir origine du lac : III.2.a) (L. MORET, 1943 ; B. DUSSART, 1955).

2) Dans la partie centrale du bassin, entre le ruisseau de Bellecombe et le Brévon, affleure la nappe des médianes plastiques. Elle est représentée par une succession lithologique très variée : gypses et calcaires dolomitiques (Trias) ; alternance de marnes et calcaires (Dogger) ; calcaires massifs (Malm) ; flysch (Crétacé).

3) Au Sud-Est, la nappe de la Brêche dont le Roc d'Enfer forme le point culminant (2244 m) vient chevaucher la nappe médiane. La succession lithologique de la Brêche est la suivante : calcaires dolomitiques (Trias), schiste inférieur, brêche inférieure, schistes ardoisiers, brêche inférieure, flysch.

III.1.c - Couverture végétale.

Les forêts sont largement représentées sur le bassin versant du lac de Vallon : 1075 ha (soit 52,1 % de la superficie). Jusqu'à environ 1400 mètres (sur le bassin du Dioma jusqu'à 1600 mètres), il s'agit essentiellement de forêt mixte de hêtre (Fagus sylvatica) et d'épicéa (Picea exelsa) où la participation de ce dernier varie entre 50 et 80 %. Aux altitudes plus élevées (jusqu'à 1800-1900 mètres) on retrouve l'étage subalpin qui est caractérisé par des forêts d'épicéa (Picea exelsa : 100 %) puis de la pelouse alpine. La répartition des différentes formes de couvertures végétales est la suivante :

- Forêt d'épicéa : 495 ha (soit 24,0 % de la superficie),
- Forêt mixte d'épicéa et de hêtre : 580 ha (soit 28,1 % de la superficie),
- Pelouse alpine : 840 ha (soit 40,7 % de la superficie),
- Les zones rocheuses, entièrement dépourvues de végétation, occupent une surface de 149 ha (soit 7,2 % de la superficie) dans la partie Sud du bassin versant.

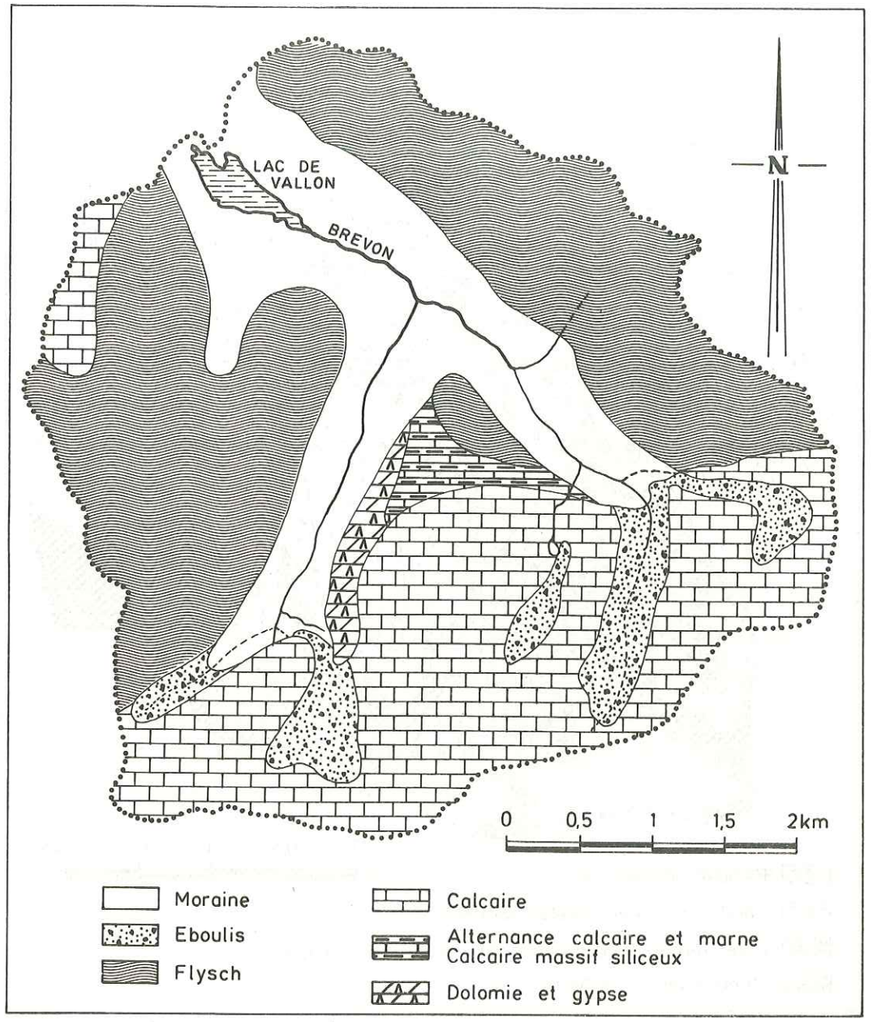


Fig. 29 : CARTE LITHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE VALLON. (D'après Haubert 1975)

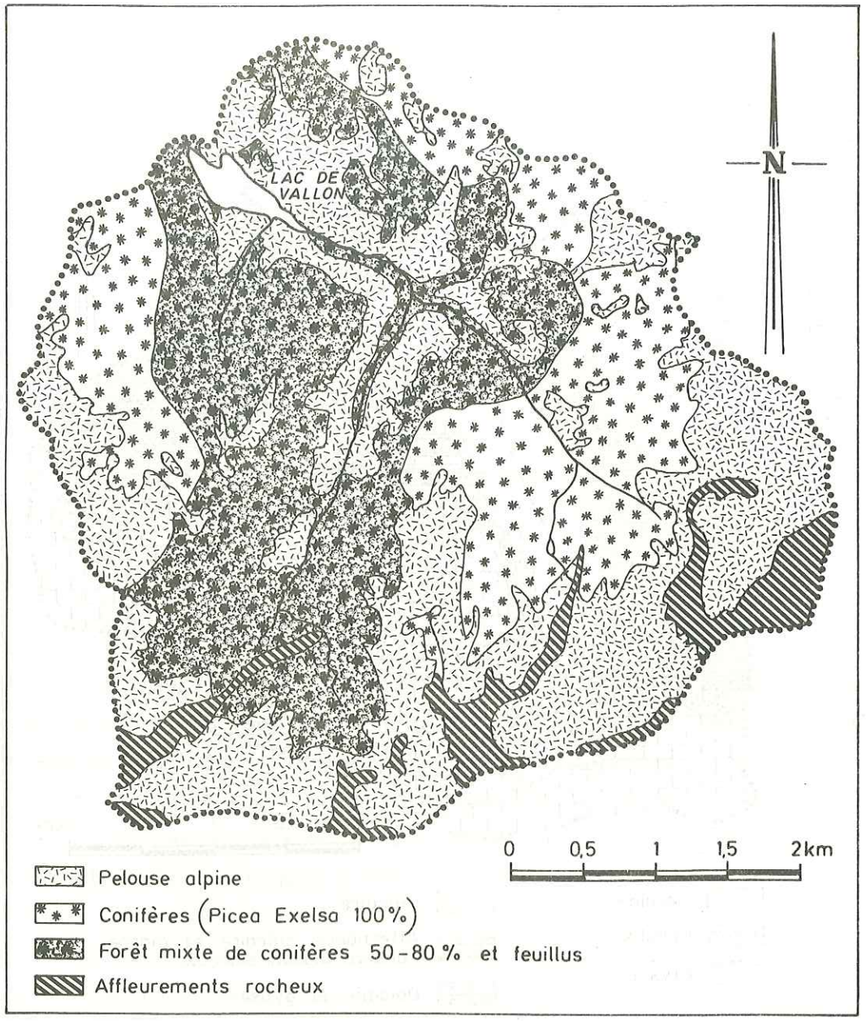


Fig. 30 : CARTE DE LA VEGETATION DU BASSIN VERSANT DU LAC DE VALLON.

III.1.d - Hydrologie.

Apports liquides des affluents.

L'affluent principal du lac de Vallon est le Brévon, ruisseau qui à lui seul draine 76,9 % de la surface du bassin versant. 12,2 % de cette surface alimente un autre petit ruisseau : le Dioma. Le reste du bassin d'alimentation est drainé par de nombreux petits cours d'eau qui, situés sur tout le pourtour du lac sont secs pendant la plus grande partie de l'année.

Notre étude a porté principalement sur le Brévon. Etant donné le caractère torrentiel de ce cours d'eau, qui en période de fonte des neiges emporte la plupart des passerelles qui l'enjambent, il nous a été impossible d'installer un limnigraphe. Néanmoins une section de tarage a pu être aménagée et tout au long de l'année, deux fois par jour, des relèvements de l'échelle limnimétrique ont été effectués. Les jaugeages ont été réalisés au micromoulinet. La courbe de tarage résultante est montrée sur l'annexe nº 2.

Contrairement au Lindaret, le régime du Brévon est du type nivo-pluvial (sur 1975) avec un maximum principal printanier, deux minima (hiver et été) et un maximum secondaire d'automne. Cette différence est due à la plus faible altitude moyenne du bassin versant du lac de Vallon (1483 m). Les précipitations de Septembre 1975 sont tombées sous forme de pluies sur l'essentiel du bassin versant.

Pour la période d'étude (1974-1975) les débits moyens mensuels et les débits spécifiques sont les suivants :

MOIS	XI 74	XII 74	I 75	II 75	III 75	IV 75	V 75	VI 75	VII 75	VIII 75	IX 75	X 75	moyenne annuelle
Débit moyen mensuel l/s	300	295	210	280	267	2413	2152	1845	639	611	994	330	861
Débit spécifique mensuel l/s/km^2	18,9	18,6	13,2	17,6	16,8	152	135	116	40	38	63	21	54
Coefficient mensuel des débits	0,35	0,34	0,24	0,33	0,31	2,81	2,50	2,15	0,74	0,70	1,17	0,39	

Tableau n° 24 : Débits moyens mensuels et débits spécifiques du Brévon

Les débits maximaux s'observent pendant la période de fonte des neiges, de la fin du mois d'Avril au mois de Juin. (Le débit spécifique moyen pour cette période est de 135 l/s/km^2). La forte valeur des apports liquides du mois de Juin est due à la fonte tardive des neiges sur les parties supérieures du bassin versant situées au-dessus de 1600 m. A ce phénomène périodique il faut ajouter les crues provoquées par de fortes pluies d'automne. Pour l'année 1975 il faut noter la crue du 15 Octobre où le débit du Brévon a été pendant plusieurs heures supérieur à 12 m^3/s. Nous verrons ultérieurement (III.2.c) l'influence de ces crues sur l'évolution du lac.

Le Dioma est un autre affluent qui draine une superficie de 252,5 ha, située dans la partie Sud-Ouest du bassin d'alimentation du lac de Vallon. Exceptée la période de fonte des neiges son débit n'excède pas quelques dizaines de litres.

Les caractéristiques topographiques, hydrographiques et la couverture végétale des bassins du Dioma et du Brévon étant très proches, nous avons, pour calculer les apports liquides du Dioma lors des crues

du printemps, attribué à ce dernier le même débit spécifique que celui du Brévon. Nous obtenons ainsi un débit moyen pour les mois d'Avril, Mai et Juin égal à 340 l/s qui représente un apport liquide moyen journalier de 29.376 m^3 au lac pour cette même période.

III.1.e - Apports dissous des affluents.

Pour établir le bilan des apports dissous au lac de Vallon nous avons essayé comme sur le Lindaret, de définir les lois des variations des concentrations des différents éléments en fonction des débits du Brévon. Il résulte que pour les éléments Ca^{++}, Mg^{++}, SO_4^{--}, HCO_3^{-} la loi la plus appropriée est celle du genre $C = a\,Q^{-b}$ (*) (figure n° 31).

Nous présentons sur le tableau suivant les valeurs des coefficients a et b, ainsi que les coefficients de corrélation déterminés pour ces différents éléments.

Eléments	a	b	r	Nombre de couples
Ca^{++}	52,8	0,12	0,8	14
Mg^{++}	7,3	0,13	0,7	14
HCO_3^{-}	165,7	0,07	0,7	14
SO_4^{--}	26,6	0,37	0,8	14

Tableau n° 25 : Valeurs des coefficients a, b et r des corrélations concentrations/débits sur le Brévon à l'entrée du lac de Vallon.

(*) *Cette relation classique a été utilisée par de nombreux auteurs (HART et al., 1964 ; INESON et al., 1965 ; LEDBETER et al., 1964 ; JAWORSKA, 1967 ; GUNNERSON, 1967 ; STEELE, 1969 ; etc...).*

Pour les Ca^{++}, Mg^{++}, HCO_3^- et SO_4^{--}, les apports annuels dissous ont été calculés en attribuant à chaque débit moyen mensuel la concentration correspondante, calculée d'après les lois sus-citées (voir II.1.e (1)).

Pour les autres éléments aucune corrélation significative n'a pu être décelée entre leurs concentrations et le débit de la rivière. Les apports ont donc été calculés à partir des concentrations ponctuelles mesurées chaque mois, affectées du débit moyen mensuel de la rivière (voir II.1.e (2)).

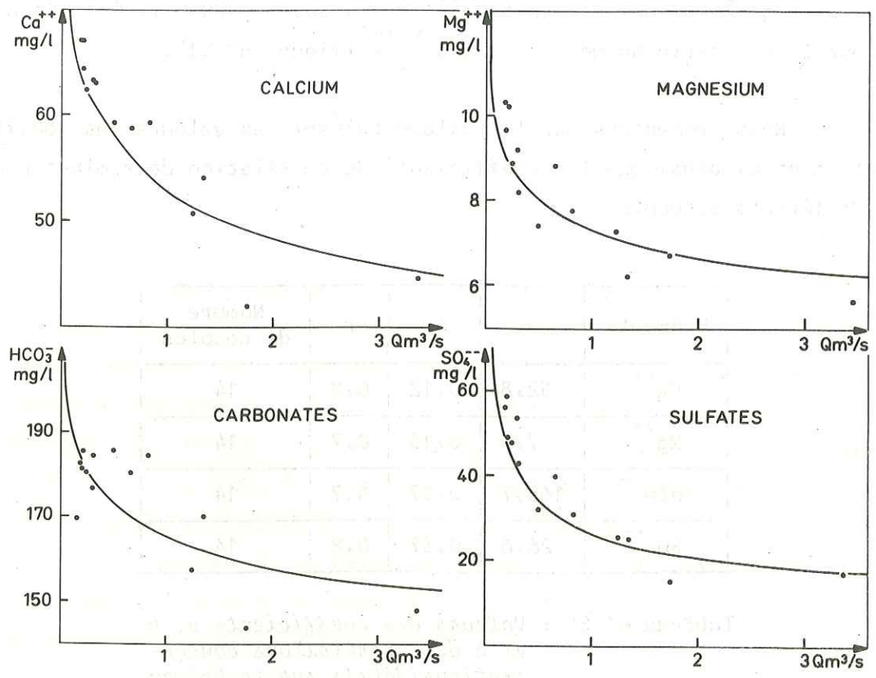


Fig. 31 : LE BREVON - VARIATION DES ELEMENTS DISSOUS EN FONCTION DU DEBIT

A partir des valeurs des apports du Brévon, nous avons calculé le transport chimique spécifique pour chaque élément, qui nous a permis de calculer les apports globaux du bassin versant au lac de Vallon en tenant compte des apports non contrôlés. Les valeurs obtenues sont reportées sur le tableau nº 26.

Eléments	Apports dissous du Brévon au lac de Vallon	Apports dissous totaux au lac de Vallon		Transport spécifique chimique du bassin du Brévon en amont du lac
	t/an	t/an	%	$t/km^{-2}.an^{-1}$
Ca^{++}	1 402	1 824	20,4	88,4
Mg^{++}	193	251	2,8	12,2
Na^+	24	31	0,3	1,5
K^+	9	12	0,1	0,6
SiO_2	57	74	0,8	3,6
HCO_3^-	4 442	5 777	64,8	279,9
SO_4^{--}	699	910	10,2	44,1
NO_3^- en N	4,7	6,1		0,295
N minéral total	5,1	6,6	0,1	0,322
PO_4^{---} en P	0,149	0,19		0,009
P total	0,41	0,53		0,026
Cl^-	7,6	9,9	0,1	0,5
C.O.T	20	26	0,3	1,3
TOTAL	6 864	8 928	100	432

Tableau nº 26 : Transports spécifiques chimiques du bassin du Brévon en amont du lac et apports dissous annuels au lac de Vallon (Novembre 1974 - Octobre 1975).

L'étude comparée des valeurs de l'érosion chimique spécifique des bassins versants du lac de Montriond et de Vallon nous montre des valeurs voisines en ce qui concerne les principaux éléments nutritifs (N et P). Il faut souligner qu'en raison de l'absence sur ces deux bassins de centres d'habitats importants, l'influence de la présence humaine (rejets domestiques, engrais, etc...) sur les apports en éléments nutritifs est pratiquement nulle.

Bien que plus chargées, les eaux du Brévon tout comme celles du Lindaret, sont bicarbonatées calciques (tableau nº 27). Ces deux éléments représentent environ 85 % des apports dissous. Il faut noter aussi les fortes concentrations en magnésium (3 %) et en sulfates (10 % de la masse des apports). Le SO_4^{--} provient essentiellement des eaux souterraines venant du Trias gypseux de la nappe des préalpes médianes qui affleure dans la partie centrale du bassin (figure nº 29). D'après M. HAUBERT, le gypse est à l'origine de teneurs de 1300 mg/l de SO_4^{--} dans les eaux de ces sources.

Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	SiO_2 mg/l	HCO_3^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	Cl^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	$N_{min.}$ mgN/l	PO_4^{--} mgP/l	$P_{tot.}$ mgP/l	C.O.T mgC/l	TOTAL mg/l
52	7,1	0,9	0,3	2,1	164	25,7	0,3	0,17	0,19	0,005	0,015	0,7	259

Tableau nº 27 : Composition chimique moyenne du Brévon à l'entrée du lac.
(Ces valeurs sont le rapport de la masse de chaque élément apporté au lac en un an et du volume des apports liquides du Brévon en cette même période. De ce fait ces moyennes tiennent compte des variations de certains éléments en fonction du débit de la rivière (Ca^{++}, Mg^{++}, HCO_3^{-} et SO_4^{--}).

Les apports du bassin versant en carbone organique total sont de l'ordre de 26 tonnes/an, ce qui représente une masse de 520 tonnes de matière organique (voir II.1.e).

La matière organique des affluents résulte essentiellement de la décomposition des produits végétaux des ceintures littorales, ainsi que du lessivage des acides humo-limniques des sols avoisinants la masse d'eau considérée (B. DUSSART, 1955).

III.1.f - Apports dissous des précipitations atmosphériques.

Pour estimer les apports atmosphériques directs en éléments nutritifs au lac de Vallon, nous avons utilisé les valeurs des concentrations des eaux de pluie prélevées à la station de Terramont (voir II.1.f). Cette dernière est située à environ 6 km au Nord-Ouest du lac à l'altitude de 1090 m qui est très proche de celle du lac (1075 m).

La valeur des précipitations annuelles utilisée est la moyenne annuelle de cette station calculée pour la période 1969-1974. La masse totale d'éléments nutritifs (N et P) parvenue au lac avec les eaux de précipitation a été calculée suivant la formule :

$$M = \bar{P} \cdot A \cdot c$$

M = masse de l'élément apportée par les précipitations à la surface du lac en un an.
$\bar{P}$ = moyenne annuelle des précipitations sur le lac (mm)
A = superficie du lac.
c = moyenne annuelle des concentrations de l'élément dans les eaux de pluie.

Nous obtenons ainsi les valeurs suivantes en kg/an :

apports atmosphériques en NO_3	34 kgN/an
apports en NH_4	503 kgN/an
apports en N minéral	536 kgN/an
apports en P total	3 kg/an

III.1.g - Vitesse d'apports spécifiques en éléments nutritifs par unité de surface du lac.

Les valeurs des vitesses d'apports externes (affluents et précipitations atmosphériques) en éléments nutritifs (N et P) ainsi qu'en carbone organique total au lac de Vallon sont reportées sur le tableau nº 28.

Eléments	Vitesse d'apports des affluents par unité de surface du lac en g/m^{-2} an^{-1} (1)	Vitesse d'apports des précipitations par unité de surface du lac en g/m^{-2} an^{-1} (2)	Vitesse d'apports externes par unité de surface du lac en g/m^{-2} an^{-1} (1+2)	% des apports atmosphériques directs
NO_3 (g/N)	44,8	0,2	45,0	0,4
NH_4 (g/N)	3,2	3,7	6,9	53,6
N minéral	48,8	3,9	52,7	7,4
P total	3,91	0,03	3,94	0,8
C.O.T.	191,0	non mesuré		

Tableau nº 28 : Vitesse d'apports externes en P, N et C.O.T. par unité de surface du lac de Vallon.

Il apparaît clairement de ce tableau que les apports en éléments dissous des eaux de pluie sont à l'échelle annuelle peu importants en comparaison avec ceux des affluents. La comparaison de ces résultats avec ceux du lac de Montriond laisse apparaître que le rôle des apports en nutrients des précipitations atmosphériques est d'autant plus important que le rapport superficie du lac/superficie du bassin total est grand.

III.2. - LE LAC.

III.2.a - Origine.

Le lac de Vallon est un lac de barrage. Comme nous l'avons cité (III.1.b) l'altération superficielle et la désagrégation du flysch dans la partie inférieure du bassin ont amené la formation de terrains meubles et spongieux, qui souvent sont en équilibre instable sur les formations à forte pente de la roche en place.

Le glissement de terrain sur la rive droite du Brévon qui est à l'origine de la création du lac, est dû à la rupture de cet équilibre, provoquée d'une part par l'augmentation de la masse spongieuse gorgée d'eau (fonte des neiges et fortes pluies) et d'autre part par l'affouillement persévérant de la rivière à la base de ces terrains (B. DUSSART, 1955).

C'est dans la nuit du 11 au 12 Mars 1943 qu'a débuté le phénomène. Une masse plastique importante (2 millions de m^3 de terrain, 2.000 m^3 de bois) a commencé à glisser sur son socle de roche dure sous-jacente, depuis le ravin dit la Chauronde pour venir buter sur la rive gauche du Brévon obstruant totalement la vallée de cette rivière. La présence d'alluvions fluvioglaciaires imperméables dans le fond de la vallée a permis l'accumulation des eaux du Brévon créant ainsi cette retenue d'eau naturelle qu'est le lac de Vallon. Selon L. MORET (1943) qui a analysé les conditions géologiques du glissement de ce terrain , ce sont les pluies torrentielles de Septembre 1940 qui ont provoqué les premiers décollements et crevasses, et créé des conditions favorables au glissement (figure nº 32).

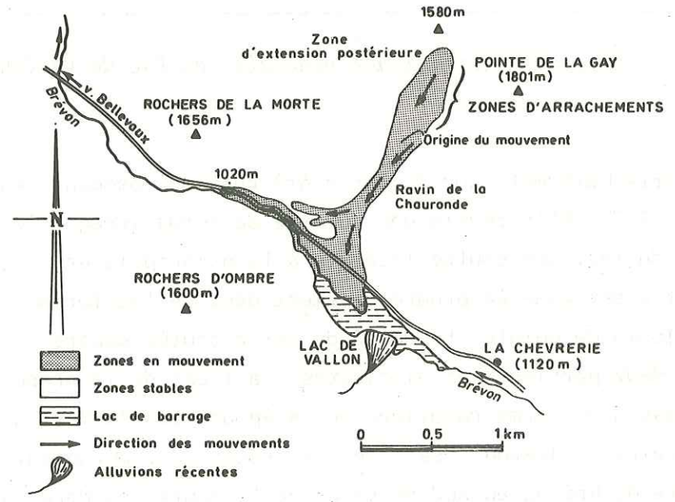


Fig. 32 : LE GLISSEMENT DE TERRAIN DE VALLON (d'après L. MORET in HAUBERT, 1975).

III.2.b - Morphométrie et bathymétrie.

Les paramètres morphométriques principaux du lac de Vallon sont reportés sur le tableau n° 29.

h	Altitude (m)	1075
A	Superficie (ha)	13,6
l	Longueur (m)	866
$\bar{b}$	Largeur moyenne (m)	157
V	Volume (m^3)	660 428
Z_m	Profondeur maximum	10,2
$\bar{Z}$	Profondeur moyenne	4,85
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,74
h (x)	Fluctuation du niveau du lac (m)	0,10
L	Périmètre (m)	2280
τ	Temps de renouvellement moyen	10 jours
A/A'	Rapports superficie : lac/bassin total	0,7 %

Tableau n° 29 : Caractéristiques générales du lac de Vallon

La carte bathymétrique du lac a été réalisée pendant les mois de Juillet-Août 1975. Elle révèle une cuvette de forme irrégulière. Lors de la création du lac, une coulée latérale à la principale et orientée vers le Sud-Est s'est avancée progressivement dans le lac formant une presqu'île en forme de pointe. Le delta de cette coulée sépare la cuvette lacustre en deux parties bien distinctes : à l'Est de la presqu'île se trouve un bassin de forme régulière qui a épousé les formes en U de la vallée glaciaire du Brévon. Les rives latérales sont abruptes, tandis que le delta du Brévon au Sud et celui de la coulée au Nord forment des pentes douces pour joindre la zone centrale d'une profondeur de 10,3 mètres.

La partie située à l'Ouest de la presqu'île présente deux fosses parallèles de forme allongée séparées par un ressaut orienté vers le Nord-Ouest. La profondeur maximale dans cette partie du lac est de 7,4 mètres.

Actuellement le fond de la cuvette lacustre est encombré de troncs d'arbres, partiellement recouverts de sédiments fins.

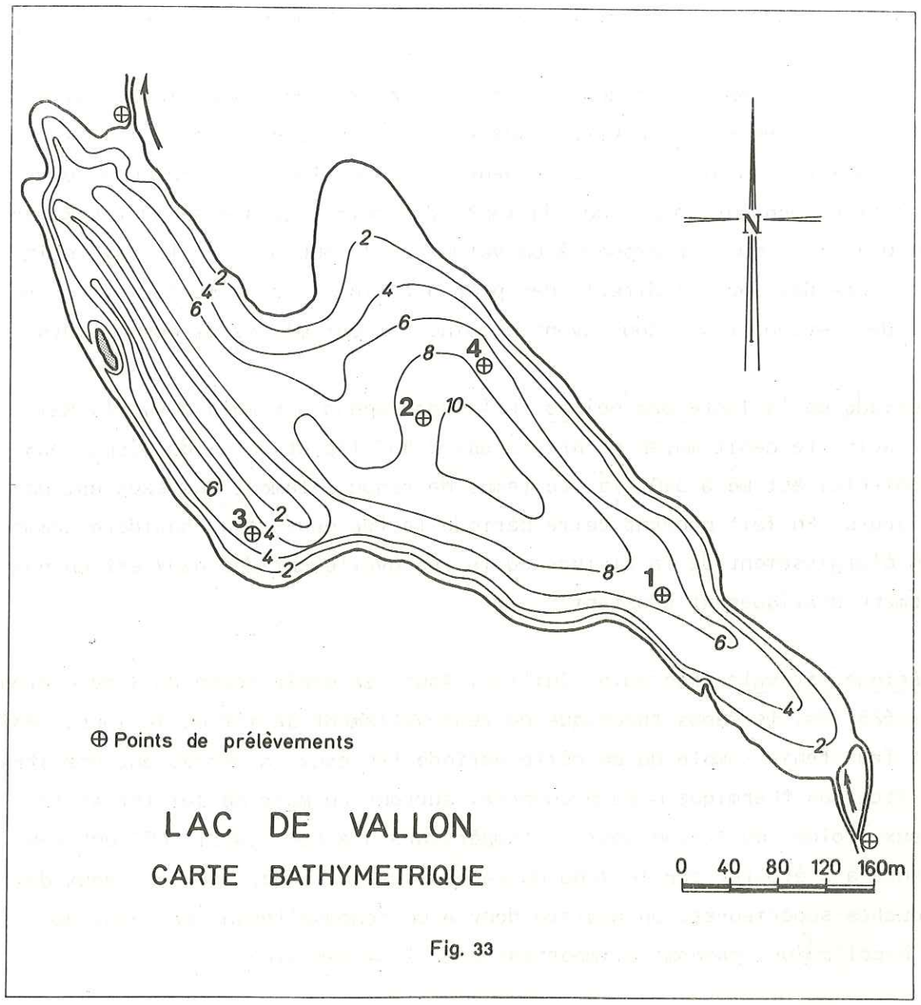


Fig. 33

III.2.c - Temps de renouvellement des eaux lacustres.

Il nous est impossible, avec les données que nous possédons, d'établir un bilan hydrique précis. Néanmoins dans le but d'éclaircir certains phénomènes de la chimie des eaux lacustres, nous avons calculé le temps de renouvellement approximatif des eaux du lac. Les valeurs comparées de l'apport global annuel du Brévon (27.10^6 m^3) et le volume du lac (66.10^4 m^3) nous ont amené à calculer le temps de renouvellement des eaux lacustres pendant les différentes saisons de l'année.

Le temps de renouvellement des eaux a été déterminé en divisant le volume de la cuvette lacustre par le volume des apports moyens saisonniers des affluents, en tenant compte de la variation du niveau lacustre (pendant la période de fonte des neiges le niveau du lac monte de 0,10 m ce qui correspond à un volume de 13 600 m^3). Vu la faible importance des apports directs des précipitations sur la surface lacustre et de l'évaporation, nous avons éliminé ces paramètres de nos calculs.

Période de la fonte des neiges. Elle correspond aux mois d'Avril, Mai et Juin. Le débit moyen du Brévon est 2 137 l/s et celui du Dioma, non contrôlé, estimé à 340 l/s. Le temps de renouvellement des eaux est de 3 jours. En fait pendant cette période le lac peut être considéré comme un élargissement de la rivière où le renouvellement des eaux est un phénomène pratiquement constant.

Période estivale. Fin Juin, Juillet, Août. Le débit moyen du Brévon étant de 625 l/s, le temps théorique de renouvellement serait de 12 jours. Mais il faut tenir compte qu'en cette période les eaux lacustres ont une stratification thermique bien prononcée, surtout au mois de Juillet et les eaux froides du Brévon dont la température n'excède jamais 6°C ont tendance à s'écouler sur le fond du lac sans se mélanger avec les eaux des couches supérieures. On assiste donc à un renouvellement des eaux de l'hypolimnion, phénomène important pour l'oxygénation.

Période des crues d'automne. Ces crues se produisent à un moment où l'on observe un refroidissement progressif des couches superficielles des eaux lacustres, qui provoque une homogénéisation thermique assez prononcée autour de 9°C. Les vents qui en cette saison sont assez fréquents accélèrent le brassage des eaux.

Dans ces conditions une crue comme celle du 15 Septembre 1975 avec un débit journalier de 11 m^3/s peut renouveler entièrement les eaux du lac en moins de 24 heures.

Période hivernale. Le temps de renouvellement est de 26 jours. La température des eaux du Brévon fluctuant entre 2 et 3°C pendant tout l'hiver, il ne semble pas qu'il y ait mélange avec les eaux de fond du lac qui en période de stratification inverse ont des températures de 4°C.

Conclusion. Les eaux du lac de Vallon sont entièrement renouvelées pendant la fonte des neiges et lors des crues automnales. En été on assiste à un renouvellement périodique des eaux des couches profondes alors qu'en hiver ce sont les eaux de l'épilimnion qui se renouvellent, bien que plus lentement. Sur l'ensemble de l'année le temps de renouvellement théorique est en moyenne de 10 jours.

III.2.d - Régime thermique.

Le régime thermique du lac de Vallon est fortement influencé par le Brévon. Des mesures effectuées en amont du lac sur l'affluent ont donné les résultats suivants :

X 74	XI 74	XII 74	I 75	II 75	III 75	IV 75	V 75	VI 75	VII 75	VIII 75	IX 75	X 75
3,2°	3°	3,1°	3°	1°	2°	4°	6°	6°	7°	8°	8,5°	4,8°

Tableau n° 30 : Variations mensuelles des températures du Brévon à l'entrée du lac de Vallon

L'étude thermique du lac réalisée pendant un an nous montre un lac dimictique avec deux périodes de stratification : une normale (Juillet, Août), une "inverse" pendant la saison hivernale et deux périodes d'isothermie au printemps et en automne (voir figure nº 34).

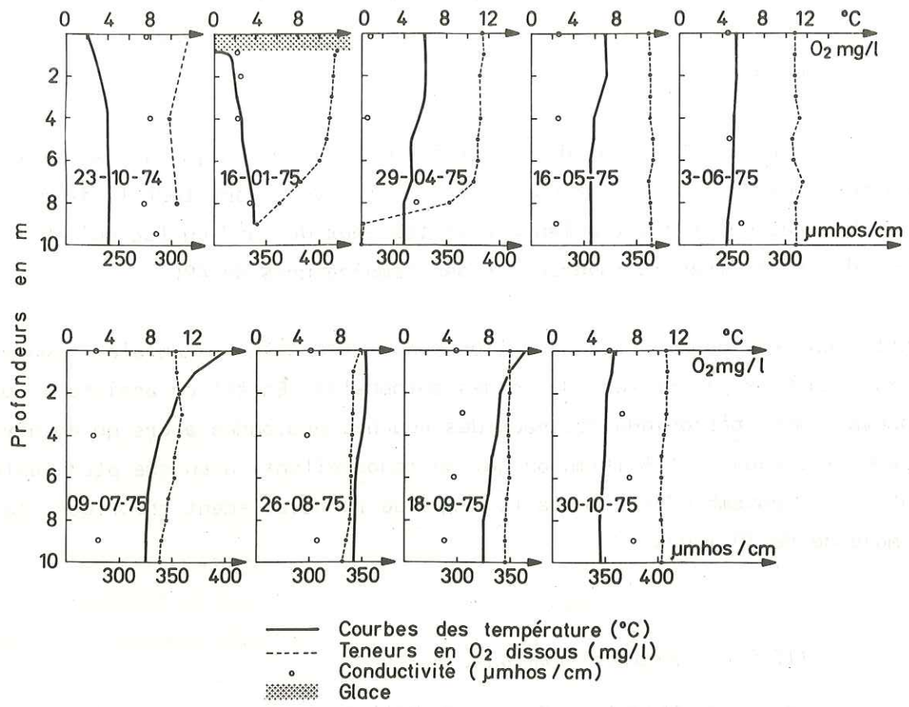


Fig. 34: EVOLUTION DE LA TEMPERATURE, DE LA CONDUCTIVITE ET DE LA TENEUR EN OXYGENE DISSOUS DU LAC DE VALLON
(Octobre 1974 - Octobre 1975)

La surface du lac gèle généralement vers le début du mois de Novembre. Le 23.10.74 les bords étaient recouverts d'une mince pellicule de glace et le 24.11.74 la surface du lac était entièrement gelée. Durant cette période qui se prolonge jusqu'à la fin du mois d'Avril les eaux lacustres présentent une stratification inverse bien prononcée. Le 16.01.75 sous 80 cm de glace on note une augmentation progressive de la

température en profondeur qui atteint 4ºC à deux mètres du fond. Du fait de cette stratification les eaux du Brévon dont la température n'excède pas 3º pendant l'hiver, devraient s'écouler dans le lac sans se mélanger avec les eaux profondes.

A la brève isothermie qui se produit lorsque les eaux de surface atteignent 4ºC, succède une stratification peu marquée qui se prolonge jusqu'à la fin Juin. En cette période de fonte des neiges le temps de séjour des eaux dans le lac est trop court pour que le régime thermique soit influencé par des phénomènes autres que la température des affluents. L'ensemble de la masse d'eau a une température entre 6 et 7ºC (température des eaux du Brévon) et seule la couche profonde située entre 8 et 10 m se maintient entre 4 et 5ºC.

Le réchauffement rapide des eaux au début du mois de Juillet coïncide avec la fin de la fonte des neiges. Une stratification très nette apparaît alors avec des températures supérieures à 4ºC à tous les niveaux. Le 09.07.75 la température en surface était de 14,9ºC (valeur maximale) et celle du fond de 7,6ºC. Le gradient de température très prononcé entre 0 et 5 m, diminue rapidement dans les couches inférieures. Cependant on ne peut déceler une thermocline au sens propre du mot. Cette stratification est de courte durée. En effet, la faible profondeur du lac et le brassage régulier des eaux de surface par le vent, entraînent une homogénéisation de toute la masse d'eau dès le mois d'Août. Cette isothermie, troublée parfois par un réchauffement de surface, se prolonge jusqu'à la période de gel qui, comme nous l'avons vu, se produit vers le mois de Novembre.

Conclusion. Le lac de Vallon est un lac dimictique qui est caractérisé par sa longue et nette stratification inverse qui se prolonge 5 à 6 mois, une brève période de brassage printanier, une stratification estivale peu prononcée où il est difficile de discerner une thermocline et enfin une longue période d'isothermie en automne.

III.2.e - Oxygène dissous.

Tout comme au lac de Montriond, les teneurs en oxygène dissous des eaux lacustres sont étroitement liées au mode d'alimentation et au régime thermique du lac. En effet, en dehors de la période hivernale (d'Octobre à Avril) les eaux du lac sont saturées ou sursaturées en O_2 et la répartition verticale des concentrations est très homogène (figure n° 34). En été, du fait que ce sont essentiellement les eaux plus froides du fond qui sont renouvelées (voir III.2.c) on observe de très fortes teneurs en O_2 au fond du lac (8,9 mg/l au mois de Juillet et 8,6 mg/l au mois d'Août, soit 88 % de la saturation en tenant compte des variations de la température). L'apparition d'un léger maximum à 3-4 mètres de la surface peut être attribuée à l'augmentation de l'activité biologique au sein du lac en cette période (production primaire). Comme nous le verrons ultérieurement (III.2.j) l'apparition de ce maximum coïncide avec la disparition totale des phosphates des couches superficielles du lac.

Par contre, lors de la stratification "inverse", si les eaux superficielles demeurent très riches en O_2 dissous, on observe dès 7 m de la surface, une diminution rapide des teneurs vers le fond qui aboutit à la fin de l'hiver à la disparition totale de cet élément de la couche la plus profonde du lac sur une couche d'environ 1 mètre. Ce phénomène, déjà observé sur le lac de Montriond, est la conséquence de la décomposition de la matière organique déposée sur les sédiments en automne et du non-renouvellement des eaux profondes en période hivernale du fait de son isolement thermique.

III.2.f - Transparence.

Les variations de la transparence, mesurée au disque de Secchi ainsi que la couleur des eaux du lac sont reportées sur le tableau n° 31.

	Octobre 1974	Janvier 1975	Avril 1975	Mai 1975	Juin 1975	Juillet 1975	Août 1975	Septembre 1975	Octobre 1975	Moyenne 1975
Transparence	0,50	2,70	1,70	3,20	0,80	2,60	1,30	0,50	2,70	1,80
Couleur	vert gris	vert	vert jaune	vert jaune	jaune vert	vert jaune	jaune	jaune jaune	vert jaune	

Tableau n° 31 : Variations de la transparence et de la couleur des eaux du lac de Vallon (1974-1975)

La transparence moyenne : 1,80 mètre est inférieure à celle de Montriond (2,95) et même à celle du Voua de la Motte (1,95). Mais contrairement à ce dernier, on observe au lac de Vallon des variations importantes dans le temps (de 0,5 à 3,20 mètres).

Il faut tenir compte qu'en raison du renouvellement rapide des eaux lacustres, le lac de Vallon présente parfois le comportement d'un grand cours d'eau et réagit rapidement au moindre épisode pluviométrique. Des deux valeurs minimales (0,5 m), l'une a été observée lors de la tombée des premières neiges en Octobre 1974, et l'autre pendant la période de crues automnales (Septembre 1975) et de ce fait doivent être attribuées aux matières en suspension qui résultent de l'érosion du bassin versant et qui sont transportées par les affluents en crue.

Il faut ajouter aussi que la surface du lac est constamment soumise à l'action des vents qui soufflent le plus souvent en direction du Sud-Est et qui provoquent un brassage mécanique régulier des eaux de surface (contrairement au lac de Montriond, qui pourtant n'est qu'à 12 km à l'Ouest, mais qui de par l'orientation de son bassin versant est beaucoup plus abrité de ces vents.

Lors de nos campagnes de prélèvements, en une seule occasion, la surface du lac nous est apparue calme (Mai 1975) alors qu'habituellement la surface du plan d'eau est agitée par des vaguelettes.

III.2.g - pH et conductivité.

Les variations des valeurs du pH du lac de Vallon sont peu importantes et ont un caractère semblable à celles observées pour Montriond (figure n° 35). Dès le mois de Juillet on observe un pH = 8 qui ne varie pratiquement pas en profondeur. Cet état se maintient jusqu'au début de l'hiver, quand le pH diminue de façon irrégulière : alors qu'il se maintient à 7,7 en surface, il atteint au fond du lac sa valeur minimale : 7,2 (Avril 1975).

La conductivité moyenne des eaux lacustres ramenée à 25°C est de 295 µmhos/cm, ce qui place le lac dans une position intermédiaire entre le Voua de la Motte (390 µmhos/cm) et Montriond (217 µmhos/cm).

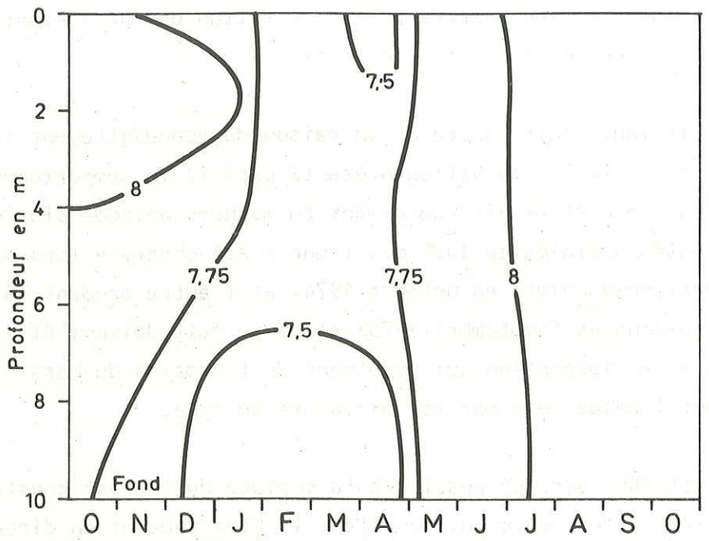


Fig. 35 : LAC DE VALLON - DISTRIBUTION DES VALEURS DU pH
Octobre 1974 - Octobre 1975

Les valeurs de la conductivité, réparties de façon homogène en profondeur pendant la plus grande partie de l'année, montrent en période de stratification "inverse" une augmentation très nette vers le fond du lac. (Le maximum observé est de 400 µmhos à environ 30 cm du fond en Avril 1975).

III.2.h - Caractères chimiques généraux.

La composition chimique des eaux du lac de Vallon qui suit de près celle de son affluent principal est comme les autres lacs de la région essentiellement bicarbonatée calcique. La succession des ions est la suivante (concentrations exprimées en meq/l) : HCO_3^- >> SO_4^{--} > Cl^- et Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ > K^+. La minéralisation totale des eaux qui est en moyenne de l'ordre de 260 mg/l apparaît légèrement supérieure à celle de Montriond (192 mg/l) mais demeure inférieure à celle du Voua de la Motte (370 mg/l).

Les rapports ioniques caractéristiques sont en moyenne :

$r\frac{Mg}{Ca} = 0,20$; $r\frac{Na}{Ca} = 0,015$; $r\frac{Na}{Mg} = 0,07$ et $r\frac{SO_4}{Cl} = 43,6$.

Exception faite de la dernière valeur qui est nettement supérieure à celle de Montriond, ce qui, comme nous l'avons précisé (III.1.e) est dû aux fortes concentrations en SO_4^{--} (21,2 mg/l) qui proviennent des sources du trias gypseux de la nappe des Préalpes, les autres rapports sont très semblables pour les deux lacs.

Les écarts maxima des valeurs mensuelles des concentrations à la moyenne annuelle sont : 18 % pour le Ca^{++}, 23 % pour le Mg^{++}, 15 % pour les HCO_3^- et 25 % pour le SiO_2.

Les teneurs moyennes en SO_4^{--} sont très variables, allant de 6 mg/l (Octobre 1974) à 34,7 mg/l (Octobre 1975).

Si pendant la plus grande partie de l'année il n'y a pas de variations significatives entre les teneurs en éléments dissous des eaux de surface et du fond, on observe lors de la stratification inverse une aug-

mentation très nette des concentrations de tous ces éléments dans la zone "isolée" (non renouvelée) du fond du lac.

	Octobre 1974	Janvier 1975	Avril 1975	Mai 1975	Juin 1975	Juillet 1975	Août 1975	Septembre 1975	Octobre 1975	Moyenne annuelle	%
Ca^{++} (mg/l)	51,6	63,0	48,36	44,93	46,68	49,73	55,83	55,5	64,6	53,14	20,7
Mg^{++} (mg/l)	5,36	6,99	5,69	6,26	5,83	6,99	7,38	6,18	8,09	6,53	2,5
Na^{+} (mg/l)	0,780	1,19	0,79	0,84	0,46	0,70	1,44	1,10	0,84	0,90	0,4
K^{+} (mg/l)	0,52	0,46	0,45	0,34	0,33	0,26	0,47	0,47	0,40	0,41	0,2
HCO_3^{-} (mg/l)	169,7	188,2	157,14	150,0	152,4	158,2	178,9	181,2	196,7	170,271	66,4
SO_4^{--} (mg/l)	6,01	34,10	17,7	17,45	15,84	21,16	27,18	17,13	34,68	21,25	8,3
Cl^{-} (mg/l)	0,53	0,72	0,52	0,26	0,31	0,18	0,25	0,39	0,48	0,36	0,1
NO_3^{-} (mgN/l)	0,17	0,24	0,27	0,25	0,21	0,14	0,17	0,15	0,18	0,20	-
N min. (mg/l)	0,209	0,263	0,312	0,276	0,251	0,169	0,236	0,170	0,240	0,236	0,1
PO_4^{---} (mgP/l)	0,001	0,002	0,001	0,013	0,005	0,002	0	0,009	0	0,004	-
P total (mg/l)	0,007	0,005	0,007	0,009	0,034	-	0,016	0,020	0,012	0,014	-
SiO_2 (mg/l)	2,34	2,94	2,23	1,98	1,99	2,08	2,41	2,49	2,69	2,35	0,9
COT (mg/l)		0,84	0,63	0,77	-	1,44	1,27	1,57	1,02	1,08	0,4
conductivité en µmhos/cm	278,2	324	285	275	248	277	301	301	366	295	
									TOTAL	255 mg/l	

Tableau n° 32 : Lac de Vallon. Composition chimique des eaux du lac (toutes les valeurs sont des moyennes des concentrations pondérées par le volume des différentes tranches d'eau dans lesquelles les prélèvements ont été réalisés.

En ce qui concerne les principaux éléments nutritifs, la moyenne annuelle des concentrations en azote minéral est de l'ordre de 230 µgN/l, représenté essentiellement sous forme de nitrates (200 µgN/l). La valeur moyenne du rapport $\frac{N\ (NO_3)}{N\ (NH_4)}$ est de 4,5 en surface, de 6,3 à 4 mètres et de 1,9 au fond (à environ 1 mètre des sédiments). C'est essentiellement en hiver, dans la couche non renouvelée du fond, que l'on observe de fortes concentrations en ions NH_4^+ (jusqu'à 850 µgN/l) qui résultent des phénomènes d'ammonisation de l'azote organique et minéral dans des conditions anaérobiques. En dehors de cette période les teneurs en NH_4^+ au fond sont de l'ordre de 50 µgN/l alors que celles en nitrites (NO_2) sont de 2 µgN/l et ne varient pratiquement pas dans le temps. Les nitrates par contre subissent des variations qui ont un caractère cyclique nettement prononcé. On observe (figure n° 36) un maximum des concentrations au dégel (Avril) puis une diminution progressive à toutes les profondeurs qui aboutit à un premier minimum en Juillet (140 µgN/l de (NO_3)). Après une légère augmentation au mois d'Août, on assiste à un second minimum au mois de Septembre (150 µgN/l) qui est suivi par une augmentation hivernale très nette.

050 033074 9

2 AVR. 1999

Ces minima correspondent à des périodes de "poussée planctonique". En effet dans les deux cas les concentrations en nitrates dans le lac sont nettement inférieures à celles de l'affluent principal et par conséquent ne peuvent être attribuées à un renouvellement rapide des eaux par des eaux plus pauvres en azote.

Il est intéressant de noter que la diminution des nitrates se fait sur toute la colonne d'eau ce qui nous amène à penser que la totalité de la masse d'eau peut être une zone trophogène.

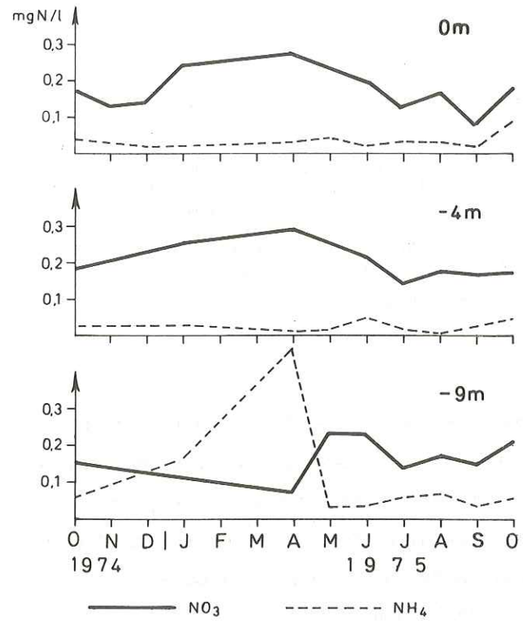


Fig. 36 : VARIATIONS DE L'AZOTE INORGANIQUE AUX DIFFERENTES PROFONDEURS DU LAC DE VALLON
(Point 2 - 1974-1975)

Les variations des phosphates (figure n° 37) dont la concentration moyenne est de 4 µgP/l ont un caractère tout aussi cyclique et une répartition très homogène des concentrations en profondeur. Pendant tout l'hiver ces valeurs sont à la limite de détection sur tout le profil

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GÉOLOGIE
DOCUMENTATION
15, RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TÉL. (33) 76 63 59 66
FAX (33) 76 87 82 43

(1-2 µgP/l). Le renouvellement des eaux à la fonte des neiges amène au mois de Mai la concentration en P (PO_4) à sa valeur maximale (17 µgP/l) puis on observe une diminution assez régulière (plus rapide en surface) qui aboutit à la disparition totale des phosphates au mois d'Août.

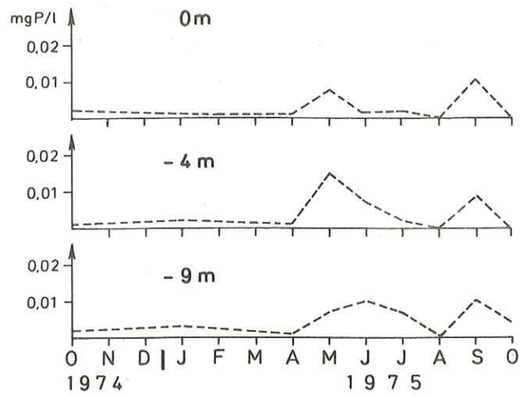


Fig. 37 : VARIATIONS DES ORTHO-PHOSPHATES AUX DIFFERENTES PROFONDEURS DU LAC DE VALLON
(Point 2 - 1974-1975)

Les crues de Septembre 1975 provoquent un deuxième maximum (10 µgP/l) qui est suivi par une nouvelle disparition du phosphore en Octobre, ce qui confirme la seconde poussée planctonique du mois de Septembre. Ces observations font apparaître le phosphore (PO_4) comme le facteur limitant principal au développement des producteurs primaires dans le lac de Vallon.

III.2.i - C.O.T.

Pour suivre l'évolution du carbone organique total, des échantillons d'eau ont été prélevés tous les mètres au droit du point le plus profond du lac (point nº 2, figure nº 33). Les analyses ont été réalisées sur des échantillons d'eau brute (non filtrée) (le C.O.T = C.O.D + C.O.P.)

Les variations des teneurs en C.O.T en profondeur et dans le temps (figure nº 38) sont semblables à celles du lac de Montriond : augmentation des concentrations dans la couche la plus profonde pendant la période de stratification inverse (voir II.2.k) et une distribution relativement homogène des valeurs en profondeur sur l'ensemble des profils pendant le reste de l'année (exception faite pour le mois de Juillet où l'on a observé une concentration très forte en C.O.T au fond du lac.

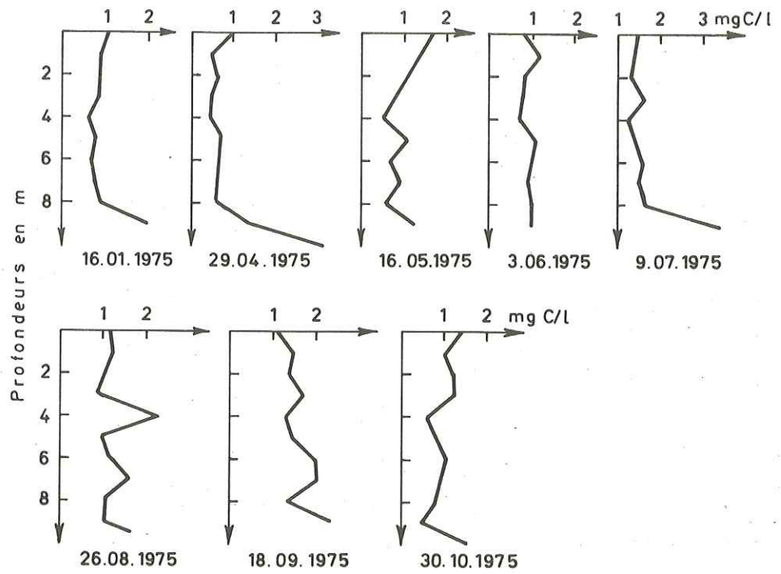


Fig. 38 : VALLON - VARIATIONS MENSUELLES DES TENEURS EN C. O. T. EN FONCTION DE LA PROFONDEUR.

L'évolution mensuelle des moyennes pondérées des concentrations en C.O.T (figure nº 39) montre deux maxima, en Juillet (1,4 mgC/l) et en Septembre (1,6 mgC/l) qui pourraient correspondre à des poussées planctoniques.

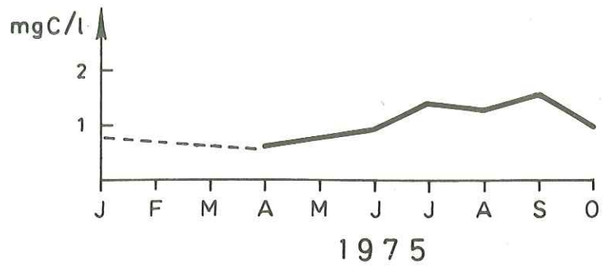


Fig. 39: EVOLUTION DE LA TENEUR MOYENNE EN C.O.T. DANS LES EAUX DU LAC DE VALLON

La valeur du C.O.T réfractaire au lac (valeur mensuelle minimale) qui est 0,6 mgC/l a été trouvée en Avril (après le dégel) et la moyenne annuelle des concentrations est de 1,1 mgC/l.

Bien que très semblables dans leurs évolutions, les eaux du lac de Vallon apparaissent légèrement plus chargées en substance organique que celles du lac de Montriond. Ceci est dû d'une part aux apports plus importants du Brévon et d'autre part à une production interne de C.O.T supposée légèrement supérieure (le maximum de Vallon est de 1,6 mgC/l contre 1,0 mgC/l au lac de Montriond).

En tenant compte des apports en C.O.T du Brévon, des variations mensuelles des teneurs dans le lac ainsi que du C.O.T évacué par l'émissaire nous avons essayé d'établir un bilan approximatif du carbone organique pendant la période estivale. Nos calculs sont basés sur quelques approximations :

- Le niveau du plan d'eau ne présentant pas de variations importantes, nous avons admis que le débit de l'émissaire Q_s est égal à la somme des débits des affluents ($\Sigma\ Q_E$).

- Le Q_E des apports a été estimé à partir des valeurs journalières de débit mesurées sur le Brévon, et majoré en tenant compte des apports non contrôlés (23 % des apports liquides).

- Pour chaque débit journalier de cette période, nous avons attribué la valeur du C.O.T du prélèvement mensuel, que nous considérons comme représentative pour l'ensemble du mois.

- La masse de C.O.T produite au sein du lac entre deux prélèvements (P_r) a été déterminée comme la différence entre la somme de la masse de C.O.T du lac présente lors du prélèvement i (M_i) et du C.O.T évacué entre les prélèvements i-1 et i (S) et la somme de la masse de C.O.T du lac lors du prélèvement i-1 (M_{i-1}) et des apports en C.O.T pendant la période située entre les prélèvements i-1 et i (E) :

$$P_r = M_i + S - (M_{i-1} + E)$$

- La masse de C.O.T produite au sein du lac, entre deux prélèvements, reportée sur une unité de surface du lac (m^2) et à une unité de temps (jours), exprime la production interne nette de C.O.T du lac en cette période.

La production interne nette de C.O.T représente donc la masse de C.O.T produite par unité de surface du lac (m^2) par jour qui se maintient dans les eaux lacustres. Elle tient compte des phénomènes simultanés de destruction et minéralisation des substances organiques qui se produisent au sein du lac.

- La masse totale de C.O.T du lac a été déterminée en multipliant la moyenne pondérée des concentrations par le volume du lac.

En tenant compte de ces considérations, on obtient les résultats suivants (tableau nº 33) :

	Masse de C.O.T. apportée par les affluents entre 2 prélèvements (kg)	Masse de C.O.T. contenue dans les eaux lacustres (kg)	Masse de C.O.T. évacuée par l'émissaire entre 2 prélèvements (kg)	Masse de C.O.T. produite par le lac (kg)	Vitesse d'apport en C.O.T. par unité de surface du lac $(g/m^{-2}.jour)$	Production interne de C.O.T. $(g/m^{-2}.jour)$	Vitesse d'évacuation en C.O.T. par unité de surface du lac $(g/m^{-2}.jour)$
3 Juin 1975	E	608	S	P_r	v_E	v_p	v_s
9 juillet 1975	6186	950	6872	1022	1,26	0,21	1,40
26 Août 1975	2422	838	3632	1092	0,36	0,16	0,55
18 Septembre 75	1383	1036	3659	2474	0,44	0,79	1,16
30 octobre 1975	1356	674	3185	1467	0,23	0,25	0,54

Tableau n° 33 : Lac de Vallon. Vitesse d'apport, vitesse d'évacuation et production interne nette de C.O.T. par unité de surface (en $g/m^{-2}.jour$)

Pour la période incluse entre le 3 Juin et le 30 Octobre 1975 la production interne nette de C.O.T est en moyenne de 0,29 gC/m^2/jour. La production la plus forte, observée entre le 26 Août et le 18 Septembre, est de 0,79 gC/m^2/jour pour cette période.

En tenant compte, d'une part que le temps de renouvellement des eaux est en moyenne de 26 jours en été et beaucoup plus court lors des crues de Septembre, et que les prélèvements ont été réalisés une fois par mois et à des dates irrégulières, et d'autre part des nombreuses approximations que nous avons dû admettre, il faut considérer les valeurs obtenues essentiellement comme des ordres de grandeurs. Néanmoins, on peut supposer qu'avec un échantillonnage régulier approprié au temps de renouvellement des eaux, on pourrait obtenir des valeurs de production avec une plus grande précision, et surtout de déterminer avec exactitude les sommets de la production interne de C.O.T d'un lac.

III.2.j - Géochimie des sédiments.

Les résultats des analyses physiques des sédiments, prélevés à l'aide d'une benne "Ekman" au point de prélèvement n° 2 (voir carte bathymétrique, page 90) sont reportés sur le tableau n° 34.

DATE	23.10.74		17.01.75		16.05.75		27.08.76	
Profondeur	densité humide	teneur en eau	densité humide	teneur en eau	densité humide	teneur en eau	densité humide	teneur en eau
0 - 3 cm	1,35	66	1,30	63	1,26	61	1,31	63
4 - 6 cm	1,44	57	1,41	53	1,39	57	1,27	57
8 -10 cm	1,35	50	1,42	51	1,41	52	1,44	51

Tableau n° 34 : Densité humide et teneur en eau dans les sédiments superficiels (0-10 cm) du lac de Vallon.
(Les teneurs en eau sont exprimées en % du poids du sédiment humide.

A cet endroit les sédiments du lac de Vallon sont extrêmement fins. La fraction fine (< 40 µ) représente environ 99,8 % du poids du sédiment sec. La densité moyenne est de 1,36 et la teneur moyenne en eau est 57 % du poids du sédiment humide.

La composition chimique des sédiments prélevés sur plusieurs niveaux à l'intérieur de la benne est reportée sur le tableau n° 35.

L'examen de ces résultats nous amène aux constatations suivantes :

- Les sédiments du lac de Vallon sont comme ceux du lac de Montriond pauvres en matières organiques. La perte à 550°C est en moyenne 6,7 % du poids du sédiment sec (4 à 9,4 %) ce qui, comme nous l'avons précisé, revèle de bonnes conditions de minéralisation au fond du lac.

- Les sédiments du lac de Vallon sont plus riches en carbonates. La différence entre la perte à 550°C et à 1000°C, qui correspond au CO_2 produit par la dissociation des carbonates est de 10 % contre 2,8 % à Montriond. D'autre part le CaO représente 11,5 % de la fraction minérale des sédiments contre 2,5 % à Montriond, ce qui nous laisse supposer que ces carbonates sont essentiellement sous forme de $CaCO_3$.

Profondeur	23.10.74 Surface 0-3 cm	4-6 cm	8-10 cm	16.01.75 Surface 0-3 cm	26.08.75 Surface 0-3 cm	4-6 cm	8-10 cm	Moyenne pour la couche 0-10 cm (1)	% de la fraction minérale
SiO_2	43,26	43,57	46,21	51,58	42,40	-	51,60	46,4	49,7
CaO	13,34	11,72	10,14	9,85	12,90	9,69	12,55	11,5	12,3
Al_2O_3	10,52	10,98	12,11	12,05	11,99	10,60	13,37	11,6	12,4
Fe_2O_3	3,69	3,98	4,09	5,00	2,30	1,90	4,60	3,6	3,8
MgO	3,05	2,70	2,31	2,20	1,96	1,66	1,97	2,3	2,5
K_2O	2,00	1,97	2,06	2,00	1,60	1,34	1,56	1,8	1,9
P_2O_5	0,157	0,183	0,182	0,179	0,249	0,147	0,161	0,180	0,19
TiO_2	0,79	0,72	0,71	0,78	0,57	0,50	0,69	0,7	0,75
Na_2O	0,38	0,41	1,42	0,45	0,46	0,34	0,50	0,6	0,64
MnO	0,11	0,09	0,17	0,14	0,13	0,08	0,06	0,1	0,11
perte à 550°C	6,35	7,70	9,20	9,40	5,20	5,40	3,60	6,7	
perte à 1000°C	17,55	18,15	16,35	16,15	17,0	16,0	14,6	16,5	17,6
TOTAL	94,83	94,47	95,75	100,28	91,6	-	101,97	95,28	

Tableau n° 35 : Composition chimique des sédiments superficiels (0-10 cm) du lac de Vallon. (Valeurs exprimées en % par rapport au sédiment séché à 105° et en % de la fraction minérale.

- La fraction minérale des sédiments est constituée essentiellement de silice (50 % de SiO_2), aluminium (12,4 % de Al_2O_3 et de CaO.

Les rapports $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = 3,2$ et $\frac{SiO_2}{Al_2O_3} = 4$ sont assez proches de ceux déterminés à Montriond et dans les suspensions de la Dranse et du Rhône (voir page 70). Les sédiments du lac de Vallon sont donc comme à Montriond un mélange d'alumino-silicates qui proviennent de l'érosion du bassin versant du lac, et de $CaCO_3$. En effet le lac peut être considéré comme un bassin de décantation dans lequel viennent se déposer les suspensions des rivières en crue.

Milieu interstitiel.

Les observations faites sur les concentrations des éléments majeurs des eaux interstitielles se confirment à Vallon. Les teneurs en Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+} et K^{+} sont environ deux fois plus importantes dans les eaux interstitielles que dans les eaux lacustres. Les teneurs en NH_4^{+} sont en moyenne de 4,3 mgN/l et celles du P total étaient de 135 µgP/l en Octobre 1974 et de 4 µgP/l en Janvier 1975. La teneur en carbone organique, dosé sur les échantillons d'eau interstitielle en Janvier était en moyenne de 14 mgC/l. Il faut tenir compte que lors de l'extraction des eaux du sédiment, celles-ci ont été filtrées sur des membranes à 0,45 µ et le carbone ainsi déterminé représente uniquement le C.O.D (carbone organique dissous).

RESUME

Le lac de Vallon est un lac de barrage, créé à la suite d'un glissement de terrain argileux qui a obstrué complètement la vallée du Brévon en Mars 1943. L'imperméabilité de ce barrage naturel, ainsi que le fonctionnement permanent d'un émissaire aérien font que les variations du plan d'eau sont insignifiantes.

Le lac est alimenté essentiellement par le Brévon qui est un torrent de montagne à régime nivo-pluvial dont le débit spécifique a été pour la période d'Octobre 1974-Octobre 1975 de 54 l/s/km².

Le temps de renouvellement moyen des eaux lacustres ($\frac{V}{Q}$) est d'environ 10 jours et varie suivant les apports des affluents de 1 à 26 jours.

Le régime thermique du lac, largement influencé par le Brévon, est du type dimictique de second ordre qui a une période de gel qui dure de 5 à 6 mois.

Les eaux du lac, dont le pH varie entre 7,25 et 8 sont bien oxygénées et la répartition verticale de l'O_2 dissous est très homogène.

Ce n'est qu'en période hivernale que l'on observe un déficit important d'oxygène dans la couche la plus profonde du lac.

La composition chimique des eaux lacustres est essentiellement bicarbonatée-calcique. La succession des ions est la suivante (en meq/ℓ): HCO_3^- >> SO_4^{--} > Cl^- et Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ > K^+. La minéralisation totale des eaux est de l'ordre de 260 mg/ℓ et varie assez largement suivant celle des affluents (de 222 à 309 mg/ℓ).

La concentration moyenne en azote minéral est de 230 µgN/ℓ dont 200 µgN/ℓ sous forme de NO_3 et celle du phosphore total de 14 µgP/ℓ dont 4 µgP/ℓ sous forme d'orthophosphates (PO_4). Du fait de leur disparition totale pendant les mois d'Août et d'Octobre les phosphates apparaissent comme un facteur limitant important à la production primaire du lac.

Tout comme les eaux du lac de Montriond, celles de Vallon sont pauvres en substances organiques. La moyenne annuelle des concentrations en carbone organique total (C déterminé sur eaux non filtrées donc C.O.T = C.O.D + C.O.P) (*) est de 1,1 mgC/ℓ. La valeur du C.O.T réfractaire au lac (valeur mensuelle minimale) est de 0,6 mgC/ℓ.

L'établissement du bilan estival du C.O.T des eaux du système lacustre nous a permis une estimation de la production interne nette de C.O.T. (La production interne nette d'un lac est la masse de carbone organique (dissous et particulaire) produite par unité de temps (jour) et par unité de surface du lac (m^2) qui se maintient dans les eaux lacustres. Elle tient compte des phénomènes simultanés de minéralisation qui se produisent au sein du lac).

(*) C.O.D = Carbone organique dissous.
C.O.P = Carbone organique particulaire.

Pour la période incluse entre le 3 Juin et le 30 Octobre 1975 la production interne nette de C.O.T est en moyenne de 0,29 gC/m^2/jour. La production la plus forte a été observée entre le 26 Août et le 18 Septembre (en moyenne 0,79 gC/m^2/jour).

Les sédiments du lac de Vallon, qui sont extrêmement pauvres en matière organique (6 %) sont essentiellement d'origine terrigène et apportés au lac par les affluents.

En fait le lac de Vallon peut être considéré pendant certaines périodes de l'année (printemps, automne) comme un élargissement d'un cours d'eau bien plus que comme un lac. Son comportement lacustre se manifeste essentiellement en hiver, quand le temps de renouvellement des eaux est le plus long (26 jours) et que les eaux sont bien stratifiées (stratification inverse) et en été (fin Juin, Juillet et Août), la stratification n'est pas très prononcée mais l'évolution de certains paramètres (O_2, N, P, carbone organique) révèle un caractère lacustre certain.

Du fait de son renouvellement rapide, des teneurs élevées en oxygène dissous, des faibles valeurs du C.O.T réfractaire des eaux (0,6 mgC/ℓ) et du peu de matière organique dans les sédiments, le lac de Vallon peut être considéré comme un lac oligotrophe dynamique (B. DUSSART, 1952).

LAC DE ROI

IV. - LAC DE ROI (1659 m)

IV.1. - BASSIN-VERSANT.

IV.1.a - Cadre géographique et morphométrie.

Situé à environ 45 km au Sud de Thonon, le lac de Roi occupe le cirque d'un ancien glacier suspendu très au-dessus de la vallée du Praz-de-Lyz. Les points dominants du bassin sont : la pointe du Haut Fleuri (1980 m) et à l'Ouest la pointe de Perret (1939,9 m). Les coordonnées Lambert du lac sont : x = 927,19 ; y = 135,81 (carte au 1/20.000e Samoëns n° 6).

Les principales caractéristiques morphométriques du bassin d'alimentation du lac de Roi sont reportées sur le tableau n° 36.

A	Superficie (ha)	70,8
L	Périmètre (km)	4
h_m	Altitude maximum	1980
$\bar{h}$	Altitude moyenne	1733
h	Niveau du plan d'eau	1659
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,34
$\bar{P}$	Pluviométrie annuelle (mm)	1755
$\bar{T}°C$	Température moyenne annuelle (°C)	0,82

Tableau n° 36 : Caractéristiques générales du bassin versant du lac de Roi

Les valeurs du module pluviométrique ($\bar{P}$) ainsi que de la température moyenne annuelle ont été calculées d'après les données climatologiques de la station de Terramont en utilisant les gradients altimétriques locaux des précipitations et de la température (voir page 39).

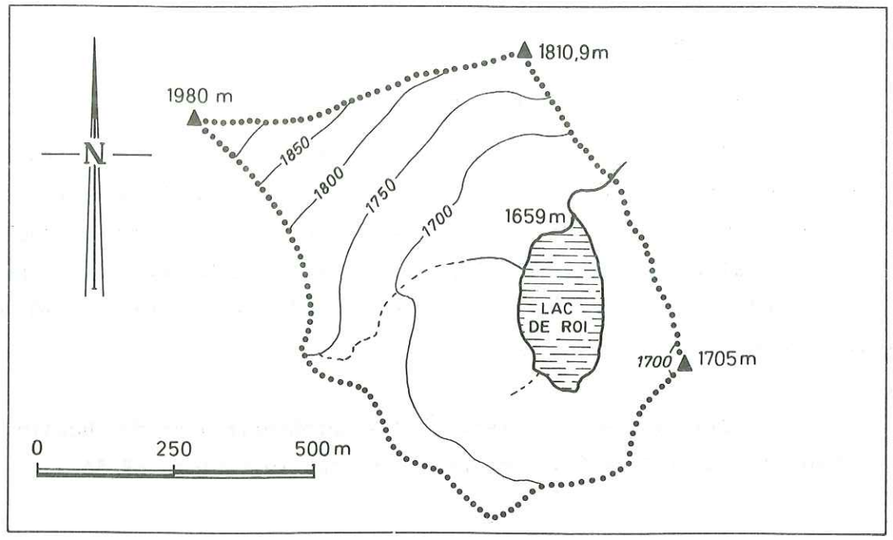


Fig. 40 : CARTE TOPOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE ROI

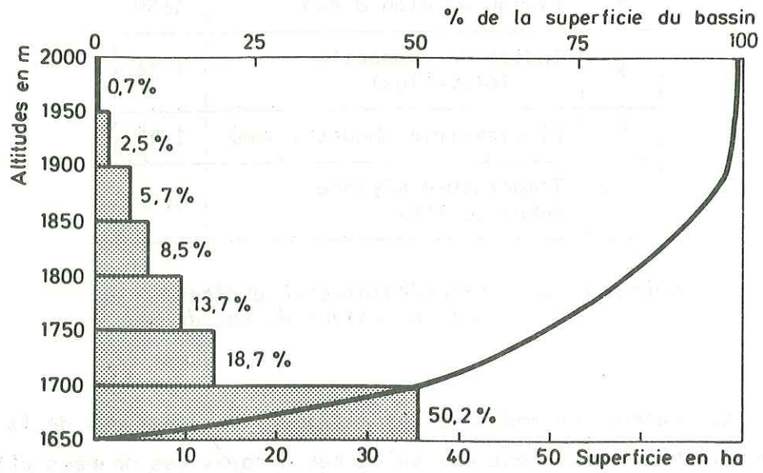


Fig. 41 : COURBE HYPSOMETRIQUE ET FREQUENCES ALTIMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DU LAC DU ROI

IV.1.b - Géologie.

Le bassin d'alimentation du lac de Roi est entièrement situé sur des affleurements de la nappe de la Brêche du Chablais. Ce sont (figure nº 42) :

- La Brêche inférieure : affleurant sur toute la partie Ouest du bassin (environ 50 % de la superficie), elle est constituée de nombreux bancs de brêche intercalés de bancs calcaires spathiques, de calcaires marneux gris et noir et de calschistes. Les éléments de la brêche (calcaire dolomitique, dolomie saccharoïde, calcaire bleu et autres) atteignent des dimensions considérables (W.J. SCHROEDER, 1939, signale un élément de 8 x 2 m). Le ciment, quand il existe, est constitué de calcaire échinodermique ou de schiste marneux.

- Les schistes ardoisiers : recouvrant environ 20 % de la surface du bassin, ils sont formés d'une alternance de bancs de brêche moins abondants que dans la brêche inférieure, de microbrêche, de calcaires échinodermiques, de calcaires gréseux et de schistes gris, bruns, bleu-noir et versicolores.

Ils sont riches en fer et contiennent des nodules ferrugineux, lourds et compacts, de couleur brun-foncé.

Les schistes, qui sont l'élément le plus abondant du faciès schistes-ardoisiers, sont essentiellement calcaires, toujours un peu détritiques et contiennent des grains de quartz et de muscovite.

Les brêches des schistes ardoisiers dont les éléments ne dépassent que rarement 15 cm sont constituées de calcaires dolomitiques, de calcaires gréseux, de quartzites blancs et de débris de roches phylliteuses. Le ciment est en général un calcaire bien cristallisé.

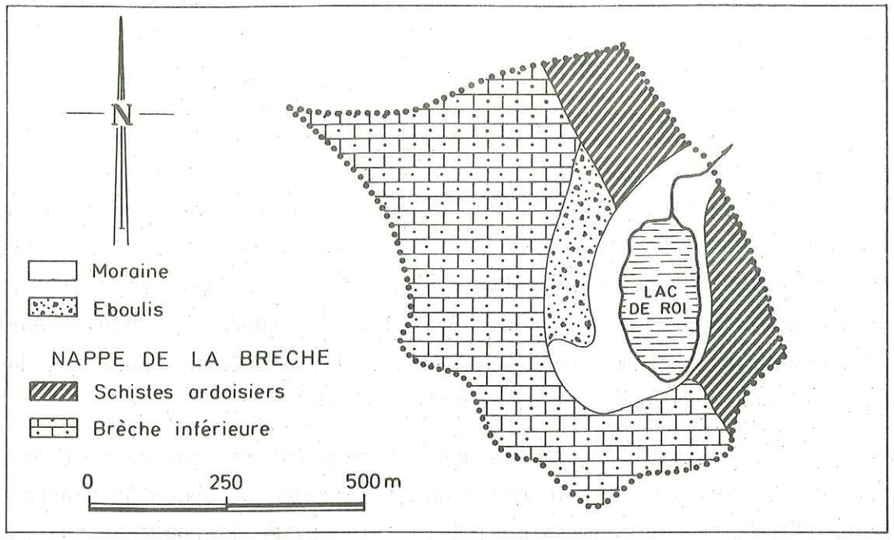


Fig. 42 : ESQUISSE GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE ROI

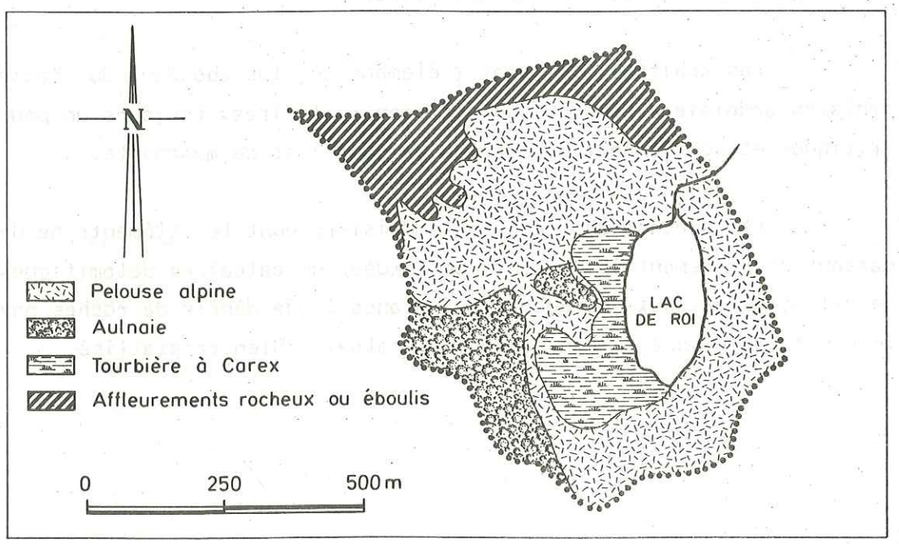


Fig. 43 : CARTE DE LA VEGETATION DU BASSIN VERSANT DU LAC DE ROI

IV.1.c - Couverture végétale.

La plus grande partie du bassin versant (60 % de la superficie) est recouverte d'alpage où l'on retrouve par plaques du Rhododendron et des myrtilles. Dans la partie Sud-Ouest du bassin (figure n° 43) une aulnaie dont la forme arbustive des arbres ne dépasse pas 3-4 mètres recouvre environ 15 % de la superficie. Entre l'aulnaie et le lac se trouve une tourbière dont la couverture végétale est composée essentiellement de carex.

IV.2. - LE LAC.

IV.2.a - Origine, morphométrie et bathymétrie.

La présence de moraine dans toute la partie inférieure du bassin ainsi que la situation de la cuvette dans le cirque indiquent l'origine glaciaire du lac de Roi.

Les principales caractéristiques de ce dernier sont reportées sur le tableau n° 37.

h	Altitude (m)	1659
A	Superficie (ha)	3,52
l	Longueur (m)	318
$\bar{b}$	Largeur moyenne (m)	111
V	Volume (m^3)	130 600
Z_m	Profondeur maximum (m)	11,3
$\bar{Z}$	Profondeur moyenne (m)	3,7
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,15
h (x)	Fluctuation du niveau du lac	nulle
L	Périmètre (km)	0,765
-	Période moyenne de gel	octobre-fin mai
τ	Temps de renouvellement moyen	2 mois
A/A'	Rapport superficie : lac/bassin total	5,0 %

Tableau n° 37 : Caractéristiques générales du lac de Roi

La carte bathymétrique du lac (figure nº 44) a été réalisée pendant le mois de Juin 1975. Elle révèle une cuvette de forme régulière avec un replat central dont la profondeur est de 11,3 mètres qui est entièrement recouvert de sédiment fin.

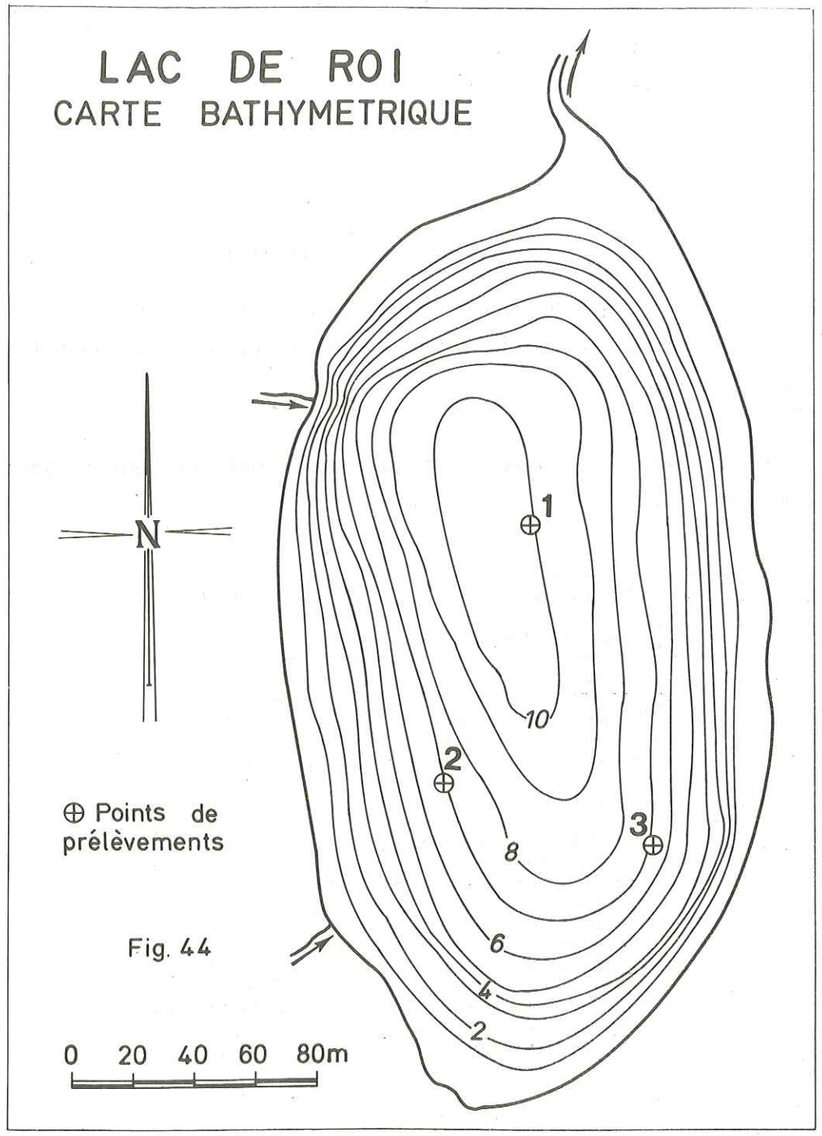


Fig. 44

IV.2.b - Mode d'alimentation et temps de renouvellement des eaux.

Le lac de Roi est essentiellement alimenté par les eaux de fonte des neiges. En effet le lac n'a pas d'affluent permanent. Les trois petits cours d'eau qui se jettent dans le lac et dont le débit n'excède pas 10 l/s pendant la période hivernale (sous la neige) sont secs dès la fin du mois de Juillet. Dans ces conditions il nous est impossible d'établir un bilan hydrique. Pour avoir une idée du temps de renouvellement possible des eaux du lac nous avons utilisé le débit spécifique moyen calculé pour les Préalpes du Chablais et qui est 41 l/s/km^2 (E. SIWERTZ et al., 1974). En divisant le volume du lac par la valeur des apports théoriques mensuels on obtient un temps de renouvellement théorique de 2 mois. D'autre part, en utilisant le débit spécifique de la période de la fonte des neiges calculé sur les lacs de Montriond et Vallon (135 l/s/km^2) dont l'altitude moyenne des bassins versants est proche de 1500 mètres, on obtient un temps de renouvellement des eaux de 10 jours pour cette période. Même si ces chiffres ne sont qu'approximatifs, ils nous indiquent la possibilité théorique de plusieurs renouvellements des eaux pendant l'année. En tenant compte de l'isothermie printanière (voir IV.2.c), de l'homogénéisation de la conductivité et l'oxygénation des couches profondes en cette même période (voir IV.2.d et figure nº 45) on peut affirmer qu'il se réalise plusieurs renouvellements complets des eaux à la fonte des neiges.

IV.2.c - Régime thermique.

La surface du lac de Roi gèle généralement vers le milieu du mois d'Octobre et se maintient dans cet état jusqu'à la fin du mois de Mai. Le 22 Janvier 1975 sous 80 centimètres de glace, les eaux lacustres accusaient une stratification inverse très nette avec des températures de 4,9ºC au fond. Dès le dégel on observe une homogénéisation thermique à 4ºC puis un réchauffement rapide des couches de surface. Pendant le mois de Juillet apparaît une stratification normale bien prononcée avec une thermocline située entre 3 et 5 mètres. Cette stratification bien que moins nette se

prolonge jusqu'à la fin du mois d'Août. Le réchauffement plus lent des couches profondes et la diminution des valeurs de la température en surface vers la fin de l'été provoquent une homothermie qui se prolonge jusqu'au gel.

Le lac de Roi est un lac dimictique avec une longue période de stratification inverse, deux isothermies et une stratification normale brève mais bien prononcée.

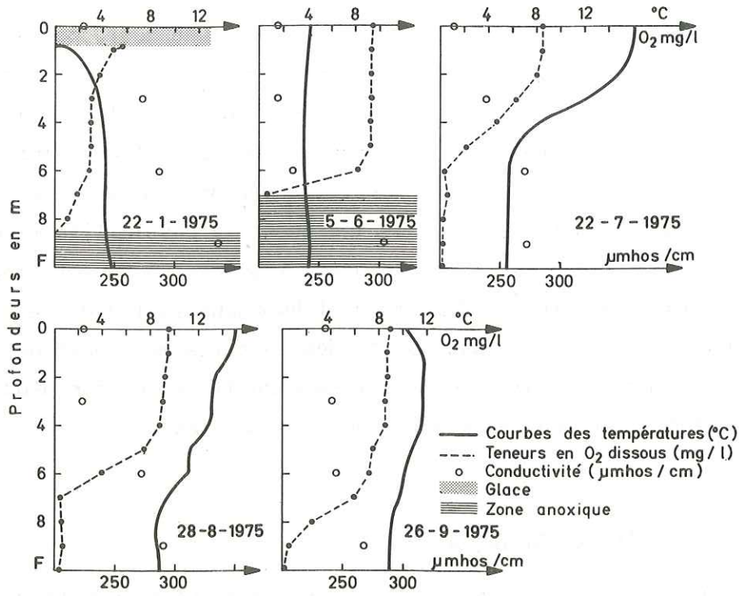


Fig. 45 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE, DE LA CONDUCTIVITE ET DE LA TENEUR EN OXYGENE DANS LES EAUX DU LAC DE ROI

(Janvier - Septembre 1975)

IV.2.d - Oxygène dissous et conductivité.

Les variations de la teneur en oxygène dissous ainsi que de la conductivité des eaux du lac de Roi sont reportées sur la figure n° 45. On observe, pendant la période hivernale, une stratification très nette des eaux avec des valeurs de conductivité qui vont de 220 µmhos/cm en surface à 327 µmhos/cm au fond. En même temps les eaux sont sous-oxygénées en surface (7 mg/l de O_2 sous la glace) et l'oxygène disparaît entre 7 et 8 mètres de profondeur. Après la période d'isothermie printanière et pendant l'été les valeurs de la conductivité sont plus homogènes sur toute la profondeur avec toujours une légère augmentation de ces valeurs vers le fond.

En Juin, lors de l'homogénéisation thermique à 4°C le mélange vertical des eaux n'est effectif que dans la couche superficielle (0-7 m). La présence d'oxygène dissous au fond du lac en Juillet, bien qu'en quantité limitée, résulte d'un mélange partiel des eaux du fond avec les eaux de la fonte des neiges qui continuent à affluer après les premiers réchauffements des couches superficielles.

IV.2.e - Transparence.

	22.01.75	05.06.75	22.07.75	28.08.75	26.09.75
Transparence (m)	2,3	0,7	3,8	5,2	5,5
Couleur	-	jaune	vert-jaune	vert-jaune	vert-vert

Tableau n° 38 : Transparence et couleurs des eaux du lac de Roi (1975)

Les valeurs de la transparence du lac de Roi, évaluées au cours des 5 campagnes de prélèvements sont reportées sur le tableau n° 38.

En règle générale, la transparence des eaux est en relation étroite avec le développement du phytoplancton (J. CAPBLANC, H. LAVILLE, 1968) mais dans le cas du lac de Roi, la valeur extrême du mois de Juin (0,7 mètre) observée en période d'isothermie, (4°C) à la fonte des neiges, doit être attribuée aux nombreuses matières en suspension qui troublent la transparence de l'eau et lui confèrent une couleur jaunâtre.

IV.2.f - pH.

En hiver les eaux de surface ont un pH légèrement alcalin (figure n° 46) alors qu'au fond les phénomènes de décomposition et minéralisation de la matière organique amènent le pH à des valeurs inférieures à 7.

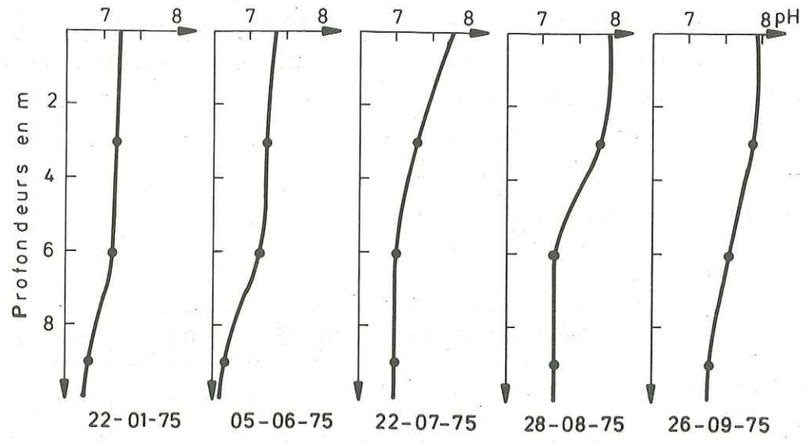


Fig. 46 : VARIATIONS DES VALEURS DU pH DES EAUX DU LAC DE ROI (1975)

Dès le réchauffement estival des eaux, on observe dans les couches superficielles, une augmentation très nette du pH qui atteint en Août et Septembre une valeur proche de 8 en surface. Ceci peut être dû à

la consommation du CO_2 par le phytoplancton dans les couches superficielles (0-6 m) qui provoque l'alcalinisation des eaux. En cette même période les eaux du fond ont un pH voisin de la neutralité.

IV.2.g - Caractères chimiques généraux.

La minéralisation totale des eaux du lac de Roi est de l'ordre de 220 mg/l. La succession des ions (exprimée en meq/l) est la suivante : $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+}$ et $HCO_3^{-} > SO_4^{--} > Cl^{-}$. Les rapports ioniques caractéristiques sont : $r\frac{Mg}{Ca} = 0,33$; $r\frac{Na}{Ca} = 0,012$; $r\frac{Na}{Mg} = 0,037$ et $r\frac{SO_4}{Cl} = 14,6$

La composition chimique des eaux du lac de Roi est assez proche de celle des eaux du lac de Montriond, dont le bassin, tout comme celui de Roi, est situé sur des affleurements de la nappe de la brêche du Chablais.

Les moyennes pondérées des concentrations mensuelles en éléments majeurs (Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+}) ainsi que les HCO_3^{-} ne subissent pas pendant l'année de variations importantes (voir tableau n° 39). Par contre les teneurs en SiO_2 diminuent considérablement en été. De 3 mg/l au mois de Janvier, la concentration moyenne passait à 1,7 mg/l de SiO_2 au mois de Septembre 1975.

En ce qui concerne la répartition verticale de ces éléments, nous avons observé des différences notables des concentrations aux différentes profondeurs : les analyses du 22.01.75 ont révélé des concentrations en Ca^{++} de 38,7 mg/l en surface et 51,1 mg/l au fond. Pour les Mg^{++} et HCO_3^{-} ces valeurs sont respectivement de 7,99 et 11,50 mg/l et de 155,7 et 237 mg/l.

Cette stratification chimique qui est très nette en hiver, persiste mais de façon beaucoup moins prononcée pendant la période estivale.

Les sulfates par contre ont tendance à diminuer en profondeur (surtout en hiver). Ce phénomène déjà observé dans les eaux du Voua de la Motte (voir I.2.h, page 16) doit être attribué à la réduction des SO_4^{--} dans des conditions anaérobiques du fond du lac.

	Janvier 1975	Juin 1975	Juillet 1975	Août 1975	Septembre 1975	Moyenne annuelle	%
Ca^{++} (mg/l)	44,48	40,30	40,43	39,65	39,93	40,95	18,4
Mg^{++} (mg/l)	9,46	7,59	7,84	7,97	8,14	8,20	3,7
Na^{+} (mg/l)	0,41	0,28	0,53	0,96	0,73	0,58	0,3
K^{+} (mg/l)	0,40	0,28	0,31	0,41	0,38	0,36	0,2
HCO_3^{-} (mg/l)	185,8	153,5	162,3	160,11	162,49	164,84	74,1
SO_4^{--} (mg/l)	2,65	2,13	2,10	3,24	3,78	2,78	1,2
Cl^{-} (mg/l)	0,20	0,21	0,22	0,03	0,08	0,14	0,1
NO_3^{-} (mgN/l)	0,12	0,30	0,22	0,11	0,15	0,18	
N min. (mg/l)	0,499	0,527	0,539	0,325	0,288	0,436	0,2
PO_4^{---} (mgP/l)	0,002	0,003	0,011	0,038	0,008	0,012	
P total (mg/l)	0,009	0,003	0,021	0,055	0,019	0,021	
SiO_2 (mg/l	3,07	2,48	2,87	2,21	1,77	2,48	1,1
COT (mg/l)	1,93	0,65	1,05	1,61	3,17	1,68	0,8
conductivité en $\mu mhos/cm^{-1}$	270,09	228,01	243,55	247,59	243,53	246,55	
					TOTAL	221 mg/l	

Tableau n° 39 : Lac de Roi. Composition chimique des eaux du lac (toutes les valeurs sont des moyennes des concentrations pondérées par le volume des différentes tranches d'eau dans lesquelles les prélèvements ont été réalisés.

L'azote. La teneur moyenne (*) des eaux du lac de Roi en azote minéral est de l'ordre de 440 µgN/l dont 250 µgN/l sous forme de ions (NH_4^{+}) et 180 µgN/l sous forme de nitrates. Les concentrations en azote nitreux (NO_2) sont de l'ordre de 4 µgN/l.

(*) *Moyenne de 5 valeurs mensuelles (Janvier, Juin, Juillet, Août et Septembre.*

En réalité les variations de l'azote aux différentes profondeurs et dans le temps sont assez importantes et étroitement liées au mode d'alimentation du lac et à son régime thermique.

En hiver, alors que les eaux lacustres présentent une stratification thermique "inverse" bien prononcée et qu'une zone anoxique importante existe au fond du lac, le rapport $\frac{N\ (NO_3)}{N\ (NH_4)} = 0,38$ pour l'ensemble du lac. Au fond on note la disparition des nitrates alors que les concentrations en N (NH_4) atteignent 1,4 mgN/l.

Dès le dégel, alors que se poursuit le renouvellement des eaux (5 Juin 1975) et que les teneurs en N (NH_4) demeurent encore importantes au fond du lac (0,8 mgN/l) le rapport $\frac{N\ (NO_3)}{N\ (NH_4)}$ devient 1,36 sur l'ensemble du lac. C'est en cette période que les valeurs maximales des concentrations en N (NO_3) des couches superficielles ont été déterminées (0,35 mgN/l en surface).

Pendant la période estivale, la consommation des nitrates par les végétaux primaires dans les couches superficielles provoque une diminution régulière de leurs concentrations qui atteignent leurs valeurs minimales à la fin du mois d'Août (0,11 mgN/l de NO_3^{-}).

Simultanément on observe une diminution notable des teneurs en N (NH_4) au fond du lac (0,41 mgN/l de NH_4^{+} au mois d'Août). Il faut rappeler que pendant toute la période estivale on note la présence, bien qu'en quantité réduite, d'oxygène dissous au fond du lac. On peut donc supposer qu'il se produit une oxydation des formes réduites de l'azote, qui sont ensuite utilisées comme éléments nutritifs par les végétaux (l'utilisation directe de l'azote sous forme de N (NH_4) par certains végétaux est également possible).

Néanmoins du fait de sa présence constante l'azote ne peut en aucun cas être un facteur limitant à la production primaire du lac.

Le phosphore. La concentration moyenne en phosphore total est de l'ordre de 21 µgP/l dont 12 µgP/l sont sous forme d'orthophosphates. Comme l'azote le phosphore subit des variations importantes dans le temps, mais la répartition verticale des concentrations demeure homogène.

En hiver, et même après le renouvellement des eaux du mois de Juin les teneurs en P (PO_4) sont à la limite de détection (0,001 mg). Dès le mois de Juillet on observe un phénomène que nous ne nous expliquons pas : alors que comme nous l'avons vu les nitrates diminuent régulièrement, et comme nous le verrons ci-après le C.O.T qui est le produit de l'activité biologique du lac augmente, les teneurs en P (PO_4) (ainsi que celles du P total) augmentent pendant les mois de Juillet (11 µgP/l de PO_4^{--}) et Août (38 µgP/l de PO_4^{--}) et demeurent au mois de Septembre relativement élevées (9 µgP/l de PO_4^{--}). Le fait que ces valeurs aient été déterminées sur 4 niveaux différents lors de 3 campagnes de prélèvements espacées d'un mois (soit 12 échantillons) nous permet d'écarter l'hypothèse d'erreurs dues à des perturbations dans le déroulement des analyses.

C.O.T. Les teneurs en carbone organique total ont été déterminées comme celles des autres lacs sur des échantillons d'eau brute (non filtrée) prélevés tous les mètres sur le droit du point le plus profond du lac (point nº 1 sur la carte bathymétrique).

Les variations des teneurs en carbone organique total aux différentes profondeurs du lac lors des 5 campagnes de prélèvements sont reportées sur la figure nº 47.

Comme dans les autres lacs, on observe lors de la période de stratification inverse une brusque augmentation des teneurs en C.O.T dans la couche la plus profonde du lac (4,25 mgC/l). Sur le reste des profils la distribution verticale des concentrations est plus homogène.

...

...

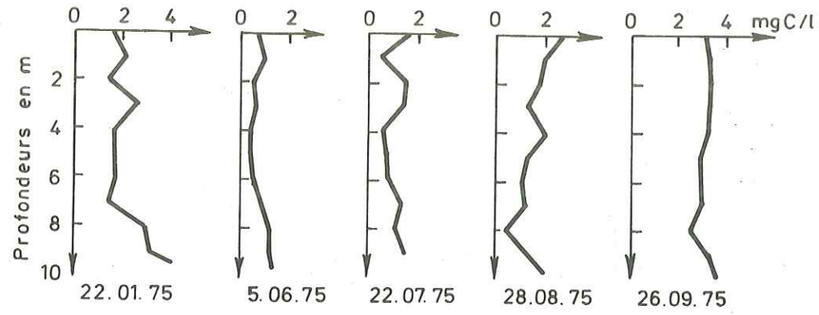


Fig. 47 : LAC DE ROI - VARIATIONS DES TENEURS EN C.O.T. EN FONCTION DE LA PROFONDEUR. (1975)

L'évolution des moyennes pondérées des concentrations en C.O.T est reportée sur la figure nº 48.

Après la période hivernale où la teneur moyenne du C.O.T était de 1,9 mg/l, on observe lors du dégel que le lac est peu chargé en substances organiques. C'est en cette période (5 Juin) qu'a été déterminé le C.O.T réfractaire au lac : 0,65 mg/l (valeur minimale des moyennes pondérées des concentrations en C.O.T).

Dès le mois de Juillet et pendant toute la période estivale les teneurs moyennes en C.O.T augmentent progressivement jusqu'à la valeur extrême du mois de Septembre (3,2 mg/l).

Cette augmentation estivale qui coïncide avec la très nette diminution des teneurs en azote minéral des eaux lacustres, est due essentiellement aux produits de l'activité biologique du lac. En effet comme nous l'avons précisé dès la fin du mois de Juillet, les petits affluents du lac sont asséchés et par conséquent on peut admettre que les apports externes sont nuls. Par contre la valeur du mois de Septembre a été déterminée après

les fortes précipitations du début de ce mois (1975) et inclue le C.O.T lessivé du bassin versant par les eaux de ruissellement.

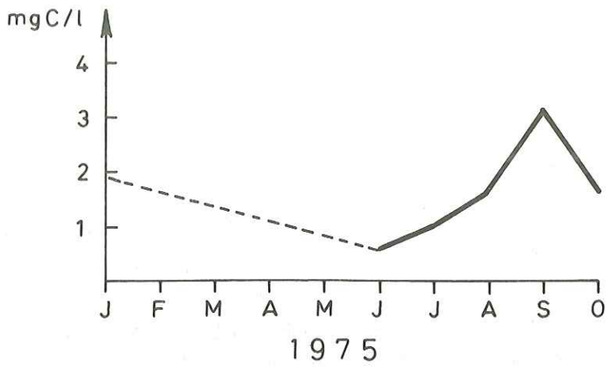


Fig. 48 : EVOLUTION DE LA TENEUR MOYENNE EN C.O.T. DANS LES EAUX DU LAC DE ROI

La valeur mensuelle maximale des teneurs en C.O.T du lac de Roi (3,2 mg/l) apparaît nettement supérieure à celle de Montriond (1 mg/l) et de Vallon (1,6 mg/l). Mais ceci n'implique pas obligatoirement une production interne de C.O.T plus intense que dans ces deux derniers lacs. En effet dans le cas du lac de Roi, l'augmentation des teneurs en C.O.T résulte essentiellement de l'incapacité du lac à évacuer ses déchets organiques en cette période. (Pour la période incluse entre le 22 Juillet au 22 Août en admettant que dans l'équation de la page 104 : E = S = 0, on obtient une production interne de l'ordre de 0,1 g/m^2/jour qui est du même ordre de grandeur que celle du lac de Vallon pour cette même période). Pour le mois de Septembre nous ne possédons pas suffisamment de données pour établir un bilan du C.O.T.

Comme nous l'avons précisé, le lac gèle vers le milieu du mois d'Octobre, donc avec des eaux riches en C.O.T. En hiver les processus de décomposition et de minéralisation, bien que freinés par l'absence de O_2 dans les couches profondes, prédominent largement la production de matière organique. Les concentrations en C.O.T ont tendance à diminuer.

Mais les valeurs extrêmes ont été observées après le dégel. En effet en cette période de fonte des neiges le renouvellement rapide des eaux (τ = 5 jours) permet l'évacuation des substances organiques non minéralisées accumulées dans le lac. On peut supposer que la valeur du C.O.T réfractaire au lac (0,65 mg/l) est la teneur des eaux de fonte des neiges qui correspond à l'état actuel du bassin versant.

IV.2.h - Les sédiments.

Deux séries d'échantillonnages ont été effectuées dans les sédiments du lac de Roi pendant les mois de Janvier et Août 1975. Les résultats des analyses physiques réalisées sur des échantillons prélevés à 3 niveaux à l'intérieur d'une benne Ekman sont reportés sur le tableau n° 40.

	22.01.75		28.08.75	
Profondeur	Densité humide	Teneur en eau (%)	Densité humide	Teneur en eau (%)
0- 3 cm	1,09	75	1,20	72
5- 8 cm	1,11	84	1,15	76
10-13 cm	1,11	83	1,19	74

Tableau n° 40 : Densité humide et teneur en eau dans les sédiments superficiels (0-13 cm) du lac de Roi. (Les teneurs en eau sont exprimées en % du sédiment humide)

Les sédiments du lac de Roi, dont la densité humide moyenne est de 1,14 et la teneur en eau 77 %, apparaissent comme une vase fine (la fraction < 40 µ est 96 %), peu compacte, avec des teneurs en eau assez élevées. Ils occupent une situation intermédiaire entre les sé-

diments du Voua de la Motte dont la teneur en eau est de 93 % et ceux de Vallon et Montriond (55 %).

La composition chimique de ces sédiments est reportée sur le tableau n° 41.

	22.01.75			28.08.75			Moyenne pour la couche 0-13 cm (1)	% de la fraction minérale (2)
Profondeur	Surface 0-2 cm	4-6 cm	11-13cm	Surface 0-2 cm	4-6 cm	11-13cm		
SiO_2	62,08	56,51	53,22	67,70	63,00	63,60	61,0	69,1
Al_2O_3	10,02	8,59	9,33	11,33	10,41	10,60	10,0	11,3
Fe_2O_5	7,43	11,39	15,75	5,05	1,55	5,57	7,8	8,8
MgO	2,10	1,89	1,99	2,17	2,08	2,13	2,0	2,3
CaO	1,15	2,46	2,38	0,82	3,25	1,67	2,0	2,3
K_2O_5	2,15	2,09	1,97	1,82	2,21	1,71	2,0	2,3
Na_2O	1,21	0,39	0,30	0,78	0,79	0,32	0,6	0,7
TiO_2	0,59	0,56	0,56	0,54	0,50	0,55	0,6	0,7
P_2O_5	0,192	0,289	0,261	0,197	0,289	0,261	0,25	0,3
MnO	0,08	0,09	0,12	0,08	0,06	0,05	0,08	0,1
Perte à 550°C	11,0	13,05	15,30	9,7	10,7	10,7	11,7	-
Perte à 1000°C	13,25	16,50	17,40	11,50	14,50	14,0	14,5	3,2
TOTAL	100,25	100,7	103,3	101,9	98,6	100,5	100,8	100,8

Tableau n° 41 : Composition chimique des sédiments superficiels (0-13 cm) au lac de Roi. Valeurs exprimées en % par rapport au sédiment séché à 105°C (1) et en % de la fraction minérale (2).

Il apparaît que les sédiments du lac de Roi sont pauvres en matière organique (12 %) et en $CaCO_3$. (La différence entre la perte à 550°C et 1000°C est en moyenne de 2,8 % du poids du sédiment sec). En fait, la composition chimique de ces sédiments ne diffère guère de celle du lac de Montriond. On peut donc supposer qu'ils ont également une origine terrigène et qu'ils proviennent essentiellement de l'érosion du bassin versant.

RESUME

Le lac de Roi (1659 m) est un lac d'origine glaciaire entièrement situé sur des affleurements de la nappe de la brèche du Chablais. Son bassin d'alimentation est essentiellement recouvert de pelouse alpine.

Le régime thermique du lac est du type dimictique de second ordre avec une période de gel qui dure entre 7 et 8 mois. En été les températures de surface peuvent atteindre jusqu'à 17°C.

Alimentées par trois petits cours d'eau qui s'assèchent pendant le mois d'Août, les eaux du lac sont essentiellement renouvelées à la fonte des neiges. Le temps de renouvellement théorique moyen des eaux du lac est de 2 mois (τ = 9 jours à la fonte des neiges).

Pendant toute la période de stratification "inverse" et même pendant l'homothermie printanière (Juin) les couches du fond sont totalement dépourvues d'oxygène dissous. Par contre après la fonte des neiges on note une légère oxygénation de ces couches, ce qui indique un mélange partiel de la masse d'eau avec les apports des ruisseaux.

Le pH des eaux, toujours alcalin en surface (7,2 à 7,9) varie dans les couches du fond entre 6,8 en hiver et 7,3 à la fin de l'été.

27 AOUT 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

La transparence des eaux, mesurée à l'aide d'un disque de Secchi varie entre 0,7 et 5,5 mètres (la transparence moyenne pour la période estivale du lac est de 3,8 mètres).

La minéralisation totale des eaux est de l'ordre de 220 mg/ℓ(*) et la conductivité moyenne à 25°C est de 246 µmhos. La succession des ions (en meq/ℓ) est : $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+}$ et $HCO_3^{-} > SO_4^{--} > Cℓ^{-}$.

La teneur moyenne en azote minéral est de 440 µgN/ℓ dont 250 µgN/ℓ sous forme de (NH_4^{+}) répartie essentiellement dans les couches profondes et 180 µgN/ℓ de (NO_3). La concentration du phosphore total est de l'ordre de 20 µgP/ℓ (12 µgP/ℓ de PO_4).

Les variations des teneurs en C.O.T ont un caractère particulier : en été, bien que la production interne (**) soit relativement faible : 0,1 $g/m^{-2}.jour^{-1}$ pour la période Juillet-Août (à Vallon elle est de 0,2 $g/m^{-2}.jour^{-1}$ en cette période), on observe du fait de la stagnation des eaux une accumulation progressive de substances organiques dans les eaux du lac. Ce phénomène amène la teneur en C.O.T à sa valeur maximale : 3,2 mgC/ℓ le 26.09.75 (moyenne pondérée sur l'ensemble du lac). Après une diminution hivernale due à la prédominance des processus de décomposition et minéralisation de la matière organique sur la production, le C.O.T parvient à sa valeur minimale (0,65 mgC/ℓ) lors du renouvellement des eaux en période de fonte des neiges.

Il apparaît que les valeurs extrêmes des teneurs en C.O.T du lac de Roi dépendent aussi bien de la dynamique des eaux lacustres que de la production interne de C.O.T.

(*) Ces valeurs ont été déterminées sur la base des résultats de 5 campagnes de prélèvements.

(**) Voir page 104.

En tenant compte des fortes valeurs du C.O.T estival, du déficit constant d'oxygène dissous au fond du lac, de la transparence relativement faible et la présence constante de P (PO_4) dans les eaux, on pourrait considérer le lac de Roi comme eutrophe. En réalité cette eutrophisation n'est qu'apparente : comme nous l'avons vu, périodiquement à la fonte des neiges, les eaux sont renouvelées, les substances organiques évacuées et les sédiments sont encore peu organiques (11,7 %).

On peut donc considérer que le lac de Roi se rapproche le plus de l'état défini comme pseudo-eutrophe (Dussart) (qu'il conviendrait d'appeler pseudo-eutrophe dynamique).

LAC D'ARVOUIN

V. - LAC D'ARVOUIN (1669 m)

V.1. - BASSIN-VERSANT.

V.1.a - Géographie et morphométrie.

Situé au fond d'une dépression tectonique au Sud de la pointe d'Arvouin, le lac se trouve à environ 45 km au Sud-Est de Thonon-les-Bains. Les points dominants qui délimitent le bassin versant sont : au Nord : pointe d'Arvouin (2002,6 m) ; à l'Est le Mont Lenla (2094,4 m) et au Sud la Tête de l'Avalanche (1852,4 m) (figure n° 49).

Le lac d'Arvouin occupe la partie la plus méridionale de son bassin versant. Ses coordonnées Lambert sont : x = 944,3 ; y = 155,8 (carte au 1/20.000e Thonon-les-Bains n° 8).

Les principales caractéristiques morphométriques du bassin sont reportées sur le tableau n° 42.

A	Superficie totale (ha)	64,2
L	Périmètre (km)	3,3
h_m	Altitude maximum (m)	2094,4 Mont-Lenla
$\bar{h}$	Altitude moyenne (m)	1793
h	Niveau du plan d'eau	1669
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,16
$\bar{P}$	Pluviométrie annuelle (mm)	1802
$\bar{T}°C$	Température moyenne annuelle (°C)	0,3

Tableau n° 42 : Caractéristiques générales du bassin versant du lac d'Arvouin

Les caractéristiques climatologiques ont été déterminées de façon analogue à celles du lac de Montriond et Roi (voir page 39).

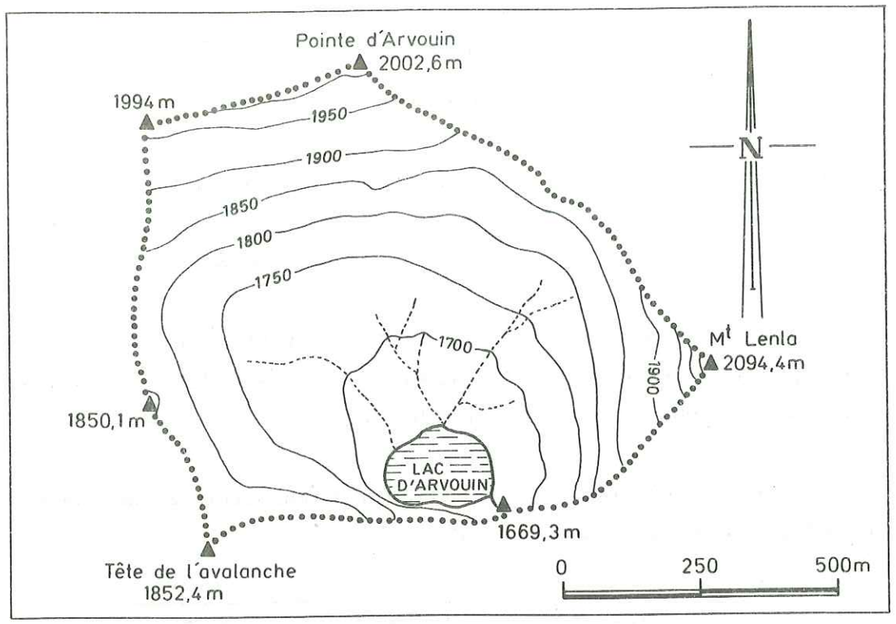


Fig. 49 : CARTE TOPOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC D'ARVOUIN

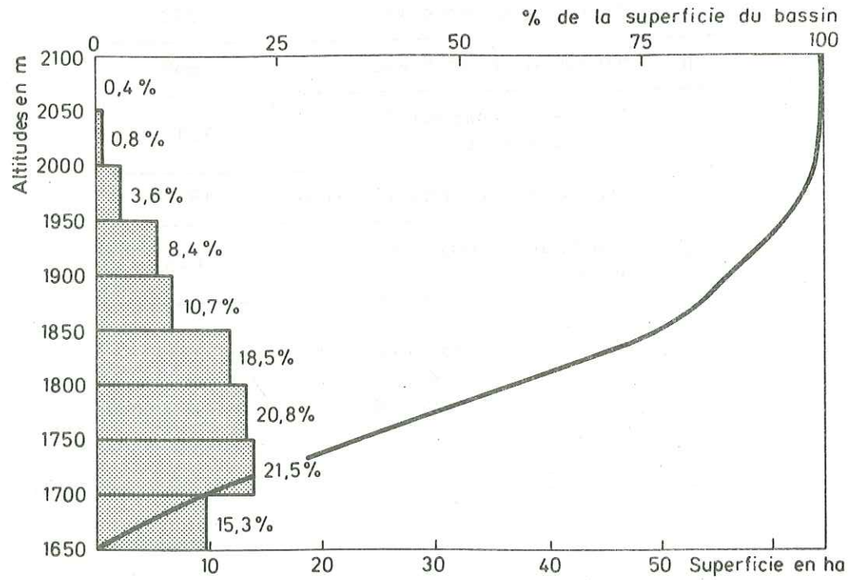


Fig. 50 : COURBE HYPSOMETRIQUE ET FREQUENCES ALTIMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DU LAC D'ARVOUIN

V.1.b - Géologie et végétation.

Deux des nappes qui forment l'ensemble des Préalpes du Chablais affleurent dans les limites du bassin d'alimentation topographique du lac d'Arvouin. Ce sont (figure 51) au Nord et au Sud : la nappe des Préalpes médianes et dans la partie centrale : la nappe de la Simme.

Dans les Préalpes médianes on trouve :

- du malm (jurassique supérieur). On appelle de ce nom, dans les Préalpes, une assise puissante de calcaire compacte, massif, de couleur gris-bleu qui forme l'ossature de la région : les parois et les arêtes.

- des couches rouges (crétacé-paléocène). Elles sont formées de calcaire argileux plaqueté généralement rose ou vert.

- du flysch schisto-marneux (Eocène). C'est une alternance de marne grise ou beige et de grès calcaire, micacés, à pâte brune. Le passage aux couches rouges s'effectue par une assise de schistes argileux rouges ou noirs, où s'intercalent des bancs de grès quartzitiques.

La nappe de la Simme est représentée uniquement par le flysch à Helmintoïdes qui est une alternance de marne, de calcaire à patine claire, parfois recouverts d'Helmintoïdes et de grès à ciment calcaire.

La plus grande partie du bassin est recouverte de pelouse alpine sur laquelle on trouve quelques épicéas isolés (figure nº 52). La partie Sud-Ouest du bassin est occupée par une aulnaie (Alnus incana) à forme arbustive. Tout au Sud, à la limite du bassin versant, on peut voir sur un sol peu puissant une formation d'épicéas (Picea exelsa).

V.2. - LE LAC.

V.2.a - Origine.

Le lac d'Arvouin fait partie de ces lacs que A. DELEBECQUE (1898) a décrit comme résultant de "l'action de l'eau dans les terrains fissurés".

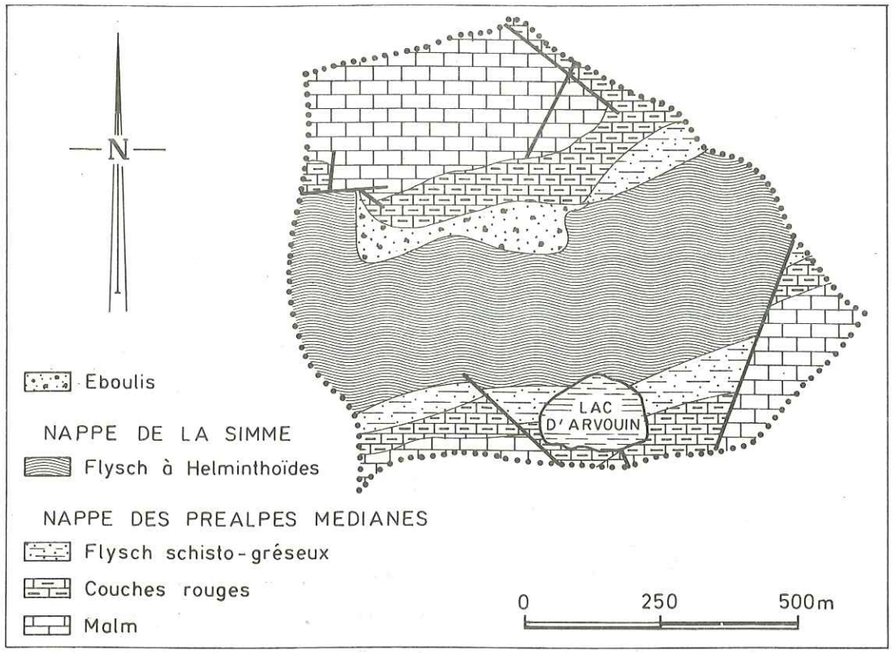


Fig. 51 : ESQUISSE GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC D'ARVOUIN

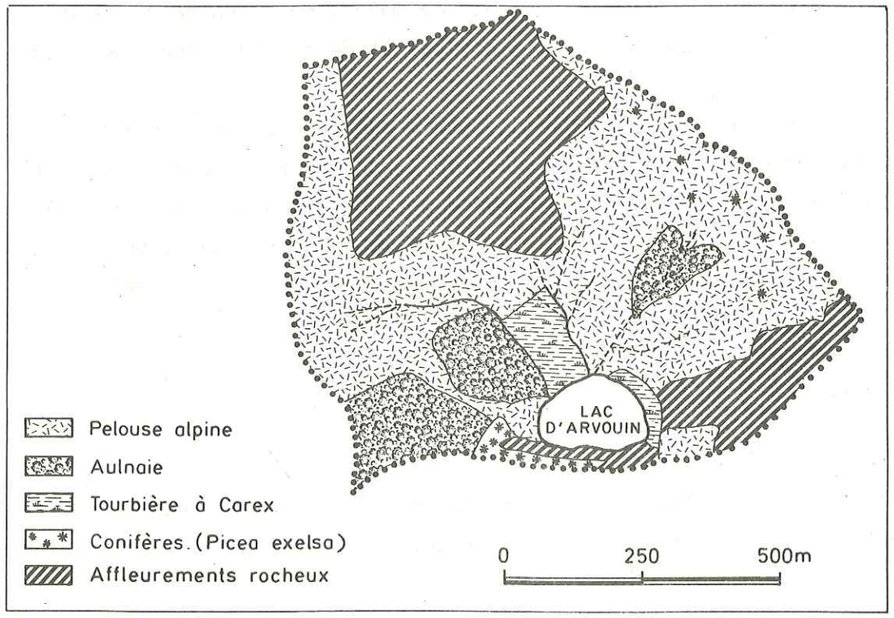


Fig. 52 : CARTE DE LA VEGETATION DU BASSIN VERSANT DU LAC D'ARVOUIN

"Si un cours d'eau, pendant qu'il est occupé à façonner son profil en long, vient à rencontrer une fissure, il sera immédiatement dérangé dans son travail. Il s'engouffrera dans cette fissure ; l'érosion de la région située en amont va se faire alors à partir d'un niveau de base nouveau ; en même temps la partie aval se trouvant privée d'eau, il se forme une vallée sèche qui s'étendra jusqu'à la source ramenant les eaux de la rivière dans la vallée qu'elle a momentanément abandonnée (figure nº 53a).

Peu à peu, le cours d'eau va se façonner un profil en long en harmonie avec sa nouvelle position. La portion de roche située en aval de la fissure, mal soutenue, pourra s'effondrer (figure nº 53b) et finalement la vallée sèche se trouve séparée par un ressaut plus ou moins élevé de la vallée d'amont qui constituera un bassin fermé" (figure nº 53c).

Dans le bassin ainsi formé l'écoulement se fera régulièrement par voie souterraine jusqu'à ce qu'un éboulement de la galerie souterraine ou les matériaux charriés par la rivière viennent obstruer le canal dans une partie rétrécie. Cette obstruction peut résulter également du recouvrement du bassin fermé par des dépôts morainiques imperméables.

Cette description convient parfaitement à la création du lac d'Arvouin. On peut admettre que la cuvette du lac résulte de l'érosion des trois cours d'eau qui alimentent le lac et dont la base d'érosion est située très en profondeur, du fait de la disparition des eaux dans une fissure située au niveau des couches rouges.

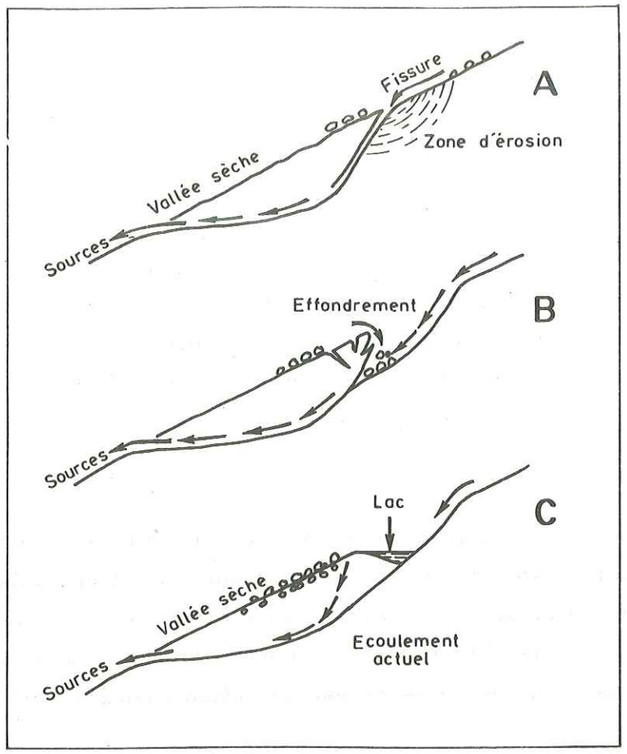


Fig. 53 : SCHEMA THEORIQUE DE LA CREATION DU LAC D'ARVOUIN.

V.2.b - Morphométrie et bathymétrie.

Les principales caractéristiques morphométriques du lac d'Arvouin sont reportées sur le tableau nº 43 :

h	Altitude (m)	1669
A	Superficie (ha)	1,8
l	Longueur (m)	182
$\bar{b}$	Longueur moyenne (m)	100
V	Volume (m^3)	68 000
Z_m	Profondeur maximum	6,3
$\bar{Z}$	Profondeur moyenne	3,7
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,09
h (x)	Fluctuation du niveau du lac	nulle
L	Périmètre (m)	522
τ	Temps de renouvellement moyen	1 mois
A/A°	Rapport superficie : lac/bassin total	2,8 %

Tableau nº 43 : Caractéristiques générales du lac d'Arvouin

La carte bathymétrique du lac (figure nº 54) a été relevée pendant le mois d'Août 1975. Elle révèle une cuvette de forme régulière avec un replat central dont la profondeur est de 6 mètres. Exceptée la partie Ouest de la cuvette qui est parsemée de blocs rocheux qui résultent de l'effondrement des parois qui surplombent le lac en cet endroit, tout le fond est recouvert de sédiments fins.

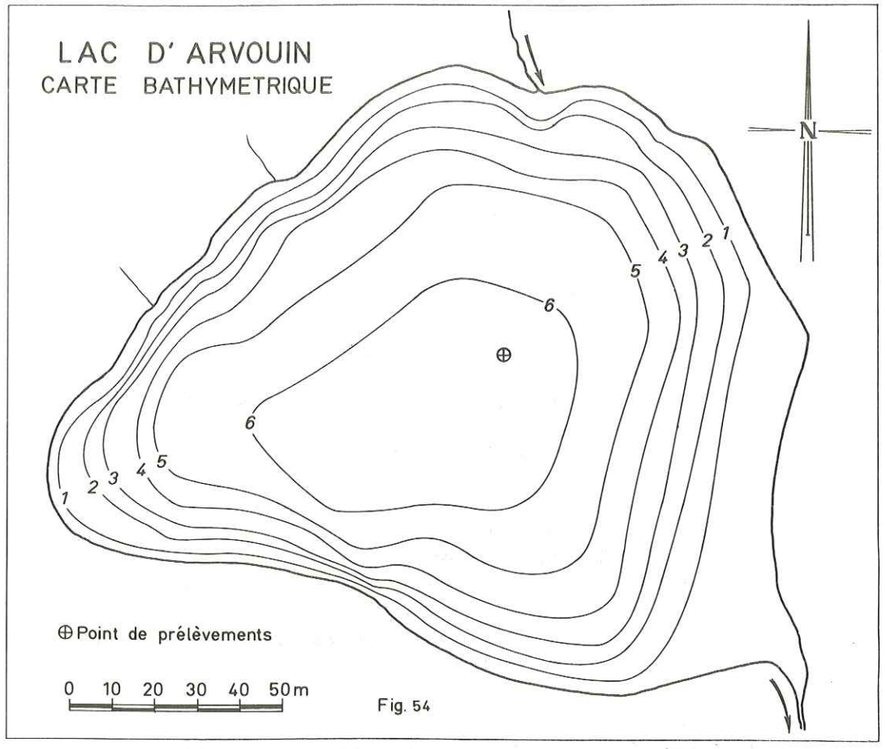


Fig. 54

V.2.c - Température, oxygène dissous et conductivité.

En raison de l'accès difficile du lac d'Arvouin pendant la saison hivernale, nous nous sommes limités à l'étude de ses paramètres physico-chimiques pendant l'été. Sur la figure nº 55 sont reportées les valeurs des températures, oxygène dissous et conductivité dans les eaux du lac pendant les mois de Juillet, Août et Septembre 1975. Une campagne de prélèvements, prévue le 8 Juin 1975 et rendue impossible à cause de l'inaccessibilité du lac nous a permis de constater qu'à cette date le lac était encore entièrement recouvert de glace. Suivant les années le lac reste recouvert de glace entre 7 et 8 mois.

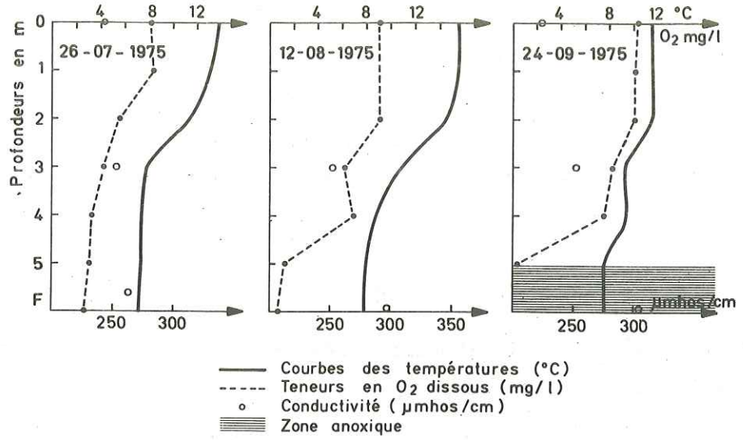


Fig. 55 : DISTRIBUTION DES VALEURS DE LA TEMPERATURE, DE LA CONDUCTIVITE ET DE L'OXYGENE DISSOUS DANS LES EAUX DU LAC D'ARVOUIN (été 1975)

On peut observer pendant les mois de Juillet et Août une stratification thermique assez bien prononcée avec en surface des températures avoisinantes de 15ºC et au fond situées entre 6 et 8ºC. Vers la fin de l'été la température devient beaucoup plus homogène sur tout le profil.

Quant à la distribution verticale des teneurs en oxygène dissous elle est très hétérogène et rappelle par son évolution estivale celle du lac de Roi (voir page 117). Dans la couche superficielle (0-2 mètres) la teneur en O_2 dissous augmente progressivement et atteint jusqu'à 10,4 mg/l en Septembre, alors qu'au fond on assiste à une diminution rapide de l'oxygène qui disparaît totalement à 1 mètre du fond à la fin de l'été.

Les valeurs de la conductivité, très homogènes sur toute la profondeur au mois de Juillet (entre 240 et 260 µmhos), accusent dans la couche du fond une très nette augmentation au cours de l'été. Comme dans les autres lacs de la région, les valeurs de la conductivité des eaux sont

étroitement liées aux variations des concentrations en Ca $(HCO_3)_2$ qui est le composant prédominant des éléments dissous. Or au lac d'Arvouin on observe une diminution très nette en Août et Septembre des concentrations en Ca et en HCO_3 des couches superficielles et on peut admettre qu'elle résulte de leurs précipitations sous forme de $CaCO_3$, provoquées par la consommation du CO_2 par les végétaux primaires (ce qui coïncide avec l'augmentation de l'O_2 dissous dans les 2 premiers mètres). Au fond, par contre, les teneurs en Ca et HCO_3 augmentent de nouveau ce qui peut être attribué à la redissolution des carbonates dans un pH plus acide.

V.2.d - Transparence et pH.

Les valeurs de la transparence, mesurées au disque de Secchi sont reportées sur le tableau n° 44.

	Juillet 1975	Août 1975	Septembre 1975	Juin 1976
Transparence (m)	0,9	1,6	2,9	3
Couleur	gris vert	vert jaune	vert jaune	jaune vert

Tableau n° 44 : Variation de la transparence au lac d'Arvouin

La moyenne "estivale" du lac qui est de 2,1 mètres apparaît légèrement plus faible que celle de Roi, qui pourtant pour beaucoup de paramètres a un comportement identique (O_2, t°, etc...). Les valeurs du pH comprises entre 7,6 et 7,9 en surface varient au fond du lac entre 6,9 et 7,2.

V.2.e - Mode d'alimentation et temps de renouvellement des eaux.

Trois petits cours d'eau alimentent de façon irrégulière (certaines années ils s'assèchent complètement aux dires des gens de la région) le lac d'Arvouin. Situés dans la partie Nord du lac, ces cours d'eau avaient lors de nos campagnes des débits qui n'excédaient quelques litres/seconde.

Le lac d'Arvouin est donc, comme celui de Roi, alimenté essentiellement par les eaux de la fonte des neiges et lors des fortes précipitations qui dans la région se produisent à la fin de la saison estivale.

Le temps de renouvellement théorique des eaux du lac, déterminé sur la base du débit spécifique moyen des préalpes (41 $l/s^{-1}/km^{-2}$) voir page 117) est d'environ 1 mois (28 jours). Pour la période de fonte des neiges, ce temps calculé de façon identique à celui du lac de Roi est de 9 jours.

Bien plus que le temps théorique exact du renouvellement, il était important d'obtenir la confirmation que le renouvellement des eaux du "printemps" affecte toutes les profondeurs. En tenant compte de l'oxygénation des couches (*) du fond au début de l'été, et l'homogénéisation chimique des eaux, on peut affirmer que le renouvellement des eaux à la fonte des neiges est complet.

(*) *Des mesures d'oxygène réalisées en Juin 1976 (4-5 semaines après le dégel) ont révélé des teneurs de 7,5 mg/l à 5 mètres de la surface et de 1 mg/l au fond.*

V.2.6 - Caractères chimiques généraux.

La minéralisation totale des eaux du lac d'Arvouin dont le bassin est situé sur des affleurements des nappes de la Simme et des Préalpes médianes est de l'ordre de 220 mg/l (tableau n° 45) tout comme celle des lacs de Montriond et de Roi qui ont des bassins situés sur la nappe de la Brêche. La succession des ions (en meq/l) est également : $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+}$ et $HCO_3^{-} > SO_4^{--} > Cl^{-}$. Par contre on peut noter dans les rapports ioniques caractéristiques r $\frac{Mg}{Ca}$ = 0,05 ; r $\frac{Na}{Ca}$ = 0,017 ; r $\frac{Na}{Mg}$ = 0,32 ; r $\frac{SO_4}{Cl}$ = 6,2 les plus faibles participations du magnésium et des sulfates. La faible teneur en Mg peut s'expliquer par l'absence de dolomie ou de calcaire dolomitique dans les limites du bassin versant.

Si les concentrations en Ca^{++} et HCO_3^{-} augmentent notablement en profondeur, les autres éléments Mg^{++}, Na^{+}, K^{+} ainsi que les SO_4^{--} montrent des teneurs plus constantes. La silice (SiO_2) a également tendance à augmenter en profondeur.

La teneur moyenne (*) en azote minéral (pour la période estivale) est de 210 µgN/l dont 110 µgN/l sous forme de nitrates. Les rapports $\frac{N\ (NO_3)}{N\ (NH_4)}$ sont de 5,1 en surface, de 2,8 à 3 mètres et de 0,2 au fond du lac.

Tout le long de la période estivale, les teneurs en azote diminuent de façon régulière à toutes les profondeurs. Comme au lac de Roi la décroissance de ces teneurs affecte aussi bien les nitrates que les formes réduites de l'azote (NH_4^{+}). Mais en aucun moment l'azote minéral ne vient à disparaître et ne peut en conséquence être un facteur limitant à la production primaire au sein du lac.

(*) *Moyenne des moyennes pondérées mensuelles.*

Les teneurs en phosphore total sont de l'ordre de 15 µgP/l dont 5 µgP/l sous forme d'orthophosphates, et phénomène particulièrement rare, ils ne subissent aucune variation notable au cours de l'été (il faut néanmoins rappeler que la limite de détection de la méthode est de 0,001 mg/l et dans cette gamme de valeurs la précision est de 100 %).

En ce qui concerne le carbone organique total, nous avons reporté sur la figure n° 56 les variations des teneurs en C.O.T aux différentes profondeurs du lac pendant les mois de l'été 1975.

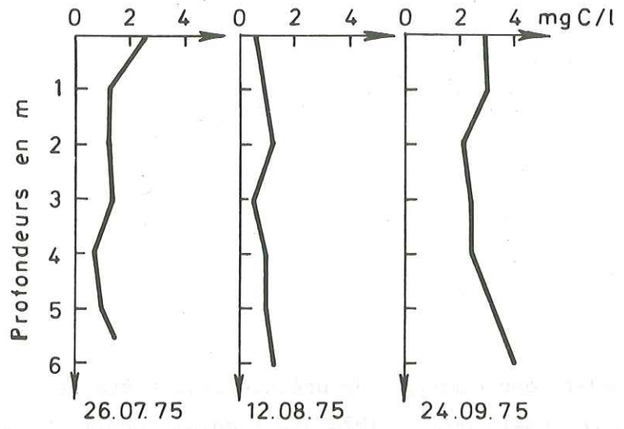


Fig. 56 : LAC D'ARVOUIN - VARIATIONS DES TENEURS EN C.O.T. EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

On peut noter que comme sur les autres lacs en période estivale, la répartition verticale des teneurs en C.O.T est assez homogène. En ce qui concerne l'évolution des moyennes pondérées des teneurs en C.O.T pendant la période estivale, elle se présente de la façon suivante : après une valeur relativement forte au mois de Juillet (1,4 mgC/l), on assiste à une décroissance des teneurs au mois d'Août, puis à une nouvelle et brusque augmentation en Septembre (2,6 mgC/l). On peut admettre que les fortes

valeurs de Juillet et Août sont consécutives à des poussées planctoniques (pour le mois de Septembre il faut tenir compte aussi des apports du bassin versant). Ce mode de variation des teneurs en C.O.T est identique bien qu'avec des teneurs plus élevées à celui du lac de Vallon qui est caractérisé comme nous l'avons précisé par une évacuation permanente d'une partie des déchets organiques produits au sein du lac.

	Ca^{++} (mg/l)	mg^{++} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	SO_4^{--} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	NO_3^{-} (mgN/l)	N min. (mg/l)	PO_4^{---} (mgP/l)	P total (mg/l)	SiO_2 (mg/l)	COT (mg/l)	conductivité en µmhos/cm^{-1}	Total
Juillet 1975	50,73	1,56	0,75	0,64	163,3	2,09	0,41	0,16	0,312	0,003	0,015	2,89	1,37	251,1	
Août 1975	51,61	1,63	1,14	0,51	161,5	2,21	0,20	0,14	0,198	0,004	0,013	2,57	0,86	241,5	
Septembre 1975	48,50	1,72	1,06	0,85	159,9	3,20	0,28	0,04	0,141	0,007	0,016	1,82	2,61	250,0	
Moyenne annuelle	50,28	1,64	0,98	0,67	161,57	2,50	0,30	0,11	0,217	0,005	0,015	2,43	1,50	247,5	221
%	22,6	0,7	0,4	0,3	72,7	1,1	0,1	-	0,1	-	-	1,1	0,7	-	

Tableau n° 45 : Lac d'Arvouin. Composition chimique des eaux du lac. (Toutes les valeurs sont des moyennes des concentrations pondérées par le volume des différentes tranches d'eau dans lesquelles les prélèvements ont été réalisés).

Une quatrième campagne de prélèvements a été réalisée quatre semaines après le dégel, qui en 1976 était moins tardif. C'est alors que nous avons constaté les teneurs les plus faibles en carbone organique total dans le lac. Le C.O.T réfractaire est de 0,7 mgC/l. Cette valeur comparable à celle de Montriond, Vallon et Roi, est très significative quant au renouvellement complet des eaux lacustres.

Le maximum des teneurs en C.O.T (2,6 mgC/l) est situé entre celui de Vallon (1,6 mgC/l) et celui de Roi (3,2 mgC/l).

V.2.g - Les sédiments.

Exceptée la partie Ouest du lac, qui est parsemée de blocs rocheux aux dimensions diverses et qui sont très visibles depuis la berge, le fond de la cuvette est recouvert de sédiments fins (la fraction < à 40 µ est de 99,4 %) de densité assez élevée (1,26) et dont la teneur en eau est en moyenne de 64 % du poids du sédiment humide.

Une seule campagne de prélèvements de vase a été réalisée au mois d'Août 1975 à l'aide d'une benne "Ekman" au point de prélèvement habituel (voir figure n° 53).

Les résultats des analyses chimiques réalisées sur des échantillons prélevés à 3 niveaux à l'intérieur de la benne sont reportés sur le tableau n° 46.

En tenant compte de ces résultats on peut faire les constatations suivantes :

- Les sédiments du lac d'Arvouin sont pauvres en matières organiques. La perte à 550°C est en moyenne de 9,2 % du poids du sédiment sec (8,6 - 9,6).

- La teneur en carbonates est très faible (la différence entre la perte à 550°C et 1000°C est de 2,8 % de la fraction minérale). Il en va de même pour le CaO. Ceci implique une très faible précipitation de $CaCO_3$ due à des phénomènes biologiques internes.

- Les rapports $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = 1,9$ et $\frac{SiO_2}{Al_2O_3} = 4,7$ sont très proches de ceux de Montriond et Vallon, et par conséquent on peut admettre que les sédiments du lac d'Arvouin sont un mélange d'alumino-silicates d'origine terrigène apportés par les affluents en crue.

Profondeur	12.08.75 Surface 0-4 cm	4-8 cm	9-13 cm	Moyenne pour la couche 0-13 cm (1)	% de la fraction minérale (2)
SiO_2	63,0	66,4	65,0	64,8	71,2
Al_2O_3	14,02	13,56	13,56	13,7	15,0
Fe_2O_3	8,29	6,11	6,96	7,1	7,8
K_2O	1,68	1,78	1,54	1,7	1,9
MgO	1,43	1,37	1,42	1,4	1,5
CaO	1,34	0,73	2,09	1,4	1,5
TiO_2	0,73	0,75	0,71	0,7	0,8
Na_2O	0,40	0,45	0,37	0,4	0,4
P_2O_5	0,212	0,227	0,235	0,22	0,24
MnO	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05
Perte à 550°C	9,6	8,6	9,3	9,17	
Perte à 1000°C	11,6	11,5	12,0	11,7	2,8
TOTAL	102,8	102,9	103,9	103,2	103,2

Tableau n° 46 : Composition chimique des sédiments superficiels (0-13 cm) du lac d'Arvouin. Valeurs exprimées en % par rapport au sédiment séché à 105°C (1) et en % de la fraction minérale (2).

RESUME

Le lac d'Arvouin est un petit lac de moyenne montagne (1669 m) dont le bassin versant, essentiellement recouvert de pelouse alpine est situé sur des affleurements des nappes de la Simme et des Préalpes médianes.

Le lac qui est alimenté par trois petits cours d'eau dont le débit estival est de quelques litres/seconde, s'écoule par un émissaire superficiel qui après quelques dizaines de mètres de parcours horizontal, disparaît dans un amas de roches pour apparaître à environ 500 mètres en aval.

Le temps de renouvellement théorique des eaux lacustres est pour l'ensemble de l'année de deux mois, et pour la période de fonte des neiges d'environ 10 jours. Le lac, dont la surface est recouverte de glace pendant 7 à 8 mois, présente pendant les mois de Juillet et Août une stratification thermique très nette. Il peut donc être considéré comme un lac dimictique de second ordre.

Les eaux du lac dont la couleur est toujours verdâtre ont une transparence moyenne (estivale) de 2,1 mètres. Toujours oxygénées en surface, elles présentent un déficit important au fond du lac ce qui aboutit à la disparition totale de l'oxygène dissous à la fin de l'été sur une couche d'environ 1 mètre. Mais périodiquement le renouvellement "printanier" provoque la réoxygénation des couches profondes.

La composition chimique des eaux du lac ne diffère guère de celle des lacs de la Brèche. La minéralisation totale est de 220 mg/l et la conductivité moyenne de 247 µmhos/cm^{-1}. La succession des ions en méq/l est : $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+}$ et $HCO_3^{--} > SO_4^{--} > Cl^{-}$. On note néanmoins des teneurs plus faibles en magnésium, ce qui s'explique par l'absence de dolomie ou calcaire dolomitique dans les limites du bassin versant du lac.

Les teneurs moyennes des principaux éléments nutritifs sont : phosphore total : 15 µgP/ℓ ; azote minéral : 217 µgN/ℓ.

La valeur du C.O.T réfractaire au système lacustre est de 0,7 mgC/ℓ et a été déterminée au mois de Juin 1976.

Par son comportement le lac d'Arvouin montre une ressemblance avec celui de Roi : déficit important d'oxygène dissous des couches du fond pendant la plus grande partie de l'année, transparence de l'ordre de 2 mètres, des teneurs peu élevées en azote et faibles en phosphore, importante augmentation du C.O.T à la fin de l'été, etc...

Mais régulièrement, les eaux du lac sont renouvelées à la fonte des neiges, ce qui exclue la possibilité d'accumulation de substances organiques (et ceci indépendamment de la production interne) dans les eaux et les sédiments. On peut donc situer le lac d'Arvouin dans la catégorie des lacs pseudo-eutrophes.

LAC DE TAVANEUSE

VI. - LAC DE TAVANEUSE (1806 m)

VI.1. - BASSIN-VERSANT.

VI.1.a - Cadre géographique et morphométrie.

Elevé à 1806 mètres d'altitude, à environ 45 km au Sud-Est de Thonon, le lac de Tavaneuse est entouré par une série de sommets dont les points dominants sont la pointe d'Entre Deux Pertuis (2146,0 m) et le Col de Tavaneuse (2032 m) (voir figure nº 57). Les coordonnées Lambert du lac sont : x = 937,9 ; y = 146,7 (carte au 1/20.000e Samoëns nº 3).

L'accès au lac relativement aisé en période estivale (environ trois heures de marche) devient en raison des nombreuses zones d'avalanches, très difficile et dangereux en hiver. L'étude du lac est donc portée sur la période allant de Juin à Septembre 1975. Il faut toutefois préciser que le 8 Juin le lac était encore entièrement recouvert de glace.

Les principales caractéristiques morphométriques et climatiques du bassin versant du lac de Tavaneuse sont reportées sur le tableau nº 47.

A	Superficie (ha)	53,6
L	Périmètre (km)	3,4
h_m	Altitude maximum (m)	2146
$\bar{h}$	Altitude moyenne (m)	1904
h	Niveau du plan d'eau (m)	1806,5
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,31
$\bar{P}$	Pluviométrie (mm)	1868
$\bar{T}°C$	Température moyenne annuelle (°C)	- 0,5

Tableau nº 47 : Caractéristiques générales du bassin versant du lac de Tavaneuse

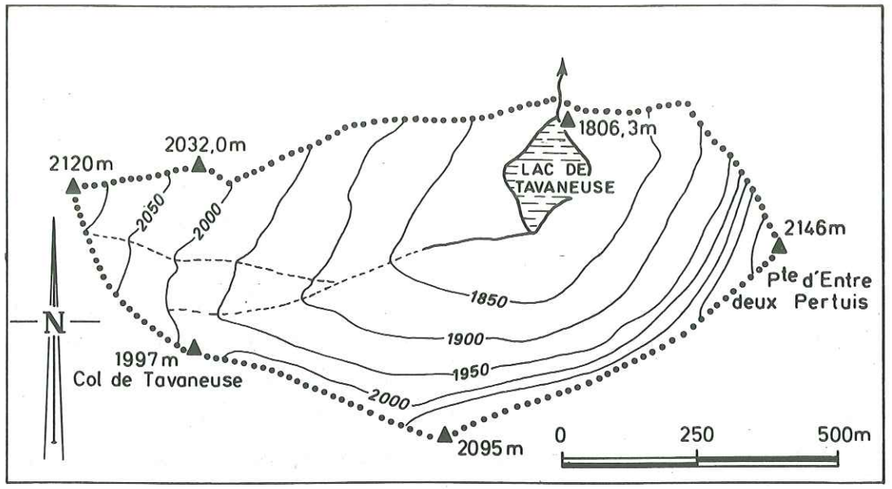


Fig. 57 : CARTE TOPOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE TAVANEUSE

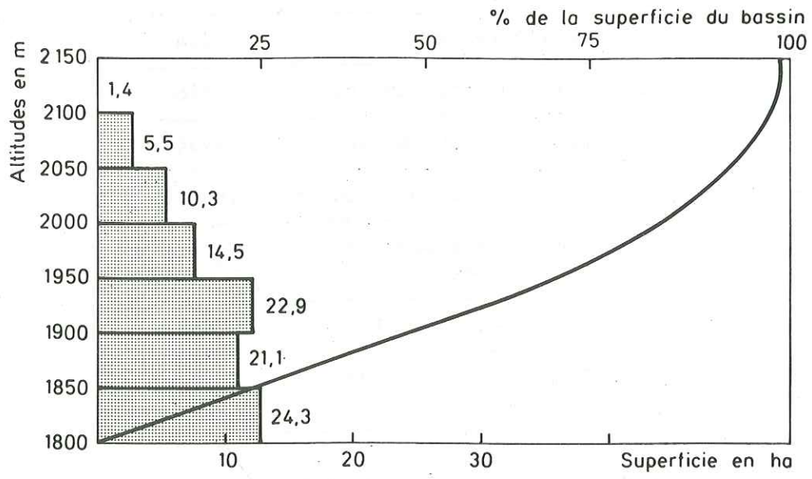


Fig. 58 : COURBE HYPSOMETRIQUE ET FREQUENCES ALTIMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DU LAC DE TAVANEUSE

VI.1.b - Géologie et couverture végétale.

Le bassin d'alimentation du lac de Tavaneuse est entièrement situé sur des affleurements de la nappe de la Brêche. Sur toute la rive gauche de l'unique affluent du lac, ainsi que sur les parties inférieures de la rive droite, elle est représentée par des schistes ardoisiers (43,5 % de la superficie : voir figure nº 59).

Le terme lithologique essentiel dans ce niveau est un schiste argileux vert ou rouge, souvent violacé, noir et parfois jaunâtre et alors finement détritique et micacé. Dans les schistes s'intercalent de rares bancs de calcaires bruns siliceux ou spathiques et de brêches à petits éléments.

Sur la rive droite de l'affluent, sur les schistes ardoisiers repose la brêche supérieure. Cette formation est surtout constituée par un ensemble de calcaires lités en petits bancs les uns à pâte fine claire et souvent à silex, les autres plus ou moins spathiques à structure graveleuse.

De par son altitude le bassin versant du lac de Tavaneuse se situe au-dessus de la limite de la végétation forestière. Toute la partie Sud et Sud-Est du bassin est pratiquement dénudée de toute forme de végétation excepté deux îlots d'aulnes (Alnus incana) situés sur des sols peu profonds formés sur des schistes ardoisiers. Ces arbustes déformés par l'action des vents et de la couverture de neige ne dépassent pas trois mètres de hauteur.

Sur la partie Nord du bassin versant, qui a une exposition Sud, la lande à myrtilles (Vaccinium myrtillus) et à rhododendron alterne avec la prairie alpine.

Dans la partie inférieure du bassin, à l'Est et au Sud-Est du lac, sur un sol hydromorphe à gley est située une tourbière à sphaignes (voir figure nº 60).

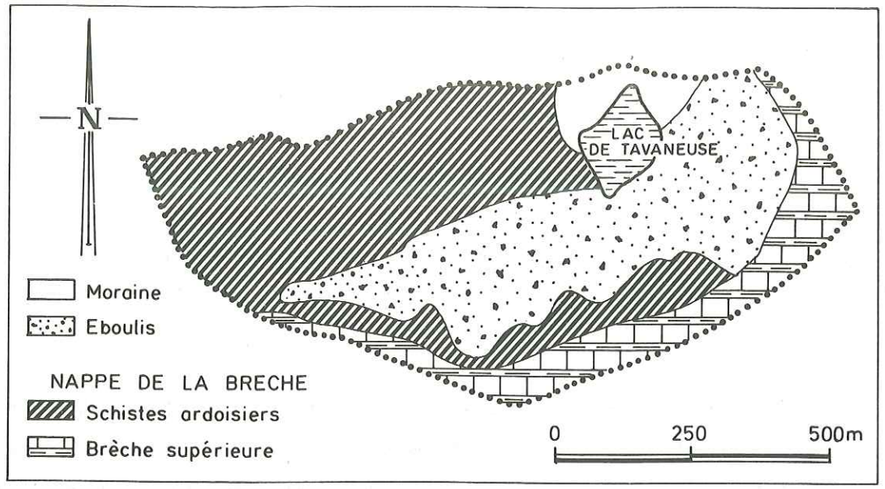


Fig. 59 : CARTE GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE TAVANEUSE

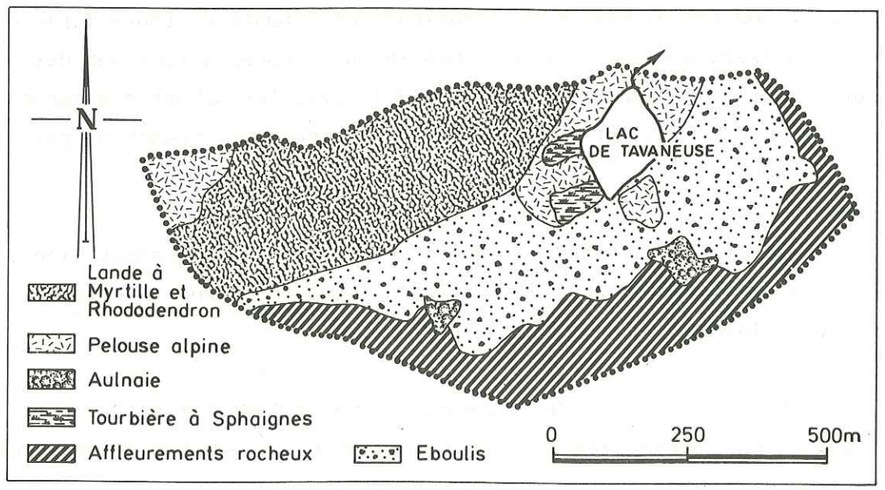


Fig. 60 : COUVERTURE VEGETALE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE TAVANEUSE

VI.2. - LE LAC.

VI.2.a - Origine, morphométrie et bathymétrie.

Le lac de Tavaneuse est un lac d'origine glaciaire. Il est situé en amont d'un vallum morainique déposé après le retrait d'un glacier local. Ses principales caractéristiques morphométriques sont reportées sur le tableau n° 48.

h	Altitude (m) Cote du plan d'eau	1806
A	Superficie (ha)	2,15
l	Longueur (m)	237
$\bar{b}$	Largeur moyenne (m)	91
V	Volume (m^3)	55.647
z_m	Profondeur maximum (m)	5,9
$\bar{z}$	Profondeur moyenne (m)	2,6
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,14
h (x)	Fluctuation du niveau du lac (m)	nulle
L	Périmètre (m)	600
τ	Temps de renouvellement moyen	1 mois
A/A'	Rapport superficie : lac/bassin total	4,0 %

Tableau n° 48 : Caractéristiques générales du lac de Tavaneuse

La carte bathymétrique du lac (figure n° 61) relevée pendant les mois de Juillet et Août 1975 montre une cuvette régulière dont la profondeur maximale est de 5,6 mètres. Le replat central du lac est entièrement recouvert de sédiments fins alors que dans la partie occidentale du lac on aperçoit de nombreux affleurements schisteux, et dans la partie Sud-Est du lac l'effondrement d'une paroi rocheuse a créé une petite île de forme al-

longée qui est séparée de la rive par une sorte de canal dont la profondeur n'excède pas 1 mètre. Le lac s'écoule par un émissaire au Nord, émissaire qui après quelques mètres seulement de parcours presque horizontal, s'écoule en une cascade, interdisant toute liaison biologique des eaux du lac avec celles du torrent (B. DUSSART, 1952).

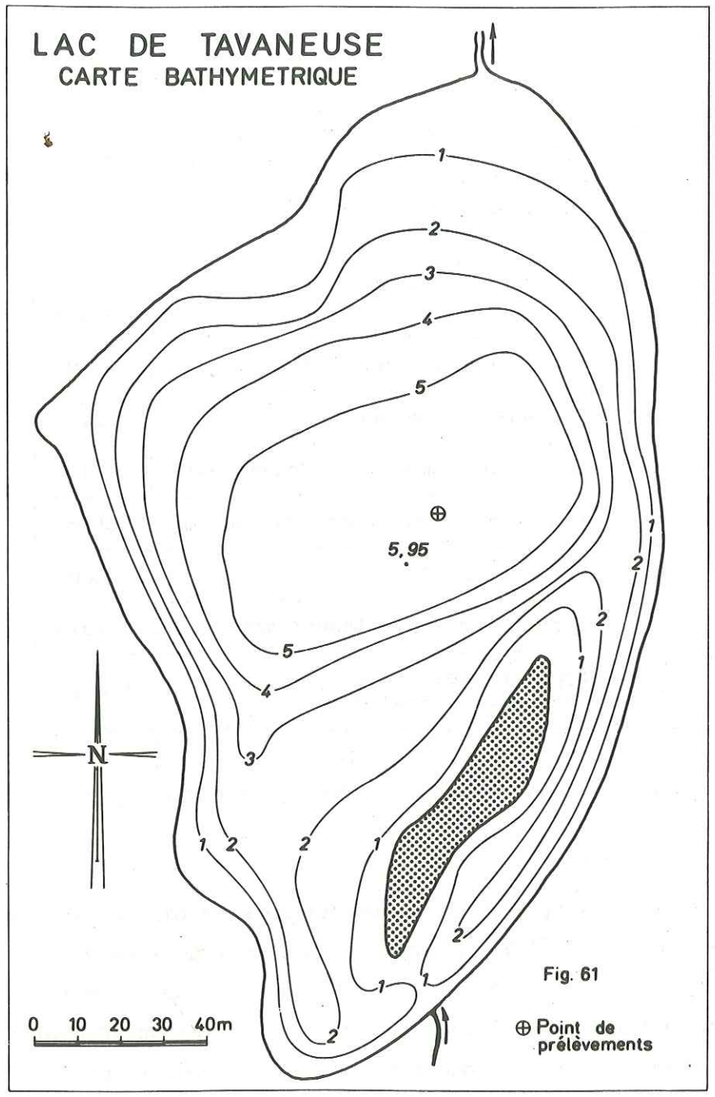


Fig. 61

VI.2.b - Température, oxygène dissous, pH, conductivité et transparence.

Le lac de Tavaneuse dégèle généralement vers la fin du mois de Juin. Le 08.06.75 il était encore recouvert d'une couche de glace dont l'épaisseur dépassait 40 centimètres au milieu du lac. Après le dégel il se produit un réchauffement relativement rapide des couches superficielles (figure nº 62) qui peuvent atteindre jusqu'à 12,9ºC à la fin du mois de Juillet, alors que les eaux du fond se maintiennent à des températures voisines de 5ºC pendant tout l'été.

Pendant le mois d'Août 1952, B. DUSSART a observé sur ce lac des températures de 15,2ºC en surface et de 10,9ºC au fond alors que G. DEFLANDRE indique une valeur de 4,5ºC en surface du lac le 26.08.1924.

Ces diverses constatations nous amènent à conclure que pendant les 3 ou 4 mois où le lac est libéré de sa couverture de glace, la thermique de ses eaux est étroitement liée d'une part aux conditions météorologiques, d'autre part au régime d'alimentation du lac. En effet pendant les campagnes de prélèvements de l'été 1975, la température des eaux de l'unique affluent du lac n'a jamais été supérieure à 5,4ºC alors que le débit de celui-ci était de l'ordre de 20-25 l/s. Cet apport constant d'eaux froides qui alimentent les couches du fond empêche un réchauffement plus important des eaux du lac. Mais certaines années sèches (tel en 1949 : B. DUSSART) l'affluent peut ne plus débiter d'eau au lac, et dans ce cas le régime thermique peut évoluer de façon distincte ce qui explique l'hétérogénéité des différentes observations. Il en va de même en ce qui concerne les teneurs en oxygène dissous. B. DUSSART a mesuré des concentrations de 7,2 mg/l d'O_2 en surface le 19.07.1949 soit 88 % de la saturation, alors que pendant l'été 1975 elles n'ont jamais été inférieures à 9,6 mg/l. En ce qui concerne la répartition verticale de l'O_2 on note (figure nº 62) qu'elle est assez homogène et varie peu au cours de l'été.

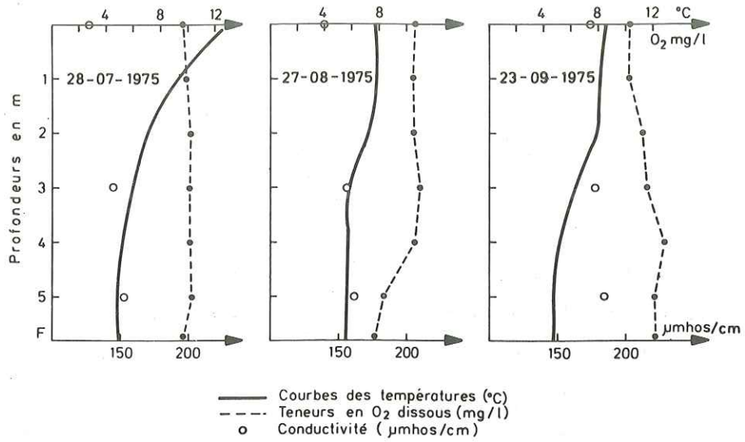


Fig. 62 EVOLUTION DE LA TEMPERATURE, DE LA CONDUCTIVITE ET DE LA TENEUR EN OXYGENE DISSOUS DANS LES EAUX DU LAC DE TAVANEUSE (1975)

La conductivité des eaux de Tavaneuse qui est la plus faible de tous les lacs étudiés (en moyenne 147 µmhos/cm) varie peu en fonction de la profondeur, mais on observe une légère augmentation de cette dernière vers la fin de l'été. Nos valeurs sont très proches de celles déterminées par B. DUSSART en 1952 : 118 à 135 µmhos suivant la profondeur.

En ce qui concerne les valeurs du pH il faut noter que parmi tous les lacs qui font l'objet de cette étude, le lac de Tavaneuse est le seul où les valeurs du pH de surface qui varient entre 7,3 et 8,1 sont toujours inférieures à celles du fond (pH = 7,6 à 8,2).

La transparence des eaux mesurée au disque de Secchi était lors de nos campagnes :

	28.07.75	27.08.75	23.09.75	Moyenne estivale
Transparence	0,9	1,2	4,0	2 mètres
Couleur	vert-vert	jaune-vert très clair	vert-vert	

Tableau n° 49 : Variation de la transparence au lac de Tavaneuse

VI.2.c - Mode d'alimentation et temps de renouvellement des eaux lacustres.

Le lac de Tavaneuse est alimenté par un petit affluent dont le débit extrêmement varié d'une année à l'autre, était lors de nos campagnes de prélèvements de l'ordre d'une vingtaine de litres par seconde.

En raison de la difficulté d'installations d'appareils dans des zones inaccessibles de montagne comme le lac de Tavaneuse, il nous est impossible d'avoir des chiffres précis en ce qui concerne le bilan hydrique du lac.

Le temps de renouvellement théorique des eaux du lac de Tavaneuse calculé en utilisant le débit spécifique moyen des préalpes du Chablais (41 l/s/km^2) est de 28 jours. Pour la période de fonte des neiges, il a été estimé (voir page 117) à 5 jours.

Le temps de renouvellement théorique des eaux du lac est une valeur moyenne. Comme nous l'avons précisé (VI.2.b) certaines années sèches, l'affluent du lac peut être complètement asséché et dans ce cas le lac devient une masse d'eau stagnante dans laquelle les conditions thermiques et l'oxygénation des eaux sont radicalement modifiées.

Mais dans tous les cas il se produit un renouvellement des eaux pendant la période de fonte des neiges.

VI.2.d - Caractères chimiques généraux.

De tous les lacs qui font l'objet de cette étude, le lac de Tavaneuse possède les eaux les moins chargées. La minéralisation totale est de l'ordre de 130 mg/l (déterminée sur trois campagnes de prélèvements). La succession des ions (en meq/l) est la suivante : $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+}$ et $HCO_3^{-} > SO_4^{--} > Cl^{-}$. Par rapport à la composition chimique des eaux des autres lacs, il faut noter les concentrations très faibles en Ca^{++} (23 mg/l) et en HCO_3^{-} (94,7 mg/l). Ces faibles valeurs correspondent à la nature lithologique du bassin versant du lac, qui comme nous l'avons précisé est situé à 44 % sur des affleurements de schistes ardoisiers de la nappe de la Brêche qui sont très peu calcaires. Les rapports ioniques caractéristiques sont : $r\ \frac{Mg}{Ca} = 0,40$; $r\ \frac{SO_4}{Cl} = 10,1$; $r\ \frac{Na}{Ca} = 0,03$; $r\ \frac{Na}{Mg} = 0,08$.

Les variations des teneurs en Ca^{++}, Mg^{++} en fonction de la profondeur sont peu importantes et ne varient pas de façon significative pendant l'été. La concentration en SiO_2 , très homogène sur tous les profils verticaux, ne subit non plus aucune variation estivale, alors que les SO_4^{--} montrent une tendance à augmenter vers la fin de l'été.

Les chlorures ont un comportement assez inhabituel : présents avec des concentrations importantes au mois de Juillet (0,9 mg/l en surface et 0,2 mg/l au fond) ils diminuent considérablement au mois d'Août pour disparaître complètement au mois de Septembre.

En ce qui concerne les principaux éléments nutritifs, les eaux de Tavaneuse sont pauvres en azote minéral. La concentration moyenne (*) en nitrates est de 80 µgN/l alors que les N (NH_4) sont de l'ordre de 20 µgN/l. Les teneurs en nitrites se maintiennent à 2 µgN/l.

Pendant toute la période estivale, les concentrations en N (NO_3) des eaux superficielles diminuent régulièrement pour atteindre leurs valeurs minimales au mois de Septembre.

(*) *Moyenne des moyennes pondérées des concentrations mensuelles.*

Les résultats obtenus concernant les concentrations en phosphore nous paraissent extrêmement élevés et les variations observées ne nous permettent pas d'y reconnaître une évolution nette.

On peut néanmoins observer la présence constante de PO_4^{--} et de ce fait il doit être éliminé en tant que facteur limitant à la production primaire.

Les eaux du lac de Tavaneuse sont caractérisées par des teneurs extrêmement faibles en carbone organique total (voir figure nº 63).

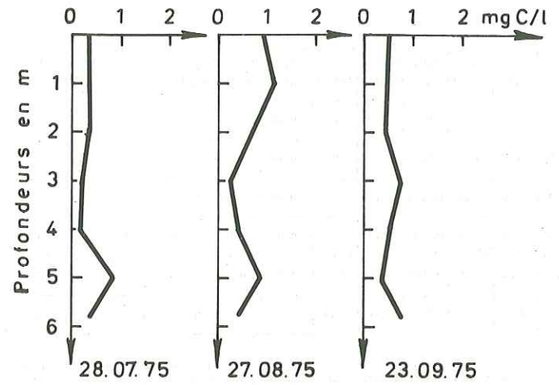


Fig. 63 : LAC DE TAVANEUSE - VARIATIONS DES TENEURS EN C.O.T EN FONCTION DE LA PROFONDEUR.

En effet la moyenne pondérée des concentrations en C.O.T était de 0,35 mg/l en Juillet, augmentait légèrement au mois d'Août : 0,78 mg/l puis diminuait pour atteindre la valeur de 0,53 mgC/l au mois de Septembre.

C'est dans l'action simultanée de trois facteurs principaux qu'il faut rechercher les causes qui amènent ces faibles teneurs en C.O.T :

- La période où le lac est libéré de sa couverture de glace est courte (3-4 mois). Pendant cette période la température des eaux demeure, par rapport aux autres lacs étudiés, relativement faible ce qui défavorise un développement massif de végétaux primaires.

- Les teneurs élevées en oxygène dissous à tous les niveaux créent des conditions extrêmement favorables aux processus de décomposition et minéralisation de la matière organique.

- La présence d'un émissaire superficiel permanent qui permet une évacuation continue des substances organiques produites au sein du lac ou transportées par son affluent.

	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	SO_4^{--} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	NO_3^{-} (mgN/l)	N min. (mg/l)	PO_4^{---} (mgP/l)	P total (mg/l)	SiO_2 (mg/l)	COT (mg/l)	conductivité en µmhos/cm^{-1}	Total
Juin * 1975	21,83	4,40	0,23	0,25	80	1,96	0,16	0,08	0,11	0	0	1,89	0,43	124,8	
Juillet 1975	21,49	5,55	1,01	0,54	93,90	2,12	0,57	0,10	0,13	0,28	0,324	2,13	0,35	138,9	
Août 1975	23,6	5,95	1,39	0,59	101,53	3,10	0,03	0,08	0,09	0,33	0,50	2,16	0,78	149,5	
Septembre 1975	24,2	6,23	0,75	0,46	103,34	3,73	0	0,05	0,06	0,007	0,016	2,08	0,53	177,2	
Moyenne annuelle	22,78	5,53	0,84	0,46	94,693	2,73	0,20	0,08	0,10	0,154	0,210	2,06	0,52	147,6	130
%	17,5	4,2	0,6	0,4	72,8	2,1	0,1	-	-	0,1	0,2	1,6	0,4		

Tableau n° 50 : Lac de Tavaneuse. Composition chimique des eaux lacustres. (Moyennes des concentrations pondérées par le volume des différentes tranches d'eau dans lesquelles les prélèvements ont été réalisés.

* Prélèvements de surface.

VI.2.e - Les sédiments.

Comme nous l'avons précisé toute la partie orientale de la cuvette lacustre est parsemée de blocs rocheux et d'éboulis issus des formations de la brêche supérieure, alors que l'on peut voir dans la partie Ouest sous un ou deux mètres d'eau des affleurements de schistes ardoisiers. Par contre le replat central de la cuvette est entièrement recouvert de sédiment relativement fin.

L'étude de ces sédiments est basée sur une campagne de prélèvements réalisés à la benne "Ekman" pendant le mois d'Août 1975. L'examen des sédiments dès leur émersion nous a permis de déceler une couche d'une épaisseur d'environ 1 mm de couleur marron clair, sous laquelle les sédiments devenaient d'un gris très foncé.

L'analyse granulométrique a révélé une fraction grossière (supérieure à 40 µ) beaucoup plus élevée que celle des autres lacs de la région (12 % dans la couche 0-6 cm et jusqu'à 29 % dans la couche 6-10 cm). La densité humide de ces sédiments est de 1,30 et la teneur en eau de 66 % du poids du sédiment humide.

Les résultats des analyses chimiques réalisées sur 3 échantillons prélevés aux différents niveaux de la benne sont reportés sur le tableau n° 51.

Il apparaît de ce tableau qu'avec une perte à 550°C de l'ordre de 6 % les sédiments du lac de Tavaneuse sont parmi les lacs de la région les plus pauvres en matières organiques.

La composition chimique de la fraction minérale ne diffère guère de celle observée sur les lacs de Montriond, Roi ou Arvouin, et est constituée essentiellement de SiO_2 (70 %), d'Al_2O_3 (13 %) et de Fe_2O_3 (7 %). Il faut noter néanmoins la plus faible participation du CaO : 0,6 % contre des valeurs situées entre 2 et 3 % sur les lacs sus-cités. Les rapports $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = 2,0$ et $\frac{SiO_2}{Al_2O_3} = 5,2$ se rapprochent des valeurs moyennes de la région.

On peut considérer que les sédiments du lac de Tavaneuse sont un mélange d'alumino-silicates et de particules de silice qui peuvent être soit du quartz, soit de la silice amorphe d'origine organique.

Profondeur	27.08.75 Surface 0-3 cm	3-6 cm	6-9 cm	Moyenne pour la couche 0-9 cm	% de la fraction minérale
SiO_2	66,8	65,0	65,0	65,6	69,8
Al_2O_3	12,44	12,81	12,81	12,7	13,5
Fe_2O_3	4,26	7,63	6,84	6,2	6,6
K_2O	2,83	2,69	2,81	2,8	3,0
MgO	2,59	2,59	2,53	2,6	2,8
TiO_2	0,68	0,70	0,69	0,69	0,73
CaO	0,62	0,58	0,45	0,55	0,58
Na_2O	0,38	0,41	0,43	0,41	0,44
P_2O_5	0,251	0,271	0,275	0,27	0,29
MnO	0,12	0,16	0,21	0,16	0,17
Perte à 550°C	6,6	6,6	5,0	6,07	
Perte à 1000°C	8,7	9,1	17,1 *	8,9	3,0
TOTAL	99,7	101,9	109,1	100,9	100,9

Tableau n° 51 : Composition chimique des sédiments superficiels (0-9 cm) du lac de Tavaneuse. Valeurs exprimées en % par rapport au sédiment séché à 105°C et en % de la fraction minérale.

* Valeur douteuse.

RESUME

Le lac de Tavaneuse (1806 m) est un lac d'origine glaciaire qui est recouvert de glace pendant 8 à 9 mois par an. Alimenté de façon quasi-permanente par un petit ruisseau dont le débit estival est de l'ordre de 20-25 l/s, les eaux lacustres ont un temps de renouvellement moyen de 28 jours (à la fonte des neiges , τ = 5 jours).

Les eaux du lac, qui pendant toute la période estivale sont bien oxygénées à tous les niveaux, ont un pH qui varie entre 7,3 et 8,2. La minéralisation totale de ces eaux de nature bicarbonatée calcique est de l'ordre de 130 mg/l. Relativement pauvre en azote minéral (100 µgN/l), les teneurs en PO_4 (154 µgP/l) apparaissent supérieures aux autres lacs de la région. La transparence estivale des eaux est de 2 mètres (0,9-4 mètres). Les valeurs extrêmes du C.O.T sont 0,4 et 0,8 mgC/l.

Avec ses eaux oxygénées ou suroxygénées à toutes les profondeurs et pauvres en substances organiques ainsi que des sédiments dont la perte à 550°C est de l'ordre de 5 % le lac de Tavaneuse est un exemple typique d'un lac oligotrophe.

LAC DE DARBON

VII. - LAC DE DARBON (1816 m)

VII.1. - BASSIN-VERSANT.

Le lac de Darbon est situé au fond d'une doline au pied du Roc du Chateau d'Oche, à environ 20 km (à vol d'oiseau) au Sud-Est de Thonon. Les coordonnées Lambert du lac sont : x = 939,4 ; y = 158,2 (carte au 1/20.000e Thonon-les-Bains nº 8).

Les principales caractéristiques du bassin versant du lac sont reportées sur le tableau nº 52. Le module pluviométrique ainsi que la température moyenne ont été déterminés de façon analogue aux autres lacs de la région (voir page 39).

A	Superficie (ha)	64,4
L	Périmètre (km)	3,3
h_m	Altitude maximum	2.198,8
$\bar{h}$	Altitude moyenne	1964
h	Niveau du plan d'eau	1816
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,16
$\bar{P}$	Pluviométrie moyenne annuelle (mm)	1904
$\bar{T}°C$	Température moyenne annuelle	- 0,9

Tableau nº 52 : Caractéristiques générales du bassin versant du lac de Darbon

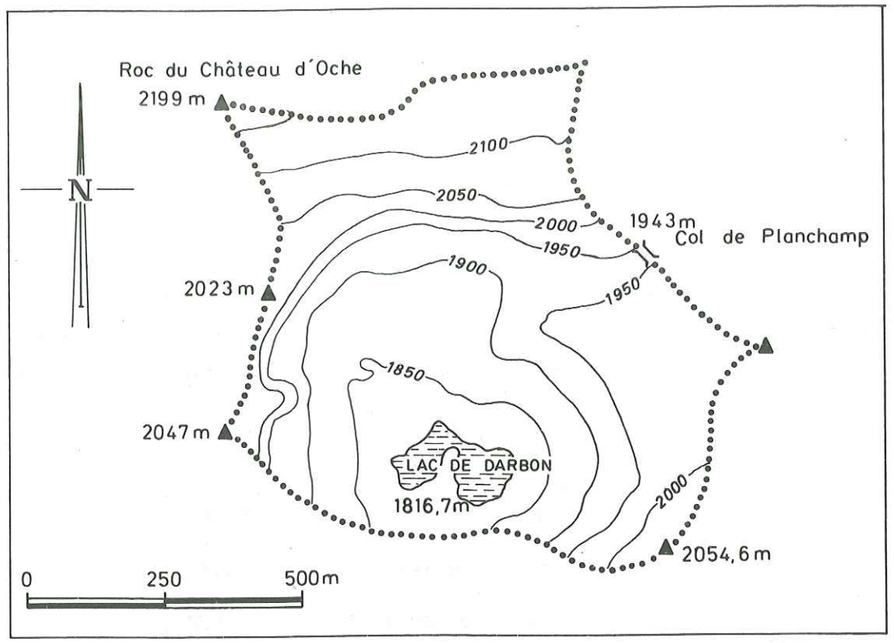


Fig. 64 : CARTE TOPOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE DARBON

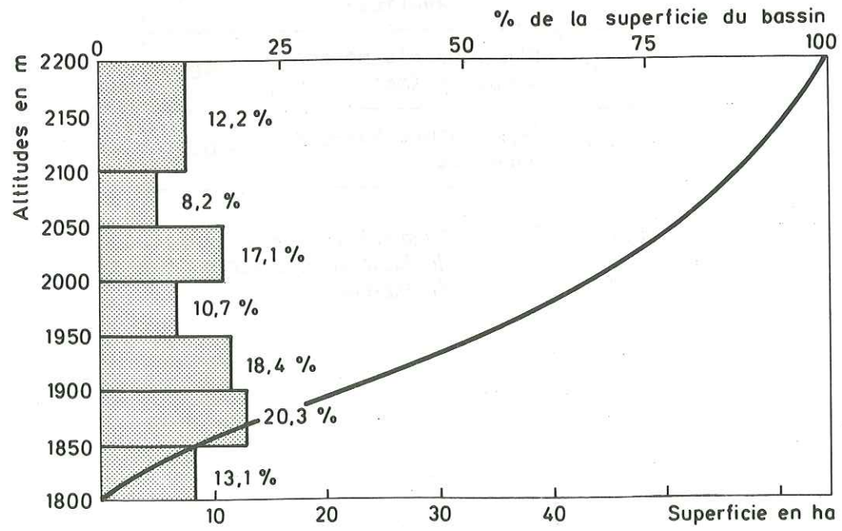


Fig. 65 : COURBE HYPSOMETRIQUE ET FREQUENCES ALTIMETRIQUES DU BASSIN VERSANT DU LAC DE DARBON.

Le bassin versant est situé essentiellement (voir figure nº 66) sur des affleurements du malm de la nappe des Préalpes médianes qui est recouvert dans toute la partie inférieure du bassin par des éboulis (40%) et de la moraine glaciaire (Würm). Les éboulis proviennent essentiellement du malm et des couches rouges (à l'Est du lac).

La presque totalité du bassin versant est dépourvue de formations végétales. Ce n'est que sur la moraine (sur un sol brun d'une épaisseur d'environ 50 cm) ainsi que sur quelques replats du bassin que l'on peut voir de la pelouse alpine clairsemée de rhododendrons et de gentianes (bleues et jaunes).

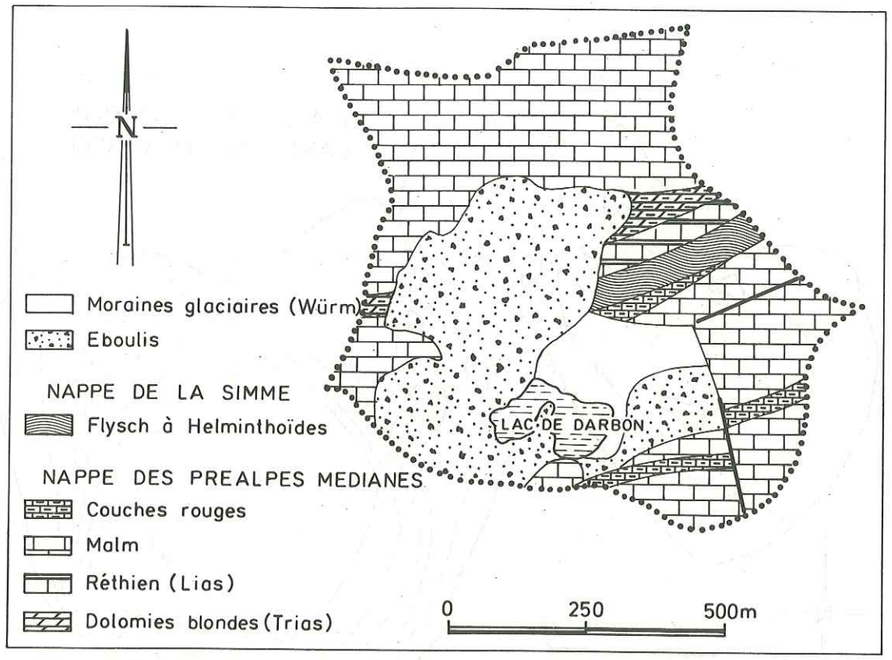


Fig. 66 : ESQUISSE GEOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU LAC DE DARBON

VII.2. - LE LAC.

VII.2.a - Origine, morphométrie, bathymétrie, transparence des eaux.

Le lac de Darbon est un lac de doline, dont le fond est tapissé de dépôts morainiques. Il résulte donc d'un phénomène karstique complété par l'érosion glaciaire.

Les principales caractéristiques morphométriques du lac sont reportées sur le tableau n° 53. La carte bathymétrique (figure n° 67) relevée pendant le mois d'Août 1976 correspond à un niveau relativement bas du plan d'eau qui est sujet à des variations de l'ordre de 1,5 mètre (voir VII.2.b).

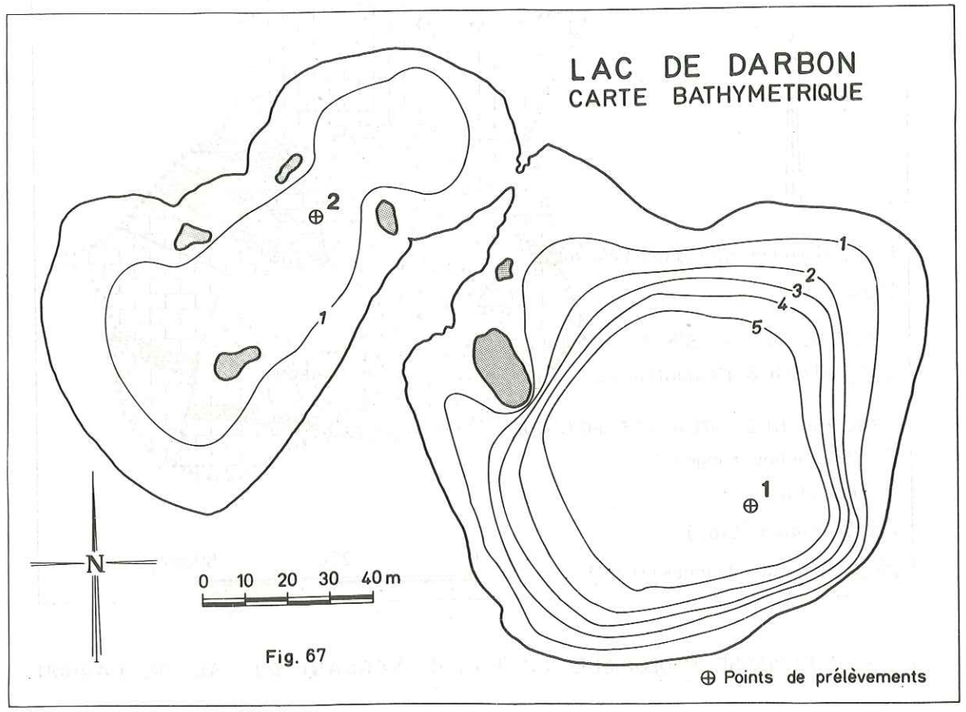


Fig. 67

Le lac de Darbon est formé de deux cuvettes séparées par un détroit rocheux peu profond qui "peut se trouver à sec en période d'étiage" (B. DUSSART, 1948). La transparence élevée des eaux permet de distinguer nettement les formes régulières de la cuvette du grand lac dont le fond est entièrement recouvert de sédiments fins, et celle du petit lac qui est encombrée de gros blocs rocheux.

h	Altitude (m)	1816
A	Superficie (ha)	1,98
l	Longueur (m)	205
$\bar{b}$	Largeur moyenne (m)	96,6
V	Volume (m^3)	37.334
z_m	Profondeur maximum	5,6
$\bar{z}$	Profondeur moyenne	1,9
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,46
h (x)	Fluctuation du niveau du lac (m)	1,5
L	Périmètre (m)	730
τ	Temps de renouvellement moyen	15 jours
A/A'	Rapport superficie : lac/bassin total	3,1 %

Tableau n° 53 : Caractéristiques générales du lac de Darbon

VII.2.b - Mode d'alimentation et temps de renouvellement des eaux.

Le lac de Darbon est un lac fermé qui ne possède ni affluents ni émissaires superficiels. Il est alimenté en permanence par deux petites sources visibles et sans doute également par d'autres sous-lacustres. Lors de nos campagnes de prélèvements nous avons pu observer des variations du niveau du plan d'eau d'environ 1,5 mètres. Le niveau supérieur du lac a été observé au mois de Juin, alors que le lac était recouvert de glace et

le bassin versant enneigé (dans la partie inférieure du bassin l'épaisseur de la couche de neige atteignait jusqu'à 2 mètres). Le niveau inférieur a été observé lors de notre dernière campagne en Septembre. La différence entre le niveau du mois d'Août et celui du mois de Septembre était d'environ 0,15 mètre.

Comme les autres lacs de la région, le lac de Darbon est réalimenté en eau essentiellement à la fonte des neiges. Le temps de renouvellement moyen théorique des eaux est d'environ 15 jours (voir page 117).

VII.2.c - Température, oxygène dissous, conductivité, pH.

Le lac est recouvert de glace pendant environ 8-9 mois (Octobre à fin Juin). Le 11.06.1975 l'épaisseur de la glace au milieu du lac était de 1,5 mètre. En cette période les eaux du lac ne présentent pas de stratification "inverse". En effet sous la glace la température oscille de la surface au fond entre 1,1°C et 1,6°C.

Pas plus qu'en hiver, aucune stratification thermique n'a pu être décelée pendant la période estivale (Août et Septembre) où les températures très homogènes en profondeur avoisinaient 12°C. Le lac de Darbon apparaît donc comme un lac dimictique de 3ème ordre.

Les valeurs de la conductivité des eaux et la distribution de l'oxygène dissous diffèrent également suivant la saison : en hiver (Juin) alors que les valeurs de la conductivité augmentent en profondeur (130 µmhos en surface et 220 µmhos au fond), les eaux du fond sont sous-oxygénées (4 mg/l soit 38 % de la teneur à la saturation). En été par contre on assiste à une homogénéisation assez nette de ces deux paramètres. La conductivité est en moyenne de 160 µmhos sur tout le profil et la teneur en O_2 dissous est de 10 mg/l à tous les niveaux.

Les valeurs du pH qui ne subissent pas de variation en profondeur varient de 7,4 en Juin à 8 pendant la période estivale (Août-Septembre).

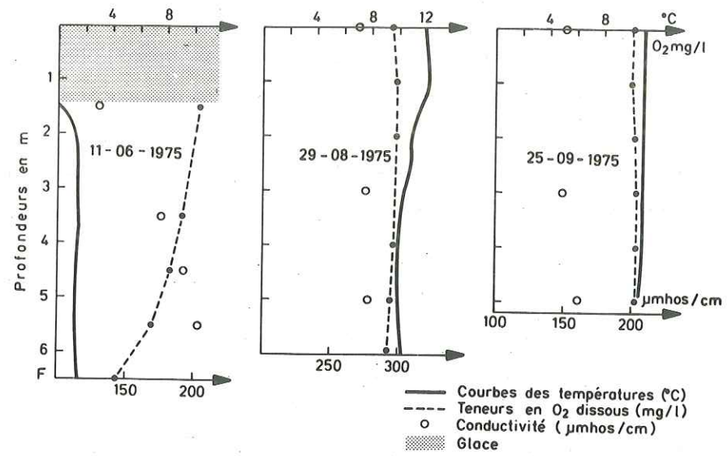


Fig. 68 : EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE LA CONDUCTIVITE ET DE LA TENEUR EN OXYGENE DISSOUS DANS LES EAUX DU LAC DE DARBON

VII.2.d - Caractères chimiques généraux.

Les eaux du lac de Darbon, dont la minéralisation totale est de l'ordre de 140 mg/l sont essentiellement bicarbonatées calciques. Ces deux éléments représentent environ 78 % de la masse totale des éléments dissous. La succession des ions exprimée en méq/l est la suivante : $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+}$ et $HCO_3^{-} > SO_4^{--} > Cl^{-}$. Les rapports ioniques caractéristiques sont en moyenne : $r\frac{Mg}{Ca} = 0,08$; $r\frac{Na}{Ca} = 0,015$; $r\frac{Na}{Mg} = 0,20$; $r\frac{SO_4}{Cl} = 25,2$.

On peut noter le faible rapport $\frac{Mg}{Ca}$ qui résulte des faibles concentrations en Mg^{++} dans les eaux lacustres.

La distribution verticale des concentrations en éléments majeurs varie considérablement suivant la saison : avant le dégel (Juin) on observe une augmentation très nette des concentrations en profondeur (pour les

Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+} ainsi que les HCO_3^{-} et SO_4^{--}) alors qu'en Août et Septembre les teneurs de ces éléments sont homogènes à tous les niveaux.

Les teneurs en SiO_2 diminuent considérablement pendant les mois d'été et de 1,5 mg/l au mois de Juin elles passent au mois d'Août à 0,4 mg/l (tableau nº 54). L'azote minéral subit les mêmes variations : de 280 µgN/l avant le dégel la concentration moyenne en N minéral diminue à 80 µgN/l. Quant aux orthophosphates, les concentrations varient entre 2 et 14 µgP/l.

	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	HCO_3^{-} (mg/l)	SO_4^{--} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	NO_3^{-} (mgN/l)	IN min. (mg/l)	PO_4^{---} (mgP/l)	P total (mg/l)	SiO_2 (mg/l)	C.O.T. (mg/l)	conductivité en µmhos/cm^{-1}	TOTAL
Juin 1975	34,89	1,53	0,20	0,18	105,54	3,48	0,15	0,24	0,286	0,002	0,007	1,52	0,41	171	
Août 1975	30,26	1,45	0,76	0,28	98,54	3,40	0	0,04	0,085	0,007	0,027	0,40	0,74	173	
Septembre 1975	28,10	1,38	0,66	0,18	91,84	3,40	0,1	0,04	0,076	0,014	0,029	0,46	1,26	152	
Moyenne annuelle	31,05	1,45	0,54	0,21	98,4	3,42	-	0,10	0,149	0,008	0,042	0,79	0,80	165	136
%	22,7	1,1	0,4	0,2	71,9	2,5	-	-	0,1	-	-	0,6	0,6	-	

Tableau nº 54 : Lac de Darbon. Composition chimique des eaux du lac. (Moyennes des concentrations des éléments, pondérées par le volume des différentes tranches d'eau dans lesquelles les prélèvements ont été réalisés).

Le carbone organique total a été déterminé sur des échantillons d'eau brute (non filtrée). Les variations du C.O.T aux différentes profondeurs du lac sont reportées sur la figure nº 69.

On peut observer sur cette figure qu'au mois de Juin, alors que le lac est encore gelé et donc avant le renouvellement des eaux à la fonte des neiges, les eaux du lac sont extrêmement pauvres en C.O.T. Le C.O.T réfractaire déterminé en cette période est de 0,4 mgC/l. Ces faibles valeurs du C.O.T sont révélatrices des conditions extrêmement favorables de décomposition et de minéralisation de la matière organique qui existent au sein du lac pendant la période hivernale.

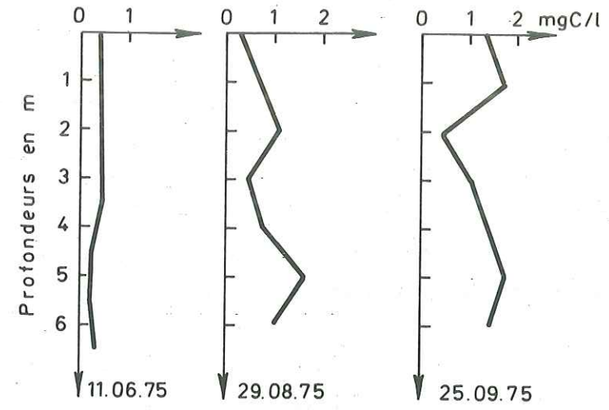


Fig. 69 : LAC DE DARBON - VARIATIONS DES TENEURS EN C.O.T. EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

Pendant l'été les teneurs en C.O.T augmentent et la moyenne pondérée des concentrations atteignait au mois de Septembre la valeur de 1,3 mgC/l.

VII.2.e - Les sédiments.

L'échantillonnage de sédiments du lac de Darbon a été réalisé à l'aide d'une benne "Ekman" modèle réduit (0,20 x 0,20 x 0,20 m) qui a l'avantage d'être peu encombrante et très pratique pour les études sédimentologiques des lacs de montagne. Par contre elle présente l'inconvénient d'être trop légère ce qui freine sa pénétration dans la vase. Tous les résultats que nous présentons ci-dessous concernent uniquement la couche superficielle (0-5 cm) des sédiments. Les échantillons ont été prélevés au point de prélèvement nº 1 du grand lac (voir figure nº 67). En cet endroit la fraction fine (inférieure à 40 µ) représente

79 % du poids du sédiment sec, la densité humide est de 1,16 et la teneur en eau est de 78 % du poids du sédiment humide.

Les sédiments sont pauvres en matière organique (la perte à 550°C est de 10,6 %) et ont des teneurs en $CaCO_3$ relativement élevées. La perte à 1000°C étant de 17,5 %, on obtient la différence de 6,9 % du poids du sédiment sec qui correspond au CO_2 de la désintégration des carbonates. En admettant que ces derniers sont essentiellement sous forme de $CaCO_3$, on peut estimer que la participation des carbonates de calcium dans les sédiments du lac de Darbon est de l'ordre de 16 %, ce qui, par rapport aux autres lacs de la région, paraît assez élevé.

RESUME

Le lac de Darbon (1816 m) est un lac de doline peu profond de type dimictique de 3ème ordre. Ne possédant pas d'affluents ni d'émissaire superficiel, une partie des eaux du lac s'infiltre en profondeur provoquant des variations du niveau du plan d'eau. Le temps de renouvellement moyen théorique des eaux du lac est de 15 jours.

Les eaux du lac, de nature bicarbonatée calcique, et dont la minéralisation totale est de l'ordre de 140 mg/l, sont dès le dégel et pendant tout l'été, suroxygénées à tous les niveaux. La transparence des eaux, qui ont un pH toujours alcalin, est supérieure à la profondeur maximale du lac. Les teneurs en N minéral varient entre 0,29 mgN/l et 0,08 mgN/l et celles des phosphates entre 0,002 mgP/l et 0,014 mgP/l.

En tenant compte de la faible valeur du C.O.T réfractaire (0,40 mgC/l) à la fin de la période hivernale qui révèle la capacité du lac à "consommer" sa propre production organique, des teneurs peu élevées en matières organiques dans les sédiments (10 %), de la suroxygénation des eaux en été et de la transparence élevée des eaux lacustres, on peut considérer le lac de Darbon comme un lac oligotrophe.

DISCUSSION

D I S C U S S I O N

1) CONCLUSIONS GENERALES.

Les lacs qui font l'objet de cette étude sont échelonnés de 600 à 1816 mètres d'altitude dans les Préalpes du Chablais. Du point de vue géologique, on appelle les Préalpes l'ensemble tectonique situé à l'Ouest des Hautes-Alpes calcaires de l'ensemble helvétique qui est formé d'un empilement de nappes de charriage qui sont du bas vers le haut : la nappe ultrahelvétique, la nappe des préalpes médianes, la nappe de la brêche et la nappe de la Simme. En divers endroits, recouvrant ces différentes nappes, on retrouve des formations quaternaires.

Bien que situés sur un territoire géographiquement restreint, ces lacs présentent une diversité prononcée tant par leurs origines que par leurs états actuels.

Sur les 7 lacs étudiés, deux sont des lacs de barrage naturel (Montriond, Vallon), deux autres ont une origine glaciaire (Roi, Tavaneuse). Le lac d'Arvouin résulte d'un surcreusement torrentiel, celui du Darbon est un lac de doline alors que le Voua de la Motte doit son existence à la fonte tardive d'une lentille de glace emprisonnée dans les formations quaternaires que sont les "terrasses" de Thonon.

Il faut préciser qu'en raison de leur éloignement de tout centre d'habitat, de leur altitude ainsi que de l'absence d'activité agricole sur leur bassin versant, le rôle de l'homme n'a guère influencé le comportement de ces lacs. Ce sont des lacs qui évoluent dans des conditions naturelles.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes proposés d'étudier d'une part les différents facteurs susceptibles d'intervenir sur l'évolution de ces lacs (cadre géologique, dynamique des eaux, climat, végétation, morphométrie des lacs et bassins versants, physico-chimie des eaux lacustres et des sédiments, etc...) et d'autre part les variations des teneurs du carbone organique total en vue de son utilisation comme critère analytique de l'état actuel des lacs.

Les principales caractéristiques morphométriques, climatologiques et hydrologiques de ces lacs sont reportées sur le tableau n° 55.

		Voua de la Motte	Montriond	Vallon	Roi	Arvouin	Tavaneuse	Darbon
	BASSIN-VERSANT							
A'	Superficie (ha)	8,2	2 346	2 064	70,8	64,2	53,6	64,4
L	Périmètre (km)	1,0	24,3	18,4	4	3,3	3,4	3,3
$\bar{h}$	Altitude moyenne (m)	600	1 660	1 483	1 733	1 793	1 904	1 964
h_m	Altitude maximum (m)	612	2 347	2 244	1 980	2 094	2 146	2 199
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,01	1,42	1,14	1,34	1,16	1,31	1,16
$\bar{P}$	Pluviométrie annuelle (mm)	1 085	1 711	1 600	1 755	1 802	1 868	1 904
$\bar{T}°C$	Température moyenne annuelle	6,9	1,34	2,6	0,82	0,3	- 0,5	- 0,9
	LAC							
h	Altitude du plan d'eau (m)	595	1 067	1 075	1 659	1 669	1 806	1 816
A	Superficie (ha)	0,8	max : 23,4 min : 18,2	13,6	3,5	1,8	2,1	2,0
l	Longueur (m)	132	1 320	866	318	182	237	205
$\bar{b}$	Largeur moyenne (m)	63	253	157	111	100	91	97
V	Volume (10^3 m^3)	23	max : 3 094 min : 545	660	131	68	56	37
z_m	Profondeur maximum (m)	8,9	19,7	10,2	11,3	6,3	5,9	5,6
$\bar{z}$	Profondeur moyenne (m)	2,8	9,11	4,8	3,7	3,7	2,6	1,9
K	Indice de compacité (Gravelius)	1,05	1,42	1,74	1,15	1,09	1,14	1,46
$h_{(x)}$	Fluctuation du niveau du lac (m)	0,70	10,8	0,1	nulle	nulle	nulle	1,5
L	Périmètre (km)	0,34	3,1	2,3	0,8	0,5	0,6	0,7
	Mode d'alimentation	(1)	(2)	(2)	(3)	(2)	(2)	(4)
τ	Temps de renouvellement des eaux	-	1 mois	10 jours	2 mois	1 mois	1 mois	15 jours
	Durée du gel	0-1 mois	6-7 mois	6 mois	7-8 mois	7-8 mois	8-9 mois	8-9 mois
A/A'	Rapport superficie lac/bassin (%)	10,1	1,4	0,7	5	2,8	4	3,1
	Transparence (extrêmes en m)	1,3-2,7	1,0-5,6	0,5-3,2	0,7-5,2	0,9-3,0	0,9-4,0	4,0-5,6
	Caractère dynamique	(5)	(6a)	(6a)	(6a)	(6a)	(6)	(6b)

(1) Alimentation par une nappe phréatique + précipitations directes + eaux de ruissellement
(2) Affluents permanents
(3) Affluents temporaires
(4) Pas d'affluents. Alimentation par ruissellement et précipitations directes + (2 sources visibles)
(5) Méromictique
(6) Dimictique
a : second ordre
b : 3ème ordre

Tableau n° 55 : Caractères généraux des lacs de montagne du Chablais. (Tableau récapitulatif)

La couverture végétale des bassins de ces lacs est représentée par la forêt de feuillus (chêne et frêne) au Voua de la Motte, par la forêt mixte d'épicéa et de hêtre puis uniquement d'épicéa dans les zones plus élevées (Montriond, Vallon), par de la pelouse alpine (Roi, Arvouin, Tavaneuse) alors que le bassin du Darbon est pratiquement dépourvu de formations végétales. Par leur mode d'alimentation on peut distinguer des lacs à affluents permanents (Montriond, Vallon, Arvouin, Tavaneuse), temporaires (Roi) et des lacs fermés qui n'ont ni affluent, ni émissaire aérien et qui sont réalimentés essentiellement à la fonte des neiges ainsi que par les précipitations directes aux lacs et les eaux de ruissellement (Darbon) ou par une nappe phréatique (Voua de la Motte). Une particularité qui caractérise ces lacs de montagne est la rapidité avec laquelle leurs eaux sont renouvelées. En effet sur les 7 lacs, six ont un temps de renouvellement théorique inférieur à deux mois. (Du fait de son alimentation complexe le temps de renouvellement du Voua de la Motte est difficilement calculable). Les temps de renouvellement théoriques (τ) sont des valeurs moyennes calculées suivant les lacs comme le rapport du volume de la cuvette lacustre et des apports moyens journaliers (Vallon, Montriond) ou en utilisant le débit spécifique moyen des préalpes du Chablais (41 $l/s/km^2$: moyenne pour la période 1963-1972). Les temps ainsi calculés sont des ordres de grandeur qui caractérisent les conditions existantes pour la réalisation des renouvellements. En réalité, les renouvellements des eaux qui se produisent lors de la fonte des neiges et lors des crues automnales sont beaucoup plus courts (de 3 à 10 jours) et leurs importances sont prédominantes pour l'évolution des lacs : ils permettent l'évacuation des eaux chargées en substances organiques qui résultent du métabolisme lacustre et défavorisent leur accumulation au fond du lac. De ce fait, indépendamment de l'intensité de l'activité biologique au sein des lacs en période estivale, les lacs se retrouvent chaque printemps avec des eaux entièrement renouvelées et peu chargées en substances organiques et leurs sédiments demeurent pauvres en matières organiques (de 5 à 12 %) pour les lacs de montagne.

Le caractère principal des eaux des lacs des Préalpes du Chablais est leur nature bicarbonatée calcique. Ces deux éléments représentent environ 90 % de la masse totale des éléments dissous qui varie de 130 à 370 mg/l.

On peut distinguer les lacs alimentés par des eaux issues de formations quaternaires (Voua de la Motte) dont la minéralisation est en moyenne de 370 mg/ℓ et les lacs des différentes nappes des préalpes dont la minéralisation totale se situe entre 130 et 260 mg/ℓ. Sur tous ces lacs la succession des ions (en méq/ℓ) est la suivante : $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+}$ et $HCO_3^{-} > SO_4^{--} > Cl^{-}$ (tableau n° 56).

Dans la plupart des cas les concentrations en éléments majeurs subissent des variations importantes qui sont essentiellement le reflet des variations du chimisme des eaux des affluents, elles-mêmes étroitement liées aux régimes hydrologiques de ces rivières.

En ce qui concerne les principaux éléments nutritifs, les lacs de montagne du Chablais apparaissent extrêmement pauvres en phosphore : exception faite au lac de Tavaneuse, les concentrations moyennes (*) vont de 12 à 42 µgP/ℓ de phosphore total soluble et sur plusieurs lacs (Montriond, Vallon), on note la disparition totale de cet élément des couches superficielles en période estivale ce qui nous amène à le considérer comme le facteur limitant principal au développement du phytoplancton dans les eaux lacustres. Par contre l'azote est présent en quantité importante (de 100 µgN/ℓ à Tavaneuse à 530 µgN/ℓ au Voua de la Motte) essentiellement sous forme de nitrates (Montriond, Vallon, Tavaneuse, Darbon) ou d'ions ammonium (Voua de la Motte, Roi, Arvouin).

Contrairement aux eaux lacustres, les sédiments des lacs de montagne du Chablais (à l'exclusion du Voua de la Motte) sont très pauvres en calcium et les différences entre les pertes à 1000°C et celles à 550°C qui sont dues essentiellement au CO_2 produit par la dissociation des carbonates varient entre 2,4 % et 9,8 % du poids du sédiment sec. Ceci nous amène à constater que les sédiments des petits lacs de montagne ne reflètent pas la composition chimique de leurs bassins versants.

(*) Moyenne pondérée par le volume des différentes tranches d'eau.

	Voua de la Motte	Montriond	Vallon	Roi	Arvouin	Tavaneuse	Darbon
CHIMIE DES EAUX (1)							
Ca^{++} (mg/l)	66,8	39,0	53,1	40,9	50,3	22,8	31,0
Mg^{++} (mg/l)	12,9	5,1	6,5	8,2	1,6	5,5	1,4
Na^{+} (mg/l)	2,2	0,7	0,9	0,6	1,0	0,8	0,5
K^{+} (mg/l)	1,9	0,3	0,4	0,4	0,7	0,5	0,2
HCO_3^{-} (mg/l)	252,6	138,4	170,3	164,8	161,6	94,7	98,4
SO_4^{--} (mg/l)	14,3	5,4	21,2	2,8	2,5	2,7	3,4
Cl^{-} (mg/l)	3,7	0,3	0,4	0,1	0,3	0,2	-
NO_3^{-} (µgN/l)	*100*	*210*	*200*	*180*	*110*	*80*	*100*
N min. (µgN/l)	*530*	*233*	*236*	*436*	*217*	*100*	*149*
PO_4^{---} (µgP/l)	*5*	*4*	*4*	*12*	*5*	*154*	*8*
P total (µgP/l)	*19*	*12*	*14*	*21*	*15*	*210*	*42*
SiO_2 (mg/l)	4,8	2,2	2,3	2,5	2,4	2,1	0,8
COT (mgC/l)	8,8	0,6	1,1	1,7	1,5	0,5	0,8
Conductivité (µmhos.cm^{-1})	391	218	295	246	247	148	165
Minéralisation totale (mg/l) (2)	360	192	255	221	221	130	136
Nombre de campagnes de prélèvements d'eau	12	10	9	5	3	4	3
SEDIMENTS (3)							
SiO_2	7,2	55,4	46,4	61,0	64,8	65,6	
Al_2O_3	0,4	15,3	11,6	10,0	13,7	12,7	
Fe_2O_5	0,4	7,1	3,6	7,8	7,1	6,8	
K_2O	0,3	3,1	1,8	2,0	1,7	2,8	
MgO	0,6	2,8	2,3	2,0	1,4	2,6	
CaO	28,2	2,5	11,5	2,0	1,4	0,5	
TiO_2	0,08	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	
Na_2O	0,3	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	
P_2O_5	0,19	0,25	0,18	0,25	0,22	0,27	
MnO	0,04	0,15	0,10	0,08	0,05	0,16	
Perte à 550°C	41,0	9,6	6,7	11,7	9,2	6,1	10,6
Perte à 1000°C	59,9	12,0	16,5	14,5	11,7	8,9	17,5
Teneur en eau (4)	92	67	57	77	64	66	78
Densité humide	1,04	1,26	1,36	1,14	1,26	1,30	1,16
% fraction fine (5)	95	98	99	96	99	88	79
Al_2O_3/Fe_2O_5	1,0	2,1	3,2	1,3	1,9	2,0	
SiO_2/Al_2O_3	18,0	3,6	4,0	6,1	4,7	5,2	

(1) Moyennes des concentrations pondérées par les volumes des différentes tranches d'eau du lac.
(2) Somme des ions analysés (en mg/l) et de la silice (sans le C.O.T.).
(3) En % du sédiment séché à 105°C.
(4) En % du sédiment humide.
(5) Inférieure à 40 microns.

Tableau n° 56 : Composition chimique moyenne des eaux et des sédiments des lacs du Chablais (1974-1975). (Tableau récapitulatif)

Dans la plupart des lacs de montagne du Chablais les sédiments sont constitués d'un mélange d'alumino-silicate peu riche en carbonates et de particules de silice qui peuvent être soit du quartz fin, soit de la silice amorphe d'origine biologique (tableau n° 56). La valeur moyenne du rapport $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$ est de 2,1 et celle de $\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ = 4,7. (Le rapport SiO_2/Al_2O_3 de certaines argiles est : kaolinite = 1,3 ; illite = 1,95 ; chlorite : 2,15).

2) CYCLE DU CARBONE ORGANIQUE TOTAL (C.O.T) DANS LES EAUX LACUSTRES.

Dans le cadre de cette étude, une attention particulière a été portée sur l'évolution des concentrations en carbone organique total (C.O.T) des eaux lacustres. Constituant majeur des composés organiques, le carbone organique (à l'exclusion du carbone minéral : carbonates, bicarbonates, CO_2) peut être considéré comme une très bonne approximation de la quantité de matière organique présente dans un milieu aquatique. Sous la nomination de carbone organique total (C.O.T) sont inclus le carbone organique dissous (C.O.D) et le carbone organique particulaire (C.O.P) qui représente en moyenne 20 % du C.O.T des eaux lacustres. L'étude du C.O.T par la méthode de Menzel et Vaccaro dans les lacs du Chablais a permis de déceler l'existence d'un cycle caractéristique au sein des eaux lacustres qui peut être brièvement résumé de la façon suivante :

- Pendant la période estivale d'exaltation biologique, les concentrations en C.O.T des eaux augmentent. Cette augmentation est d'autant plus prononcée que l'activité biologique est importante et que le temps de renouvellement est lent (faible évacuation). L'établissement du bilan estival du C.O.T des eaux du lac de Vallon nous a permis une estimation de la production interne nette de C.O.T au sein de ce lac. (La production interne nette d'un lac est la masse de carbone organique (dissous et particulaire) produite par unité de temps (jours) et par unité de surface du lac (m^2) qui se maintient dans les eaux lacustres. Elle tient compte des phénomènes simultanés de minéralisation qui se produisent au sein du lac). Pour la période incluse entre le 3 Juin et le 30 Octobre 1975 la production

interne nette de C.O.T a été en moyenne de 0,3 gC/m^2/jour alors que la production la plus forte a été observée entre le 26 Août et le 18 Septembre 1975 (en moyenne 0,8 gC/m^2/jour). Les lacs atteignent leurs valeurs maximales pendant les mois d'Août, Septembre ou Octobre. En cette période la répartition verticale des concentrations est assez hétérogène.

- Période de palier hivernal. Elle débute avec le brassage isothermique d'automne et se poursuit (pour les lacs dimictiques) jusqu'au brassage printanier. Pour certains lacs de montagne cette période peut durer jusqu'à 9 mois. Du fait de la réoxygénation des eaux lors du brassage automnal et de la prédominance des processus de décomposition et minéralisation de la matière organique sur la production, on assiste à une diminution globale des teneurs en C.O.T. Les concentrations en C.O.T, très homogènes aux différentes profondeurs, marquent une augmentation brutale (Voua de la Motte, Montriond, Vallon, Roi) dans la couche la plus profonde dont l'épaisseur est de 1-1,5 mètre. On peut supposer que cette augmentation résulte de la décomposition plus ou moins lente des matières organiques déposées sur les sédiments et qui peut provoquer un déficit important d'oxygène dissous dans ladite couche. Il faut préciser qu'en hiver, dans les lacs qui présentent une stratification "inverse" les eaux des affluents (Montriond et Vallon) dont les températures oscillent entre 1-3°C ne parviennent pas à se mélanger avec les eaux profondes des lacs dont la température est de 4°C.

- Période de fonte des neiges. Elle intervient pendant et après le dégel de la surface des lacs. En cette période la plupart des lacs de montagne du Chablais renouvellent entièrement leurs eaux et de ce fait évacuent une grande partie des substances organiques accumulées au fond des lacs. C'est en cette période que l'on a évalué les concentrations moyennes minimales que l'on considère comme réfractaires au système lacustre.

3) ETAT TROPHIQUE DES LACS DU CHABLAIS.

En tenant compte du cycle du carbone organique total, nous nous sommes basés sur les valeurs extrêmes du C.O.T des eaux lacustres ainsi que des teneurs en matières organiques des sédiments pour essayer de déterminer l'état actuel des différents lacs. En effet la valeur minimale des concentrations en C.O.T résulte d'une part de l'équilibre existant entre les phénomènes antagonistes que sont la production et la destruction de matières organiques, et d'autre part de la capacité du lac à évacuer les déchets organiques du lac et du bassin.

C'est précisément cette capacité du lac à détruire ou évacuer la production organique du système lacustre que nous préconisons comme critère pour déterminer l'état actuel d'un lac.

On peut considérer un lac comme eutrophe dès le moment où il est incapable de "consommer" ou évacuer le produit de l'activité biologique du système. Il en résulte des concentrations élevées en carbone organique dans les eaux, l'apparition d'une zone anoxique de plus en plus importante et la matière organique s'accumule dans les sédiments. Le Voua de la Motte est un exemple d'un lac eutrophe : la valeur du C.O.T réfractaire des eaux est de 7 mgC/l, l'épaisseur de la zone anoxique oscille entre 2 et 3 mètres et les sédiments sont très organiques (43 % de matières organiques). (Voir tableau n° 57).

Par contre un lac demeure à son état jeune ou "oligotrophe" s'il est capable de minéraliser ou d'évacuer rapidement le produit organique de son métabolisme : les valeurs du C.O.T réfractaire sont faibles (< 1 mgC/l) et en été les augmentations estivales du carbone organique des eaux sont peu importantes. Les sédiments sont pauvres en matières organiques (5-12 % dans la région) et les eaux du fond sont en permanence bien oxygénées (Tavaneuse, Darbon).

Néanmoins, sur certains lacs on peut observer un déficit temporaire et même la disparition totale de l'oxygène dissous, mais ce phénomène est suivi par une suroxygénation des eaux profondes, provoquée par

le renouvellement rapide des eaux. Ces lacs dont l'état actuel se maintient du fait du dynamisme des eaux lacustres sont caractéristiques pour les régions de montagne. Ce sont des lacs oligotrophes-dynamiques.

Entre ces deux catégories extrêmes, on peut situer les lacs mésotrophes : ce sont des lacs dont les valeurs du C.O.T réfractaire sont faibles (de l'ordre des lacs oligotrophes) et leurs sédiments sont peu organiques. Ils diffèrent essentiellement par la persistance de la sous-saturation en oxygène dissous dans les eaux du fond. A ce stade, la dégradation de l'état du lac est perceptible à l'échelle humaine. Cela se traduit essentiellement par la diminution rapide du taux de saturation en O_2 du fond. Le Léman est un exemple typique d'un lac mésotrophe : le C.O.T réfractaire est de 0,6 mgC/l et la matière organique des sédiments est de l'ordre de 5 % du poids du sédiment sec. Le taux de saturation en O_2 dans un des points le plus profond du lac (C.R.G. 10 : 300 mètres) varie entre 20 et 32 % pendant l'année (1974-1975). En 1957 le taux de saturation au fond du lac était de l'ordre de 60 % et en 1960 de 50 %.

	C.O.T. réfractaire (mg/l) (1)	Matière organique des sédiments (%) (2)	taux de saturation en O_2 au fond du lac (%)	Maximum de COT (mg/l) (3)	Etats trophiques des lacs
Tavaneuse	0,4	6	95-120	0,8	Oligotrophes
Darbon	0,4	11	38-120	1,3	
Montriond	0,4	10	0-100	1,0	Oligotrophes-dynamique
Vallon	0,6	7	0-100	1,6	
Léman	0,6	5	20-32	1,4	Mésotrophe
Arvouin	0,7	9	0-29	2,6	Pseudo-eutrophes
Roi	0,7	12	0-5	3,2	
Voua de la Motte	7,2	43	anoxique	12,5	Eutrophe

Tableau n° 57 : Critères analytiques et états trophiques des lacs du Chablais et du Léman

(1) Moyennes pondérées mensuelles minima du C.O.T. (mgC/l).

(2) Perte à 550°C

(3) Moyennes pondérées mensuelles maxima du C.O.T. (mgC/l)

Dans le cadre de cette étude nous avons pu observer une autre catégorie de lacs que l'on doit rencontrer fréquemment dans les zones de moyenne montagne : ce sont des lacs dont la production organique interne est relativement élevée en période estivale, ou dont l'évacuation des eaux est très faible en cette même période (assèchement des affluents et de l'émissaire, etc...). Il en résulte une augmentation très nette des teneurs en C.O.T vers la fin de l'été accompagnée par l'apparition d'une zone anoxique plus ou moins importante au fond du lac. Du fait du renouvellement des eaux à la fonte des neiges, les valeurs du C.O.T réfractaire sont faibles, mais le taux de saturation en O_2 des couches profondes demeure très faible (Arvouin, Roi, tableau n° 57). Contrairement aux lacs eutrophes, leurs sédiments demeurent très peu organiques, ce qui prouve qu'il n'y a pas accumulation de matières organiques au fond. De ce fait nous considérons ce type de lacs comme pseudo-eutrophe.

Etant donné le nombre limité de données concernant le carbone organique des eaux lacustres, il nous est impossible de définir les limites exactes des différents types de lacs ou d'aboutir à une classification plus générale de l'état trophique des lacs.

Néanmoins il apparaît clairement que les teneurs en C.O.T des eaux lacustres, la matière organique des sédiments ainsi que le taux de saturation des eaux de fond en O_2 dissous sont des critères analytiques spécifiques de l'état actuel d'un lac. Ils possèdent l'avantage d'être facilement mesurables et permettent de comparer des lacs dont les caractéristiques morphométriques, physico-chimiques et biologiques diffèrent considérablement.

ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES

ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES

A - EAUX LACUSTRES.

Les prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués à l'aide d'une bouteille "Friedinger" de 2 litres à partir d'une embarcation légère du type "Zodiac". Suivant la profondeur des lacs, ils ont été réalisés sur plusieurs niveaux au droit du point le plus profond de ces lacs. Pour les analyses du C.O.T et pour l'oxygène dissous des échantillons ont été prélevés tous les mètres. Les températures ont été déterminées à l'électro-thermomètre à thermistance et l'oxygène par la méthode de Winkler. Le pH a été mesuré en laboratoire avec un pH mètre à électrode de verre (± 0,05).

Après filtration à 0,45 µ sur membrannes, le Ca, Mg, Na, K ont été analysés par absorbtion atomique (limite de dosage < 0,1 mg/l), les chlorures par colorimétrie au thiocyanate mercurique et nitrate ferrique (limite de dosage 0,05 mg/l), les nitrates par colorimétrie à l'acide phénol disulfonique (limite de dosage 0,05 mg/l), l'ion ammonium par la méthode à l'indophénol (limite de détection 0,001 mg/l), les nitrites par la méthode de Griess (limite de dosage 0,001 mg/l). L'azote total a été dosé après oxydation des formes organiques de l'azote par rayonnement ultraviolet (H_2O_2 + U.V.), les sulfates par turbidimétrie du sulfate de baryum (limite de dosage 2 mg/l), les bicarbonates par titrimétrie à l'acide sulfurique N/50 avec indicateur coloré pour pH = 4,5, la silice par spectrophotométrie du silico-molybdate réduit par l'acide aminonaphtol sulfonique (en présence d'acide tartrique) (limite de dosage 0,01 mg/l), les orthophosphates par colorimétrie du phospho-molybdate d'ammonium réduit par l'acide ascorbique (en présence de tartrate de potassium et d'antimoine) (limite de détection 0,001 mgP/l). Le phosphore total soluble a été dosé sous forme d'orthophosphates après oxydation par le persulfate d'ammonium en milieu sulfurique à 125°C en autoclave.

Le carbone organique total (C.O.T) a été dosé sur des échantillons d'eau non filtrée, selon la méthode de Menzel et Vaccaro (1961). Elle consiste en l'oxydation de la matière organique contenue dans l'eau, après élimination préalable des formes inorganiques du carbone (CO_2, CO_3^{--}, HCO_3^{-}) et le

dosage du CO_2 résultant par analyseur infrarouge non dispersif. L'oxydation est réalisée par le persulfate de potassium dans des ampoules en verre scellées puis passées pendant 2 heures dans un autoclave à 130°C. Un étalonnage est effectué avec chaque série de mesure à l'aide de solutions de saccharose. L'erreur absolue sur la mesure est de l'ordre de 0,05 à 0,1 mg/l suivant la concentration.

Le carbone organique particulaire a été déterminé par différence entre le carbone organique total et le carbone organique dissous, ce dernier étant dosé sur des échantillons d'eau filtrée sur filtres en fibre de verre calcinés à 500°C.

B - SEDIMENTS.

Les sédiments superficiels ont été prélevés à l'aide d'une benne "Ekman" ou avec un carottier "Jenkins".

La teneur en eau a été déterminée par dessication à 105°C. Les densités ont été mesurées au picnomètre avec de l'eau dégazée. Les analyses chimiques des sédiments ont été réalisées sur des échantillons séchés à 105°C. Après broyage et homogénéisation, la mise en solution est obtenue par fusion de 100 mg de sédiment sec avec 250 mg de carbonate de lithium et 250 mg d'acide borique en creuset de platine. Le produit de fusion est repris avec 5 ml d'HCl 1/2 et 20 ml d'eau jusqu'à dissolution totale. Sur cette solution, Al, Si, Fe total, Mn, Ca, Mg, Na, K ont été dosés par absorbtion atomique, Ti et P par colorimétrie (Ti par la méthode de l'eau oxygénée, P par le molybdate d'ammonium avec réduction du complexe par l'acide ascorbique). Une partie des sédiments est calcinée à 550°C puis à 1000°C. La perte de poids à 550°C représente la matière organique alors que la différence entre la perte à 550°C et 1000°C correspond en partie au CO_2 produit par la dissociation des carbonates. Les teneurs des différents éléments (en oxyde) sont exprimées en % du poids du sédiment sec (105°C).

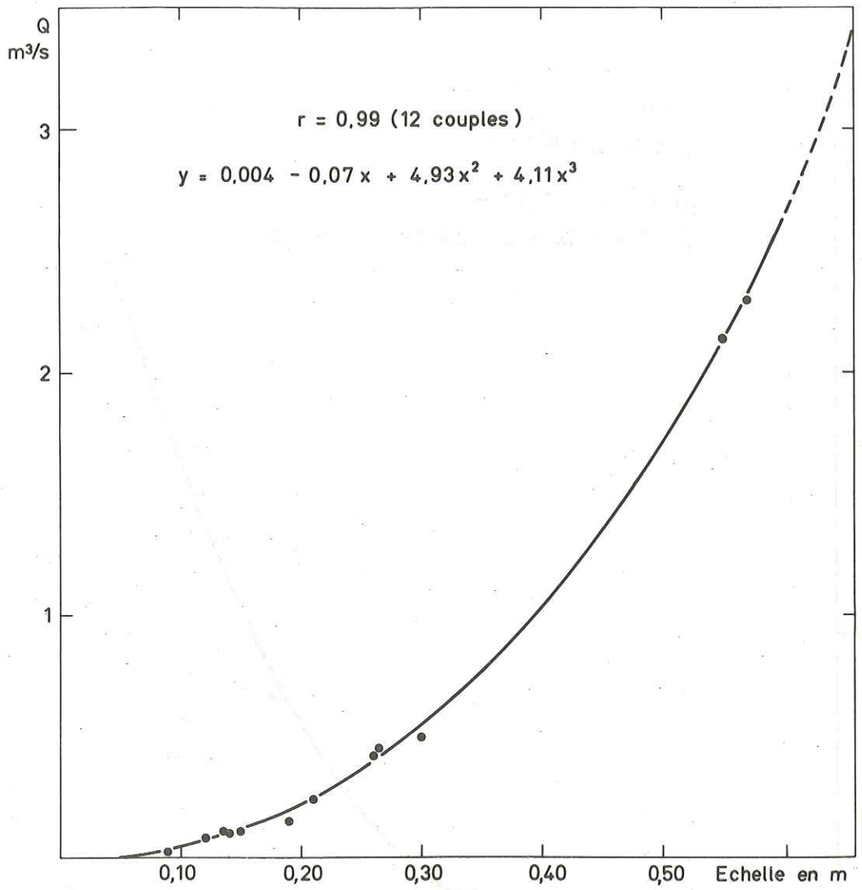
C - HYDROLOGIE.

Les mesures de débit réalisées sur les affluents des lacs de Montriond et Vallon ont été faites au micromoulinet "OTT-NEYRPIC". Les courbes de tarage résultantes sont reportées en annexes n° 1 et 2. Un limnigraphe a été installé sur le Lindaret (entrée de Montriond), alors que sur le Brévon (entrée du lac de Vallon) une échelle limnimétrique a été posée. Pendant la durée de l'étude, les relevés du niveau de l'échelle ont été réalisés deux fois par jour par des observateurs locaux.

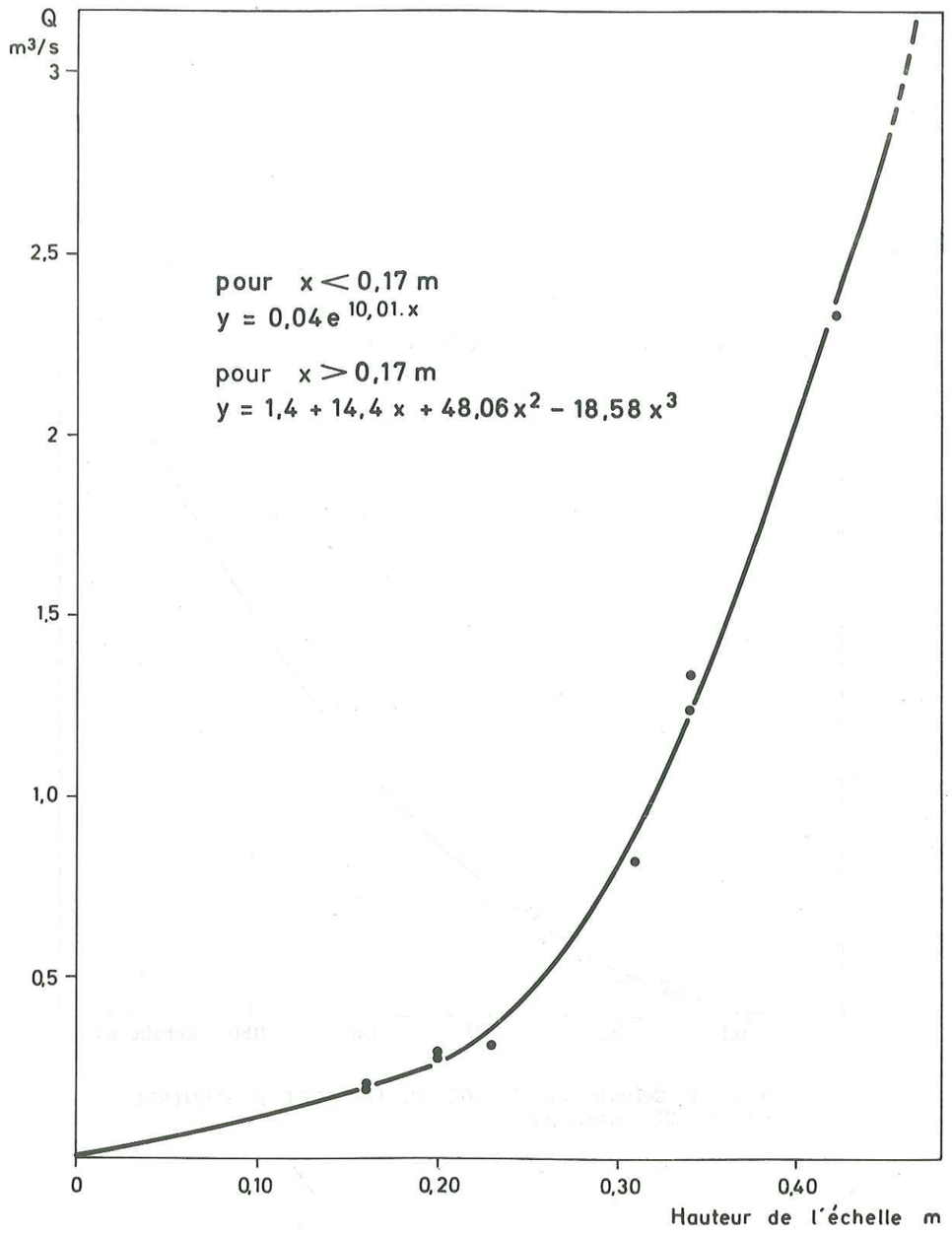
D - BATHYMETRIE.

Six cartes bathymétriques ont été dressées pendant la période d'étude. Après avoir déterminé la forme des différents lacs, des points fixes situés sur les rives opposées sont reliés par un cable gradué (le cable est maintenu à l'aide de flotteurs et tendu sur la berge). La profondeur est mesurée le long du cable tous les 2 mètres à l'aide d'un double décamètre lesté. La réalisation de la carte du lac de Vallon a nécessité près de 1000 sondages.

ANNEXES



Annexe I : COURBE DE TARAGE DU LINDARET A L'ENTREE DU LAC DE MONTRIOND



Annexe II : COURBE DE TARAGE DU BREVON A L'ENTREE DU LAC DE VALLON.

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°c	pH	X µmhos/cm 25°c	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^+ mg/l	K^+ mg/l	NH_4^+ mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^- mg/l	NO_3^- mgN/l	NO_2^- mgN/l	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
10.10.74	1,50	0	10,80	7,45	359,7	8,94	4,38	64,2	12,0	2,35	1,62	0,233	0,17	3,43	13,70	233,8	0,05	0,002	0,005	0,009	0,838	0,285	0,553	5,10
		4	10,10	7,40	361,7	7,46	5,24	64,9	12,0	2,13	1,58	0,228	0,18	3,77	15,90	244,5	0,05	0,006	0,016	0,026	-	-	-	4,60
		5,5	9,60	7,40	367,0	7,19	5,60	64,2	12,0	2,00	1,47	0,286	0,17	2,96	15,00	234,7	0,03	0,003	0,007	0,015	0,972	0,319	0,653	5,20
		6	9,30	6,50	533,5	0,00	18,3	90,2	13,3	12,2	3,23	2,05	17,90	0,30	4,74	112,0	0,05	0,004	0,006	0,015	9,138	7,954	1,184	18,35
06.11.74 (3)	1,90	0	6,30	8,00	364,9	11,40	6,36	62,7	12,4	1,87	1,48	0,150	0,18	3,46	14,82	238,1	0,14	0,003	0,001	0,004	0,524	0,293	0,231	7,50
		6	5,85	7,90	361,8	10,20	6,08	62,7	12,7	1,94	1,53	0,133	0,19	3,46	14,61	240,1	0,12	0,003	0,001	0,007	0,384	0,256	0,128	18,00
		8	5,90	7,90	367,9	8,70	6,48	63,3	12,3	2,17	1,60	0,149	0,18	3,42	14,79	245,0	0,09	0,003	0,020	0,039	0,476	0,242	0,234	9,40
11.12.74 (3)	2,00	0	4,00	7,20	361,4	6,01	5,48	64,4	12,5	2,15	1,48	0,136	0,19	1,61	16,60	238,1	0,08	0,005	0,003	0,022	0,404	0,221	0,183	6,50
		4	5,00	7,15	370,3	1,79	5,88	64,9	12,8	2,30	1,47	0,156	0,19	1,58	17,00	243,0	0,12	0,006	0,006	0,023	0,396	0,282	0,114	7,20
		6	5,00	6,95	385,4	0,00	6,36	66,4	13,4	2,29	1,51	0,508	0,18	2,08	17,90	256,7	0,08	0,013	0,001	0,019	0,844	0,601	0,243	7,40
		8	5,00	6,70	420,0	0,00	17,9	72,6	13,8	2,47	1,63	11,700	0,19	2,36	17,80	281,1	0,07	0,013	0,002	0,024	1,906	1,783	0,123	9,50
15.01.75 (3)		0	4,10	7,60	360,0	12,82	5,28	63,1	12,4	2,03	1,96	0,124	0,18	4,20	16,20	232,8	0,16	0,006	0,004	0,010	0,654	0,290	0,364	7,48
		1	4,40	-	-	11,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,66
		2	4,30	-	-	8,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,58
		3	4,50	-	-	4,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,42
		4	4,50	7,15	370,8	2,87	5,88	65,1	12,8	2,11	1,98	0,288	0,19	3,94	16,00	242,0	0,14	0,012	0,001	0,007	0,678	0,440	0,238	6,80
		5	4,55	-	-	0,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,22
		6	4,60	7,00	381,6	0,11	6,48	66,0	13,0	2,08	2,00	0,456	0,19	4,04	15,90	247,4	0,13	0,022	0,002	0,007	0,786	0,608	0,178	6,40
		7	5,00	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,58
		8	5,40	6,65	438,6	0	9,84	73,5	13,7	2,20	2,18	3,550	0,42	4,32	12,20	295,2	0,14	0,004	0,006	0,019	6,992	3,694	3,298	7,18
27.02.75 (3)	1,85	0	4,04	7,50	379,9	11,95	2,96	61,8	12,2	1,98	1,98	0,040	0,17	3,62	15,80	232,8	0,05	0,005	0,002	0,008	0,362	0,095	0,267	7,12
		1	4,30	-	-	11,72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,76
		2	4,35	-	-	10,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,72
		3	4,80	-	-	5,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	4,95	7,00	399,8	0,83	4,76	65,5	12,9	1,98	1,99	0,236	0,19	3,77	15,90	244,5	0,05	0,006	0,003	0,008	0,416	0,292	0,124	7,74
		5	5,05	-	-	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,16
		6	5,05	6,90	412,3	0	5,96	67,2	13,6	2,01	2,02	0,496	0,18	4,00	16,10	256,2	0,05	0,002	0,000	0,009	0,730	0,548	0,182	6,46
		7	5,20	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,36
		8	5,20	6,80	435,5	0	7,48	69,9	13,6	2,13	2,09	1,080	0,18	4,26	14,70	270,8	0,06	0,002	0,000	0,006	1,634	1,142	0,492	7,24

ANNEXE N° 3

VOUA DE LA MOTTE (595 m)

Analyses chimiques des eaux

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
21.03.75	1,90	0	4,45	7,50	370,1	10,08	1,90	61,9	11,9	2,12	1,93	0,044	0,14	3,54	14,10	232,3	0,05	0,003	0,008	0,010	0,562	0,097	0,465	7,88
		1	4,45			9,98																		7,86
		2	4,40			9,88																		8,02
		3	4,50			6,95																		7,65
(3)		4	5,10	6,90	395,8	0,93	4,10	66,0	12,7	2,12	2,01	0,248	0,15	3,64	14,70	247,4	0,07	0,002	0,007	0,009	0,676	0,320	0,356	7,62
		5	5,00			0																		7,81
		6	5,00	6,70	438,3	0	7,80	71,9	13,5	2,27	2,05	1,760	0,18	4,14	10,90	282,6	0,06	0,003	0,006	0,013	1,900	1,823	0,077	7,74
		7	5,35			0																		7,88
		8	5,35	6,60	477,3	0	9,94	77,5	13,9	2,31	2,15	4,120	0,30	4,25	8,98	312,8	0,07	0,004	0,025	0,035		4,194	-	7,80
		9	5,35			0																		8,26
22.04.75	1,55	0	13,03	7,30	383,0	10,51	0,60	62,0	12,6	2,01	2,19	0,073	0,20	3,87	14,80	232,3	0,36	0,001	0,000	0,017		0,433	-	7,34
		1	11,00			11,81																		7,36
		2	7,00	7,50	386,6	12,76	0,84	61,3	12,4	2,01	1,98	0,024	0,17	3,52	15,00	230,8	0,17	0,001	0,000	0,018	0,298	0,195	0,103	7,47
		3	5,80			9,90																		6,76
(3)		4	5,80	7,05	405,0	2,70	2,68	63,7	12,9	2,01	2,08	0,104	0,19	3,84	15,10	245,0	0,23	0,002	0,000	0,011	0,446	0,336	0,110	7,41
		5	5,80			0,85																		6,55
		6	5,80	6,90	444,5	0	8,24	73,5	13,6	2,24	2,29	1,800	0,19	4,13	15,50	277,7	0,10	0,003	0,000	0,012	1,942	1,903	0,039	6,28
		7	5,80			0																		7,57
		8	5,80	6,60	500,6	0	13,4	81,7	14,2	2,40	2,19	4,500	0,39	4,25	16,60	308,9	0,10	0,023	0,003	0,043	-	4,623	-	7,30
		8,90	5,80			0																		7,46
23.05.75	1,30	0	18,22	7,50	399,0	6,52	0,2	65,8	13,3	2,37	2,23	0,000	0,18	4,00	14,00	250,8	0,11	0,002	0,002	0,017	0,393	0,112	0,281	8,58
		1	17,94			5,24																		-
		2	12,59			9,91																		8,00
		3	9,44			10,40																		7,75
(3)		4	7,24	7,10	401,0	0,73	0,7	65,8	13,0	2,37	2,02	0,020	0,14	3,83	15,90	247,9	0,09	0,002	0,001	0,020	0,568	0,112	0,456	8,00
		5	6,19			0,73																		6,98
		6	5,78	6,90	424,0	0,22	5,8	69,4	13,5	2,35	2,10	0,750	0,14	4,01	15,90	265,4	0,09	0,002	0,000	0,024	2,187	0,842	1,345	7,28
		7	5,78			0																		8,65
		8	5,78	6,65	476,4	0	14,1	76,5	13,9	2,56	2,23	4,420	0,27	4,10	6,70	316,2	0,10	0,003	0,008	0,035	7,236	4,523	2,713	8,10
		8,90	5,78			0																		-

ANNEXE N° 4

VOUA DE LA MOTTE (595 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
25.06.75	2,00	0	20,91	7,59	327,0	6,56	1,46	69,5	13,0	2,41	2,15	0,028	0,21	3,80	13,58	250,3	0,14	0,005	0,001	0,011	0,388	0,173	0,215	8,25
		1	18,12			7,27																		8,88
		2	14,39			7,97																		8,84
		3	10,37			10,06																		7,83
(3)		4	7,93	7,20	383,8	0,67	2,55	69,8	12,9	2,29	2,08	0,074	0,21	3,80	16,28	250,8	0,11	0,003	0,002	0,015	0,429	0,187	0,242	8,96
		5	6,89			0,24																		8,57
		6	6,19	6,93	428,0	0	9,36	76,4	13,4	2,43	2,21	1,424	0,17	4,05	9,60	274,7	0,13	0,004	0,002	0,016	-	1,558	-	8,56
		7	6,10			0																		7,92
		8	6,10	6,75	502,2	0	18,1	83,8	13,9	2,63	2,37	6,150	0,30	4,53	9,61	336,2	0,06	0,004	0,003	0,023	-	6,214		8,74
		8,60	6,10			0																		8,91
25.06.75	2,00	0	21,38	7,65	387,4	6,71	1,42	68,5	12,9	2,11	2,07	0,022	0,20	3,77	13,48	250,3	0,13	0,003	0,001	0,006	-	0,155	-	7,58
		1	19,71			5,99																		7,59
		2	15,33			7,92																		7,80
(1)		3	10,95			8,47																		7,47
		4	8,46	7,28	388,9	2,87	1,87	68,5	12,7	2,21	1,96	0,062	0,15	3,93	16,26	250,8	0,05	0,003	0,001	0,011	-	0,115	-	7,80
		4,80	8,11			1,14																		8,79
25.06.75	1,80	0	20,91	7,52	387,4	6,18	1,50	68,2	12,9	2,25	2,03	0,035	0,21	3,78	13,44	249,9	0,14	0,003	0,000	0,008	-	0,178	-	7,62
		1	18,68			6,89																		7,69
		2	15,18			7,95																		7,29
(2)		3	10,60			9,27																		7,47
		4	8,17			4,25																		8,07
		5	6,95			0,14																		7,66
		6	6,15	7,00	407,3	0,37	5,19	73,5	13,3	3,62	2,14	0,600	0,15	4,06	17,49	264,5	0,12	0,004	0,000	0,009	-	0,724	-	8,03
		6,70	6,15			0																		8,16

ANNEXE N° 5

VOUA DE LA MOTTE (595 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
21.07.75	2,70	0	22,59	7,50	383,9	6,56	2,75	64,9	13,2	2,12	1,73	0,008	0,22	3,72	11,13	252,3	0,14	0,002	0,003	0,009	-	0,150	-	5,13
		1	21,66			5,02																		9,39
		2	18,59			10,83																		5,71
		3	12,59			15,12																		14,6
(3)		4	9,67	7,05	397,0	0,49	3,33	66,9	13,2	2,79	2,04	0,043	0,14	4,18	16,05	253,8	0,12	0,002	-	-	-	0,165	-	4,12
		5	7,35			0																		6,03
		6	6,33	6,60	422,6	0	7,08	72,4	13,9	2,41	2,35	0,062	0,20	4,17	14,67	276,7	0,16	0,002	0,022	0,047	-	0,224	-	8,07
		7	6,33			0																		6,85
		8	6,33	6,50	517,7	0	14,5	83,9	14,2	2,39	2,43	6,580	0,32	4,56	7,55	352,3	0,15	0,002	0,022	0,030	-	6,732	-	14,5
		9	6,33			0																		10,6
18.08.75	2,08	0	23,05	7,99	405,2	9,12	2,88	68,0	13,4	2,90	1,55	0,144	0,21	4,06	14,35	251,3	0,09	0,005	0,014	0,028	-	0,239	-	
		1	20,91			10,00																		
		2	20,45			10,46																		
		3	11,69			10,63																		
(3)		4	10,66	7,60	391,7	0	3,14	67,6	13,0	2,70	1,90	0,003	0,11	3,82	17,33	251,8	0,09	0,004	0,001	0,026	0,129	0,097	0,032	
		5	7,93			0																		
		6	7,06	6,80	424,5	0	9,95	73,9	13,5	2,78	2,33	0,014	0,16	4,40	14,51	276,2	0,07	0,004	0,001	0,021	-	0,214	-	
		7	6,77			0																		
		8	6,77	6,65	531,8	0	21,1	87,7	14,1	2,86	2,74	6,240	0,29	4,39	9,40	356,2	0,10	0,007	0,006	0,023	-	6,410	-	
		8,90	6,77			0																		

ANNEXE N° 6

VOUA DE LA MOTTE (595 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
29.09.75	2,40	0	17,00	7,80	367,4	7,35	2,90	64,0	12,5	2,26	1,59	0,051	0,17	3,70	12,20	254,3	0,11	0,003	0,008	0,021	-	0,164	-	12,2
		1	16,70			6,92																		13,9
		2	16,30			7,00																		12,9
		3	15,90			6,08																		11,5
(3)		4	15,50	7,50	377,1	3,09	3,20	65,0	12,5	2,33	1,59	0,030	0,16	3,72	11,50	245,9	0,08	0,002	0,008	0,022	-	0,110	-	10,2
		5	10,20			0																		-
		6	9,40	6,70	428,8	0	8,00	76,1	13,3	2,56	2,30	0,280	0,13	4,68	6,40	288,9	0,09	0,003	0,008	0,022	-	0,373	-	11,9
		7	8,20			0																		15,5
		8	7,25	6,55	552,9	0	25,2	94,1	14,0	2,66	2,62	10,40	0,43	4,68	9,50	385,0	0,11	0,008	0,035	0,046	-	10,52	-	16,7
		8,90	7,80			0																		16,6
20.10.75	2,30	0	10,49	7,20	393,0	3,37	3,78	66,7	12,9	1,81	1,70	0,129	0,16	4,06	11,10	251,3	0,08	0,002	0,001	0,025	0,457	0,211	0,246	9,35
		1	10,49			3,19																		9,71
		2	10,49			3,08																		10,0
		3	10,49			3,04																		9,97
(3)		4	10,49	7,15	400,0	3,06	3,90	67,0	13,0	1,85	1,65	0,099	0,15	4,05	10,70	251,8	0,08	0,002	0,001	0,023	0,457	0,181	0,276	9,68
		5	10,49			2,80																		9,06
		6	8,17	6,60	444,0	0	10,6	76,5	13,6	2,11	2,17	0,390	0,14	4,53	13,60	284,5	0,10	0,003	0,000	0,028	0,828	0,520	0,308	10,4
		7	7,24			0																		10,5
		8	7,24	6,50	584,0	0	27,4	95,6	14,3	2,12	2,49	7,500	0,41	4,46	16,00	368,0	0,08	0,003	0,000	0,025	-	7,580	-	10,9
		8,90	7,24			0																		11,7

ANNEXE N° 7

VOUA DE LA MOTTE (595 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date	Débit m^3/s	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
09.10.74	-	2,6	7,85	256,8	-	2,51	51,8	6,28	0,69	0,20	0,023	0,08	0,35	6,24	178,1	0,16	0,002	0,014	0,022	0,232	0,185	0,047	-
22.10.74	0,495	2,5	8,00	244,2	11,70	2,39	46,1	5,61	0,50	0,29	0,015	0,10	0,42	6,10	164,5	0,15	0,000	0,000	0,003	-	0,165	-	-
20.11.74	0,243	2,0	8,35	241,5	11,65	2,59	47,1	6,11	0,57	0,24	0,009	0,08	0,39	6,33	171,0	0,16	0,001	0,001	0,009	0,230	0,170	0,060	-
10.12.74	0,154	2,0	8,00	243,6	12,04	2,52	47,6	5,92	0,81	0,22	0,007	0,10	0,54	6,37	169,3	0,16	0,001	0,000	0,018	0,248	0,168	0,080	0,20
28.12.74	0,423	2,5	7,90	230,2	12,68	2,44	43,3	5,40	0,68	0,23	0,011	0,08	0,39	5,90	156,2	0,21	0,002	0,000	0,009	-	0,223	-	0,20
09.01.75		0,3	7,90	240,6	13,33	2,50	45,8	6,07	0,74	0,24	0,020	0,09	0,34	6,65	162,5	0,23	0,000	0,002	0,002	0,402	0,250	0,152	0,21
24.01.75	0,089	1,2	8,05	237,4	12,72	2,51	45,4	6,18	0,73	0,24	0,019	0,08	0,19	6,37	161,5	0,12	0,000	0,003	0,008	0,142	0,139	0,003	0,45
13.02.75	0,101	1,5	7,95	241,2	12,53	2,49	47,2	6,10	0,83	0,18	0,027	0,10	0,14	7,02	170,8	0,16	0,000	0,002	0,009	0,214	0,187	0,027	0,10
11.03.75	0,114	1,3	8,15	257,3	12,62	2,52	46,3	6,05	0,84	0,17	0,025	0,10	0,42	6,86	161,5	0,11	0,002	0,016	0,022	0,202	0,137	0,065	0,80
03.04.75	0,038	0,07	8,10	271,5	12,64	2,38	46,8	6,37	0,88	0,22	0,028	0,09	0,39	7,30	163,0	0,15	0,000	0,001	0,017	0,176	0,176	-	1,15
17.04.75	0,451	3,0	8,00	236,8	12,01	0,90	44,1	5,17	0,69	0,09	0,013	0,08	0,41	6,20	153,7	0,31	0,002	0,000	0,012	0,368	0,325	0,043	0,25
29.04.75	2,305	6,0	7,80	221,4	11,72	2,20	36,6	4,32	0,58	0,50	0,002	0,20	0,43	4,70	129,3	0,19	0,001	0,000	0,011	0,324	0,193	0,131	-
14.05.75	2,131	5,0	7,95	197,8	11,50	2,01	36,2	3,96	0,67	0,21	0,094	0,05	0,25	4,00	122,5	0,23	0,001	0,005	0,006	-	0,325	-	-
03.06.75	1,375	3,2	7,90	189,4	11,72	2,15	36,7	4,42	0,36	0,21	0,007	0,06	0,24	4,10	126,4	0,19	0,002	0,001	0,004	-	0,198	-	0,41
18.06.75	2,352	6,0	7,95	173,6	11,14	2,11	37,1	4,20	0,65	0,15	0,020	0,07	0,29	4,18	120,0	0	0,005	0,004	0,011	-	0,025	-	0,84
23.07.75	0,366	8,0	8,25	204,3	-	1,94	36,3	5,32	0,46	0,12	0,017	0,08	0,33	5,56	133,2	0,15	0,001	0,005	0,011	-	0,168	-	0,51
21.08.75	0,103	12,9	8,35	244,5	9,35	1,68	43,0	6,54	1,32	0,41	0,001	0,07	0,15	7,45	157,1	0,16	0,004	0,001	0,014	-	0,165	-	0,38
18.09.75	0,622	9,0	8,20	254,8	10,49	2,48	45,8	5,87	0,98	0,18	0,008	0,09	0,16	6,00	164,0	0,15	0,002	0,017	0,022	0,174	0,160	0,014	0,48
30.10.75	0,155	3,0	8,15	287,0	11,99	2,37	50,1	6,72	0,50	0,21	0,018	0,09	0,25	8,50	179,6	0,16	0,001	0,002	0,012	-	0,179	-	0,56

ANNEXE N° 8

LE LINDARET A L'ENTREE DU LAC DE MONTRIOND

Analyses chimiques des eaux

Date	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
09.10.74	6,1	7,65	241,9	-	2,24	46,6	6,06	0,85	0,27	0,010	0,09	0,31	5,99	166,9	0,21	0,001	0,018	0,023	0,318	0,221	0,097	-
22.10.74	4,2	7,90	232,7	11,10	2,22	41,7	5,50	0,49	0,28	0,006	0,07	0,36	5,93	152,7	0,18	0,000	0,000	0,003	0,306	0,186	0,120	-
20.11.74	3,0	8,20	240,8	10,57	2,50	43,1	6,08	0,61	0,25	0,007	0,08	0,37	6,17	162,0	0,18	0,000	0,001	0,008	0,270	0,187	0,083	0,18
10.12.74	3,0	7,65	232,9	10,78	2,57	44,8	5,80	0,78	0,22	0,008	0,11	0,59	6,51	160,1	0,21	0,000	0,000	0,015	0,042	0,218	0,260	0,17
28.12.74	4,0	7,50	237,2	10,97	2,73	43,3	6,20	0,95	0,30	0,007	0,08	0,72	6,50	158,6	0,24	0,001	0,000	0,009	0,282	0,248	0,034	0,26
09.01.75	-	7,65	237,6	11,14	2,74	43,4	6,10	0,81	0,29	0,016	0,08	0,44	6,53	158,6	0,27	0,002	0,000	0,009	0,120	0,288	0,408	0,26
24.01.75	3,0	7,65	241,8	11,26	2,79	44,8	6,41	0,73	0,34	0,017	0,08	0,33	5,77	159,6	0,26	0,000	0,003	0,009	-	0,277	-	0,38
13.02.75	3,2	7,60	235,8	10,96	2,76	44,6	6,33	0,83	0,29	0,012	0,08	0,31	3,21	164,0	0,24	0,000	0,002	0,005	0,258	0,252	0,006	0,18
11.03.75	3,0	7,70	255,5	10,16	2,84	44,6	6,62	0,79	0,28	0,008	0,10	0,47	5,92	156,6	0,23	0,000	0,003	0,006	0,280	0,238	0,042	0,31
03.04.75	3,0	7,55	260,6	9,39	2,83	44,1	6,37	0,81	0,29	0,013	0,08	0,64	6,34	157,1	0,22	0,000	0,001	0,017	-	0,233	-	1,26
17.04.75	3,0	7,55	248,1	9,45	2,75	43,2	6,16	0,91	0,20	0,021	0,08	0,94	5,50	154,2	0,35	0,001	0,001	0,012	0,337	0,285	0,052	0,50
29.04.75	6,0	7,65	219,5	11,64	2,23	35,4	4,38	0,57	0,37	0,005	0,09	0,47	5,20	122,5	0,34	0,001	0,004	0,014	0,438	0,346	0,092	-
14.05.75	6,0	7,80	210,6	10,22	2,30	37,3	4,60	0,78	0,31	0,078	0,06	0,43	4,70	127,4	0,26	0,001	0,004	0,010	0,368	0,339	0,029	1,60
03.06.75	6,0	7,80	173,4	10,99	1,95	33,7	3,91	0,30	0,21	0,018	0,05	0,16	3,29	113,7	0,22	0,002	0,003	0,004	0,343	0,240	0,103	0,57
21.08.75	-	7,70	215,4	8,80	2,40	38,2	5,45	1,21	0,38	0,000	0,04	0,08	7,15	138,6	0,25	0,001	0,002	0,007	-	0,251	-	-
18.09.75	11,5	8,00	238,8	9,16	2,20	42,1	5,15	0,98	0,25	0,002	0,07	0,18	5,20	151,3	0,18	0,001	0,010	0,020	-	0,183	-	0,55
30.10.75	5,6	7,75	261,0	10,06	2,21	43,4	6,19	0,48	0,52	0,015	0,09	0,29	6,40	156,6	0,17	0,000	0,000	0,010	-	0,185	-	0,31

ANNEXE N° 9

LAC DE MONTRIOND. EMISSAIRE

Analyses chimiques des eaux

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
09.10.74		0	4,80	7,70	246,5	-	2,19	48,5	5,99	0,81	0,36	0,035	0,10	0,45	6,28	166,4	0,16	0,003	0,024	0,028	-	-	-	-
22.10.74	1,80	0	3,40	7,90	228,9	11,30	2,15	42,2	5,28	0,47	0,30	0,014	0,08	0,36	5,38	150,3	0,17	0,001	0,000	0,003	0,284	0,185	0,099	-
		5	4,10	7,95	242,4	11,30	2,17	44,0	6,16	0,53	0,23	0,013	0,08	0,33	6,23	159,6	0,14	0,001	0,000	0,002		0,154	-	-
(3)		11,3	4,20	7,90	242,7	10,90	2,24	45,5	5,94	0,67	0,25	0,028	0,08	1,31	6,41	160,1	0,14	0,001	0,002	0,004	0,328	0,169	0,159	-
20.11.74 *		bord	0	8,20	226,6	10,83	2,38	40,8	5,58	0,56	0,29	0,015	0,08	0,32	5,85	152,0	0,16	0,001	0,000	0,007	0,250	0,176	0,074	0,83
10.12.74 *		bord	0	7,60	153,7	11,37	1,60	28,4	3,27	0,60	0,21	0,028	0,07	0,57	4,35	102,5	0,18	0,002	0,000	0,013	0,270	0,210	0,060	0,63
28.12.74 *		bord	0	5,95	12,3	13,45	0,01	1,2	0,18	0,74	0,26	0,168	0,01	0,82	2,20	9,8	0,05	0,004	0,000	0,009	-	-	-	1,04
09.01.75 *	5,00	0	0	7,70	229,5	11,20	2,59	42,4	5,70	0,80	0,31	0,016	0,08	0,51	6,20	154,7	0,24	0,002	0,000	0,011	0,340	0,258	0,082	0,56
		1	0,50			11,77																		0,40
		2	2,60			11,38																		0,37
(3)		3	3,10			11,34																		-
		4	3,40			11,93																		-
		5	3,80	7,60	237,7	11,14	2,72	45,0	6,10	0,82	0,25	0,014	0,09	0,38	6,60	163,5	0,20	0,002	0,000	0,009	0,286	0,216	0,070	0,28
		6	4,00			10,49																		0,27
		7	4,00			9,79																		0,33
		8	4,05			9,41																		0,50
		9	4,20			7,13																		0,40
		10	4,30	7,30	258,8	5,75	3,41	47,8	6,40	0,83	0,29	0,039	0,09	0,36	6,20	173,7	0,28	0,002	0,000	0,010	0,360	0,321	0,039	0,34

* Surface du lac recouverte de glace

ANNEXE N° 10

LAC DE MONTRIOND (1060 m)

Analyses chimiques des eaux

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
11.03.75 *	1,50	0	0,30	7,75	215,8	11,37	2,34	39,3	5,58	0,74	0,26	0,068	0,08	0,45	6,47	138,6	0,22	0,001	0,003	0,003	0,360	0,289	0,071	2,08
		1	1,85			10,81																		0,66
		2	2,70			10,81																		0,57
		3	3,20			10,63																		0,54
(3)		4	3,70			10,28																		0,50
		5	4,16	7,70	259,6	10,16	2,88	45,9	6,44	0,79	0,28	0,026	0,09	0,38	6,74	162,5	0,19	0,001	0,002	0,002	0,252	0,217	0,035	0,51
		6	4,60			7,74																		0,65
		7	4,80			4,55																		0,50
		8	4,80	7,45	270,8	5,20	3,60	46,7	6,44	0,79	0,32	0,012	0,09	0,38	5,36	171,3	0,23	0,001	0,001	0,001	0,290	0,243	0,047	0,97
29.04.75	3,00	0	4,00	7,50	126,2	11,95	1,36	21,5	2,55	0,41	0,25	0,043	0,05	0,23	3,20	74,2	0,22	0,001	0,001	0,007	0,382	0,264	0,118	0,67
		1	5,00			11,68																		0,19
		2	4,60			11,52																		0,38
		3	4,20			11,66																		0,65
		4	4,10			11,87																		0,37
		5	4,02	7,75	216,5	11,77	2,24	34,9	4,42	0,56	0,37	0,010	0,08	0,28	4,90	124,4	0,34	0,001	0,001	0,007	0,410	0,351	0,059	0,51
		6	4,02			11,66																		0,50
(3)		7	4,02			11,77																		0,55
		8	4,02			12,07																		0,43
		9	3,50			11,83																		-
		10	3,50	7,60	230,1	10,79	2,34	37,7	4,73	0,60	0,33	0,016	0,07	0,32	5,30	132,2	0,26	0,001	0,001	0,015	0,472	0,277	0,195	0,41
		11	3,50			10,40																		0,39
		12	3,50			10,40																		0,32
		12,9	3,70	7,30	282,2	5,08	3,56	45,5	6,45	0,76	0,40	0,010	0,13	0,43	6,70	166,9	0,33	0,001	0,001	0,009		0,341		3,36

* Surface du lac recouverte de glace

ANNEXE N° 11

LAC DE MONTRIOND (1060 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
14.05.75	3,10	0	8,40	7,80	213,9	11,18	2,22	36,9	4,51	0,69	0,26	0,071	0,06	0,28	4,40	124,9	0,26	0,002	0,000	0,001		0,333	-	0,38
		1	8,30			11,20																		
		2	7,20			11,32																		0,59
		3	6,90			11,24																		
(1)		4	6,70	7,80	209,9	11,40	2,16	37,1	4,41	0,67	0,27	0,039	0,05	0,26	4,50	123,4	0,25	0,001	0,012	0,003	0,318	0,290	0,028	0,71
		5	6,36			11,60																		
		6	6,10			11,34																		0,40
		7	5,86			11,52																		
		8	4,10	7,60	234,9	11,69	2,33	39,3	5,18	0,83	0,32	0,033	0,08	0,50	5,50	132,7	0,29	0,002	0,005	0,005	0,336	0,326	0,010	0,50
14.05.75	3,10	0	8,40	7,80	217,5	10,93	2,22	37,4	4,54	0,75	0,20	0,051	0,06	0,34	4,90	128,3	0,24	0,002	0,002	0,002	0,398	0,293	0,105	1,06
		1	8,20			11,22																		
		2	7,70			11,40																		0,49
		3	7,00			11,26																		1,07
(2)		4	6,20			11,40																		0,31
		5	5,70			11,38																		0,40
		6	5,50			11,40																		0,54
		7	5,30			11,14																		
		8	5,00			11,20																		0,63
		9	5,00			11,90																		
		10	4,70	7,70	218,1	10,18	2,53	40,2	4,96	0,74	0,27	0,054	0,06	0,32	4,70	134,2	0,26	0,003	0,009	0,003	0,398	0,317	0,081	0,44
		10,70	4,70	7,70	218,1																			

ANNEXE N° 12

LAC DE MONTRIOND (1060 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
14.05.75	2,80	0	8,80	7,80	222,4	12,59	2,25	35,7	4,51	0,92	0,38	0,044	0,05	0,38	5,30	127,9	0,26	0,002	0,018	0,018	0,390	0,306	0,084	0,57
		1	8,80																					
		2	8,40																					
		3	7,20			12,19																		
		4	6,30																					
(2a)		5	5,70			11,64																		
		6	5,10																					
		7	5,10			11,62																		
		8	5,20																					
		9	5,20	7,70	222,4	11,62	2,40	37,0	4,62	0,83	0,28	0,021	0,05	0,26	4,40	130,8	0,35	0,003	0,008	0,008		0,374	-	-
14.05.75	2,70	0	8,30	7,75	234,9	11,14	2,26	37,6	4,60	0,78	0,27	0,060	0,05	0,32	4,90	127,3	0,31	0,002	0,006	0,007	0,384	0,372	0,012	1,24
		1	7,45			11,18																		
		2	6,90			11,20																		0,17
		3	6,80																					
		4	6,80			11,42																		0,27
(2b)		5	6,10																					
		6	5,50			12,19																		
		7	5,40																					
		8	5,40	7,70		12,80	2,30	37,9	4,69	0,64	0,26	0,030	0,04	0,30	4,40	127,9	0,30	0,002	0,008	0,008	0,343	0,332	0,011	0,58

ANNEXE N° 13

LAC DE MONTRIOND (1060 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
14.05.75	3,20	0	8,10	7,80	238,6	11,22	2,25	35,7	4,51	0,93	0,31	0,033	0,05	0,36	4,70	126,4	0,28	0,002	0,004	0,004	0,341	0,315	0,026	0,52
		1	7,40																					
		2	6,90			11,42																		0,52
		3	6,20																					
		4	6,20			11,36																		0,57
		5	5,70																					
		6	5,70			11,48																		0,48
		7	5,70																					
(3)		8	5,15	7,75	220,2	11,18	2,26	37,0	4,56	0,90	0,31	0,026	0,06	0,34	5,10	130,3	0,29	0,002	0,008	0,008	0,333	0,318	0,015	0,44
		9	5,15																					
		10	4,90			11,22																		0,36
		11	4,90																					
		12	4,70			10,22																		0,44
		13	4,70																					
		14	4,70	7,65	223,9	9,45	2,67	37,9	4,85	1,00	0,42	0,033	0,07	0,26	5,80	137,1	0,29	0,004	0,008	0,008	0,362	0,327	0,035	0,62
		15	4,40																					
		16	4,40			7,19																		0,68
		17	4,40																					
		18,3	4,40	7,25	236,7	0,67	4,12	43,5	5,69	1,09	0,42	0,181	0,08	0,37	5,30	158,6	0,23	0,020	0,008	0,010	0,518	0,431	0,087	0,75
14.05.75	3,40	0	7,50	7,80	268,6	10,95	2,28	37,6	4,60	1,87	0,40	0,037	0,05	0,50	5,10	128,3	0,25	0,002	0,005	0,008	0,318	0,289	0,029	0,48
		1	7,00																					
		2	6,70			11,38																		0,52
		3	6,70																					
(3b)		4	6,70	7,80	219,1	11,28	2,21	37,5	4,52	0,97	0,27	0,017	0,05	0,38	4,60	125,9	0,26	0,002	0,009	0,007	0,307	0,279	0,028	0,43
		5	6,20																					
		6	6,00			11,26																		0,65
		7	5,70																					
		8	5,70	7,80	221,3	11,36	2,28	38,4	4,68	0,69	0,23	0,015	0,05	0,31	4,90	128,3	0,29	0,002	0,007	0,008	0,311	0,307	0,004	0,73

ANNEXE Nº 14

LAC DE MONTRIOND (1060 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
03.06.75	1,90	0	6,47	7,70	171,4	11,28	1,95	33,7	3,91	0,33	0,22	0,014	0,05	0,16	3,41	113,7	0,21	0,002	0,001	0,001	0,313	0,226	0,087	-
		1	6,52			10,97																		
		2	6,52			11,11																		
		3	6,19			11,07																		
		4	6,15			11,30																		
		5	5,64			11,12																		
		6	5,37	7,65	184,3	10,89	2,15	36,0	4,26	0,36	0,21	0,010	0,06	0,16	3,74	122,0	0,23	0,002	0,002	0,003	-	0,242	-	-
		7	5,18			10,95																		
		8	5,18			10,16																		
(3)		9	5,18			9,61																		
		10	5,18			9,41																		
		11	5,04			8,94																		
		12	5,04	7,45	210,7	-	2,61	40,0	5,02	0,50	0,25	0,028	0,06	0,38	4,06	138,6	0,26	0,006	0,000	0,035	0,402	0,294	0,108	-
		13	5,04			8,70																		
		14	5,04			8,62																		
		15	4,91			8,55																		
		16	4,91			8,35																		
		17	4,91																					
		18	4,91	7,60	212,9	-	2,73	40,4	5,06	0,44	0,28	0,041	0,08	0,32	4,87	141,1	0,27	0,003	0,002	0,007	0,409	0,314	0,095	-
18.06.75	1,10	0	7,70	7,75	165,9	10,26	1,77	33,0	3,65	0,44	0,21	0,048	0,06	0,17	2,17	110,3	0,22	0,002	0,004	0,005	-	-	-	1,13
		1	8,22			10,28																		0,76
		2	7,99			10,69																		0,70
		3	7,41			10,63																		0,72
(1)		4	7,01	7,75	168,4	10,71	1,85	33,2	3,82	0,30	0,25	0,024	0,06	0,18	3,25	112,7	0,23	0,002	0,001	0,004	0,416	0,256	0,160	1,99
		5	6,83			10,83																		0,73
		6	6,15			10,00																		1,35
		7	5,92			9,55																		1,86
		8	5,27	7,65	192,1	10,06	2,30	36,3	4,83	0,36	0,24	0,017	0,07	0,19	4,43	126,9	0,20	0,002	0,000	0,002	-	-	-	1,82

ANNEXE Nº 15

LAC DE MONTRIOND (1060 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	X µmhos cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
18.06.75	0,90	0	8,92	7,80	168,9	10,55	1,79	32,4	3,87	0,28	0,22	0,007	0,05	0,15	3,08	109,8	0,19	0,002	0,008	0,008	-	-	-	0,34
		1	8,11			10,67																		0,59
		2	7,88			10,69																		1,02
		3	7,47			10,85																		1,02
		4	7,30			10,77																		0,99
		5	7,01			10,36																		0,83
(2)		6	6,60	7,70	171,9	11,18	2,06	34,8	4,30	0,36	0,25	0,013	0,07	0,18	3,94	119,1	0,21	0,002	0,001	0,004	-	-	-	0,57
		7	6,24			11,58																		0,83
		8	6,24			11,18																		0,83
		9	6,24			11,74																		
		10	5,69			12,19																		0,73
		11	5,78			9,71																		1,37
		11,7	5,78	7,50	203,1	9,75	2,53	38,7	4,75	0,41	0,26	0,028	0,09	0,24	4,27	133,2	0,24	0,004	0,004	0,004	-	-	-	1,09
18.06.75	0,95	0	9,33	7,80	169,5	-	1,76	32,5	3,72	0,27	0,21	0,014	0,06	0,18	3,25	109,8	0,18	0,002	0,004	0,004	-	-	-	0,87
		1	8,75			9,08																		0,53
		2	7,82			12,09																		0,50
		3	7,53			10,81																		
		4	7,47			13,27																		0,55
		5	7,18																					
		6	6,95	7,70	179,4	11,18	1,94	33,7	4,01	0,30	0,20	0,015	0,05	0,21	4,45	115,2	0,24	0,002	0,003	0,003	0,492	0,257	0,235	1,30
		7	6,66																					
		8	6,10			11,32																		
(3)		9	6,06																					
		10	5,83			9,35																		0,83
		11	5,73																					
		12	5,73	7,55	206,2	11,18	2,51	38,4	4,85	0,41	0,25	0,037	0,06	0,25	4,55	133,7	0,24	0,004	0,002	0,005	-	0,281	-	0,69
		13	5,73																					
		14	5,73			10,16																		0,96
		15	5,73			8,82																		1,01
		16	5,96	7,50	207,3	8,84	2,51	38,4	4,83	0,38	0,26	0,040	0,07	0,25	4,55	134,2	0,24	0,004	0,003	0,008	-	-	-	1,40
		17	5,96			9,53																		1,73

ANNEXE Nº 16

LAC DE MONTRIOND (1060 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	X µmhos cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
23.07.75	3,20	0	17,20	8,20	172,2	9,20		31,8	4,44	0,38	0,18	0,021	0,06	0,17	4,33	115,7	0,19	0,002	0,004	0,010	-	0,213	-	0,59
		1	16,19			9,39																		0,81
		2	14,03			9,73																		0,50
		3	12,23			9,77																		0,39
		4	9,50			-																		-
(3)		5	7,30	7,95	193,7	10,40		34,6	4,94	0,46	0,22	0,010	0,08	0,20	6,29	126,4	0,29	0,001	0,003	0,012	-	0,301	-	0,37
		7	6,19			9,02																		0,50
		9	5,78			7,60																		0,24
		10	5,78	7,65	210,6	7,29		37,9	4,85	0,52	0,24	0,046	0,08	0,24	3,85	136,2	0,32	0,001	0,003	0,011	-	0,367	-	-
		12	5,69			7,07																		-
		14	5,69			6,24																		-
		15	5,69	7,50	217,3	5,12		38,8	4,90	0,52	0,31	0,086	0,08	0,25	3,97	140,1	0,27	0,003	0,004	0,012	-	0,359	-	0,28
21.08.75	5,60	0	17,70	8,10	210,4	9,53	1,9	38,2	5,49	1,21	0,41	0,028	0,05	0,17	7,24	135,2	0,14	0,003	0,000	0,012	0,224	0,171	0,053	0,76
		1	16,62			9,59																		0,35
		2	14,54			10,97																		0,37
		3	12,63	8,00	216,9	10,93	1,9	38,2	5,54	1,20	0,32	0,004	0,06	0,14	6,14	140,5	0,16	0,002	0,001	0,009	-	0,166	-	0,39
		4	11,55			10,87																		0,55
(3)		5	10,72			10,87																		0,55
		6	8,98	7,75		7,64	2,1	37,2	5,09	1,13	0,39	0,002	0,04	0,12	5,75	133,2	0,19	0,002	0,000	0,012	-	0,194	-	0,55
		7	7,67			10,04																		0,57
		8	7,30			5,47																		0,58
		9	7,30	7,50	216,9	6,04	3,1	38,4	4,31	1,20	0,43	0,059	0,04	0,08	4,73	138,1	0,19	0,005	0,000	0,008	-	0,254	-	-
		10	7,30			5,38																		-

ANNEXE Nº 17

LAC DE MONTRIOND (1060 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
18.09.75	2,80	0	11,80	8,15	244,0	9,96	2,05	43,5	5,39	1,19	0,27	0,029	0,09	0,50	5,80	151,3	0,11	0,002	0,031	0,036	0,149	0,141	0,008	0,73
		1	11,47			9,63																		0,82
		2	10,08			10,04																		0,69
		3	9,73			9,92																		0,62
		4	9,33	8,05	241,5	10,04	2,01	42,7	5,12	0,93	0,31	0,040	0,07	0,20	5,20	150,3	0,14	0,002	0,023	0,040	-	0,182	-	0,83
		5	9,33			9,86																		0,90
		6	9,09			9,55																		1,22
(3)		7	9,09			8,74																		0,41
		8	8,86	7,90	241,5	8,70	2,20	42,7	5,12	0,96	0,29	0,046	0,07	0,23	5,20	151,3	0,13	0,003	0,029	0,042	0,187	0,179	0,008	0,90
		9	8,86			8,01																		0,80
		10	8,75			8,37																		0,84
		11	8,75			8,21																		0,87
		12	8,51	7,80	244,3	7,46	2,42	42,0	5,08	0,93	0,23	0,071	0,08	0,21	5,30	148,8	0,15	0,003	0,020	0,032	-	0,224	-	1,09
		13	7,93			4,96																		0,69
30.10.75 *	5,60	0	3,99	8,00	257,0	11,11	2,02	44,0	6,09	0,52	0,22	0,031	0,09	0,26	6,10	158,1	0,11	0,001	0,000	0,009	0,197	0,142	0,055	1,14
		1	3,99			11,05																		0,82
		2	3,99			11,01																		0,68
		3	3,99	7,95	261,0	-	1,86	44,0	6,09	0,43	0,19	0,028	0,07	0,20	6,10	156,6	0,12	0,001	0,001	0,011	-	0,149	-	1,30
		4	3,99			11,26																		1,36
(3)		5	4,35			11,05																		0,85
		6	4,35	7,90	262,0	10,87	2,07	44,6	6,09	0,40	0,18	0,024	0,07	0,21	5,80	162,5	0,12	0,001	0,000	0,009	-	0,145	-	1,40
		7	4,35			10,77																		1,51
		8	4,45			10,69																		1,21
		9	4,86	7,82	269,0	10,65	2,18	66,0	6,44	0,45	0,21	0,030	0,09	0,20	6,70	164,5	0,13	0,001	0,000	0,009	-	0,161	-	1,57

* Surface du lac recouverte de glace

ANNEXE Nº 18

LAC DE MONTRIOND (1060 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date	Débit m^3/s	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
09.10.74	-	3,2	7,80	338,6	-	2,76	65,9	7,86	1,09	0,46	0,012	0,60	0,43	33,70	203,0	0,20	0,002	0,058	0,070	-	-	-	-
23.10.74	-	3,0	8,05	312,0	10,30	2,59	60,3	7,24	0,64	0,39	0,035	0,57	0,42	33,10	183,0	0,16	0,001	0,001	0,005	0,328	0,196	0,132	-
20.11.74	0,498	3,0	8,50	316,4	9,16	2,67	59,3	7,39	0,75	0,37	0,013	0,57	0,54	32,20	185,7	0,14	0,001	0,002	0,009	0,236	0,154	0,082	0,80
10.12.74	0,316	3,5	7,95	335,5	11,61	2,76	63,1	8,21	1,10	0,34	0,010	0,69	0,55	43,00	184,5	0,19	0,000	0,000	0,016	-	0,200	-	0,52
16.01.75	0,298	3,0	8,00	342,6	11,89	2,66	63,3	9,21	1,13	0,41	0,023	0,73	0,38	53,40	176,7	0,23	0,000	0,002	0,002	0,276	0,253	0,023	0,14
30.01.75	1,347	3,0	7,80	270,8	12,24	2,36	54,1	6,21	0,84	0,31	0,006	0,48	0,52	24,90	170,1	0,16	0,025	0,000	0,007	0,224	0,191	0,033	1,17
26.02.75	0,193	1,0	8,05	383,5	13,49	2,74	67,2	10,28	1,18	0,48	0,035	0,77	0,42	56,20	182,5	0,18	0,001	0,005	0,007	0,282	0,216	0,066	1,50
11.03.75	0,275	2,0	8,20	357,5	12,19	2,70	62,4	8,89	1,21	0,36	0,015	0,69	0,52	48,00	180,6	0,16	0,001	0,004	0,004	-	0,176	-	0,51
03.04.75	0,201	2,0	8,20	388,4	12,54	2,65	67,5	9,71	1,28	0,44	0,023	0,76	0,37	58,68	181,5	0,16	0,001	0,004	0,014	0,263	0,184	0,079	0,65
18.04.75	0,827	3,0	7,90	305,7	11,75	1,75	55,2	6,28	0,80	0,34	0,003	0,47	0,35	25,40	169,8	0,28	0,002	0,001	0,008	0,337	0,285	0,052	0,66
29.04.75	2,341	6,0	8,00	270,4	11,01	2,03	44,6	6,13	0,67	0,40	0,012	0,36	0,23	17,10	147,9	0,23	0,001	0,000	0,005	0,292	0,243	0,049	1,13
16.05.75	1,758	6,0	8,20	255,0	-	1,10	42,0	6,68	0,69	0,33	0,021	0,28	0,25	15,10	144,0	0,23	0,001	0,011	0,027	0,303	0,252	0,051	0,53
03.06.75	1,247	-	7,95	275,0	11,16	2,19	50,8	7,28	0,50	0,32	0,005	0,48	0,20	25,44	157,6	0,04	0,002	0,002	0,007	0,269	0,047	0,222	0,90
26.08.75	0,661	8,0	8,35	328,2	10,83	2,55	58,9	8,84	1,45	0,43	0,002	0,53	0,09	38,94	180,6	0,21	0,002	0,000	0,016	-	0,214	-	0,84
18.09.75	0,832	8,5	8,20	322,6	10,85	2,68	59,3	7,77	1,19	0,41	0,011	0,53	0,30	31,00	184,9	0,18	0,002	0,014	0,024	-	0,193	-	0,40
30.10.75	0,214	4,8	8,10	382,0	11,54	2,63	64,4	10,24	0,82	0,41	0,016	0,68	0,33	49,10	185,4	0,20	0,003	0,002	0,021	0,222	0,219	0,003	0,99

ANNEXE nº 19

LE BREVON A L'ENTREE DU LAC DE VALLON

Analyses chimiques des eaux

Date	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
09.10.74	-	7,70	316,5	-	2,69	62,9	6,45	1,10	0,44	0,035	0,54	0,50	25,60	197,6	0,16	0,002	0,005	0,008	0,238	0,197	0,041	-
23.10.74	3,0	8,00	276,6	9,10	2,37	53,3	5,28	0,57	0,53	0,032	0,43	0,50	18,31	174,7	0,17	0,002	0,001	0,004	0,434	0,204	0,230	-
20.11.74	3,0	8,25	311,4	8,90	2,80	60,8	6,36	0,82	0,44	0,014	0,55	0,59	27,10	187,1	0,14	0,001	0,000	0,007	0,322	0,177	0,145	0,73
10.12.74	3,0	7,70	287,4	10,84	2,69	57,8	5,65	0,98	0,39	0,026	0,54	0,66	27,65	183,0	0,15	0,001	0,000	0,013	0,340	0,286	0,054	0,83
16.01.75	2,0	7,80	329,1	11,66	2,90	63,3	7,26	1,20	0,41	0,016	0,64	0,66	36,20	186,4	0,27	0,000	0,001	0,005	0,340	0,286	0,054	0,52
30.01.75	2,0	7,65	287,6	11,43	2,46	56,5	5,59	1,23	0,46	0,067	0,52	0,87	25,70	173,7	0,23	0,002	0,000	0,007	0,306	0,299	0,007	1,26
26.02.75	2,0	7,85	368,3	12,68	2,80	65,5	8,07	1,23	0,60	0,013	0,68	0,64	41,00	185,4	0,16	0,001	0,001	0,003	0,284	0,174	0,110	0,50
11.03.75	3,0	7,95	351,7	11,20	2,72	63,4	7,58	1,31	0,41	0,012	0,66	0,71	39,80	185,4	0,19	0,001	0,002	0,000	0,246	0,203	0,043	0,64
03.04.75	1,5	7,85	376,5	11,28	2,66	66,4	7,59	1,58	0,47	0,015	0,68	1,29	43,10	188,4	0,18	0,001	0,001	0,009	0,346	0,196	0,150	0,67
18.04.75	3,0	7,65	282,9	11,70	1,97	51,7	4,79	0,93	0,29	0,024	0,43	0,71	22,40	157,1	0,33	0,002	0,001	0,011	0,403	0,356	0,047	1,01
29.04.75	7,0	7,85	285,4	11,93	2,15	47,2	5,50	0,84	0,45	0,013	0,40	0,36	17,00	153,7	0,25	0,001	0,001	0,008	-	0,264	-	1,20
16.05.75	10,0	8,10	273,4	-	1,81	46,3	6,28	0,81	0,37	0,004	0,36	0,30	18,90	152,7	0,20	0,001	0,006	0,018	0,293	0,205	0,088	0,70
03.06.75	6,0	7,80	240,9	10,83	1,85	44,3	5,71	0,44	0,29	0,027	0,35	0,21	14,35	145,9	0,21	0,002	0,002	0,006	0,261	0,239	0,022	0,90
26.08.75	11,0	8,10	300,9	9,06	2,38	54,9	7,26	1,42	0,47	0,031	0,43	0,25	26,93	177,6	0,15	0,003	0,002	0,017	0,208	0,184	0,024	1,17
18.09.75	12,0	8,05	296,0	-	2,43	54,8	6,06	1,08	0,43	0,022	0,36	0,40	15,40	181,0	0,10	0,002	0,015	0,026	0,145	0,124	0,021	1,70
30.10.75	6,0	7,90	364,0	11,16	2,63	64,4	7,87	0,82	0,44	0,045	0,59	0,54	32,60	192,3	0,15	0,001	0,000	0,008	0,208	0,196	0,012	1,97

ANNEXE N° 20

LAC DE VALLON - EMISSAIRE

Analyses chimiques des eaux

Date et point de prélèvement	Transparence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
23.10.74	0,50	0	2,10	8,10	276,5	11,70	2,36	51,6	5,28	0,59	0,48	0,037	0,43	0,53	3,90	172,3	0,17	0,002	0,002	0,007	-	0,209	-	-
(2)		4	4,10	8,00	280,5	9,80	2,33	51,6	5,43	0,97	0,53	0,027	0,43	0,52	3,85	168,4	0,18	0,002	0,001	0,007	-	0,209	-	-
		8	4,10	7,90	274,1	10,50	2,27	51,2	5,34	0,62	0,57	0,035	0,41	0,55	18,95	166,9	0,17	0,002	0,001	0,007	0,346	0,207	0,139	-
		9,40	-	7,75	285,3	-	2,84	51,6	5,12	0,69	0,62	0,064	0,42	0,68	18,07	169,3	0,15	0,005	0,002	0,003	0,374	0,219	0,155	-
20.11.74 *		bord	0	7,95	236,3	8,67	2,13	46,9	3,87	0,95	0,48	0,027	0,39	1,04	16,23	147,1	0,13	0,001	0,000	0,007	0,244	0,158	0,086	-
10.12.74 *		bord	0	7,55	268,1	9,70	2,33	53,5	4,81	1,08	0,40	0,022	0,44	0,89	20,29	174,2	0,14	0,001	0,000	0,015	-	0,163	-	2,40
16.01.75 *	2,70	0	0,80	7,80	322,8	11,66	2,88	63,3	7,26	1,19	0,48	0,023	0,64	0,68	36,40	188,4	0,24	0,001	0,001	0,004	0,314	0,264	0,050	1,04
		1	1,70			11,52																		0,92
		2	1,90	8,00	326,7	11,42	2,90	63,3	7,26	1,16	0,44	0,022	0,64	0,64	35,80	185,4	0,25	0,001	0,002	0,005	0,252	-	-	-
		3	2,35			11,20																		0,76
(2)		4	2,70	7,80	323,0	11,03	2,92	62,4	6,90	1,16	0,44	0,029	0,62	0,68	33,70	185,9	0,23	0,001	0,002	0,006	0,226	-	-	0,60
		5	2,70			10,67																		0,74
		6	3,10			10,04																		0,70
		7	3,45			8,25																		0,73
		8	3,95	7,35	335,8	6,24	3,43	65,7	6,43	1,43	0,51	0,166	0,59	1,23	26,40	203,0	0,11	0,006	0,003	0,005	0,448	0,282	0,166	0,87
		9	3,90			4,10																		2,07
29.04.75	1,70	0	5,95	7,40	279,9	11,46	2,15	47,2	5,60	0,74	0,45	0,032	0,41	0,49	16,80	153,2	0,27	0,001	0,001	0,011	0,362	0,303	0,059	0,99
		1	5,95			11,46																		0,48
		2	5,95			11,20																		0,56
		3	5,95			11,18																		0,52
		4	5,53	7,70	275,7	11,24	2,13	47,2	5,60	0,69	0,44	0,005	0,41	0,34	16,70	154,7	0,29	0,001	0,001	0,005	0,342	0,303	0,039	0,47
(2)		5	4,76			11,03																		0,69
		6	4,76			11,07																		-
		7	4,76			10,60																		-
		8	3,94	7,45	322,0	8,35	2,60	53,5	6,13	1,12	0,43	0,108	0,48	0,97	22,70	169,8	0,20	0,003	0,001	0,004	0,368	0,311	0,057	0,58
		9	3,94			0,25																		1,44
		10,20	3,94	7,20	404,1	0	4,15	72,4	7,36	2,84	0,70	0,850	0,68	3,49	28,80	231,8	0,07	0,007	0,001	0,007	-	0,927	-	3,14

* Surface du lac recouverte de glace

ANNEXE N° 21

LAC DE VALLON (1075 m)

Analyses chimiques des eaux

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	X µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
16.05.75	1,80	0	6,60	7,90	227,8	10,99	1,90	47,6	6,19	0,83	0,28	0,038	0,34	0,30	14,70	148,8	0,27	0,002	0,008	0,008	0,293		-	3,44
		1	6,00			11,11																		0,57
		2	6,20			10,97																		0,55
		3	6,00			11,28																		0,42
(1)		4	5,90	7,90	268,1	11,09	1,86	44,1	6,11	0,84	0,39	0,017	0,30	0,32	16,50	148,3	0,23	0,001	0,015	0,015	0,312	0,248	0,064	0,50
		5	5,50			10,99																		0,47
		6	5,50			11,18																		0,49
		7	5,50	7,90	268,0	11,13	1,94	45,9	6,22	0,89	0,38	0,023	0,30	0,32	18,00	150,8	0,23	0,002	0,010	0,010	0,319	0,255	0,064	0,63
16.05.75	3,20	0	7,00	7,95	275,7	11,11	1,91	45,3	6,23	0,86	0,35	0,027	0,33	0,26	17,80	150,3	0,24	0,001	0,015	0,015	0,289	0,268	0,021	1,65
		1	7,00			11,24																		
		2	7,10			11,24																		
		3	6,50			11,20																		0,80
		4	5,90	7,90	275,0	11,20	1,89	44,5	6,28	0,83	0,32	0,030	0,30	0,24	17,00	148,4	0,25	0,001	0,012	0,012	0,337	0,281	0,056	0,51
(2)		5	5,90			11,46																		1,11
		6	5,50			11,50																		0,74
		7	5,60			11,16																		0,90
		8	5,60			11,28																		0,64
		9	5,60	7,90	272,0	11,32	2,02	45,3	6,22	0,82	0,39	0,029	0,35	0,39	18,80	150,8	0,25	0,003	0,007	0,007	0,317	0,282	0,035	1,30

ANNEXE N° 22

LAC DE VALLON (1075 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	X µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
16.05.75	2,80	0	7,40	7,95	277,8	10,99	1,96	45,7	6,22	0,89	0,52	0,014	0,35	0,44	18,00	151,3	0,22	0,001	0,017	0,017	0,287	0,235	0,052	1,01
		1	7,40			11,03																		0,80
		2	7,10			11,28																		0,80
(3)		3	6,90			10,69																		0,48
		4	6,40			11,50																		
		4,40	6,50	7,95	277,8	-	1,99	45,5	6,19	0,86	0,43	0,018	0,34	0,36	18,10	150,3	0,25	0,002	0,010	0,010	0,294	0,270	0,024	1,54
16.05.75	2,90	0	8,20	8,10	270,0	10,95	1,80	45,9	6,22	0,85	0,40	0,018	0,34	0,38	17,60	154,7	0,22	0,001	0,005	0,016	0,315	0,239	0,076	0,94
		1	7,60			11,11																		0,61
		2	6,70			11,24																		0,56
		3	6,10			11,42																		0,79
(4)		4	5,70			11,58																		0,60
		5	5,70			11,66																		0,44
		6	5,60			12,13																		0,43
		7	5,60	8,10	264,2	11,36	1,92	43,8	6,37	0,78	0,35	0,003	0,31	0,31	16,40	150,8	0,24	0,001	0,004	0,015	0,322	0,244	0,078	0,72
03.06.75	0,80	0	5,32	7,85	244,6	10,87	1,98	46,2	5,71	0,44	0,30	0,020	0,37	0,22	15,32	153,3	0,20	0,002	0,001	0,005	-	0,222	-	0,80
		1	5,32			10,85																		1,15
		2	5,32			10,97																		0,79
		3	5,27			10,97																		0,77
(2)		4	5,14	7,80	248,8	11,38	1,99	46,7	5,86	0,47	0,35	0,049	0,38	0,38	15,81	151,3	0,22	0,003	0,007	0,054	0,315	0,272	0,043	0,71
		5	5,09			10,69																		1,12
		6	5,09			10,71																		0,99
		7	4,95			11,65																		0,94
		8	4,77			11,03																		1,05
		9	4,77	7,85	259,4	11,09	2,10	48,5	6,23	0,44	0,28	0,017	0,42	0,27	18,42	155,2	0,23	0,002	0,010	0,039	0,272	0,249	0,023	1,00

ANNEXE N° 23

LAC DE VALLON (1075 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
09.07.75	2,60	0	14,90	8,20	277,6	10,51	2,04	49,7	7,05	0,71	0,30	0,029	0,41	0,19	21,31	157,4	0,13	0,002	0,002	-	-	0,161	-	1,42
		1	12,20			10,55																		1,43
		2	10,60			10,65																		1,26
		3	10,00			10,97																		1,60
		4	8,80	8,15	276,0	10,73	2,08	49,6	6,97	0,70	0,23	0,018	0,39	0,19	21,20	158,3	0,15	0,002	0,002	-	-	0,170	-	1,18
(2)		5	8,40			10,34																		1,37
		6	8,00			10,26																		1,57
		7	7,70			9,71																		1,51
		8	7,60			9,47																		1,68
		9	7,60	8,00	280,2	8,94	2,25	50,3	6,85	0,70	0,30	0,054	0,39	0,12	20,19	160,9	0,14	0,002	0,007	-	-	0,196	-	3,40
26.08.75	1,30	0	10,43	8,00	302,4	9,92	2,37	55,5	7,26	1,40	0,45	0,028	0,43	0,25	25,97	176,7	0,17	0,003	0,000	0,012	-	0,201	-	1,13
		1	10,43			9,20																		1,23
		2	10,43			9,18																		
		3	10,31			9,16																		0,86
		4	10,14	7,98	299,2	9,16	2,43	56,1	7,45	1,46	0,49	0,077	0,46	0,25	27,96	180,1	0,18	0,003	0,000	0,018	0,269	0,260	0,009	2,30
(2)		5	9,67			8,98																		0,99
		6	9,44			9,14																		1,15
		7	9,44			9,14																		1,63
		8	9,27			8,94																		1,01
		9	9,27	8,00	308,3	8,57	2,50	55,5	7,45	1,43	0,45	0,067	0,45	0,22	27,48	181,0	0,17	0,003	0,000	0,015	0,291	0,240	0,051	1,10
		9,5	9,27																					1,61

ANNEXE N° 24

LAC DE VALLON (1075 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
18.09.75	0,50	0	11,41	8,05	299,5	9,94	2,47	55,7	6,06	1,12	0,46	0,022	0,38	0,43	15,90	181,5	0,08	0,003	0,011	0,021	0,238	0,105	0,133	1,07
		1	9,96			9,94																		1,41
		2	8,98			9,94																		1,37
		3	8,98	8,00	305,3	9,88	2,53	56,6	6,36	1,13	0,46	0,020	0,42	0,39	19,20	182,5	0,18	0,002	0,008	0,019	-	0,202	-	1,67
		4	8,69			9,88																		1,32
		5	8,34			9,92																		1,44
(2)		6	8,17	8,00	297,2	10,04	2,46	54,1	6,06	1,03	0,50	0,024	0,37	0,34	15,60	180,1	0,16	0,002	0,009	0,019	0,197	0,186	0,011	2,00
		7	7,82			9,77																		2,05
		8	7,53			9,61																		1,36
		9	7,53	8,00	289,3	9,59	2,36	51,9	5,98	0,99	0,48	0,032	0,35	0,36	13,90	175,2	0,15	0,003	0,010	0,020	-	0,185	-	2,39
		9,40	5,53																					
30.10.75	2,70	0	5,87	7,85	356,0	10,85	2,68	64,4	7,96	0,84	0,46	0,095	0,58	0,59	33,60	195,7	0,18	0,001	0,000	0,012	0,297	0,276	0,021	1,37
		1	5,60			10,93																		1,05
		2	5,18			10,85																		1,22
		3	5,04	7,85	367,0	10,85	2,68	64,9	7,92	0,84	0,41	0,042	0,60	0,43	33,70	198,6	0,17	0,002	0,000	0,011	0,253	0,214	0,039	1,20
		4	4,95			10,73																		0,64
		5	4,95			10,38																		0,78
(2)		6	4,72	7,82	373,0	10,36	2,73	64,4	8,36	0,83	0,35	0,045	0,62	0,44	36,60	196,6	0,19	0,002	0,000	0,012	-	0,237	-	0,98
		7	4,49			10,28																		0,92
		8	4,49			10,36																		0,77
		9	4,49	7,82	377,0	10,49	2,71	64,9	8,92	0,92	0,36	0,050	0,65	0,52	39,70	189,8	0,21	0,001	0,004	0,018	-	0,261	-	0,45
		10	4,49			10,36																		1,57

ANNEXE N° 25

LAC DE VALLON (1075 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
22.01.75 *		-	0	6,95	21,7	-	0,16	3,7	0,7	0,11	0,00	0,070	0,00	0,07	1,33	16,6	0,02	0,000	0,002	0,010	-	0,110	-	-
22.01.75	2,30	0	0,90	7,25	220,8	5,53	2,30	38,7	7,99	0,37	0,39	0,256	0,07	0,23	2,59	155,7	0,15	0,003	0,002	0,010	-	0,409	-	1,65
		1	1,80			4,88																		2,10
		2	3,10			3,88																		1,45
		3	3,80	7,20	273,1	3,25	2,94	43,6	9,45	0,44	0,40	0,262	0,08	0,19	2,72	185,4	0,14	0,004	0,001	0,008	0,474	0,406	0,068	2,55
		4	4,25			3,15																		1,75
(1)		5	4,20			3,07																		1,65
		6	4,20	7,15	287,7	2,91	3,20	48,9	10,1	0,38	0,35	0,292	0,07	0,18	2,94	196,2	0,12	0,004	0,002	0,008	-	0,416	-	1,75
		7	4,20			1,91																		1,45
		8	4,25			1,20																		2,95
		9	4,47	6,82	337,6	0,00	5,24	51,1	11,5	0,50	0,54	1,390	0,09	0,23	1,72	237,7	0,00	0,002	0,001	0,009	-	1,392	-	3,10
		10	4,90			0,00																		4,25
05.06.75	0,70	0	4,18	7,30	215,6	9,55	2,43	37,6	7,06	0,28	0,27	0,139	0,05	0,26	1,58	144,9	0,35	0,004	0,003	0,003	-	0,493	-	0,77
		1	4,18			9,31																		0,90
		2	3,90			9,31																		0,51
		3	3,90	7,25	216,8	9,31	2,43	39,1	7,28	0,26	0,26	0,148	0,04	0,20	2,38	144,9	0,32	0,005	0,006	0,006	0,502	0,473	0,029	0,48
		4	3,70			9,20																		0,42
(1)		5	3,70			9,29																		0,36
		6	3,70	7,10	229,0	8,27	2,62	39,9	7,56	0,27	0,27	0,188	0,05	0,18	2,34	153,7	0,30	0,006	0,001	0,001	-	0,494	-	0,48
		7	3,90			0,63																		0,78
		8	4,10			0																		1,27
		9	4,20	6,75	304,6	0	-	53,1	10,4	0,36	0,40	0,844	0,07	0,24	1,96	210,8	0,04	0,001	0,001	0,003	-	0,885	-	1,24
		9,6	4,20			0																		1,35

* glace fondue

ANNEXE Nº 26

LAC DE ROI (1659 m)

Analyses chimiques des eaux

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
05.06.75	0,70	0	4,30	7,20	218,9	9,20	2,43	37,5	7,11	0,27	0,24	0,157	0,05	0,21	2,50	144,9	0,34	0,005	0,001	0,003	-	0,502	-	0,65
		1	4,30			9,14																		0,43
		2	4,10			9,27																		0,54
(2)		3	3,80	7,30	217,0	9,27	2,42	37,5	7,11	0,27	0,23	0,144	0,06	0,21	2,13	145,4	0,30	0,005	0,003	0,006	0,477	0,449	0,028	0,76
		4	3,80			8,76																		-
		5	3,80			4,55																		0,48
		6	3,90	6,90	271,7	2,64	3,45	46,7	9,17	0,30	0,32	0,370	0,07	0,21	2,34	183,4	0,15	0,012	0,002	0,003	0,556	0,532	0,024	0,53
		7	3,90			0																		0,70
05.06.75	0,80	0	5,20	7,25	219,3	9,31	2,40	38,2	7,18	0,27	0,25	0,155	0,05	0,19	2,09	144,9	0,32	0,005	0,001	0,002	-	-	-	0,78
		1	4,30			9,37																		0,57
		2	3,90			9,29																		0,62
(3)		3	3,90	7,45	215,8	9,35	2,42	38,7	7,20	0,27	0,24	0,208	0,05	0,20	2,34	145,4	0,34	0,005	0,001	0,006	-	0,552	-	0,60
		4	3,90			9,14																		0,52
		5	3,90			7,88																		0,92
		6	3,90	7,05	280,3	1,54	3,54	48,1	9,46	0,31	0,33	0,373	0,08	0,23	2,55	189,3	0,12	0,017	0,001	0,001	0,527	0,510	0,017	0,51
		7	3,90			0,37																		0,93
22.07.75	3,80	0	16,20	7,85	211,1	8,43	1,32	35,3	7,00	0,65	0,38	0,072	0,07	0,22	2,74	138,1	0,25	0,004	0,025	0,032	0,334	0,326	0,008	1,76
		1	15,90			8,41																		0,40
		2	14,80			7,99																		1,48
		3	12,20	7,30	238,5	6,18	2,60	39,5	7,57	0,48	0,24	0,152	0,06	0,18	2,12	158,6	0,30	0,005	0,008	0,012	-	0,457	-	1,37
(1)		4	8,20			4,78																		0,68
		5	6,20			2,17																		0,70
		6	5,90	7,00	271,4	0,39	4,26	45,0	8,73	0,54	0,33	0,610	0,07	0,26	1,53	184,5	0,11	0,041	0,006	0,023	-	0,639	-	0,86
		7	5,70			0,47																		1,28
		8	5,70			0,18																		1,07
		9	5,70	7,00	272,8	0,28	4,26	45,0	8,73	0,37	0,38	0,690	0,07	0,27	1,91	185,4	0,12	0,026	0,006	0,024	-	0,698	-	1,55

ANNEXE Nº 27

LAC DE ROI (1659 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	X µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
28.08.75	5,20	0	15,40	7,90	224,6	9,55	1,58	36,2	7,56	0,98	0,44	0,092	0,04	0,00	3,35	147,4	0,13	0,005	0,093	0,112	-	0,227	-	2,55
		1	14,70			9,41																		2,00
		2	13,40			9,21																		1,78
		3	13,20	7,80	235,1	9,04	1,60	36,6	7,60	0,92	0,41	0,109	0,04	0,00	3,13	148,8	0,15	0,004	0,024	0,037	-	0,263	-	1,34
		4	12,80			8,82																		1,96
(1)		5	11,20			7,52																		1,33
		6	11,20	7,20	272,8	3,80	3,12	45,4	8,60	0,98	0,39	0,330	0,04	0,07	3,66	179,6	0,07	0,010	0,019	0,036	-	0,410	-	1,07
		7	9,40			0,57																		1,16
		8	8,60			0,61																		0,46
		9	8,60			0,71																		1,17
		9,7	8,60	7,20	290,4	0,51	3,90	45,6	8,85	1,03	0,42	0,600	0,04	0,10	2,22	186,9	0,00	0,003	0,010	0,030	-	0,603	-	1,94
26.09.75	5,50	0	10,70	7,95	236,2	9,06	1,61	39,1	8,13	0,69	0,39	0,085	0,07	0,00	3,90	161,5	0,16	0,004	0,011	0,020	-	0,249	-	3,18
		1	11,80			8,79																		3,35
		2	11,80			8,81																		3,41
		3	11,60	7,90	241,0	8,65	1,56	39,1	8,08	0,73	0,39	0,085	0,06	0,10	3,80	159,1	0,15	0,004	0,007	0,018	-	0,239	-	3,27
(1)		4	11,60			8,61																		3,20
		5	10,65			7,55																		2,96
		6	10,20	7,60	245,6	7,18	1,87	40,4	8,08	0,73	0,37	0,139	0,06	0,00	3,80	161,5	0,17	0,004	0,006	0,021	-	0,313	-	2,99
		7	9,60			6,06																		2,94
		8	9,00			2,58																		2,47
		9	8,90	7,30	267,5	0,61	2,83	44,3	8,62	0,87	0,39	0,410	0,07	0,44	3,30	182,0	0,05	0,008	0,007	0,022	-	0,468	-	3,32
		10	8,80			0,20																		3,58

ANNEXE N° 28

LAC DE ROI (1659 m)

Analyses chimiques des eaux (suite)

Date et point de prélèvement	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	X µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
26.07.75	0,90	0	13,80	7,85	243,1	8,13	2,48	48,8	1,57	0,88	0,64	0,058	0,30	0,51	2,24	157,1	0,20	0,004	0,002	0,016	-	0,262	-	2,68
		1	13,22			8,41																		1,28
		2	11,40			5,61																		1,33
(1)		3	7,91	7,35	253,4	4,35	3,04	51,1	1,54	0,68	0,65	0,182	0,30	0,36	1,99	165,0	0,14	0,004	0,004	0,014	-	0,326	-	1,38
		4	7,40			3,29																		0,67
		5	7,40			3,13																		0,98
		5,6	7,20	7,20	263,4	2,74	3,40	54,2	1,60	0,64	0,60	0,256	0,32	0,36	2,08	172,8	0,13	0,005	0,003	0,016	-	0,391	-	1,38
12.08.75	1,65	0	15,50	7,60	198,3	9,04	1,82	41,1	1,54	1,17	0,45	0,003	0,27	0,17	2,15	131,2	0,09	0,003	0,003	0,014	-	0,096	-	0,68
		1	15,60			-																		0,91
		2	14,72			9,14																		1,17
		3	10,80	7,15	252,5	6,20	2,77	56,3	1,64	1,12	0,53	0,011	0,30	0,21	2,23	171,8	0,19	0,005	0,003	0,009	-	0,206	-	0,47
(1)		4	8,91			7,11																		0,87
		5	7,90			1,22																		0,93
		6	7,90	6,95	298,2	0,51	3,79	61,3	1,84	1,17	0,58	0,352	0,35	0,25	2,27	201,5	0,09	0,003	0,011	0,024	-	0,445	-	1,18
24.09.75	2,90	0	11,60	7,90	225,0	10,32	1,37	42,1	1,70	1,16	0,91	0,017	0,29	0,42	3,10	140,5	0,03	0,001	0,005	0,016	0,075	0,048	0,027	2,87
		1	11,60			10,22																		3,05
		2	11,60			10,38																		2,12
(1)		3	9,30	7,60	253,4	8,26	1,69	49,5	1,67	0,99	0,83	0,017	0,31	0,20	3,30	161,5	0,05	0,002	0,008	0,016	-	0,069	-	2,41
		4	9,50			7,77																		2,41
		5	7,70			0,39																		-
		6	7,70	7,20	302,9	0,00	3,48	61,2	1,94	1,09	0,77	0,630	0,37	0,24	3,10	205,0	0,06	0,002	0,008	0,019	-	0,692	-	4,00

ANNEXE N° 29

LAC D'ARVOUIN (1669 m)

Analyses chimiques des eaux

Date	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
08.06.75	*	0	0,3	7,20	124,8		1,89	21,8	4,40	0,23	0,25	0,027	0,01	0,16	1,96	80,0	0,08	0,002	0,000	0,001	0,195	0,109	0,086	0,43
28.07.75	0,90	0	12,9	7,30	129,6	9,63	2,04	20,1	5,32	1,61	0,07	0,029	0,06	0,98	2,29	89,3	0,09	0,002	0,447	0,518	-	0,121		0,38
		1	9,3			9,96																		0,38
		2	7,1			10,12																		0,38
		3	6,0	7,55	145,4	10,04	2,19	22,3	5,70	0,55	0,44	0,021	0,05	0,23	1,95	96,6	0,11	0,001	0,168	0,187	-	0,132		0,21
		4	5,2			10,16																		0,15
		5	4,8	7,60	152,5	10,20	2,31	23,9	5,94	0,35	0,37	0,020	0,05	0,20	2,05	102,5	0,10	0,001	0,018	0,047	-	0,121		0,84
		5,8	4,8			9,55																		0,38
27.08.75	1,16	0	7,8	7,20	139,5	10,53	2,04	22,7	5,78	1,78	0,75	0,025	0,02	0,05	3,53	97,1	0,06	0,002	0,690	0,690	0,170	0,087	0,083	0,93
		1	7,7			10,46																		1,16
		2	7,3			10,55																		0,72
		3	5,9	7,75	157,3	11,01	2,30	24,3	6,14	1,05	0,45	0,003	0,03	0,01	2,59	105,4	0,09	0,002	0,023	0,34	0,104	0,095	0,009	0,26
		4	5,7			10,65																		0,40
		5	5,7	7,50	161,0	8,27	2,12	25,1	5,96	1,05	0,48	0,007	0,02	0,00	3,31	104,9	0,10	0,004	0,015	0,34	0,133	0,111	0,022	0,83
		5,8	5,5			7,76																		0,42
23.09.75	4,00	0	8,5	8,10	174,8	10,15	1,97	23,5	6,16	0,75	0,44	0,016	0,04	0,00	3,7	101,5	0,02	0,002	0,007	0,017	0,108	0,038	0,080	0,51
		1	8,2			10,20																		0,50
		2	7,9			11,21																		0,44
		3	6,3	8,20	178,0	11,62	2,14	24,6	6,26	0,75	0,46	0,010	0,04	0,00	3,7	103,9	0,05	0,002	0,007	0,015	0,120	0,062	0,058	0,78
		4	5,2			12,88																		0,50
		5	4,7	8,25	184,3	12,05	2,34	25,3	6,38	0,76	0,50	0,037	0,06	0,00	4,0	108,8	0,13	0,002	0,006	0,014	0,195	0,169	0,026	0,38
		5,8	4,7			12,15																		0,76

* Surface du lac recouverte de glace

ANNEXE N° 30

LAC DE TAVANEUSE (1806 m)
Analyses chimiques des eaux

Date	Trans-parence m	Profondeur m	t°C	pH	χ µmhos/cm 25°C	O_2 mg/l	SiO_2 mg/l	Ca^{++} mg/l	Mg^{++} mg/l	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	NH_4^{+} mgN/l	Sr^{++} mg/l	Cl^{-} mg/l	SO_4^{--} mg/l	HCO_3^{-} mg/l	NO_3^{-} mgN/l	NO_2^{-}	PO_4^{---} mgP/l	P total mgP/l	N total mg/l	N min mg/l	N org mg/l	COT mg/l
11.06.75	*	1,5	1,1	7,3	130,1	10,46	1,17	27,9	1,17	0,11	0,16	0,020	0,04	0,04	2,75	83,0	0,20	0,003	0,003	0,006	0,411	0,223	0,188	0,41
		3,5	1,6	7,4	176,4	9,25	1,57	37,1	1,60	0,27	0,20	0,061	0,05	0,25	3,50	113,2	0,26	0,002	0,002	0,006	-	-	-	0,47
		4,5	1,4	7,3	192,0	8,23	1,73	40,8	1,80	0,24	0,16	0,051	0,05	0,20	3,86	122,5	0,26	0,003	0,000	0,004	0,410	0,314	0,096	0,24
		5,5	1,4	7,4	203,0	6,81	1,92	42,4	2,01	0,30	0,21	0,064	0,06	0,29	4,63	130,8	0,29	0,004	0,002	0,004	0,446	0,358	0,088	0,18
		6,5	1,6	7,4	218,1	4,15	2,32	45,0	2,12	0,33	0,23	0,140	0,07	0,23	4,99	140,0	0,26	0,009	0,001	0,013	-	0,409	-	0,27
29.08.75	5,95	0	12,0	7,9	169,1	9,57	0,40	29,9	1,50	0,75	0,26	0,038	0,02	0,00	3,04	98,6	0,04	0,002	0,007	0,032	0,220	0,080	0,140	0,33
		1	12,2			9,86																		0,68
		2	11,0			9,77																		1,10
		3	10,5	7,9	176,6	-	0,41	30,5	1,39	0,77	0,29	0,051	0,02	0,00	3,84	98,6	0,03	0,002	0,007	0,023	0,116	0,083	0,033	0,43
		4	10,0			9,69																		0,78
		5	10,0	7,7	178,5	9,55	0,43	30,7	1,45	0,79	0,28	0,054	0,04	0,00	3,08	98,1	0,05	0,003	0,009	0,028	-	0,107	-	1,61
		5,9	10,2			9,12																		1,01
25.09.75	5,20	0	10,9	8,0	152,1	10,15	0,44	28,0	1,38	0,73	0,29	0,027	0,04	0,23	3,40	91,7	0,04	0,002	0,017	0,035	0,088	0,069	0,019	1,35
		1	10,9			10,01																		1,73
		2	10,9			10,24																		0,44
		3	10,9	8,1	150,1	10,34	0,45	27,8	1,37	0,60	0,10	0,032	0,06	0,00	3,40	90,8	0,05	0,002	0,013	0,026	-	0,084	-	1,04
		4	10,8			10,40																		1,48
		5	10,5	8,0	160,5	10,44	0,60	29,6	1,42	0,61	0,10	0,038	0,06	0,00	3,20	96,1	0,03	0,002	0,008	0,017	0,123	0,070	0,053	1,72
		5,2	10,5			-																		1,46
25.09.75	Petit lac	0,5		8,4	131,3		0,27	22,0	1,31	0,75	0,14	0,025	0,04	0,00	4,00	73,7	0,03	0,002	0,073	0,080	0,070	0,057	0,013	1,46

* Surface du lac recouverte de glace

ANNEXE N° 31

LAC DARBON (1816 m)
Analyses chimiques des eaux

BIBLIOGRAPHIE

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.

BENEDETTI-CROUZET E., *MEYBECK M.*, 1971. Le lac d'Annecy et son bassin versant. Premières données climatologiques, hydrologiques, chimiques et sédimentologiques. Arch. Sc. Genève, 24, 3, 437-486.

BENEDETTI-CROUZET E., 1972. Etude géodynamique du lac d'Annecy et de son bassin-versant. Thèse 3ème cycle, Paris.

BERNHEIM Ph., 1962. Contribution à l'étude géologique de la région des Gets (Haute-Savoie). Thèse 3ème cycle, Paris.

BLACK G., *FONTVIEILLE D.*, 1975. Contribution à l'hydrobiologie du lac du Bourget. Etude comparative de trois stations littorales. Ann. Centre Universitaire de Savoie., 2, 1-31.

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.

BLAVOUX B., *DRAY M.*, 1975. Fonctionnement isotopique d'un aquifère fluvio-glaciaire : 7 ans d'observations piézométriques, hydrochimiques et isotopiques à la source minérale de la Versoie (Haute-Savoie). Colloque Internat. d'hydrogéologie, Palerme (Italie).

CAPBLANCQ J., *LAVILLE H.*, 1968. Etude morphométrique et physico-chimique de neuf lacs du massif de Néouvielle (Hautes-Pyrénées). Ann. Limnol., 4, 3, 275-324.

CAUWET G., GADEL F., 1970. Etude géologique et géochimique d'une carotte prélevée dans le golfe du Lion. Extrait du Bull. B.R.G.M., IIème sér., section 4, nº 4.

CHASSAING B., OLIVE Ph., PELLETIER J.P., SIWERTZ E., 1975. Evolution biogéochimique du lac Léman de 1957 à 1973 (III). Arch. Sc. Genève, 28, 2, 203-216.

COLLET L.W., 1925. Les lacs. Leur mode de formation. Leurs eaux. Leur destin. G. Douin, éd., Paris.

COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LAC LEMAN CONTRE LA POLLUTION., 1957, 1960, 1974, 1975. Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique.

C.T.G.R.E.F., 1975. Le lac de Sainte-Hélène. Station d'Etude Hydrobiologique d'Aix-les-Bains.

DEFLANDRE G., 1925. Bull. Soc. Bot. France, 72, 373-393.

DELEBECQUE A., 1898. Les lacs français. Chamerot et Renouard, 436 p., Paris.

DRAY M., 1970. Etude hydrogéologique du Quaternaire de la région de Thonon (Haute-Savoie). Thèse, Paris.

DUSSART B., 1948. Contribution à l'étude zoologique des lacs de Haute-Savoie : I - Le lac de Darbon. Ann. Sta. Centr. Hydrobiol. Appl., 2, 187, 220-370.

DUSSART B., 1952. Contribution à l'étude des lacs du Chablais : le lac de Tavaneuse. Bull. Franç. Pisc., 167, 63-68.

DUSSART B., 1955. Le lac de Vallon. Extrait du tome 49 de l'Académie Chablaisienne.

DUSSART B., 1960. Tendance actuelle de la limnologie. 85ème Congr. Soc. Sav., 249-255.

DUSSART B., 1966. Limnologie. L'étude des eaux continentales. Ed. Gauthier-Villars, 677 p., Paris.

FOREL F.A., 1895. Le Léman. Monographie limnologique. F. Rouge, éditeur, Lausanne.

FRECAUT R., 1967. Eléments d'hydrologie continentale. Centre de Documentation Universitaire, Paris.

GAGNEBIN E., 1937. Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. Bull. Lab. Géol. Géogr. Phys. Min. Paléont. Univ. Lausanne, 52, 82 p.

GAURIER L., (Abbé) 1934. Les lacs des Pyrénées Françaises. Ed. Henri Didier, Paris.

GIANNI N., LUCAS C., 1974. Les sédiments d'un lac de haute montagne. Structure, nature et peuplement. Ann. Limnol., 10, 3, 223-244.

GLANGEAUD L., LEENHARDT O., SERRUYA C., 1964. Structures enregistrées par le "Mud Penetrator" dans les sédiments quaternaires du Léman. C.R. Acad. Sc., 258, 4816-4818, Paris.

GUNNERSON C.G., 1967. Streamflow and quality in the Columbia river basin. J. of the Sanitary Engeneering Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers. SA 6, 1-16.

HAAS J., 1964. Contribution à l'étude géologique des régions des Gets et de Morzine (Haute-Savoie). Thèse, Paris.

HART F.C., KING P.H., TCHOBANOGLOUS G., 1964. Predictive techniques for water quality inorganics. J. of the Sanitary Engineering Division., 90, SA 5, 63-64.

HAUBERT M., 1975. Bilan hydrochimique d'un bassin de moyenne montagne : la Dranse de Bellevaux (Brévon) Haute-Savoie. Thèse 3ème cycle, Paris.

HENNEQUIN C., 1970. Les critères analytiques de la pollution des eaux. Bull. Soc. Chim. de France, 1, 357-364.

HUBERT P., 1972. Apports du tritium à la limnologie physique. Application au Léman (Lac de Genève). Verh. Internat. Verein. Limnol., 18, 435-441.

HUTCHINSON G.E., 1955. A treatise on limnology. John Wiley and sons edit., New-York.

HUTCHINSON G.E., LOFFLER H., 1956. The thermal classification of lakes. Proc. Nat. Acad. Sc., Washington, 42, 84-86, 155, 156.

INESON J., DOWNING R.A., 1965. Communication on the ground-water component of river discharge and its relationship to hydrogeology. Constitution of water engeneere Journal, 19, 7, 486-488.

JAWORSKA M., 1968. Recherches préliminaires sur la dépendance entre le débit et le contenu en principaux ions des eaux rivulaires. A.I.H.S., 78, 24-27.

JEREMIE J.J., 1976. Contribution à l'étude des paramètres hydrologiques de la région lémanique. Thèse 3ème cycle, Paris.

LAURENT M., 1972. Cycle biologique de l'azote au sein des étangs : rôle des facteurs écologiques. Thèse Docteur ès-Sciences naturelles, Bordeaux I.

LEDBETTER J.O., GLOYNA E.F., 1964. Predictive techniques for water quality inorganics. J. of the Sanitary Engineering Division, SA 1, 127-151.

LUGRIN M., 1974. Premières données sur les composés organiques dissous dans le bassin du lac Léman. Thèse 3ème cycle, Paris.

LUGRIN-MacKINNON M., 1975. Premières données sur les composés organiques dissous dans le bassin du lac Léman. Verh. Intern. Verein. Limnol., 19, 1172-1181.

MARGULIS H., 1963. Pédologie générale. Ed. Gauthier-Villars, Paris.

MARTONNE (de) E., 1958. Traité de géographie physique, t. II : Le relief du sol. Armand Colin, Paris.

MENZEL D., VACCARO R., 1964. The measurement of dissolved organic and particulate organic carbon in sea water. Limn. and Ocean., 9, 138-142.

MEYBECK M., 1970. Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman. Thèse 3ème cycle, Paris.

MEYBECK M., 1972. Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman. Verh. Intern. Verein. Limnol., 18, 442-453.

MEYBECK M., MARTIN J.M., OLIVE Ph., 1975. Géochimie des eaux et des sédiments de quelques lacs volcaniques du Massif Central Français. Verh. Intern. Verein. Limnol., 19, 1150-1164.

MORET L., 1943. Les conditions géologiques du glissement de terrain de Bellevaux en Haute-Savoie (mars 1943). Rev. Géogr. Alpine, 31, 3, 423-428.

ODUM E.P., 1971. Fundamentals of ecology. W.B. Saunders Company. Philadelphia. London.

OLIVE Ph., 1972. La région du Lac Léman depuis 15.000 ans : données paléoclimatologiques et préhistoriques. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., 14, 3, 253-264.

PELLETIER J.P., 1968. Un lac méromictique, le Pavin (Auvergne). Ann. St. Biol. Besse-en-Chandesse, 3, 147-170.

PELLETIER J.P., 1973. Contribution à l'étude de la production primaire du Lac Léman. Thèse 3ème cycle, Université de Provence.

RODIER J., 1966. L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. 412 p., Ed. Dunod, Paris, 3ème édition.

RYBAK J.I., 1969. Bottom sediments of the lakes of various trophic type. Ekol. Pol. (A), 17, 611-662.

SAUVAGE J., 1969. Etude sporo-pollinique des sédiments récents du Léman. Doc. Lab. Géol. Fac. Sc. Lyon, 31, 11-27.

SAYAR M., 1966. Etude géologique, hydrologique, hydrogéologique, climatologique, limnologique, hydrochimique du bassin de la Dranse de Morzine (Haute-Savoie). Thèse, Paris.

SCHROEDER W.J., 1939. La brèche du Chablais entre Giffre et Dranse et les roches éruptives des Gets (Haute-Savoie). Thèse, Université de Genève.

SERRA-BERTRAL G., CHASSAING B., OLIVE Ph., 1976. Détermination des teneurs en carbone organique total des eaux de quelques lacs de Haute-Savoie (France). C.R. Acad. Sc., Paris, 283, série D, 511-514.

SERRUYA C., 1969. Les dépôts du Lac Léman en relation avec l'évolution du bassin sédimentaire et les caractères du milieu lacustre. Arch. Sc. Genève, 22, 1, 125-254.

SIWERTZ E., 1973. Etude expérimentale par le tritium et l'oxygène-18 de l'infiltration sur les lysimètres et le bassin versant de Thonon. Thèse 3ème cycle, Paris.

SIWERTZ E., CHASSAING B., HAUBERT M., OLIVE Ph., 1974. Bilan hydrologique du lac Léman pour la période 1963-1972 (I). Arch. Sc. Genève, 27, 1, 49-66.

STEELE T.D., 1969. Digital-computer applications in chemical quality studies of surface water in a small watershed. A.I.H.S., 80, 203-214.

SVERDRUP H.U., 1942, in ODUM E.P., 1971. Fondamentals of ecology. 3ème ed., W.B. Saunders Company Phyladelphia, London.

VIAL R., 1976. Etude géologique et hydrogéologique de la région de Douvaine (Haute-Savoie). Thèse 3ème cycle, Grenoble.

VIERS G., 1970. Géographie des forêts. P.U.F., Paris.

VIVIER P., 1952. La vie dans les eaux douces. P.U.F., Paris.

VOLLENWEIDER R., 1968. Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation. O.C.D.E. - DAS/CSI/68-27.

VOLLENWEIDER R., DILLON P.J., 1974. Application du concept de la vitesse d'apport du phosphore par unité de surface à la recherche sur l'eutrophisation. Publication du Secrétariat à l'Environnement. CNRC nº 13691 Ottawa (Canada).

WEBSTER G.C., 1959. Nitrogen metabolism in plants. Row, Peterson and Co., Evangton. Minois., 152 p.

WETZEL R.G., MANNY B.A., 1972. Decomposition of dissolved organic carbon and nitrogen compounds from leaves in an Experimental Hard-Water Srean. Limn. and Ocean., 17, 6, 927-931.

WHIPPLE G.S., 1927 in DUSSART B., 1966. Limnology, 156-157.

LISTE DES FIGURES

L I S T E D E S F I G U R E S

Pages

Figure 1 - Cadre géographique général : situation des lacs et des stations..... 5

Figure 2 - Schéma théorique de la création du Voua de la Motte après le retrait du glacier rhodanien..... 8

Figure 3 - Carte bathymétrique du Voua de la Motte..... 10

Figure 4 - Variations mensuelles des valeurs de la température, de l'oxygène dissous et de la conductivité dans les eaux du Voua de la Motte (Novembre 1974-Octobre 1975)..... 12

Figure 5 - Voua de la Motte. Distribution des valeurs du pH (Octobre 1974-Octobre 1975)..... 14

Figure 6 - Voua de la Motte. Fluctuation du niveau du plan d'eau (1974-1975)..... 21

Figure 7 - Variations mensuelles de l'azote inorganique aux différentes profondeurs du Voua de la Motte (Point 3 - 1974-1975)..... 23

Figure 8 - Variations mensuelles du phosphore aux différentes profondeurs du Voua de la Motte (Point 3 - 1974-1975)..... 26

Figure 9 - Voua de la Motte. Répartition des différentes formes du carbone organique en fonction de la profondeur..... 28

Figure 10 - Voua de la Motte. Variations des teneurs en C.O.T en fonction de la profondeur (1974-1975)..... 29

Figure 11 - Evolution de la teneur moyenne en carbone organique total dans les eaux du Voua de la Motte..... 30

Figure 12 - Variations des concentrations en azote (NH_4) et phosphore (PO_4) en fonction de la profondeur dans les eaux interstitielles des sédiments du Voua de la Motte..... 35

Figure 13 - Topographie et réseau hydrographique du lac de Montriond..... 39

Pages

Figure 14 - Courbe hypsométrique et fréquences altimétriques du bassin versant du lac de Montriond..... 40

Figure 15 - Carte géologique du bassin versant du lac de Montriond..... 41

Figure 16 - Carte de la végétation du bassin versant du lac de Montriond..... 42

Figure 17 - Le Lindaret. Variation des éléments dissous en fonction du débit (1974-1975)..... 45

Figure 18 - Lac de Montriond. Carte bathymétrique..... 53

Figure 19 - Lac de Montriond. Fluctuations du niveau du plan d'eau et du volume d'eau dans le lac (Octobre 1974-Octobre 1975)..... 55

Figure 20 - Ecoulement schématique des eaux du lac de Montriond 55

Figure 21 - Evolution de la température, de la conductivité et de la teneur en O_2 dissous dans les eaux du lac de Montriond (Octobre 1974-Septembre 1975)..... 57

Figure 22 - Lac de Montriond. Distribution des valeurs du pH (Octobre 1974-Octobre 1975)..... 60

Figure 23 - Variations de l'azote inorganique aux différentes profondeurs du lac de Montriond (Point 3 - 1974-1975)..... 63

Figure 24 - Variations mensuelles du phosphore aux différentes profondeurs du lac de Montriond (Point 3 - 1974-1975)..... 64

Figure 25 - Montriond. Variations mensuelles des teneurs en C.O.T en fonction de la profondeur (1975)..... 66

Figure 26 - Evolution de la teneur moyenne en carbone organique total dans les eaux du lac de Montriond..... 67

Figure 27 - Topographie et réseau hydrographique du bassin versant du lac de Vallon..... 75

Figure 28 - Courbe hypsométrique et fréquences altimétriques du bassin versant du lac de Vallon..... 76

Figure 29 - Carte lithologique du bassin versant du lac de Vallon..... 78

Pages

Figure 30 - Carte de la végétation du bassin versant du lac de Vallon..... 79

Figure 31 - Le Brévon. Variation des éléments dissous en fonction du débit..... 83

Figure 32 - Le glissement de terrain de Vallon..... 88

Figure 33 - Lac de Vallon. Carte bathymétrique..... 90

Figure 34 - Evolution de la température, de la conductivité et de la teneur en oxygène dissous du lac de Vallon (Octobre 1974-Octobre 1975)..... 93

Figure 35 - Lac de Vallon. Distribution des valeurs du pH (Octobre 1974-Octobre 1975)..... 97

Figure 36 - Variations de l'azote inorganique aux différentes profondeurs du lac de Vallon (Point 2 - 1974-1975). 100

Figure 37 - Variations des ortho-phosphates aux différentes profondeurs du lac de Vallon (Point 2 - 1974-1975).... 101

Figure 38 - Vallon. Variations mensuelles des teneurs en C.O.T en fonction de la profondeur..... 102

Figure 39 - Evolution de la teneur moyenne en C.O.T dans les eaux du lac de Vallon..... 103

Figure 40 - Carte topographique du bassin versant du lac de Roi 112

Figure 41 - Courbe hypsométrique et fréquences altimétriques du bassin versant du lac de Roi..... 112

Figure 42 - Esquisse géologique du bassin versant du lac de Roi 114

Figure 43 - Carte de la végétation du bassin versant du lac de Roi..... 114

Figure 44 - Lac de Roi. Carte bathymétrique..... 116

Figure 45 - Evolution de la température, de la conductivité et de la teneur en oxygène dans les eaux du lac de Roi (Janvier-Septembre 1975)..... 118

Figure 46 - Variations des valeurs du pH des eaux du lac de Roi (1975)..... 120

Figure 47 - Lac de Roi. Variations des teneurs en C.O.T en fonction de la profondeur (1975)..... 125

Pages

Figure 48 - Evolution de la teneur moyenne en C.O.T dans les eaux du lac de Roi..... 126

Figure 49 - Carte topographique du bassin versant du lac d'Arvouin..... 133

Figure 50 - Courbe hypsométrique et fréquences altimétriques du bassin versant du lac d'Arvouin..... 133

Figure 51 - Esquisse géologique du bassin versant du lac d'Arvouin..... 135

Figure 52 - Carte de la végétation du bassin versant du lac d'Arvouin..... 135

Figure 53 - Schéma théorique de la création du lac d'Arvouin... 137

Figure 54 - Lac d'Arvouin. Carte bathymétrique..... 139

Figure 55 - Distribution des valeurs de la température, de la conductivité et de l'oxygène dissous dans les eaux du lac d'Arvouin (été 1975)..... 140

Figure 56 - Lac d'Arvouin. Variations des teneurs en C.O.T en fonction de la profondeur..... 144

Figure 57 - Carte topographique du bassin versant du lac de Tavaneuse..... 151

Figure 58 - Courbe hypsométrique et fréquences altimétriques du bassin versant du lac de Tavaneuse..... 151

Figure 59 - Carte géologique du bassin versant du lac de Tavaneuse..... 153

Figure 60 - Couverture végétale du bassin versant du lac de Tavaneuse..... 153

Figure 61 - Lac de Tavaneuse. Carte bathymétrique..... 155

Figure 62 - Evolution de la température, de la conductivité et de la teneur en oxygène dissous dans les eaux du lac de Tavaneuse (1975)..... 157

Figure 63 - Lac de Tavaneuse. Variations des teneurs en C.O.T en fonction de la profondeur..... 160

Pages

Figure 64 - Carte topographique du bassin versant du lac de Darbon..... 166

Figure 65 - Courbe hypsométrique et fréquences altimétriques du bassin versant du lac de Darbon..... 166

Figure 66 - Esquisse géologique du bassin versant du lac de Darbon..... 167

Figure 67 - Lac de Darbon. Carte bathymétrique..... 168

Figure 68 - Evolution de la température, de la conductivité et de la teneur en oxygène dissous dans les eaux du lac de Darbon..... 171

Figure 69 - Lac de Darbon. Variations des teneurs en C.O.T en fonction de la profondeur..... 173

LISTE DES TABLEAUX

2 AVR. 1999

L I S T E D E S T A B L E A U X

Pages

Tableau 1 - Caractéristiques générales du bassin versant du Voua de la Motte..... 6

Tableau 2 - Caractéristiques générales du Voua de la Motte..... 9

Tableau 3 - Variation de la transparence au Voua de la Motte... 13

Tableau 4 - Voua de la Motte. Composition chimique des eaux du lac..... 17

Tableau 5 - Composition chimique des eaux de la nappe phréatique des terrasses de Thonon qui alimente le Voua de la Motte..... 18

Tableau 6 - Rapports ioniques caractéristiques des eaux du Voua et de la nappe des terrasses de Thonon..... 19

Tableau 7 - Utilisation des différentes formes de l'azote par les végétaux..... 22

Tableau 8 - Densité humide et teneur en eau dans les sédiments superficiels du Voua de la Motte..... 32

Tableau 9 - Composition chimique des sédiments superficiels (0-24 cm) du Voua de la Motte..... 33

Tableau 10 - Caractéristiques générales du bassin versant de Montriond..... 38

Tableau 11 - Débits moyens mensuels et débits spécifiques du Lindaret..... 43

Tableau 12 - Transport spécifique chimique du Lindaret et apports dissous annuels au lac de Montriond (Novembre 1974-Octobre 1975)..... 46

Tableau 13 - Composition chimique moyenne des eaux du Lindaret à l'entrée du lac de Montriond..... 47

Tableau 14 - Répartition mensuelle des apports en éléments nutritifs et en C.O.T au lac de Montriond pendant l'année 1974-1975..... 47

Tableau 15 - Concentration des éléments nutritifs dans les eaux des précipitations sur différents continents..... 50

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GÉOLOGIE
DOCUMENTATION
15, RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TÉL. (33) 76 63 59 66
FAX (33) 76 87 82 43

Pages

Tableau 16 - Vitesse d'apports de P, N, C.O.T par unité de surface du lac de Montriond..... 51

Tableau 17 - Caractéristiques générales du lac de Montriond... 52

Tableau 18 - Variations mensuelles des températures (en °C) du Lindaret à l'entrée du lac de Montriond..... 56

Tableau 19 - Variation de la transparence et de la couleur des eaux du lac de Montriond (1974-1975)..... 59

Tableau 20 - Lac de Montriond. Composition chimique des eaux du lac..... 62

Tableau 21 - Densité humide et teneur en eau dans les sédiments superficiels (0-10 cm) du lac de Montriond..... 68

Tableau 22 - Composition chimique des sédiments superficiels (0-9 cm) du lac de Montriond..... 69

Tableau 23 - Caractéristiques générales du bassin versant du lac de Vallon..... 74

Tableau 24 - Débits moyens mensuels et débits spécifiques du Brévon..... 81

Tableau 25 - Valeurs des coefficients a, b et r des corrélations concentrations/débits sur le Brévon à l'entrée du lac de Vallon..... 82

Tableau 26 - Transports spécifiques chimiques du bassin du Brévon en amont du lac et apports dissous annuels au lac de Vallon (Novembre 1974-Octobre 1975).... 84

Tableau 27 - Composition chimique moyenne du Brévon à l'entrée du lac..... 85

Tableau 28 - Vitesse d'apports externes en P, N et C.O.T par unité de surface du lac de Vallon..... 87

Tableau 29 - Caractéristiques générales du lac de Vallon..... 89

Tableau 30 - Variations mensuelles des températures du Brévon à l'entrée du lac de Vallon..... 92

Tableau 31 - Variations de la transparence et de la couleur des eaux du lac de Vallon (1974-1975)..... 96

Tableau 32 - Lac de Vallon. Composition chimique des eaux du lac 99

Pages

Tableau 33 - Lac de Vallon. Vitesse d'apport, vitesse d'évacuation et production interne nette de C.O.T par unité de surface..... 105

Tableau 34 - Densité humide et teneur en eau dans les sédiments superficiels (0-10 cm) du lac de Vallon..... 106

Tableau 35 - Composition chimique des sédiments superficiels (0-10 cm) du lac de Vallon..... 107

Tableau 36 - Caractéristiques générales du bassin versant du lac de Roi..... 111

Tableau 37 - Caractéristiques générales du lac de Roi..... 115

Tableau 38 - Transparence et couleurs des eaux du lac de Roi (1975)..... 119

Tableau 39 - Lac de Roi. Composition chimique des eaux du lac.... 122

Tableau 40 - Densité humide et teneur en eau dans les sédiments superficiels (0-13 cm) du lac de Roi..... 127

Tableau 41 - Composition chimique des sédiments superficiels (0-13 cm) au lac de Roi..... 128

Tableau 42 - Caractéristiques générales du bassin versant du lac d'Arvouin..... 132

Tableau 43 - Caractéristiques générales du lac d'Arvouin..... 138

Tableau 44 - Variation de la transparence au lac d'Arvouin..... 141

Tableau 45 - Lac d'Arvouin. Composition chimique des eaux du lac. 145

Tableau 46 - Composition chimique des sédiments superficiels (0-13 cm) du lac d'Arvouin..... 147

Tableau 47 - Caractéristiques générales du bassin versant du lac de Tavaneuse..... 150

Tableau 48 - Caractéristiques générales du lac de Tavaneuse..... 154

Tableau 49 - Variation de la transparence au lac de Tavaneuse.... 158

Tableau 50 - Lac de Tavaneuse. Composition chimique des eaux lacustres..... 161

Tableau 51 - Composition chimique des sédiments superficiels (0-9 cm) du lac de Tavaneuse..... 163

Pages

Tableau 52 - Caractéristiques générales du bassin versant du lac de Darbon..... 165

Tableau 53 - Caractéristiques générales du lac de Darbon..... 169

Tableau 54 - Lac de Darbon. Composition chimique des eaux du lac..... 172

Tableau 55 - Caractères généraux des lacs de montagne du Chablais (tableau récapitulatif)..... 176

Tableau 56 - Composition chimique moyenne des eaux et des sédiments des lacs du Chablais (1974-1975) (tableau récapitulatif)..... 179

Tableau 57 - Critères analytiques et état trophique des lacs du Chablais et du Léman..... 183

LISTE DES FIGURES
ET TABLEAUX EN ANNEXE

LISTE DES FIGURES
ET TABLEAUX EN ANNEXE

Pages

ANNEXE 1 - Courbe de tarage du Lindaret à l'entrée du lac de Montriond..... 188

ANNEXE 2 - Courbe de tarage du Brévon à l'entrée du lac de Vallon..... 189

ANNEXE 3 - Voua de la Motte (595 m). Analyses chimiques des eaux (10.10.74-27.02.75)..... 190

ANNEXE 4 - Voua de la Motte (595 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (21.03.75-23.05.75)..... 191

ANNEXE 5 - Voua de la Motte (595 m). Analyses chimiques des eaux (suite)(25.06.75)..... 192

ANNEXE 6 - Voua de la Motte (595 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (21.07.75-18.08.75)..... 193

ANNEXE 7 - Voua de la Motte (595 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (29.09.75-20.10.75)..... 194

ANNEXE 8 - Le Lindaret à l'entrée du lac de Montriond. Analyses chimiques des eaux (09.10.74-30.10.75)..... 195

ANNEXE 9 - Lac de Montriond. Emissaire. Analyses chimiques des eaux (09.10.74-30.10.75)..... 196

ANNEXE 10 - Lac de Montriond (1060 m). Analyses chimiques des eaux (09.10.74-09.01.75)..... 197

ANNEXE 11 - Lac de Montriond (1060 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (11.03.75-29.04.75)..... 198

ANNEXE 12 - Lac de Montriond (1060 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (14.05.75)..... 199

ANNEXE 13 - Lac de Montriond (1060 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (14.05.75)..... 200

ANNEXE 14 - Lac de Montriond (1060 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (14.05.75)..... 201

ANNEXE 15 - Lac de Montriond (1060 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (03.06.75-18.06.75)..... 202

Pages

ANNEXE 16 - Lac de Montriond (1060 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (18.06.75)..... 203

ANNEXE 17 - Lac de Montriond (1060 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (23.07.75-21.08.75)..... 204

ANNEXE 18 - Lac de Montriond (1060 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (18.09.75-30.10.75)..... 205

ANNEXE 19 - Le Brévon à l'entrée du lac de Vallon. Analyses chimiques des eaux (09.10.74-30.10.75)..... 206

ANNEXE 20 - Lac de Vallon. Emissaire. Analyses chimiques des eaux (09.10.74-30.10.75)..... 207

ANNEXE 21 - Lac de Vallon (1075 m). Analyses chimiques des eaux (23.10.74-29.04.74)..... 208

ANNEXE 22 - Lac de Vallon (1075 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (16.05.75)..... 209

ANNEXE 23 - Lac de Vallon (1075 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (16.05.75-03.06.75)..... 210

ANNEXE 24 - Lac de Vallon (1075 m). Analyses chimiques des eaux (suite) 09.07.75-26.08.75)..... 211

ANNEXE 25 - Lac de Vallon (1075 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (18.09.75-30.10.75)..... 212

ANNEXE 26 - Lac de Roi (1659 m). Analyses chimiques des eaux (22.01.75-05.06.75)..... 213

ANNEXE 27 - Lac de Roi (1659 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (05.06.75-22.07.75)..... 214

ANNEXE 28 - Lac de Roi (1659 m). Analyses chimiques des eaux (suite) (28.08.75-26.09.75)..... 215

ANNEXE 29 - Lac d'Arvouin (1669 m). Analyses chimiques des eaux (26.07.75-24.09.75)..... 216

ANNEXE 30 - Lac de Tavaneuse (1806 m). Analyses chimiques des eaux (08.06.75-23.09.75)..... 217

ANNEXE 31 - Lac de Darbon (1816 m). Analyses chimiques des eaux (11.06.75-25.09.75)..... 218