



HAL
open science

Etudes geologique et hydrogeologique de la region de Thonon-Douvaine (Haute-Savoie) - Alpes françaises

Robert Vial

► **To cite this version:**

Robert Vial. Etudes geologique et hydrogeologique de la region de Thonon-Douvaine (Haute-Savoie) - Alpes françaises. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1976. Français. NNT : . tel-00603713

HAL Id: tel-00603713

<https://theses.hal.science/tel-00603713>

Submitted on 27 Jun 2011

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.

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE SPECIALITE

troisième cycle de GEOLOGIE APPLIQUEE

option HYDROGEOLOGIE

Etudes géologique et hydrogéologique de la région de Thonon - Douvaine (Haute-Savoie)

par

Robert VIAL

Soutenue le 26.11.1976 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER Professeur à l'USMG

J. SARROT-REYNAULD Professeur à l'USMG

Ph. OLIVE Sous-directeur, Centre de Recherches
Géodynamiques de THONON (PARIS VI)

Président

Examineur

Examineur

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE SPECIALITE

troisième cycle de GEOLOGIE APPLIQUEE

option HYDROGEOLOGIE

**Etudes géologique et hydrogéologique de la
région de Thonon - Douvaine (Haute-Savoie)**

par

Robert VIAL

Soutenue le 26.11.1976 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER Professeur à l'USMG

J.SARROT-REYNAULD Professeur à l'USMG

*Ph. OLIVE Sous-directeur, Centre de Recherches
Géodynamiques de THONON (PARIS VI)*

Président

Examineur

Examineur

A V A N T - P R O P O S

Avant de soumettre mon travail à l'appréciation du jury, c'est pour moi, un agréable devoir d'adresser mes remerciements à tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de cette thèse.

- A Monsieur le Professeur R. BARBIER, qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

- A Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD, qui a bien voulu me confier et diriger cette étude. Sans ménager ses conseils et ses critiques, il n'a cessé de m'encourager pour que ce travail puisse aboutir.

- A Monsieur Ph. OLIVE, Sous-Directeur du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains, qui m'a accueilli dans son laboratoire et où j'ai trouvé les meilleures conditions de travail.

- A Messieurs B. BLAVOUX, Maître-Assistant, B. CHASSAING, M. DRAY, M. HAUBERT, D. JAMIER, J.J. JEREMIE, G. SERRA, E. SIWERTZ, avec qui j'ai travaillé et qui m'ont conseillé amicalement durant les quatre années que cette étude a duré.

- A Monsieur J. REBECQ, Président du Centre Universitaire de Savoie, qui a accepté que ce mémoire soit imprimé dans ses services.

- A toute l'équipe technique du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains : Mesdames M. BOUVET, S. CHESSEL, A.M. CHIARA, O. CONTAMINE, C. DUCHAMP, L. FERRARI, C. JAMIER, A. NOIR, J. TESSIER et Messieurs F. CHESSEL et G. OLIVIER qui, avec compétence et gentillesse ont assuré la pose et le contrôle de l'appareillage, les analyses chimiques et la réalisation matérielle de cet ouvrage.

- A Monsieur LAPERRIERE du Centre Universitaire de Savoie, qui a effectué le tirage.

- Enfin, à ma femme et à mes parents qui n'ont cessé de m'apporter leurs encouragements et leur soutien.

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION.....	1
<u>PREMIERE PARTIE</u> - Géologie du Bas-Chablais.....	5
I - Historique.....	5
II - Etudes des faciès du substratum.....	5
2.1. - La molasse oligocène autochtone du plateau suisse.....	5
2.2. - La molasse miocène subalpine ou parau- tochtone.....	7
2.3. - La nappe du flysch ultrahelvétique.....	7
2.4. - La nappe des Préalpes médianes.....	12
III - Tectonique.....	16
3.1. - La molasse du plateau suisse.....	16
3.2. - La molasse parautochtone.....	19
3.3. - La nappe ultrahelvétique.....	19
3.4. - La nappe des Préalpes médianes.....	19
IV - Les faciès des terrains quaternaires.....	19
4.1. - La première glaciation observable.....	20
4.2. - L'interglaciaire Riss-Würm.....	20
4.3. - La deuxième glaciation.....	21
4.4. - Autres dépôts liés aux glaciations.....	24
4.5. - Dépôts tardi-glaciaires.....	25
V - Sédimentologie.....	27
5.1. - Analyse granulométrique.....	27
5.2. - Comptage pétrographique.....	31
5.3. - Morphométrie des galets.....	32
5.4. - Etude des litages.....	32
VI - Morphologie.....	33
6.1. - La moraine de fond.....	33
6.2. - Les crêtes morainiques latérales.....	33
6.3. - Les terrasses de Thonon.....	34
6.4. - Les chenaux.....	34
6.5. - Autres éléments morphologiques.....	35
6.6. - Adaptation de la morphologie quaternaire à la structure tectonique.....	35

	Pages
VII - Mise en place des dépôts de retrait glaciaire...	37
7.1. - Formation des terrasses.....	37
7.2. - Formation des crêtes morainiques.....	38
7.3. - Formation des chenaux.....	38
7.4. - Schéma de mise en place des dépôts de retrait.....	38
VIII - Le glacier rhodanien lors du retrait würmien...	39
IX - Les temps post-glaciaires : Données paléoclima- tologiques et préhistoriques.....	42
X - Conclusion à l'étude géologique.....	47
<u>DEUXIEME PARTIE</u> - Hydrogéologie du Bas-Chablais.....	49
I - Les différents bassins versants.....	49
1.1. - Le bassin des Blaves.....	49
1.2. - Le bassin du Redon.....	52
1.3. - Le bassin du Foron.....	55
1.4. - Le bassin de La Léchère.....	57
II - Appareillage utilisé.....	60
2.1. - Bassin des Blaves.....	60
2.2. - Bassin du Redon.....	60
2.3. - Bassin du Foron.....	60
2.4. - Bassin des Léchères.....	60
2.5. - Autres stations météorologiques, dont les résultats ont servi à l'étude.....	60
III - Climatologie.....	61
3.1. - Les vents.....	61
3.2. - L'hygrométrie.....	62
3.3. - Les températures.....	62
3.3.1. - Les températures moyennes an- nuelles.....	62
3.3.2. - Gradient altimétrique de tempé- rature.....	64
3.3.3. - Les températures moyennes men- suelles.....	69
3.4. - Durée d'ensoleillement.....	69
3.5. - La pluviométrie.....	69
3.5.1. - Pluviométrie à l'échelle an- nuelle.....	70
3.5.2. - Etude statistique.....	71
3.5.3. - Pluviométrie aux autres stations	72
3.5.4. - Détermination du gradient alti- métrique.....	73

3.5.5. - Calcul de la lame d'eau tombée.....	73
3.5.6. - Pluviométrie à l'échelle mensuelle.	74
3.6. - L'évaporation et l'évapotranspiration.....	76
3.6.1. - Evapotranspiration réelle calculée selon la formule de Turc.....	76
3.6.2. - Déficit d'écoulement selon Coutagne	77
3.6.3. - Méthode de Wundt.....	78
3.6.4. - Evapotranspiration potentielle selon la méthode de Turc.....	78
3.6.5. - Evapotranspiration selon la formule de Thornthwaite.....	80
3.6.6. - Formule de Primault.....	80
3.6.7. - Mesure du pouvoir évaporant de l'atmosphère : Piche et Bac.....	81
3.6.8. - Comparaison des résultats sur l'évaporation et l'évapotranspira- tion.....	84
IV - Mesure de la lame d'eau écoulée.....	87
4.1. - Tarage des stations.....	88
4.2. - Débitmétrie.....	88
4.2.1. - Débits moyens mensuels.....	88
4.2.2. - Débits moyens annuels.....	92
4.2.3. - Débits caractéristiques.....	92
4.3. - Lame d'eau écoulée.....	94
4.4. - Remarques sur l'étude des débits.....	94
4.5. - La crue exceptionnelle du 28 et 29 Juin 1974	96
4.6. - Les eaux souterraines.....	97
V - Approche du bilan hydrologique.....	99
5.1. - Bilan annuel.....	99
5.2. - Bilan mensuel aux Blaves.....	103
VI - Conclusion sur les études climatologiques et hydro- logique.....	106
<u>TROISIEME PARTIE</u> - Etude des sources et hydrochimie.....	108
I - Généralités sur les paramètres physico-chimiques.....	108
1.1. - Le débit.....	108
1.2. - La température.....	108
1.3. - La résistivité électrique.....	108
1.4. - Le pH.....	108
1.5. - La composition chimique.....	109

	Pages
II - Les sources.....	109
2.1. - Les sources du substratum.....	109
2.1.1. - Les sources liées à la molasse..	109
2.1.2. - Les sources liées au flysch ultrahelvétique.....	111
2.1.3. - Les sources liées aux Préalpes médiannes.....	113
2.2. - Les sources du Quaternaire.....	115
2.2.1. - Les eaux de l'interglaciaire Riss-Würm.....	115
2.2.2. - Les eaux des graviers et conglo- mérats de base würmiens.....	117
2.2.3. - Les sources de la moraine würmienne.....	118
2.2.4. - Les eaux des terrasses fluvio- glaciaires.....	120
2.3. - Caractéristiques physiques de quelques types de sources.....	123
2.3.1. - Source du Flysch ultrahelvétique la source de Bois Besson.....	123
2.3.2. - Source des graviers et conglomé- rats de base : la source du Nant de Chamburaz.....	123
2.3.3. - Source de la moraine : la source des Crapons - La Plantée.....	124
2.3.4. - Source du fluvioglaciaire : la source du Moulin des Etrepêts...	124
2.4. - Les différentes nappes de la région thononaise.....	125
2.5. - Conclusion sur les caractères physico- chimiques des eaux de Thonon-Douvaine : 200 analyses.....	127
2.5.1. - Le pH.....	127
2.5.2. - La résistivité électrique.....	128
2.5.3. - La composition chimique.....	128
Bilan hydrochimique sur deux affluents du Lac Léman..	137
I - Choix des ruisseaux.....	137
II - Activité humaine sur les deux bassins versants..	138
III - Méthode de prélèvements.....	138
IV - Relations résistivité électrique-éléments dissous.....	139
V - Variation de la qualité chimique des rivières....	139

	Pages
VI - Bilan des apports.....	139
6.1. - Apports atmosphériques.....	142
6.2. - Les sources d'apports en azote et en phosphore.....	144
6.3. - Apports au Lac en éléments dissous.....	144
6.4. - Apports en nutriments au Lac Léman.....	146
6.5. - Répartition des apports en azote et en phosphore sur les deux bassins d'après leur origine.....	147
VII - Conclusion sur le bilan hydrochimique du Redon et de La Léchère.....	151
VIII - Conclusion à l'étude des sources et de l'hydrochimie.....	152
CONCLUSIONS GENERALES.....	154
BIBLIOGRAPHIE.....	160
LISTE DES FIGURES.....	165
LISTE DES TABLEAUX.....	168
ANNEXES.....	170

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

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

1) Origine et but de l'étude.

La géologie de la région lémanique est étudiée depuis plus d'un siècle. Aussi, pouvait-on penser qu'elle était bien connue. Cependant, elle reste encore énigmatique sur bien des points, du fait qu'elle se situe dans la zone de contact entre Alpes et Jura. De plus, l'étude y est rendue difficile, étant donné que la région est recouverte par un épais manteau quaternaire.

Les travaux les plus connus sont ceux de E. GAGNEBIN, A. JAYET et M. BURRI sur le Quaternaire, de H. BADOUX sur les Préalpes médianes et A. LOMBARD sur l'Ultraschweiz.

Dans les études récentes, on peut citer les travaux du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains (L. GLANGEAUD, C. SERRUYA, B. BLAVOUX, A. BRUN, Ph. OLIVE, E. SIWERTZ, D. JAMIER), du Géolem (J.P. VERNET, R. HORN) et de l'Université de Lausanne (BUCHLI, DONZE, PAQUIN, SIGRIST) sur la zone Douvaine - Evian (géophysique).

Aussi, en Juillet 1972, lorsqu'on m'a proposé d'effectuer le lever de la carte géologique de Douvaine au 1/50 000e, je ne pensais pas que la région offrirait autant de problèmes.

En plus de ce travail purement géologique, j'ai étudié, au point de vue hydrogéologique, différents bassins versants (Blaves, Redon, Foron, Léchères) et une approche du bilan a été tentée. L'étude hydrogéologique des diverses formations a été complétée par un inventaire des sources, ainsi que par l'étude de la chimie de deux rivières (Redon, Léchères), pour connaître les apports en nutriments au Lac Léman. En effet, le bilan chimique des apports au Léman a été jusqu'ici réalisé sur les affluents les plus importants (Rhône, Dranse). Aussi semblait-il intéressant d'estimer les apports provenant de petits affluents.

2) Cadre géographique (figures 1 et 2).

L'étude du Bas-Chablais a porté sur une zone d'environ 180 km², ayant comme limite à l'Est : la vallée de la Dranse, au Nord et à l'Ouest : la rive du Lac Léman et au Sud : la zone frontale des nappes préalpines, du Signal des Voirons au Mont d'Hermone.

La région est largement ouverte à l'extérieur (altitude moyenne : 600 m), seul le front préalpin forme une barrière, franchissable par deux cols (Saxel : 1 000 m et Cou : 987 m) permettant de rejoindre la vallée de la Menoge au Sud.

Le Bas-Chablais peut se subdiviser en quatre zones géographiques, qui sont en allant du Sud au Nord :

- Les *Préalpes* : reliefs les plus importants (1 486 m au Signal des Voirons), couverts d'une forêt d'épicéas.

- Un *plateau* s'étendant en pente douce de la région de Bons-en-Chablais - Draillant, jusqu'au lac (372 m).

- Deux collines percent ce plateau : le *Mont de Boisy* (734 m) et la *colline des Allinges* (760 m).

- Enfin, la "presqu'île" d'Yvoire, où l'on note de faibles vallonnements, restes de dépôts glaciaires.

Au point de vue humain, cette région est surtout rurale. L'agriculture prédomine, l'élevage surtout, ce qui fait que l'on a presque exclusivement des pâturages et des forêts. Quelques industries sont implantées, surtout à Thonon et dans ses alentours. Mais l'industrie la plus développée reste le tourisme qui double la population pendant les mois d'été (près de 50 000 habitants en hiver et 100 000 en été).

3) Cadre géologique (figures 3, 4 et 5).

La géologie du Bas-Chablais permet deux grandes divisions d'inégale importance : le Quaternaire et son substratum. Ceci s'impose, car la région Thonon - Douvaine est recouverte, pour les 3/4 de la superficie, par du Quaternaire ne laissant apparaître le substratum qu'en des points isolés dans la plaine, les dépôts anté-quaternaires n'étant bien visibles que dans les contreforts préalpins au Sud de la zone étudiée.

3.1. - *Le substratum.*

Du Nord au Sud, quatre grandes unités géologiques se rencontrent :

- *La molasse du plateau suisse* formant le soubassement de la région s'étendant du lac à une ligne Bons-en-Chablais - Thonon.

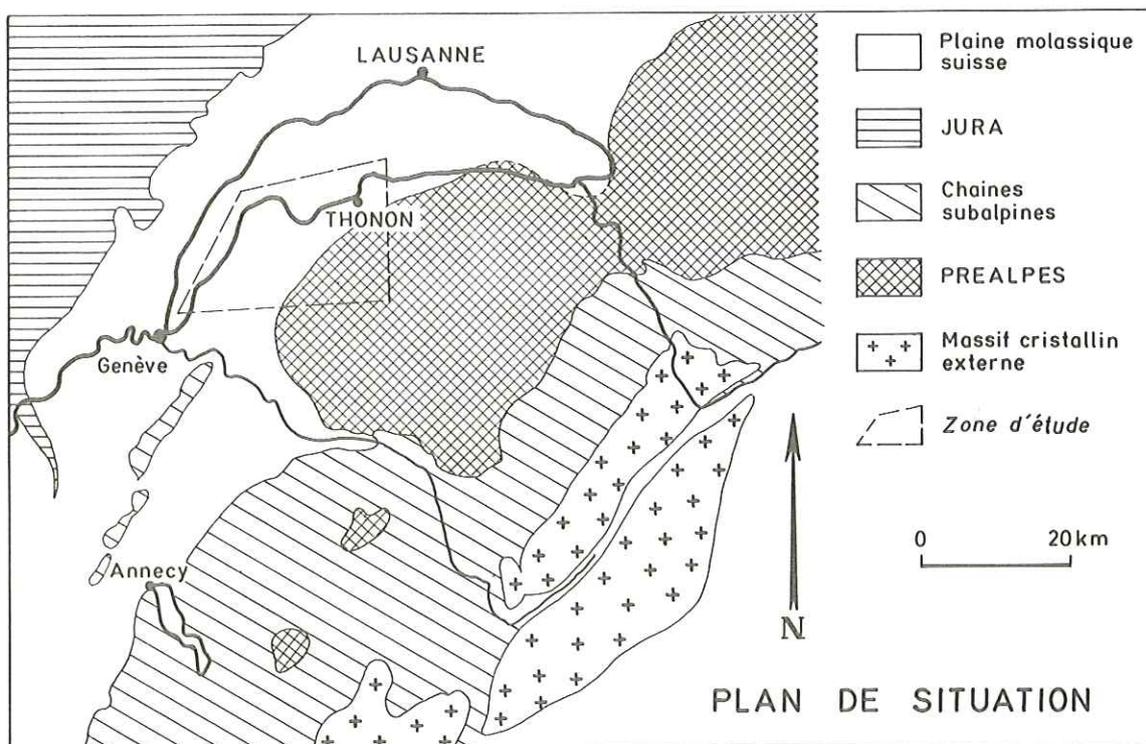
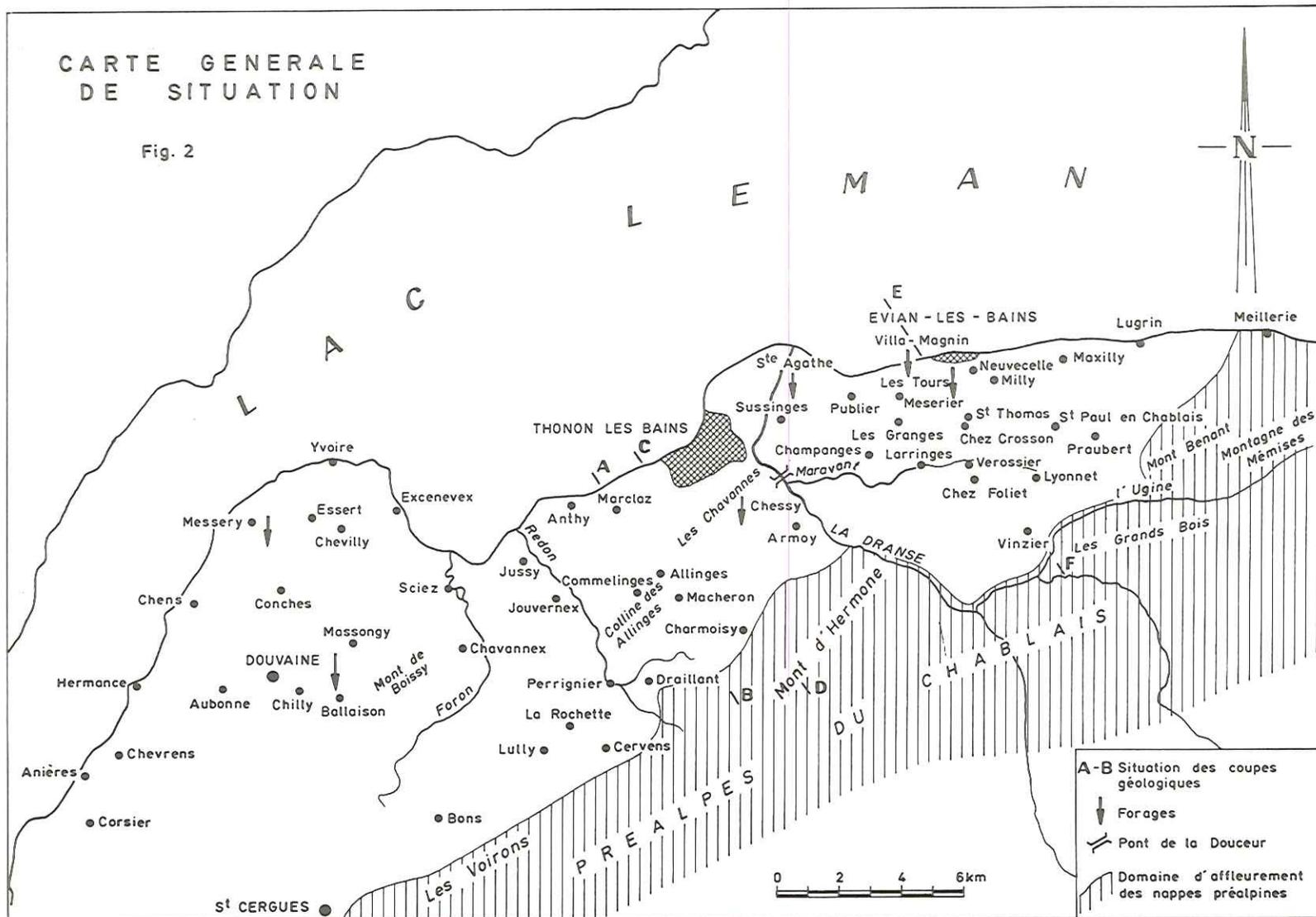
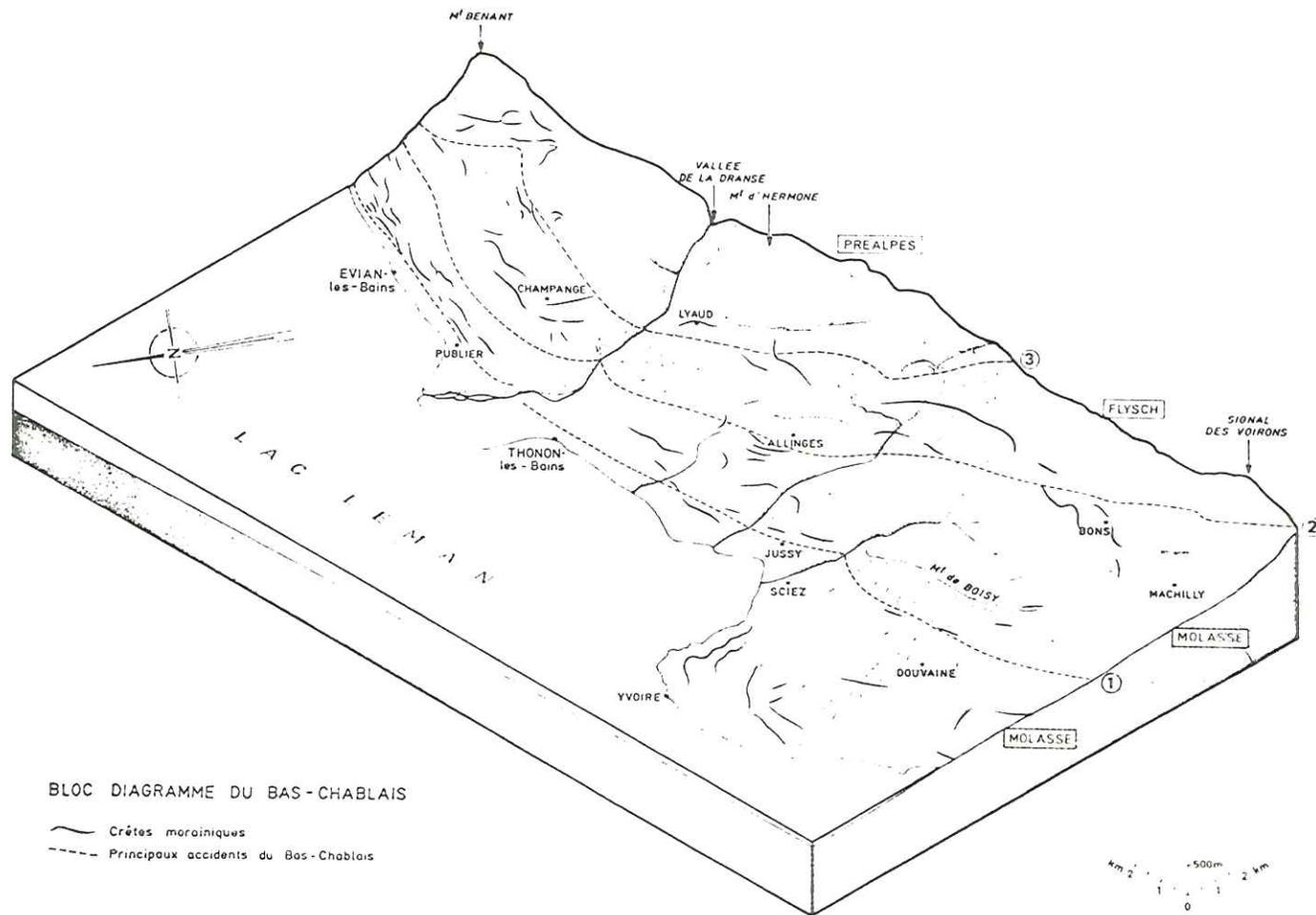


Fig. 1





- Fig. 3.

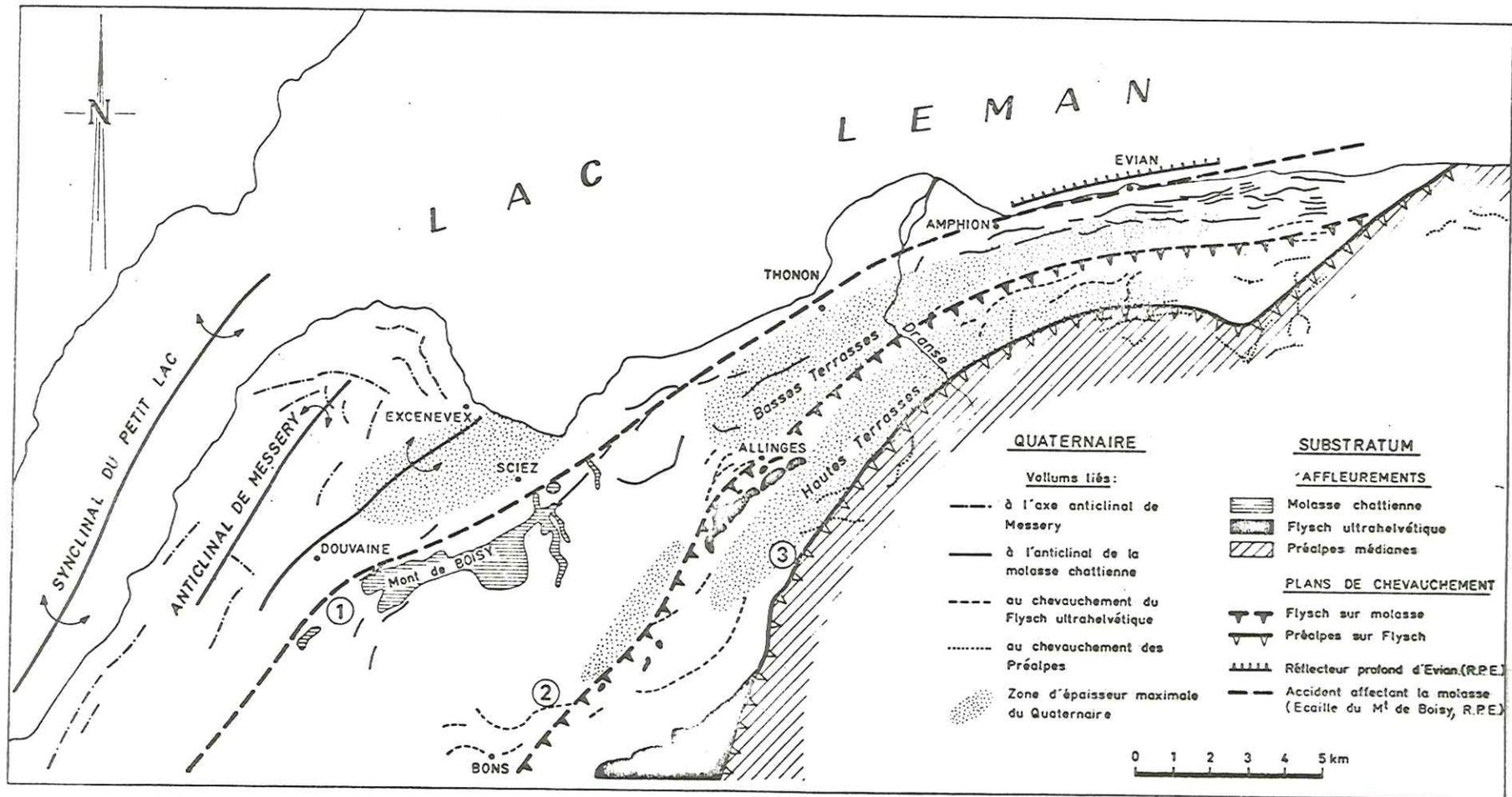


Fig. 4.

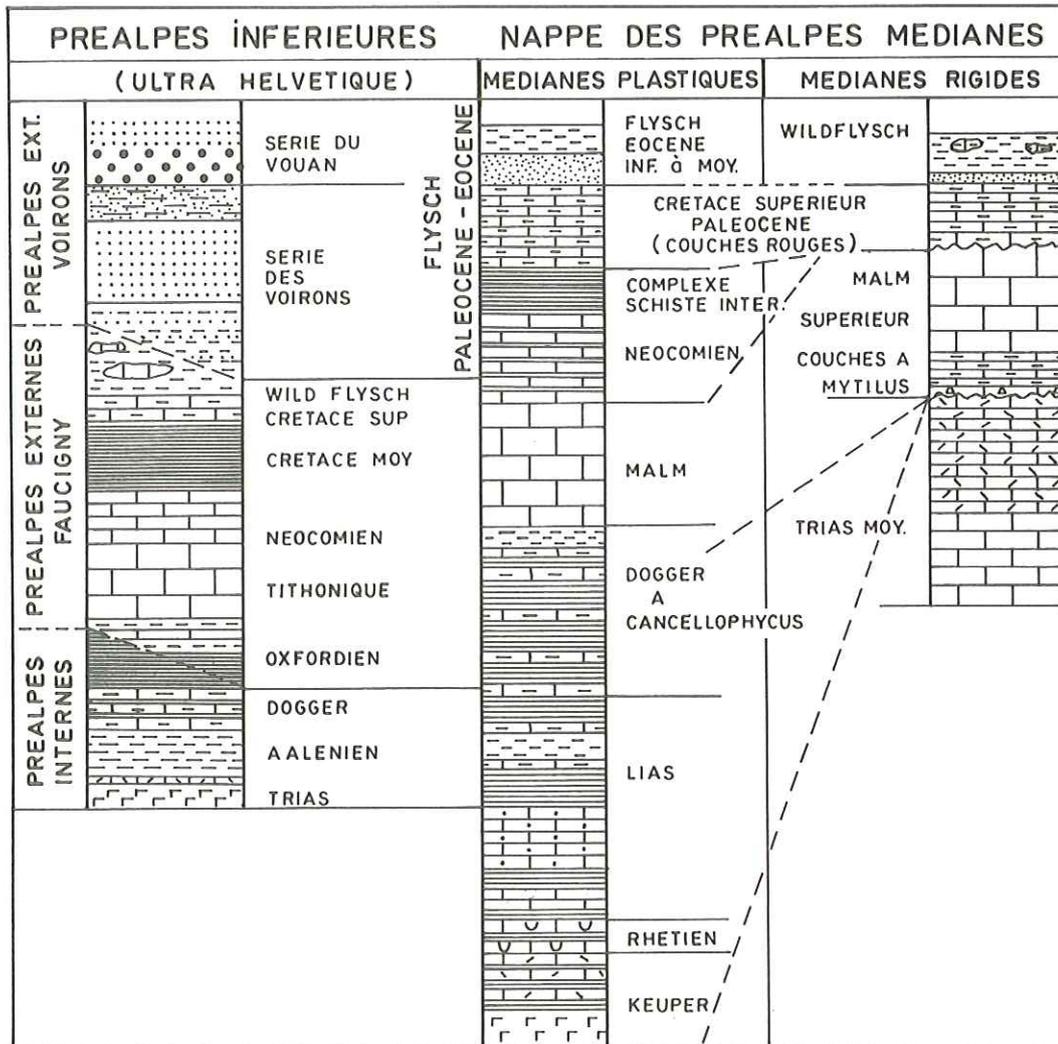


Fig. 5 : SERIES STRATIGRAPHIQUES DES PREALPES INFÉRIEURES ET MÉDIANES. (D'après C. Caron et J. Debelmas)

Cette molasse, essentiellement continentale, affleure au Mont de Boisy, grosse écaille chattienne et aquitanienne chevauchante sur du Chattien, liée à la mise en place des nappes.

Dans la "presqu'île" d'Yvoire, elle est entièrement recouverte par le Quaternaire, mais la géophysique a mis en évidence un anticlinal entre Messery-Yvoire, reconnu par la suite par un forage pétrolier à Messery (1958).

- *La molasse subalpine*. Visible à la Tour de Langins, cette molasse marine est charriée sur la précédente. C'est la molasse parautochtone à faciès flysch.

Cette molasse, absente sur presque toute la totalité de la région, se développe plus largement sur le flanc ouest des Voirons.

- Surmontant cette molasse parautochtone, par un contact anormal, vient la première unité des Préalpes Externes : la *nappe ultrahelvétique*.

C'est elle qui forme le massif des Voirons et la colline des Allinges au Sud-Ouest de Thonon.

C'est une puissante série monoclinale de flysch tertiaire, dont la stratigraphie sera étudiée plus loin.

Sur le flanc ouest des Voirons (hors de la zone d'étude), s'intercalent une écaille de terrains secondaires (du Jurassique au Crétacé supérieur) ainsi que des flyschs de base.

Cette série de flysch tertiaire s'enfonce, au niveau de Bons-en-Chablais sous le plateau quaternaire, ne laissant apparaître que cinq petits témoins dans la plaine permettant de suivre en surface le front de ce chevauchement d'une manière assez continue.

- Chevauchante sur la série des grès nummulitiques de l'Ultrahelvétique, vient ensuite la nappe des *Préalpes médianes*.

Cette série continue du Trias au Dogger dans la région étudiée, forme les principaux sommets et falaises grâce à une puissante série liasique calcaire, peu différenciable dans le détail.

Le style tectonique de cette nappe est souple avec des plis symétriques (Mont d'Hermone) ou déversés vers le Nord-Ouest.

Le chevauchement de cette unité sur le flysch ultrahelvétique des Voirons, est jalonné par un coussinet gypseux triasique (visible au Col de Cou), marquant par quelques entonnoirs de dissolution le front de cette nappe.

3.2. - Les dépôts quaternaires.

Les dépôts quaternaires glaciaires et périglaciaires recouvrant à peu près les 3/4 du Bas-Chablais, sont la plupart du temps des restes morainiques du glacier rhodanien datant du Würm. La morphologie est assez bien conservée et celle-ci a pu permettre de faire une corrélation dans le temps entre les divers dépôts.

Au point de vue stratigraphique, ne sont représentées en surface dans la région, que les deux dernières glaciations : celles du Riss (?) et du Würm.

Le Riss (?) n'offre que deux petits affleurements impossibles à retrouver actuellement du fait de l'urbanisation, sauf dans la Dranse.

La glaciation du Würm est représentée donc sur tout le territoire, mais n'est pratiquement visible en surface que le Würm terminal, marqué par deux dépôts caractéristiques : l'argile à blocs faciès typique de la moraine de fond, dans le bassin lémanique et des sables et graviers deltaïques, quelquefois consolidés, formant les terrasses de Thonon et les lambeaux de dépôts graveleux à l'Ouest de Perrignier.

P R E M I E R E P A R T I E

P R E M I E R E P A R T I E

GEOLOGIE DU BAS-CHABLAIS

I - HISTORIQUE.

La région du Bas-Chablais a été étudiée depuis fort longtemps, les premiers écrits datent de 1730 et a toujours suscité, chez les géologues, tant suisses que français, un très grand intérêt pour la compréhension de la géologie alpine.

Pour l'étude du substratum, on peut citer les noms de L. GLANGEAUD, A. LOMBARD, H. BADOUX, mais c'est le Quaternaire dans la magnifique coupe de la Dranse qui a suscité le plus de publications.

MORLOT y a montré la pluralité des glaciations dans les Alpes, M. LUGEON a reconstitué le régime hydrographique de la région lémanique (1897), A. FAVRE, E. RENEVIER, E. PAREJAS, E. JOUKOWSKY et surtout E. GAGNEBIN (1937) dans les "invasions glaciaires du bassin du Léman" fait une synthèse du Quaternaire de la région lémanique.

Depuis, A. LOMBARD et A. JAYET, qui ont levé les feuilles suisses au 1/25 000e de Genève et de Coppet, ont approfondi les connaissances sur le Genevois - Chablais.

Plus récemment, les études de BURRI et du C.R.G. de Thonon ont affiné la chronologie du glaciaire de la région thononaise.

II - ETUDE DES FACIES DU SUBSTRATUM (figure 6).

2.1. - *La molasse oligocène autochtone du bassin suisse.*

C'est une série essentiellement gréseuse et marneuse à faciès lacustre et saumâtre.

Quatre coupes vont être décrites :

La première (Ravin des Thénrières) nous donne de bas en haut :

- 2,50 m de marnes bleues à jaunes avec du gypse.
- Un petit banc décimétrique de calcaire gris.

- 5 m de marnes calcaires bleues, grises et jaunes à lignite et coquilles écrasées de mollusques.

- 0,30 m de calcaire gris.

Cette coupe représente la partie supérieure de la série des grès et marnes à gypse du Chattien supérieur (D. KISSLING, 1973).

Au-dessus vient une série de grès calcaires gris-vert et marnes en bancs métriques rapportés à l'Aquitaniens.

La deuxième coupe est celle du Foron (figure 7). Elle nous montre des bancs de grès micacés, épais de 2 à 4 m à litages entrecroisés, de couleur gris-vert. Les marnes sont abondantes et sont plus ou moins gréseuses. Leur couleur est variable, mais le rouge prédomine. De nombreuses pistes de vers s'observent sur les interfaces de bancs. Par la présence des nombreux bancs de grès, cette coupe doit être aquitanienne.

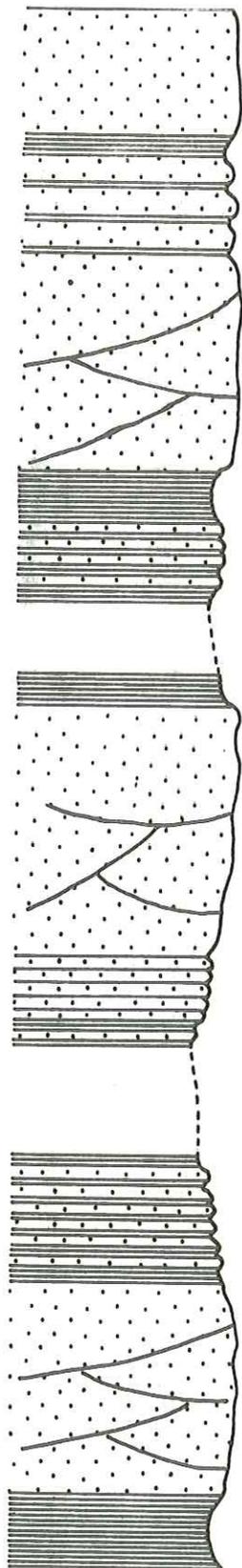
La coupe de la carrière du Chalet (figure 8) montre quant à elle, la série aquitanienne. On peut noter la prédominance des marnes micacées sur les grès en bancs métriques. Les marnes présentent toutes les teintes qui sont généralement vives (rouge, jaune, vert, ...).

La limite entre Chattien supérieur et Aquitanien est une limite lithologique et sédimentologique avec l'apparition des gros bancs de grès et la disparition du gypse et de l'anhydrite, donc des conditions de dépôts à l'Aquitaniens nettement différentes de celles du Chattien supérieur.

La molasse affleure essentiellement au Mont de Boisy. Elle n'affleure ailleurs que dans la rivière du Dronset et à Loisin - Ballavais (marnes bleues et jaunes et bancs de grès microconglomératiques de 0,50 m d'épaisseur). Ce dernier affleurement est donné par A. JAYET (1962) comme Burdigalien, mais cette attribution est douteuse.

Le log du forage pétrolier du Mont de Boisy (figure 9) permet de connaître les faciès des séries inférieures au Chattien supérieur, ainsi que ceux de l'Urgonien, dans lequel s'est arrêté le sondage.

On s'aperçoit que la molasse, qu'elle soit aquitanienne ou chat-tienne, est très marneuse, les grès étant proportionnellement beaucoup moins importants. On peut noter que cette série molassique est très épaisse ($\approx 1\ 750$ m), alors qu'au forage pétrolier de Messery, distant de 6 km,



Grès

Marnes rouges

Bancs de grès à joints marneux

Grès à litages entrecroisés

Marnes rouges

Petits bancs à joints marneux

Lacune : 10 m

Grès jaune - rouges , sédimentation entrecroisée

Grès fins

Lacune

Alternance grès marnes 20 à 25 m

Grès gris jaunes à ciment calcaire
et à sédimentation entrecroisée

Marnes jaune - rouges



Fig. 7 : COUPE DE LA MOLASSE , AVAL DU PONT DES
ESSERTS (FORON)

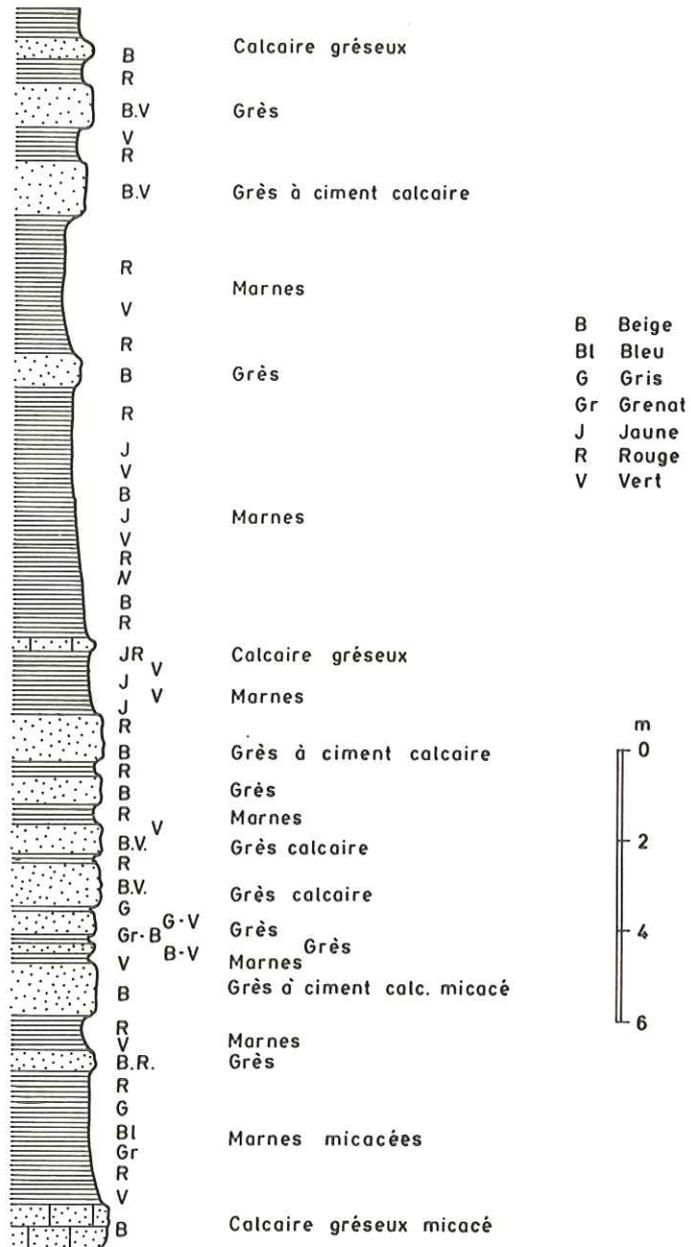


Fig. 8 : COUPE DE LA CARRIERE DU CHALET
Mont de Boisy

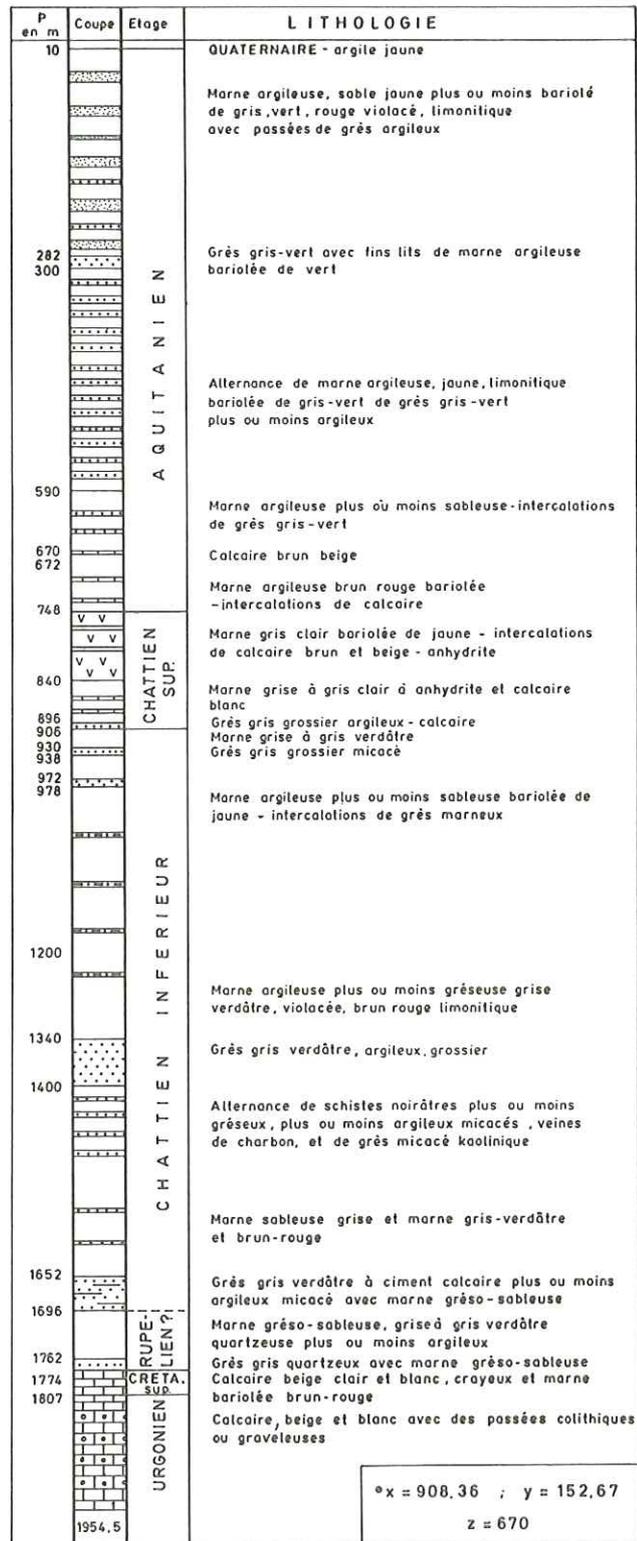


Fig. 9 : FORAGE DU MONT DE BOISY. (D'après P.R.E.P.A)

L'épaisseur est moitié moindre. Ceci provient peut être du fait que le chevauchement molasse sur molasse du Mont de Boisy, n'a pas été décelé dans le forage. Mais le redoublement de la série molassique n'est pas la seule explication, car tous les auteurs s'accordent à dire que l'ancien bassin de sédimentation molassique s'approfondit en allant du Jura vers les Préalpes.

En résumé, à l'affleurement, la molasse se subdivise en deux séries :

- Série des grès et marnes à gypse (Chattien supérieur).
- Série des grès en bancs métriques et marnes bariolées (Aquitaniens).

2.2. - *La molasse miocène subalpine ou parautochtone.*

Cette molasse apparaît au Sud-Ouest de la zone étudiée, dans les pentes du massif des Voirons, sous la tour de Langins.

C'est une série de grès micacés marins vert-sombres à ciment calcaire alternant avec des schistes argileux gris-noirs micacés. Certains bancs gréseux montrent des microconglomérats (taille supérieure des grains : 0,5 cm).

La composition minéralogique montre : quartz, feldspaths, micas, jaspes, roches cristallines.

Les bancs ne dépassent pas 2 m d'épaisseur. On retrouve souvent des ripple-marks et des pistes de vers sur les surfaces des bancs. De plus, des dépôts charbonneux sont fréquents.

Plus à l'Ouest, la série passe latéralement à des microconglomérats.

A. LOMBARD (1940) y a découvert : *Polymesoda*, *Psammobia* sp., *Cyrena* C. Eymari Loc., Ecailles de Poissons.

Ce serait l'équivalent des couches à Cyrènes. Au-dessus, viendrait une série de grès, poudingues et marnes (50 m), les grès ressemblant à ceux de la Tour de Langins en alternance avec des marnes à Meletta.

L'âge donné à cette formation serait Rupélien.

2.3. - *La nappe du flysch ultrahelvétique.*

La nappe ultrahelvétique est formée par des flyschs de base, des écailles mésozoïques et nummulitiques, surmontés par la puissante série des grès des Voirons et du conglomérat du Vouan.

Dans notre zone d'étude, n'affleure que la série des Voirons et la série du conglomérat du Vouan.

Les flyschs de base et les écaillés mésozoïques et nummulitiques affleurent sur le versant ouest des Voirons et aucun levé n'y a été effectué.

- La série des grès des Voirons.

Cette puissante série formant la crête des Voirons jusqu'au col de Cou est constituée de grès à ciment calcaire généralement fins, mais pouvant devenir conglomératiques.

La couleur en est généralement jaune en patine et gris à la cassure. Ces grès sont quelquefois décalcifiés en surface et donnent un sable brun-rouge, ce qui confère à la moraine les recouvrant une couleur jaune caractéristique.

Trois coupes ont été levées entre Bons et Saxel, dans d'anciennes carrières. Elles ne donnent donc qu'une vue partielle de la stratigraphie des grès nummulitiques. Ces coupes reprennent aussi les travaux de A. LOMBARD (1940) et R. JAN DU CHENE (1974).

- Coupe de la carrière inférieure de Saxel (figure 10).

Cette coupe représente, selon R. JAN DU CHENE, les niveaux les plus bas de la coupe, mais non la base de la série des Voirons.

Cette coupe montre des bancs de grès bleus à ciment calcaire et à patine jaune dont l'épaisseur varie de 1 m à 10 m.

Ces grès présentent parfois des niveaux microconglomératiques. Les interbancs sont formés par des marnes bleues.

Dans ces grès, la composition des grains est : quartz, feldspaths, glauconie, jaspe, galets de calcaire, pyroxène, hornblende.

Les interfaces des bancs montrent quelquefois des pistes de vers et des traces charbonneuses.

A. LOMBARD a découvert : Nummulites granifera Douv, Nummulites lucasi Douv.

- Coupe de la carrière de Bons-en-Chablais au lieu-dit Bois Besson.

On a ici une alternance de grès grossiers à moyens (grains de 2 mm à 1/2 mm de diamètre) à ciment calcaire et de marnes bleues-vertes. Les bancs de grès ont une épaisseur variable, de 0,50 m à 2 m pour les plus épais.

Les principaux éléments des grès sont le quartz, des jaspes, feldspaths, glauconie et des galets de calcaire.

Sur les plans de stratifications, on observe souvent des pistes de vers. Sur un bloc éboulé, de très beaux helminthoïdes s'observent.

Comme microfossiles, A. LOMBARD donne : *Nummulites subatacicus* Douv., *Nummulites guettardi* d'Arch., *Discocyclina scalaris* Schl., *Discocyclina douvillei* Schl., *Discocyclina roberti* Douv., *Asterodiscus stellatus* d'Arch., *Assilina leymeriei* d'Arch.

- La troisième coupe est celle de la carrière supérieure de Saxel (figure 11).

Là aussi, au point de vue lithologique, on a une alternance de grès jaunes à bleus dont les grains sont formés de quartz, feldspath, jaspe, calcaire et de marnes vertes et bleues formant les interbancs, quelques niveaux sont riches en fossiles.

A. LOMBARD a noté comme microfossiles : *Nummulites granifera* Douv., *Nummulites guettardi* d'Arch., *Nummulites lucasi* d'Arch., *Nummulites subatacicus* Douv., *Discocyclina archiaci* Schl., *Asterodiscus bayani* Mun. Chalmas.

Pour A. LOMBARD, ces carrières correspondraient à la partie moyenne et supérieure de la série.

Cette crête des Voirons s'ennoie sous la plaine de Bons - Allinges - Thonon et on ne retrouve sa continuité que grâce à trois petits affleurements :

- A Lully, où l'on a derrière une villa et dans une grange un conglomérat assez décalcifié, très peu argileux. Un prélèvement d'argiles n'a fourni que des fossiles remaniés ou des agglutinés.

- 2 km à l'Est, à la carrière de Vaudalon, on a des bancs de grès grossiers jaunes en patine, bleus à la cassure, assez durs. Ces grès sont très diaclasés.

- Encore 1 km à l'Est, au château de La Rochette, en bordure de la nationale 203, apparaissent encore des grès à patine jaune. Une petite carrière est ouverte derrière le château et montre des alternances de grès jaunes microconglomératiques et de marnes noires (bancs de grès de 0,10 m d'épaisseur, marnes 0,1 à 0,05 m). Le château est construit sur un gros banc de grès grossier à conglomératique.

La direction et le pendage de ces trois affleurements sont :
N 50° E - 50° S-E.

- Dans la vallée de la Dranse, la nappe du flysch ultrahelvétique réapparaît : en rive droite, 1 km après le Pont de la Douceur, quelques petits bancs (0,20 à 0,30 m d'épaisseur) apparaissent en alternance avec des marnes grises. Ces petits bancs sont des grès gris à nombreuses figures de surface de bancs. En rive gauche, on a surtout des grès jaunes à cassure grise (bancs de 0,75 m à 1 m d'épaisseur) avec entre les bancs, des marnes gris-vertes.

- Age de la série des grès des Voirons.

Pour les carrières de Saxel inférieur, Bons, Saxel supérieur, A. LOMBARD donne, en se basant sur les Nummulites et les Orbitoïdes, un âge Thanétien à Lutétien supérieur et même base du Priabonien.

R. JAN DU CHENE quant à lui, grâce aux nannofossiles et pollens pour la carrière inférieure de Saxel et la base de la carrière de Bons, donne un âge thanétien, sinon pré-thanétien (NP 5, NP 6, NP 7, NP 8 et base de NP 9 dans la zonation de Martini (1971) (Association à *Deflandrea speciosa*).

La base de la carrière de Bons donne la partie basale de la zone NP 9 à *Discoaster multiradiatus*. Le reste de la carrière est NP 9.

Dans la carrière supérieure de Saxel, on trouve l'association à *Wetzeliella articulata* avec *Chiasmolithus solitus* qui attribuent les niveaux à la zone NP 6 à *Discoaster tani-nodifer*.

Au sommet de cette carrière apparaît *Wetzeliella perforata* (NP 16).

On aurait donc pour ces trois carrières un âge compris entre le Thanétien inférieur, même pré-Thanétien et le Lutétien.

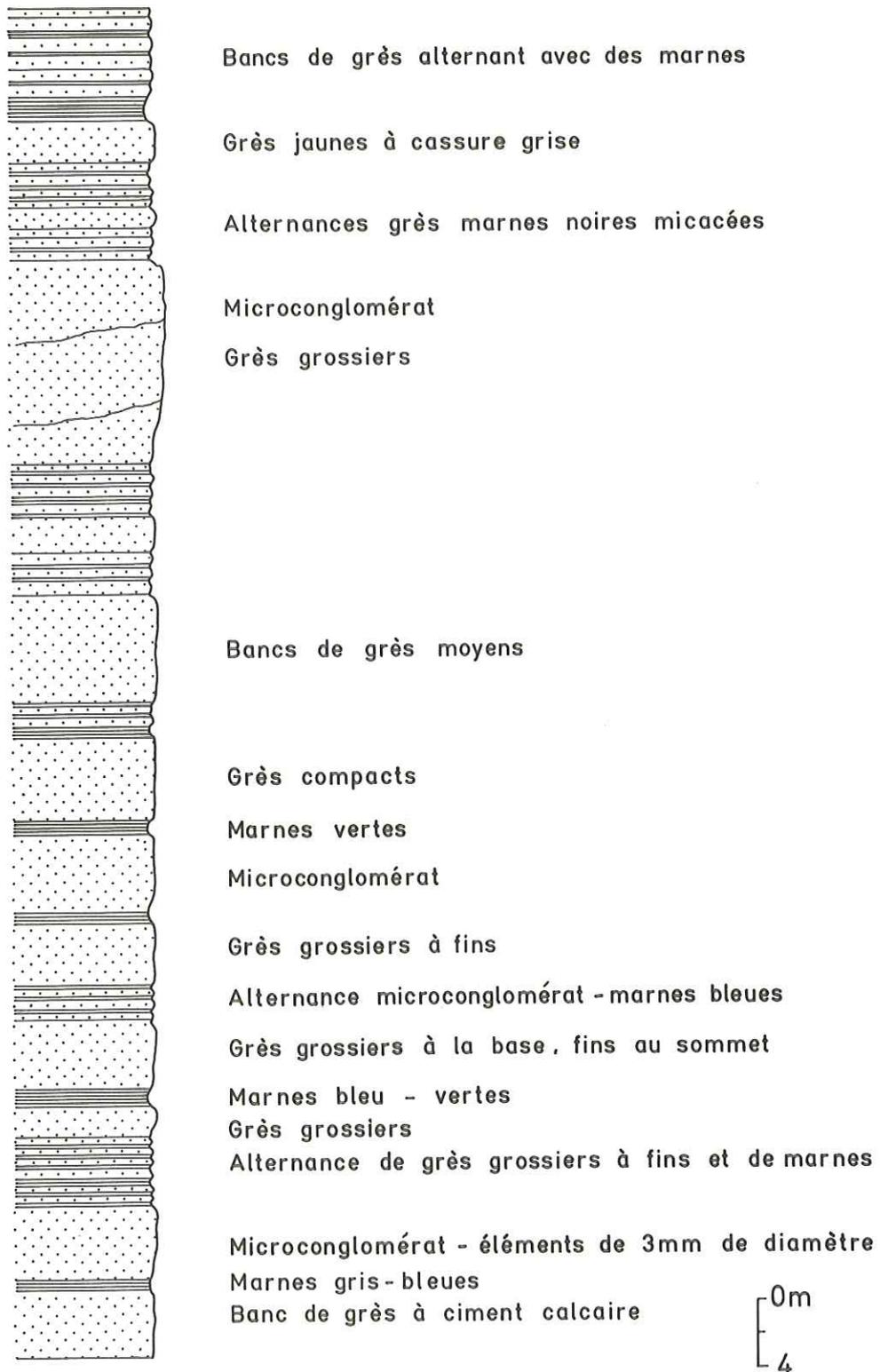


Fig. 11 : CARRIERE SUPERIEURE DE SAXEL

L'affleurement de la Dranse serait quant à lui priabonien supérieur et serait l'équivalent des flyschs de base.

Il est à noter, à titre indicatif, qu'un premier prélèvement fait dans la carrière supérieure de Saxel donnerait, par les micro-fossiles planctoniques, un âge Crétacé supérieur à Oligocène inférieur (communication personnelle de J.L. PAIRIS). Si tel est le cas, il faudrait peut-être admettre que ces flyschs ne sont pas exclusivement éocènes, mais auraient un âge maximum oligocène.

- La série du conglomérat du Vouan.

Cette série, située géologiquement au-dessus de la série des grès des Voirons, est formée de conglomérats et de grès.

En continuant la route de Bons à Saxel, à peu près à l'altitude 1 000 m, on passe des grès de la série des Voirons à un épais conglomérat et à une série de grès et marnes épaisse de 2 à 300 mètres. Les galets du conglomérat peuvent avoir un diamètre de 0,50 cm et même 1 à 2 m. Ceux-ci sont formés de granite, granulite, porphyre, gneiss, pegmatite, grès, calcaire.

- Entre les trois petites buttes de flysch et la Dranse, l'ultra-helvétique affleure à la colline des Allinges. Celle-ci est formée de grès, microconglomérats, et conglomérats. Une carrière, dans une colonie de vacances, montre un énorme banc conglomératique (15 à 20 m d'épaisseur) dont les éléments calcaires et cristallins ont quelquefois 1 m de diamètre. Une petite faille décale les couches pentées de 50° S-E et de direction N 50° E.

Le sommet de la colline des Allinges est formé par des conglomérats à galets calcaires et cristallins, des microconglomérats et des grès.

A. LOMBARD place la colline des Allinges dans la série du Vouan par l'abondance de ses conglomérats.

Pour ma part, des prélèvements effectués à la carrière d'Allinges et dans celle de la colonie de vacances, ne m'ont pas fourni de fossiles caractéristiques.

- La colline des Allinges s'ennoie sous le plateau des Blaves, mais on peut suivre le contact anormal par un ressaut topographique, recouvert de Quaternaire : le ressaut des Chavannes.

- Il est à noter un gisement d'ambre fossile dans le village d'Allinges. Cet ambre se trouve sur les interfaces de bancs de grès. De nombreuses traces charbonneuses s'observent également.

L'âge du conglomérat est, d'après A. LOMBARD, Lutétien supérieur à Priabonien. Il a trouvé au Vouan : *Nummulites striatus* Brug., *Nummulites granifera* d'Arch., *Nummulites subatacicus* Douv., *Nummulites incrassatus*., *Discocyclina scalaris*, *Discocyclina roberti*.

JAN DU CHENE a montré que ces conglomérats ne débutent pas en même temps dans tout le massif : zone NP 15 au ruisseau des Gras, mais à la carrière supérieure de Saxel (série des grès des Voirons) zone NP 16.

Au-dessus du conglomérat, la série se poursuit par des grès souvent massifs à intercalations marneuses et conglomératiques (épaisseur 150 à 200 m). Par la présence de conglomérats, ces grès ont été groupés dans la série du Vouan.

Au-dessus, vient une série ressemblant à celle des Voirons avec grès gris à patine jaune et marnes. Cette série forme les pentes au-dessus de Fessy et Cervens. Au lieu-dit La Cova, ainsi qu'à Foges, on a des grès fins jaunes en bancs décimétriques et des marnes gris-bleues.

Cette série est très recouverte par la végétation et le Quaternaire, ce qui fait qu'aucune coupe n'est représentative. Les affleurements ont généralement un à deux mètres d'épaisseur et sont très disséminés dans le massif. La limite cartographique est surtout une limite morphologique.

A La Cova, un prélèvement de marnes a fourni un mélange de faunes du Crétacé supérieur à l'Oligocène inférieur (J.L. PAIRIS), mais comme pour la carrière supérieure de Saxel, cette détermination est à confirmer.

La colline des Allinges est d'âge lutétien supérieur à priabonien pour A. LOMBARD. Pour R. JAN DU CHENE, la base du conglomérat des Allinges est thanétienne, donc faisant partie de la série des grès des Voirons. On a donc là l'exemple d'une série ne débutant pas partout en même temps et il n'y a pas coïncidence des limites stratigraphique et lithologique.

2.4. - La nappe des Préalpes médianes (figure 12).

Chevauchant la nappe du flysch ultrahelvétique, la nappe des Préalpes médianes forme les sommets et les falaises au Sud-Est de la zone étudiée.

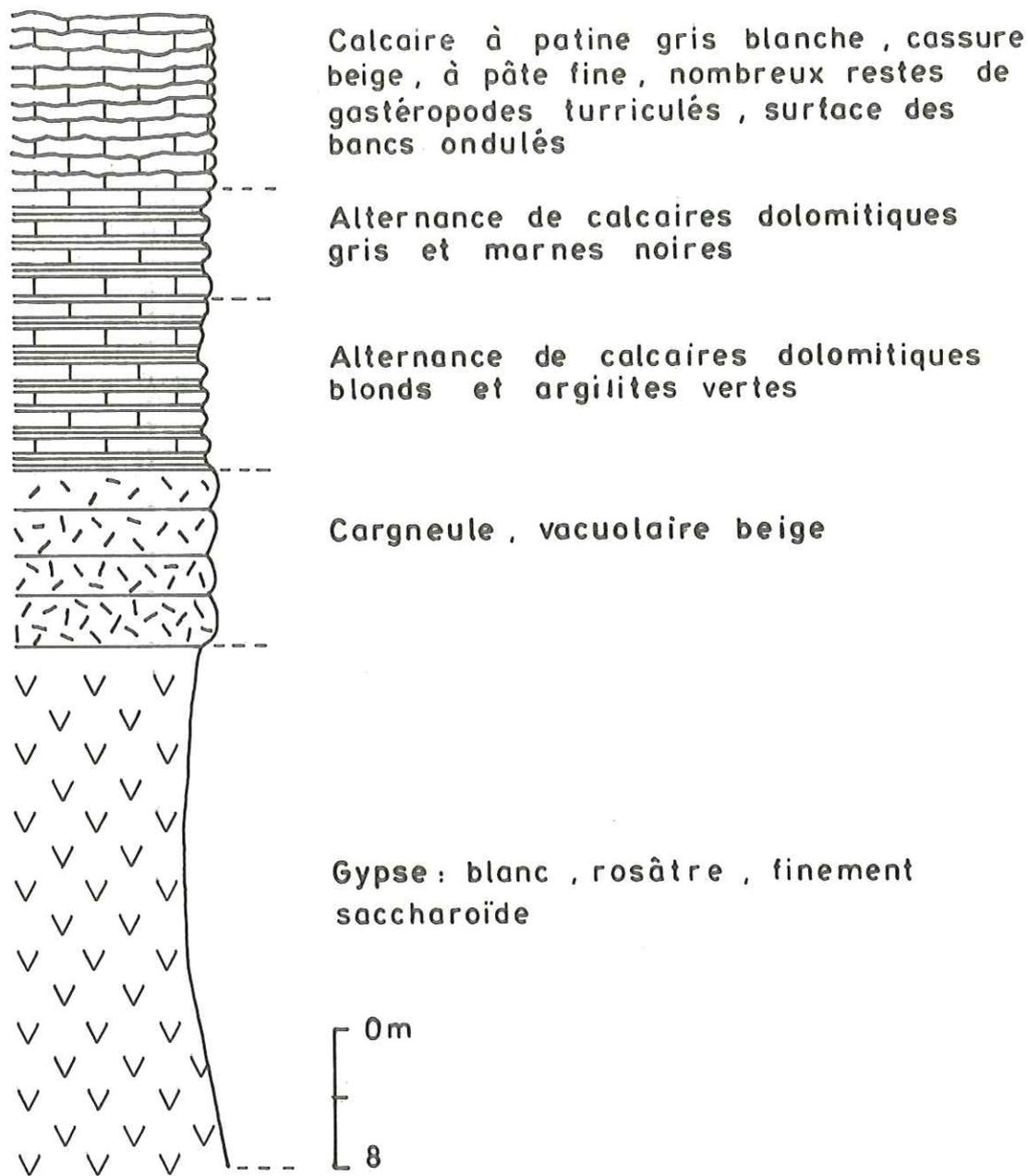


Fig. 12 : COUPE DE LA POINTE DE TARGAILLAN (1237m)

On subdivise généralement cette nappe en trois sous-unités se succédant du Nord au Sud : les Préalpes médianes plastiques, les Préalpes médianes rigides, le flysch à lentilles de couches rouges.

Il n'y aura dans ce travail qu'une description géologique des Préalpes Médianes plastiques qui seules, affleurent dans notre région.

Ces Préalpes médianes plastiques doivent leur nom au fait que le style tectonique est souple, montrant des plis symétriques ou déversés vers le Nord-Ouest.

Le matériel de cette nappe est essentiellement secondaire : du Trias au Crétacé supérieur, mais dans la partie frontale qui nous intéresse, seuls apparaissent les terrains d'âge triasique à Jurassique moyen.

- Le Trias.

a) Le premier terme de la série triasique est le *gypse*, affleurant dans le coeur de l'anticlinal du Mont d'Hermone et au Col de Cou. Ce gypse, intensément tectonisé, car ayant servi de coussinet pendant l'avancée des nappes, se présente sous diverses formes : saccharoïde, rubané, quelquefois en fer de lance. Sa couleur varie du blanc au rouge.

b) Au-dessus du gypse, viennent des *cargneules* en bancs plus ou moins épais (de l'ordre du mètre). Elles présentent souvent une couleur jaune claire et sont souvent vacuolaires. Epaisseur maximale : 30 m dans la Dranse, une dizaine de mètres au Col de Cou.

c) La série se termine par des *dolomies blondes* à pâte claire et patine grise. L'épaisseur des bancs est de 0,50 m. Il s'y intercale souvent des argilites vertes. Dans la Dranse, l'épaisseur doit-être d'une cinquantaine de mètres. Au Col de Cou, on a une quinzaine de mètres de dolomie blonde, en bancs décimétriques, alternant avec des argilites vertes en bancs de 0,20 mètres.

L'âge de cette série triasique serait Keuper supérieur (BADOUX H., 1962).

- Le Rhétien.

D'après H. BADOUX (1962), les faciès typiques du Rhétien seraient une alternance de marnes plus ou moins dolomitiques, de marnes noires, de dolomies et de lumachelles à *Avicula contorta*.

Dans les pentes ouest de la Pointe de Targaillan (1 236 m), sur le Trias, on trouve des marnes noires avec quelques bancs de calcaires dolomitiques gris à patine blanche. Je rapporte cet affleurement au Rhétien, mais sans avoir découvert d'*Avicula contorta*.

Pareillement, au lieu-dit Ramble, à l'altitude 1 060 m, un mauvais affleurement montre contre des argilites vertes une alternance de marnes noires et de calcaires noirs à patine jaune.

Dans les pentes du Devant, au Sud-Est de Draillant, en remontant le chemin allant au lieu-dit chez Roch, on trouve des marnes gris ardoise avec quelques petits bancs un peu plus calcaires.

Ces deux affleurements, situés à la base de la falaise liasique, peuvent être rapportés au Rhétien.

- Le Lias.

Formant le sommet et le flanc Est de la pointe de Targaillan, on trouve en montant du Col de Cou vers la pointe, par le côté Nord, une dizaine de mètres de calcaires à patine grise, cassure beige, pâte très fine avec fréquemment des gastéropodes turriculés, non détachables, quelques bélemnites et des débris de coquilles pouvant se rapporter à des huitres (Hettangien).

Les bancs ont une trentaine de centimètres d'épaisseur, leur surface est ondulée. Entre les bancs de calcaire on observe des joints marneux centimétriques.

Au sommet de la Pointe de Targaillan, un banc de calcaire beige foncé, oolithique apparaît dans les bois, et pourrait représenter le sommet de la série. H. BADOUX rapporte en effet ce faciès nétritique à l'Hettangien supérieur, transgressif sur les séries inférieures.

- Après l'Hettangien vient une série épaisse assez uniforme, formant les falaises de la région : Mont-Forchat, le Devant, Crêt Vernay. Au Devant, la falaise a à peu près 150 mètres de hauteur et toute cette série est attribuable au Lias inférieur et moyen siliceux. C'est un ensemble de calcaire en bancs de 0,10 à 0,50 mètres d'épaisseur alternant avec des petits bancs de schistes à patine gris-beige. Ces calcaires sont noirs à patine grise à jaune très siliceux.

Au Mont-Forchat, le Lias moyen est une alternance de calcaire gris siliceux, souvent à silex et de schistes à surfaces ondulées (100 mètres d'épaisseur).

La base de cette série montre généralement des calcaires spathiques blancs ou roses, épais de 10 à 10 mètres. On peut rattacher à cette série, sur le flanc Sud-Ouest du Mont-Forchat, des calcaires blancs rosâtres, gris-foncé au lieu-dit Ramble.

On peut donc, dans cette série liasique, distinguer un Lias inférieur spathique et un Lias moyen siliceux. Mais il faut reconnaître que les changements entre ces deux faciès sont très fréquents. De plus, les affleurements ne sont représentés généralement que par des falaises d'accès difficiles. Le manque de fossiles, principalement d'ammonites, laisse en suspens une datation précise de ces terrains.

Dans la montée, chez Roch, par la route du Renard Bleu, on recoupe une barre de calcaire marneux à débit schisteux, à patine marron et à cassure noire. Quelques morceaux d'ammonites ont été récoltés ainsi que des bélemnites. Le même faciès se retrouve dans le ruisseau des Moïses, à l'altitude 800 mètres. Ces deux affleurements correspondraient au Lias Moyen ?

- Le Dogger.

C'est une épaisse série généralement conservée dans les synclinaux et recouverte très souvent par la moraine. Elle forme le sommet du Devant où l'on a des calcaires noirs à patine claire, alternant avec des bancs en plaquettes fines.

Au Sud de Maigny, à l'altitude 850 mètres, on a une série assez épaisse de marnes jaunes. Aucun *Cancellophycus* n'a été rencontré.

En résumé, la série lithologique de la zone frontale de la nappe des Préalpes médianes est la suivante :

	Trias :	- gypse
		- cargneule
80 mètres		- calcaire dolomitique et argilites vertes
	Rhétien :	- calcaires marneux et marnes
10 mètres	Hettangien :	- calcaire beige à pâte fine
	Lias inférieur :	- calcaires spathiques
150 mètres	Lias moyen :	- calcaires siliceux
100 à 200 mètres	Dogger :	- calcaires marneux et marnes jaunes

Plus au Sud, la série se complète par le Malm formé de calcaires massifs, épais, remplaçant le Lias dans la topographie et une série crétacée et éocène, généralement pincée dans les synclinaux, formée de bancs de calcaires à silex et de schistes rouges (couches rouges).

III - TECTONIQUE (figures 13, 14 et 15).

La zone étudiée, au point de vue tectonique, est très complexe et son étude est rendue difficile par un recouvrement important de Quaternaire.

Quatre unités sont à différencier :

- Molasse autochtone du plateau suisse.
- Molasse parautochtone.
- Nappe ultrahelvétique.
- Nappe des Préalpes médianes.

3.1. - *La molasse du plateau suisse.*

Deux zones peuvent se distinguer :

- La zone Petit Lac - Messery - Plaine de Douvaine.
- La zone Mont de Boisy - Thonon - Evian.

3.1.1. - La première, se rattachant aux plis du Jura, montre des axes synclinaux et anticlinaux parallèles à celui-ci.

- L'axe synclinal du Petit Lac (VERNET, HORN, 1971) :

Le Petit Lac, essentiellement d'origine tectonique, est un synclinal de direction axiale N 30°. Il est affecté par des failles parallèles et transverses à ce même axe, de direction N 30° et N 140°. Les failles transverses (N 140) sont de mouvement dextre (type Saint-Cergues). VERNET en a reconnu 7 principales. Les failles parallèles à l'axe du Petit Lac sont de type normal donnant au Petit Lac un style en grabens. Elles contribuent à accentuer la dissymétrie du synclinal, lequel plonge assez peu (5 à 15°) sur la rive suisse, mais assez fortement sur la rive française (30 à 45°).

- L'anticlinal de Messery - Collonges.

Cet anticlinal a été reconnu dans la région de Messery par une campagne de géophysique (P.R.E.P.A., 1958) et il fait suite à celui de

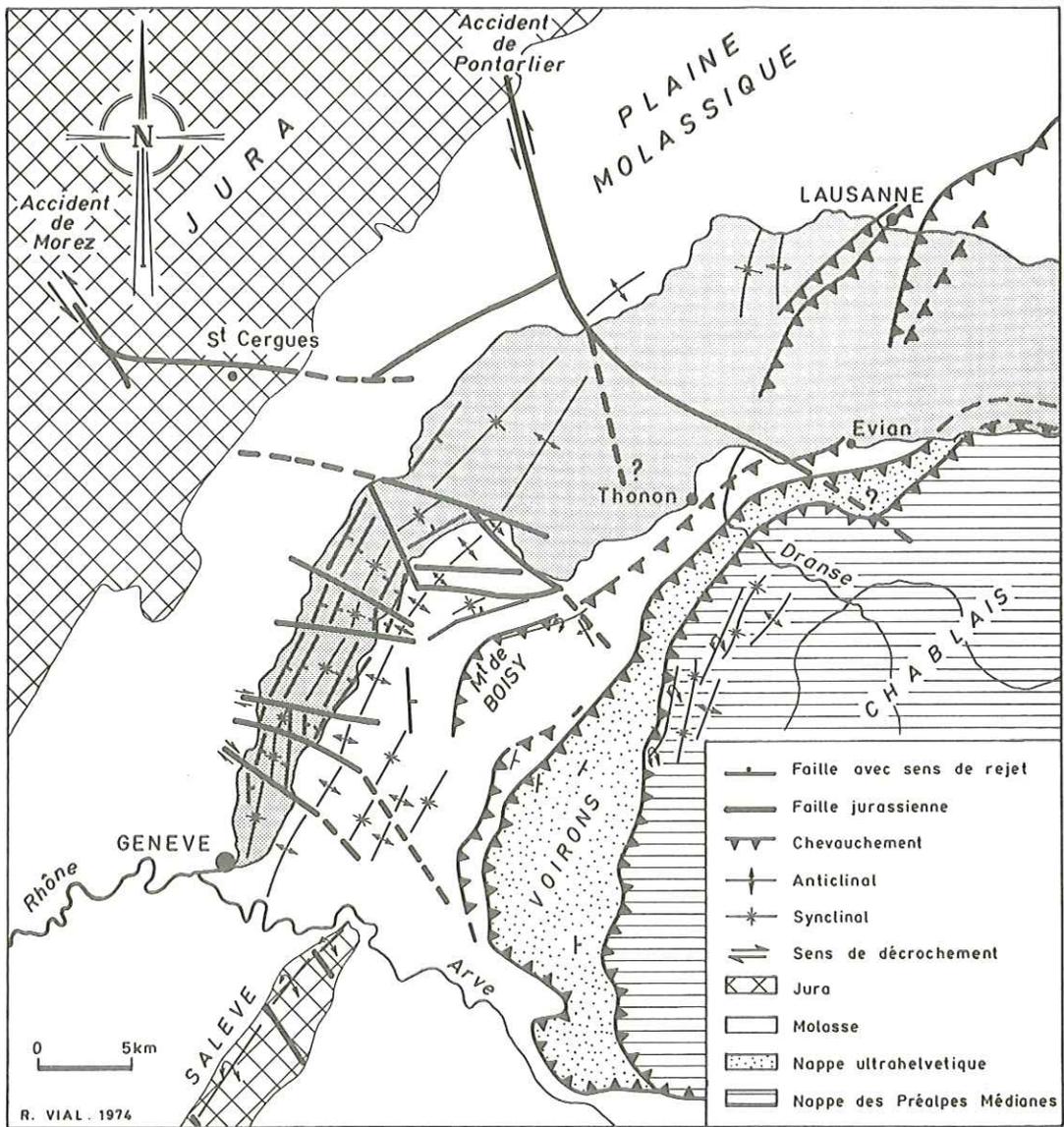


Fig. 13 : SCHEMA TECTONIQUE DE LA REGION LEMANIQUE

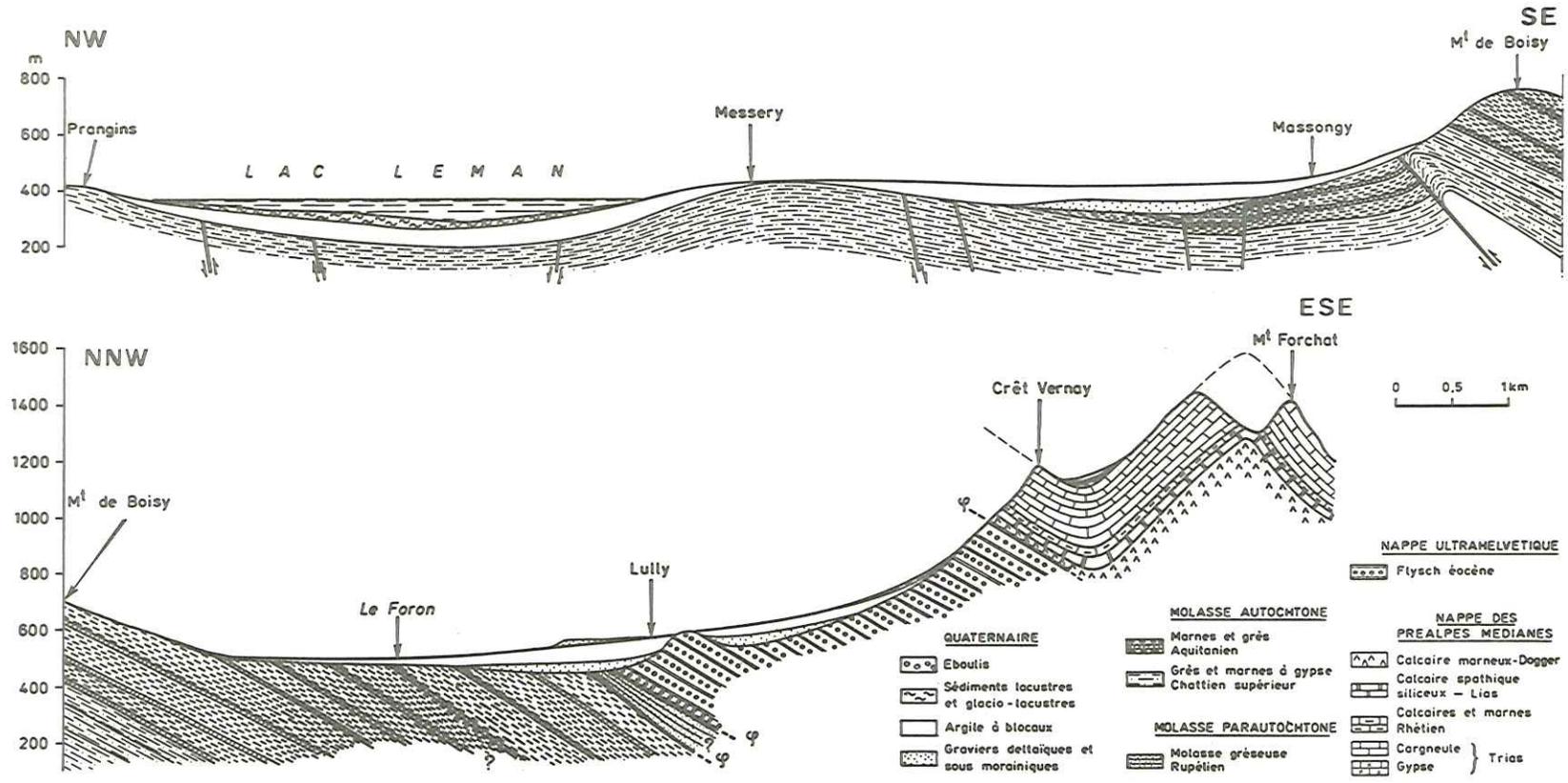


Fig. 14 : COUPE GÉOLOGIQUE

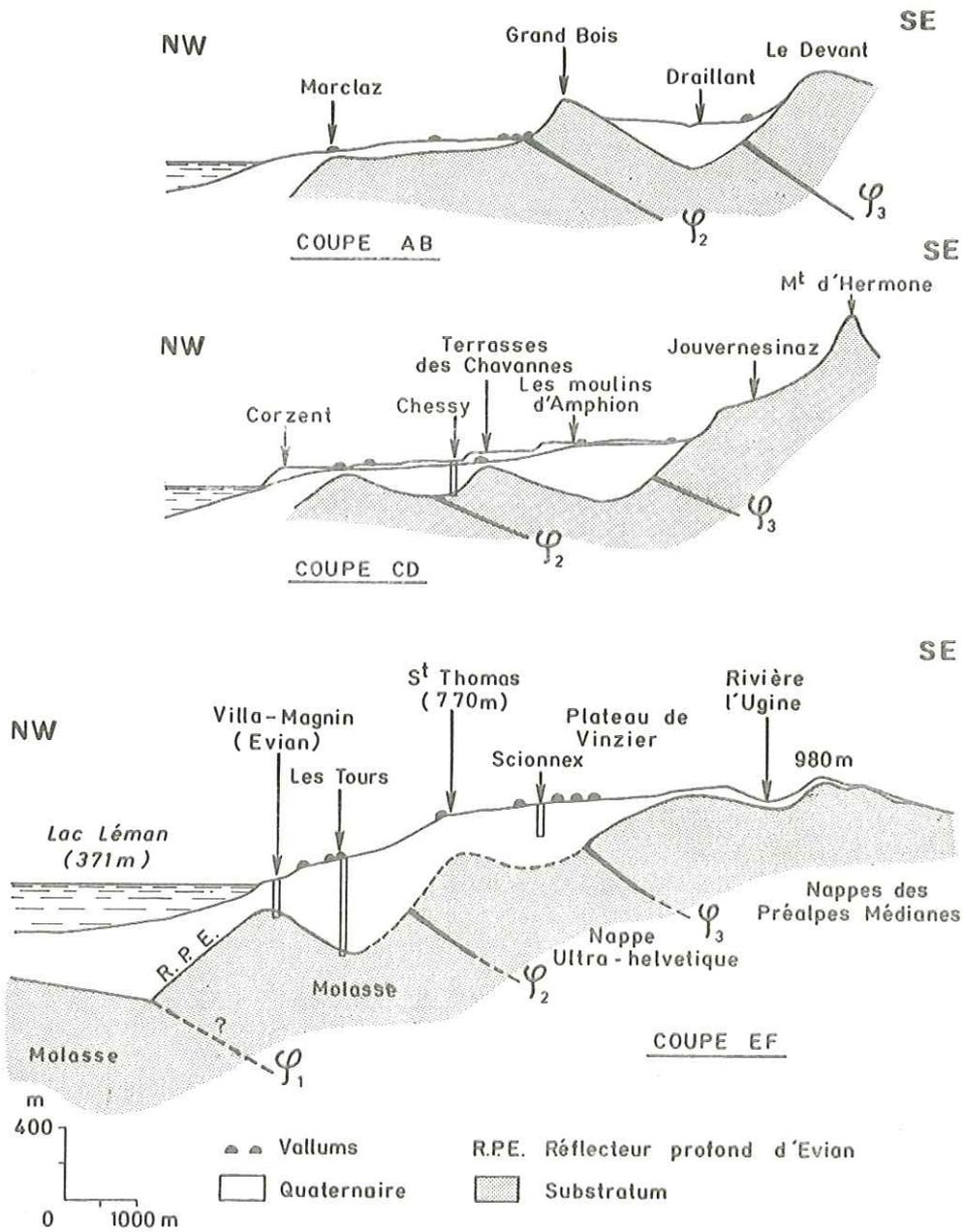


Fig. 15

Collonges en Suisse. Sa direction est la même que celle du Petit Lac et comme lui est très faillé par des accidents conjugués de type jurassien. Cette structure se suit jusqu'à Yvoire, ainsi que dans le Grand Lac où, brusquement, il est décalé vers le Nord-Est par la prolongation dans le lac de l'accident jurassien de Pontarlier (VERNET et al., 1974) de rejeu senestre (N 170°). Il réapparaît en rive suisse, à Morges. Le décalage senestre est ici de l'ordre de 6 km.

Il est à signaler qu'un forage pétrolier (Messery, 1959), a traversé la molasse et a atteint le crétacé à 1 800 mètres de profondeur.

- L'axe synclinal de Douvaine.

Ce synclinal caché par les alluvions quaternaires est parallèle au Petit Lac et à l'anticlinal de Messery, entre Choulex et Douvaine, ensuite son axe doit tourner en direction de la baie de Sciez.

3.1.2. - *La zone Mont de Boisy - Thonon - Evian.*

Le Mont de Boisy est une écaille molassique, chevauchante sur la molasse de la plaine de Douvaine (BUCHLI, DONZE, PAQUIN, à paraître). On peut en observer dans la rivière le Foron, la retombée anticlinale (pendage 70° N-W). La direction axiale est de N 70°. RIGASSI (1957) en fait la prolongation vers le Nord-Est de l'anticlinal du Salève.

De plus, il se pourrait que la série molassique soit redoublée plusieurs fois (communication personnelle de Monsieur D. RIGASSI). Dans la rivière le Dronset, à l'Est du Mont de Boisy, on observe un pli métrique de direction N 50°, avec plan axial horizontal. Ce fait peut marquer la tendance au chevauchement de cette zone et la possibilité d'écaillage au sein même de la molasse.

En suivant le cours du Foron vers le Sud, un petit anticlinal molassique de direction N 0° - N 10° s'observe. Il se pourrait que celui-ci ait été formé, après serrage, par une faille de type jurassien passant plus à l'Est. Cette cassure a été "sentie" mais non interprétée en temps que faille par la géophysique.

En se dirigeant au Nord-Est, la molasse disparaît sous le Quaternaire, elle ne réapparaît pas dans la Dranse et elle n'est atteinte que par les forages de la Société Anonyme des Eaux d'Evian. BUCHLI, DONZE, PAQUIN ont suivi, par géophysique électrique et gravimétrique, cette zone haute molassique. Elle n'est jamais bien profonde et passe à la verticale de la ligne

Ronsuaz - Thonon. Le forage Sainte-Agathe (S.A.E.M.E.) dans le delta de la Dranse, l'a rencontré à 75 mètres de profondeur (tableau 1).

A Evian, une étude géophysique par la méthode sismique sur le lac (MEYBECK et al., 1969), montrait à moins de 100 mètres du rivage, un réflecteur profond, pouvant correspondre à une zone haute du substratum. SIGRIST (1974), par géophysique électrique, confirme et pense, d'après les résistivités, que l'on a affaire à la nappe des Préalpes médianes. L'étude des carottes des sondages S.A.E.M.E. (Villa Magnin, Les Tours, La Gare, Les Grottes, Buvette) a démontré que le substratum, sous Evian, formait bien un bombement avec approfondissement au Sud d'Evian et que le faciès géologique correspondait à la molasse du bassin suisse (R. VIAL, D. JAMIER, Ph. OLIVE, 1975). Ceci confirmait l'hypothèse du réflecteur profond contrairement à ce que VERNET affirmait (VERNET et al., 1974) et infirmait l'appartenance de celui-ci à la nappe des Préalpes médianes.

DATE DE REALISATION	NOM DE L'OUVRAGE	COTE N.G.F. (en m)	COTE DU SUBSTRATUM (en m)	NATURE DU SUBSTRATUM
1971	Villa Magnin	408	250	Molasse
Campagne 1972-1973	La Gare	410	158	Molasse
	Les Grottes	409	151	Molasse
	Amphion Ste-Agathe	390	312	Molasse
	Les Tours	530	118	Molasse
1974	Buvette-Evian	385	234	Molasse

TABLEAU 1 - Forages de reconnaissance réalisés près d'Evian.

Il est à noter qu'entre le forage Sainte-Agathe (delta de la Dranse) et ceux d'Evian, on a un décalage vertical d'une centaine de mètres. Faut-il voir ici le passage de l'accident de Pontarlier (VERNET et al., 1974) ou d'une conjuguée dextre ? La question reste posée. Cet accident a été rencontré par géophysique sur le plateau évianais (campagnes E.D.A.C.E.R.E. ; C.F.G. ; B.R.G.M.). Se rencontre-t-il dans la nappe des Préalpes ?

L'accident supposé (H. BADOUX, 1962 ; C. CARON, 1963) de Vacheresse pourrait lui correspondre, de plus, la disparition de l'anticlinal du Mont d'Hermone, en rive droite de la Dranse, pourrait lui en être imputé.

3.2. - *La molasse parautochtone.*

Cette molasse marine a été poussée hors de son bassin de sédimentation et a été charriée sur la molasse autochtone lors de l'avancée des nappes pré-alpines. C'est une écaille se situant à la base de la nappe ultrahelvétique. Elle est bien représentée sur le versant Ouest des Voirons.

3.3. - *La nappe ultrahelvétique.*

Cette unité, essentiellement tertiaire, forme le massif des Voirons. Elle chevauche la molasse parautochtone et est chevauchée à l'Est par la nappe des Préalpes. Sur le versant Ouest, des écailles mésozoïques s'intercalent. Le massif des Voirons est un vaste monoclinale de direction N 0° - N 10°. Il s'ennoie sous la plaine de Bons-en-Chablais, n'apparaissant que par des témoins (Lully, Vaudalon, Château de la Rochette, Allinges, Dranse) de direction N 50° et de plongement 50° S-E.

Le ressaut des Chavannes et celui de Champanges sur le plateau éviais y correspondraient. Elle ne réapparaît ensuite qu'à Saint-Gingolph à l'Est, sous la nappe des Préalpes.

3.4. - *La nappe des Préalpes médianes.*

Elle chevauche la nappe ultrahelvétique, le contact se voyant au Col de Cou. Les grès et conglomérats ont une direction de N 50°, pendage 50° S-E, la nappe chevauchante une direction de N 15° - 50° E.

Le style tectonique, à son front, est un style souple à plis symétriques (Mont d'Hermone, Forchat, Autigny) ou déversés vers le Nord-Ouest (Dent d'Oche, Mont Billiat).

IV - LES FACIES DES TERRAINS QUATERNAIRES (figure 6).

Les dépôts glaciaires représentent dans la région, près des 3/4 de la superficie totale et c'est pour cela que je m'y suis particulièrement intéressé.

C'est dans la vallée de la Dranse que MORLOT a découvert la pluralité des glaciations dans les Alpes, mais l'étude la plus complète est certainement celle de E. GAGNEBIN, grâce à ces "Invasions glaciaires dans le

bassin lémanique" (1937). Depuis, de nombreux écrits et études sont sortis, en particulier, ceux de JOUKOWSKY, BURRI et surtout JAYET.

Pour ma part, je me suis particulièrement intéressé à la période du retrait glaciaire würmien, car ce sont les dépôts les plus représentés. La couverture végétale étant très dense, il n'est offert aux géologues que deux coupes véritablement complètes : celle de Chevrens - Hermance et celle de la Dranse, ce qui fait que c'est la morphologie qui m'a surtout guidé et m'a permis de faire un essai de reconstitution du retrait glaciaire. Mais analysons en premier lieu les faciès des différents dépôts glaciaires.

4.1. - *La première glaciation observable.*

On rapporte à la glaciation rissienne deux dépôts morainiques observés dans deux coupes naturelles :

- A Chevrens, en Suisse, une moraine argileuse grise à blocaux, en bordure du lac. Elle est actuellement partiellement cachée par des résidences et n'est visible que lors des basses eaux.

- Dans la vallée de la Dranse, l'affleurement de MORLOT n'est actuellement plus visible, par contre il est possible, actuellement, de voir sous le conglomérat des Dranses, une argile de fond bleue à galets striés et blocs en rive droite de la Dranse (borne 6 km - Thonon). Seule sa position, par rapport au conglomérat, peut faire rapporter cette argile à blocaux à la glaciation rissienne. De même, en rive gauche, elle affleure sous le conglomérat des Dranses, à une centaine de mètres du chemin reliant Armoy à l'ancienne carrière de gypse d'Armoy.

Mis à part ces trois affleurements, il ne m'a pas été permis d'en retrouver ailleurs. Cette moraine rissienne a été conservée lors de la glaciation du Würm, seulement dans des sillons topographiques. Dans la région d'Evian, elle pourrait exister dans les zones basses du substratum, bien que le sondage des Tours ne l'ait pas rencontré.

4.2. - *L'interglaciaire Riss-Würm.*

L'interglaciaire Riss-Würm connu lui aussi à peu d'endroits (Chevrens - Hermance, Dranse) se présente sous deux faciès différents :

- A Chevrens et Hermance, on a de l'argile grise feuilletée sans galets, micacée à intercalations de sables jaunes. En profondeur, elle devient plus sombre et prend une couleur noire.

Dans le Nant de Chamburaz (affluent de l'Hermance) (figure 16), on a au-dessus de l'argile, un mètre de sables beiges, à litage légèrement entrecroisés. Gorgés d'eau, ces sables perdent totalement leur cohésion.

Ces dépôts argileux et sableux doivent avoir au moins une vingtaine de mètres d'épaisseur, car j'ai retrouvé ces mêmes sables à 10 mètres au-dessus du lac, en contrebas de la route longeant le lac, avant le poste de douane de Chens le Pont.

JAYET fait de ces dépôts l'équivalent des marnes à lignites de Genève, ainsi que de celles de Chambéry (A. JAYET, 1966). Aux environs de Genève, on y a trouvé des limnées, planorbes, hélicidés, hêtre, chêne, sapin.

Au point de vue hydrogéologie, ces sables interglaciaires sont susceptibles de donner quelques sources (captage des eaux minérales d'Hermance).

- Dans la Dranse (figure 17), l'interglaciaire Riss-Würm se compose essentiellement d'une épaisse formation conglomératique (50 à 150 mètres), très bien cimentée et stratifiée, formant les grandes falaises dans les versants de la vallée. C'est le célèbre conglomérat des Dranses. Ce conglomérat à galets représentant le bassin versant des Dranses et dont le diamètre ne dépasse pas 0,50 mètre de diamètre, est sub-horizontale à l'amont et penté de 20 à 30° à son front. Il est strictement limité à la vallée pré-würmienne et actuelle de la Dranse (les sondages d'Evian ne le rencontrent pas). Tout au plus, peut-on y rattacher les quelques mètres trouvés à la base du sondage de Chessy (M. DRAY, 1970). Au Nord-Ouest, il est limité par une surface d'érosion pré-würmienne (BAKALOWICZ, OLIVE, SIWERTZ, 1970). L'origine de ce conglomérat est deltaïque et fluviatile. Il s'est déposé pendant l'interglaciaire Riss-Würm et érodé pendant l'avancée du glacier würmien.

4.3. - La deuxième glaciation.

Les dépôts de la glaciation würmienne forment la plus grande partie des affleurements visibles. Nous reprendrons les deux coupes de Chevrens - Hermance et de la Dranse pour en décrire les faciès.

- Coupe de Chevrens - Hermance (Suisse).

A Chevrens, une carrière exploitée nous montre une formation sablo-graveleuse à litage entrecroisés, épaisse d'une vingtaine de mètres. Les galets ne dépassent pas 30 centimètres de diamètre et leur composition pétrographique représente le bassin versant du Haut-Rhône : gabbros, granites,

schistes, gneiss, serpentine, amphibolite, ainsi que des faciès préalpins : calcaires noirs du Lias, calcaires beiges du Malin, grès. La proportion entre les faciès métamorphiques et sédimentaires est à peu près la même.

Au-dessus, vient 5 mètres d'argile bleue à blocs et galets striés, l'altération lui donnant une couleur jaune.

- A Hermance-Nant de Chamburaz, on rencontre au-dessus des argiles et sables interglaciaires (figure 16).

- Un conglomérat subhorizontal, épais d'une quinzaine de mètres, à litages légèrement entrecroisés. La proportion des galets calcaires et cristallins est sensiblement la même. En remontant le cours de l'Hermance, ce poudingue passe à des graviers non cimentés.

- Au-dessus des poudingues, on a 3 mètres d'argiles à blocs jaunes, bleues en profondeur.

Mais ici, le sommet de la coupe se complète, au haut du versant. On débouche sur une plaine où, derrière un terrain de sport, de grandes carrières sont ouvertes, nous montrant de très beaux litages entrecroisés dans des sables jaunes et fins, à intercalations de niveaux graveleux.

La plaine de Vereitre formant le plateau, est à rattacher entièrement à ces dépôts, ainsi que les graviers des carrières de Tougues et Chens-sur-Léman, car on retrouve ces mêmes dépôts à Lagraie, Bellevue, Vereitre, Vêrancy.

Par contre, vers Collongette, au-dessus des graviers, une argile jaune apparaît. Celle-ci doit être un produit de délavage des moraines argileuses entourant cette plaine et ayant comblé les creux topographiques après le Würm.

L'épaisseur est de 7 mètres pour les carrières de Chens le Pont, mais de l'ordre de 30 mètres et plus au camping de Chens.

Les graviers de Chens-sur-Léman se continuent certainement (mais cela n'est pas visible), par la plaine de Douvaine. Cette plaine très plate montre peu d'affleurements, hormis ceux :

- De la carrière de Douvaine, épaisseur 10 mètres.
- Dans les fondations du centre de loisirs de Douvaine.

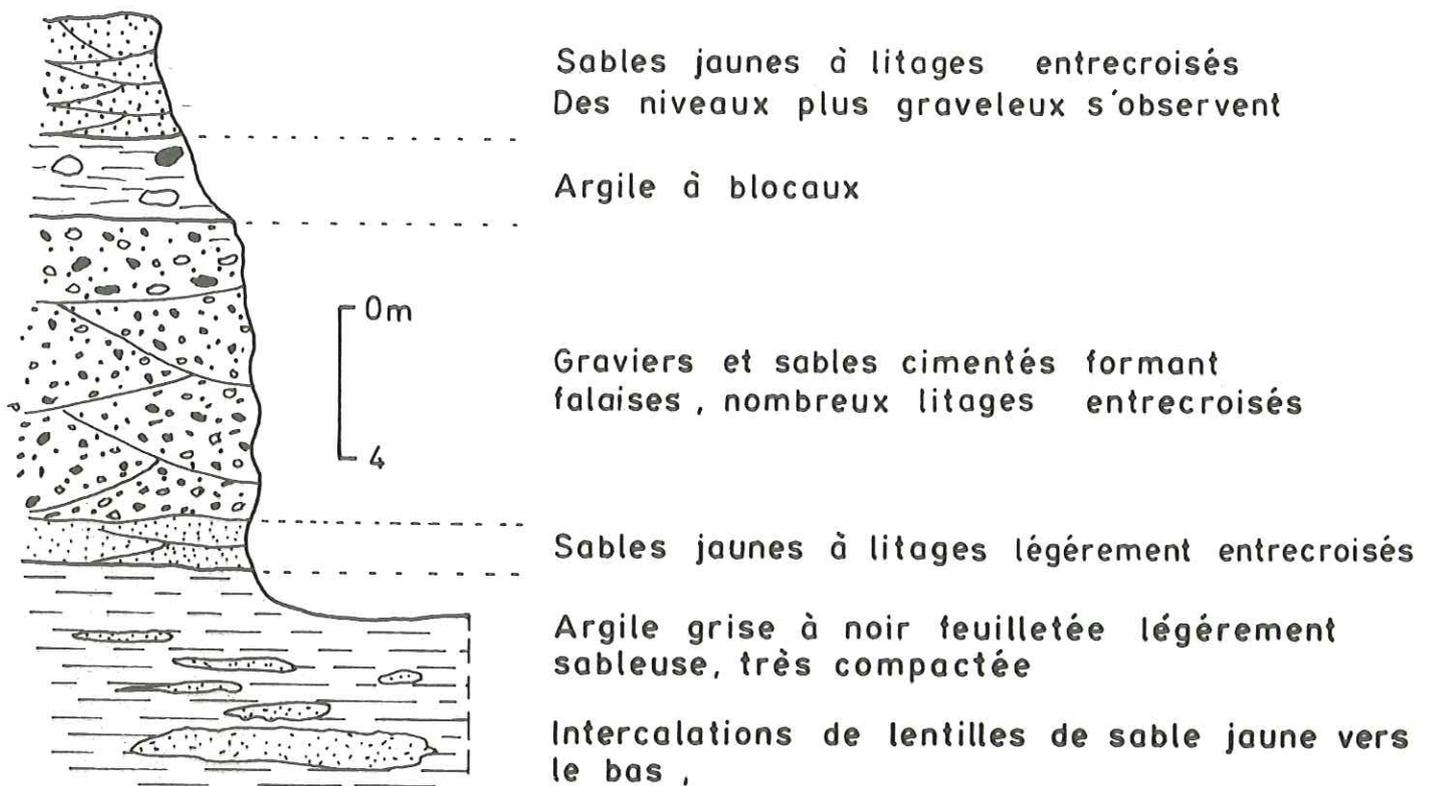


Fig. 16 : COUPE DU RUISSEAU DE CHAMBURAZ

ESSAI D'INTERPRETATION DU QUATERNAIRE DES DRANSES

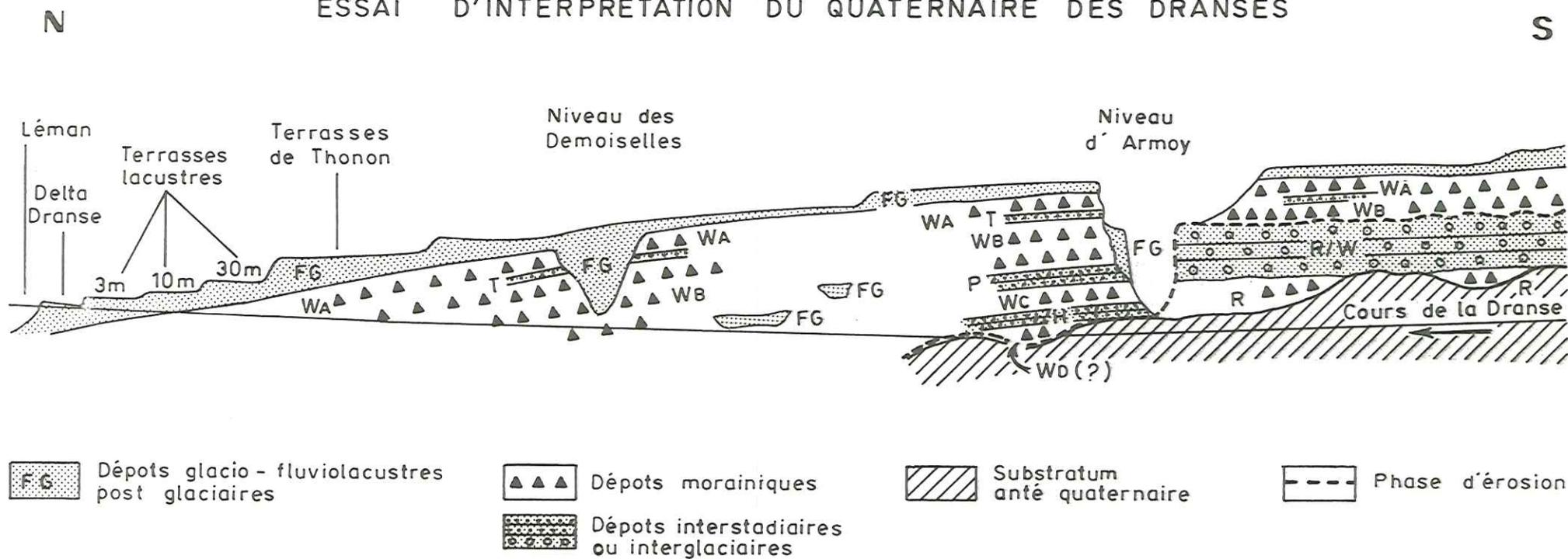


Fig.: 17

- Au lieu-dit Bachelard.

- Dans les caniveaux de drainage de la route reliant Messery à Douvaine, mais là, il semble se recouvrir d'argile.

- A la sortie du hameau de Sous-Estraz, à l'Est de Douvaine, une carrière montre ces mêmes graviers, ainsi que dans Sous-Estraz, dans une grange. A ces deux endroits, les sables n'ont aucun revêtement argileux.

- A l'entrée de Sous-Estraz, en venant de Massongy, les fondations d'une maison ont montré 2,50 mètres d'argile, puis sables et graviers. A cet endroit, on est tout près des drumlins argileux de Massongy, l'explication par une argile de délavage n'est pas à exclure.

Quelle est l'origine de ces sables et graviers terminaux ? Si on en étudie le litage, on peut s'apercevoir qu'ils sont généralement pentés de 30 à 45°. De plus, on rencontre souvent sur ces lits inclinés, des lits horizontaux, lesquels prennent à leur tour un pendage de 30° en les suivant sur une certaine distance. On peut remarquer que l'on a souvent un passage graduel entre les graviers et les sables. On peut donc penser que nous avons ici des dépôts typiques de deltas ayant sédimenté en milieu lacustre.

Leur composition pétrographique donne ici environ 60 % de calcaires préalpins (Lias, Malm,...), 35 % de roches cristallines (granite, serpentine, gabbros, schistes, gneiss,...) et 5 % de quartz, grès, marno-calcaires.

- Coupe de la Dranse (figure 17).

Au-dessus du puissant conglomérat, on trouve une épaisse série argileuse entrecoupée par des niveaux sableux et silteux. Ces niveaux ont été datés au ^{14}C et permettent ainsi de donner une stratigraphie et un âge assez précis (BAKALOWICZ M., OLIVE Ph., SIWERTZ E., 1970). De bas en haut, on trouve :

- Würm D représenté par une moraine argileuse à blocs.

- Un interstade formé de sables et argiles comportant le niveau des lignites d'Armoy (> 30 000 ans BP. Interstade d'Hengelo).

- Moraine argileuse à blocs, stratifiée, représentant le Würm C.

- Des sables et argiles datés par la tourbe d'Armoy (> 21 000 ans BP. Interstade de Paudorf).

- Moraine argileuse à blocs : Würm B.

- Des silts à mollusques et végétaux (Interstade de Tursac).
- Moraine argileuse à blocs : Würm A.
- Terrasses de Thonon : sables et graviers stratifiés à litages entrecroisés (14 000 ans, datation au ^{14}C d'une dent de mammoth trouvée à la carrière Roch).

Ces interstades sableux ont une importance dans l'hydrogéologie régionale. Ce sont eux qui constituent les aquifères de la nappe des eaux minérales d'Evian (et non le conglomérat des Dranses comme l'affirmait H. BADOUX).

Dans cette coupe, on s'aperçoit que, comme à Hermance, la série se termine par des sables et graviers à litages entrecroisés. Ce sont les terrasses de Thonon qui s'étagent entre 730 mètres (terrasse de Chez Jordan, figure 18) et 420 mètres d'altitude. La morphologie, la sédimentologie et la formation de ces terrasses seront abordées plus loin.

En divers endroits de la région, on trouve sur les terrasses des lambeaux morainiques, principalement sur les terrasses inférieures (basses terrasses), ainsi que sur les terrasses supérieures des hautes terrasses (carrière des Cinq Chemins, (figure 19), terrasse du bord du Lac à Thonon, carrière de Draillant, Brens). Le faciès est celui d'argiles jaunes à blocs et galets striés. Deux explications peuvent être données quant à leur position :

- Soit ce sont des délavages morainiques ou des glissements de moraines en place sur les graviers, ce qui peut être le cas à Draillant et Brens.
- Soit et plus vraisemblablement, une récurrence glaciaire (observée par M. DRAY dans le sondage de Chessy, 1970), avec une réavancée du glacier rhodanien sur les basses terrasses, et des glaciers locaux sur les hautes terrasses. (Les mêmes observations ont été faites sur le plateau d'Evian, dans la région de Bernex). Une étude pédologique, entreprise par M. HOREMANS, arriverait à cette même conclusion pour la région de Thonon - Douvaine.

4.4. - *Autres dépôts liés aux glaciations.*

- Les blocs erratiques.

Situés à toutes les altitudes et dans toute la région, les blocs erratiques n'ont pas fait l'objet d'étude. On peut relever tous les faciès de

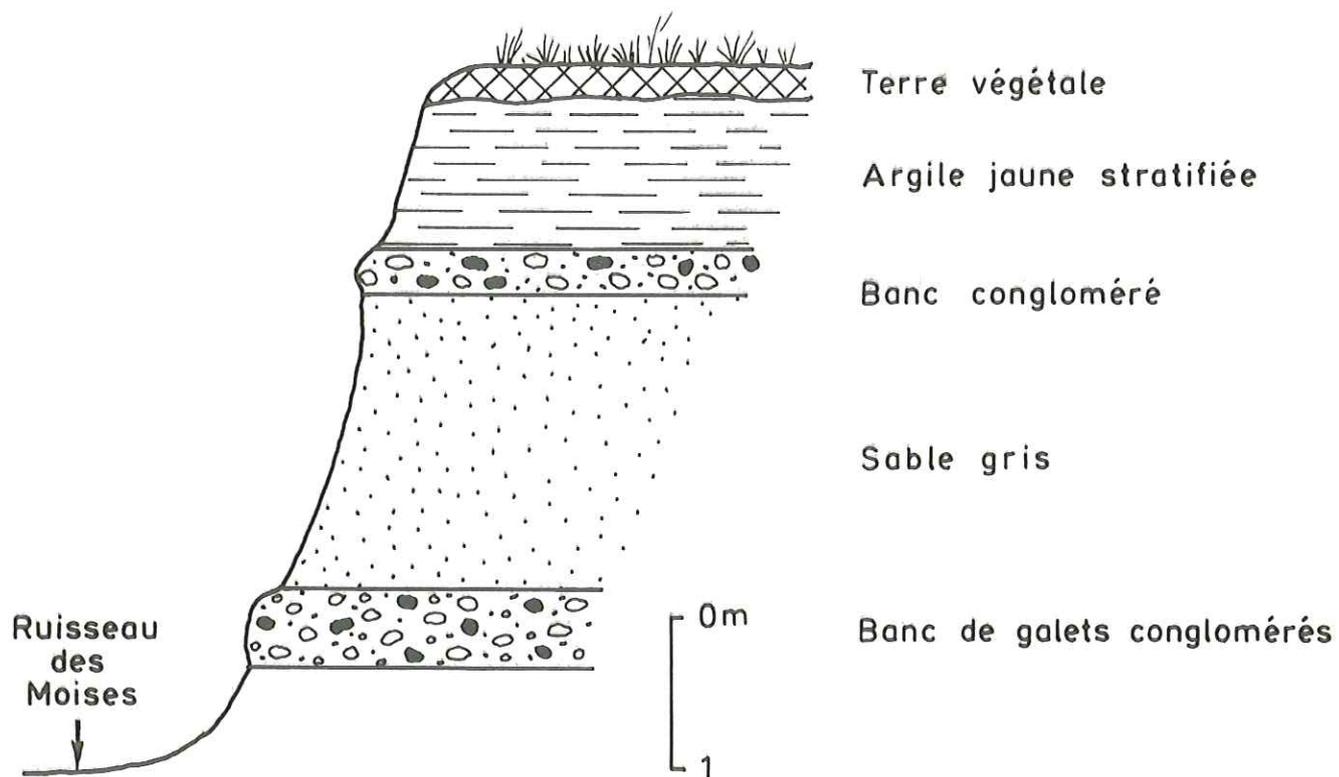
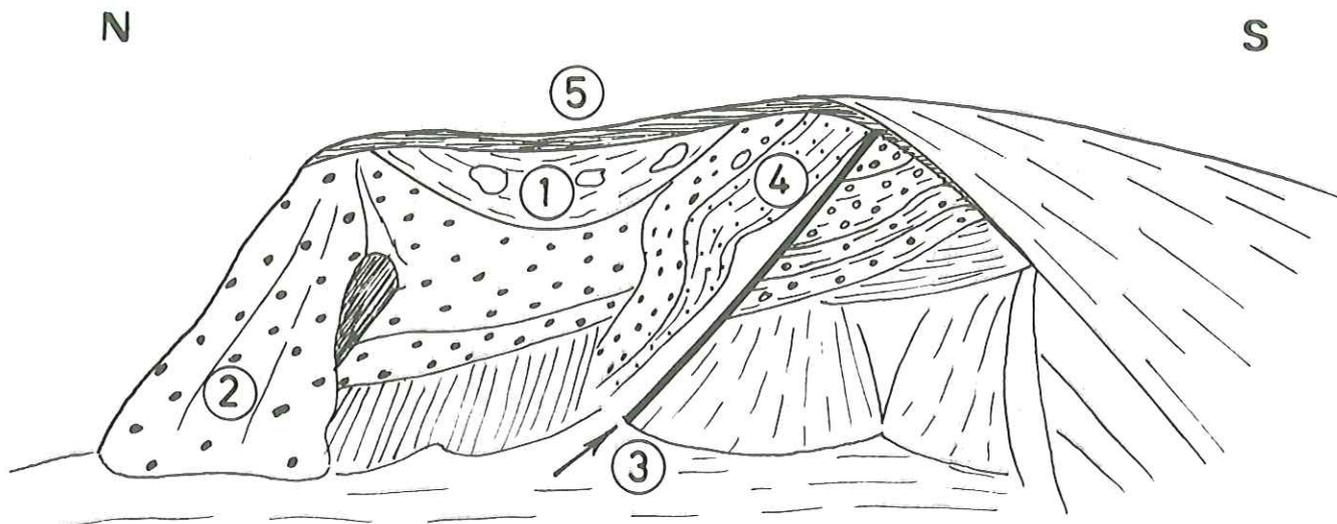
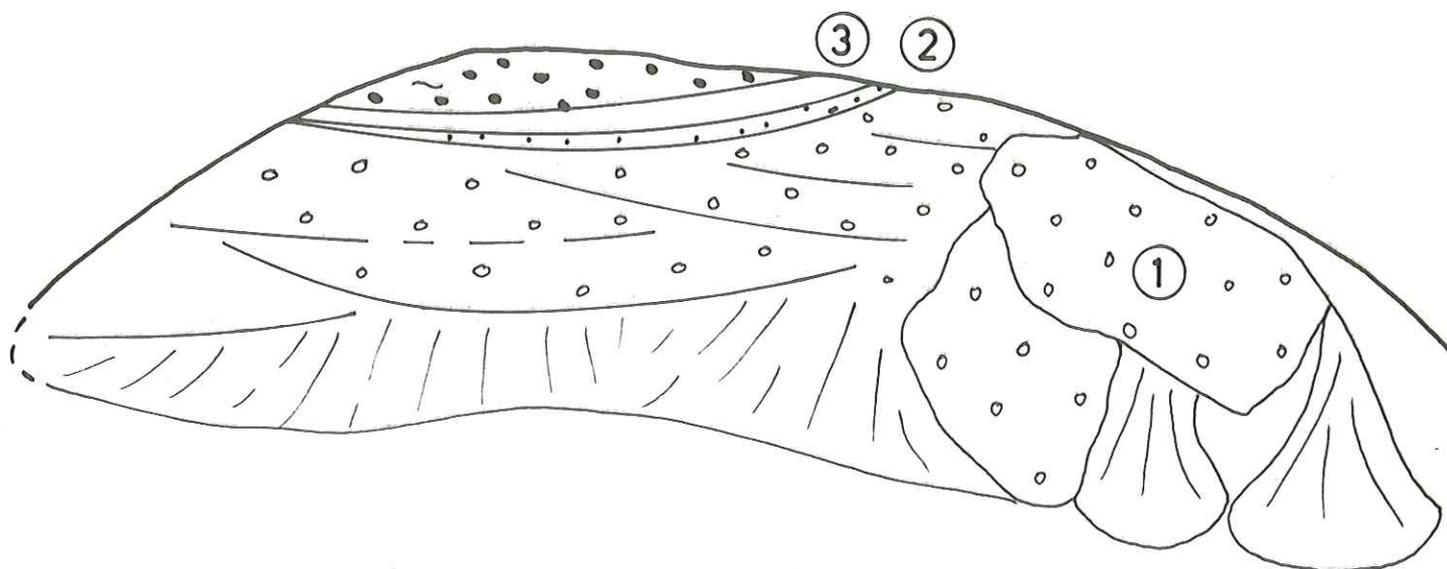


Fig. 18 : COUPE DANS LA TERRASSE DE CHEZ JORDAN



- 1 Argile jaune à gros blocs : ancienne petite langue glaciaire
- 2 Gravieres et sables cimentés en conglomérat
- 3 Faille d'origine glaciaire : tassement
- 4 Gravieres et sables à litages entrecroisés perturbés par le tassement
- 5 Terre végétale rouge brique



- 1 Blocs conglomérés
- 2 Sable gris
- 3 Banc d'argile jaune légèrement sableuse feuilletée

Fig. 19 : CARRIERE DES CINQ-CHEMINS

roches cristallines et cristallophyliennes du bassin rhodanien, ainsi que toutes les tailles : granite, gneiss, micaschistes, amphibolite, éclogite, etc... Les plus beaux, par leur taille, se rencontrent dans la baie d'Excenevex, au bord du lac vers Thonon, ainsi qu'au Mont de Boisy, Vessonnex et Macheron.

- Argiles feuilletées :

Connues à deux endroits, la tuilère de Crévy et Brécorens, ce sont des argiles stratifiées bleues, quelquefois blanches, produit de délavage de moraines dans des creux topographiques. A. JAYET (1964) admet une triple alternance des bancs : 30 cm, 1 cm, 1 mm. Dans la briqueterie de Brécorens, on a des bancs de 30 cm.

4.5. - *Dépôts tardi-glaciaires.*

- Terrasses lacustres de 30, 10, 3 m.

De par leur faciès, ces terrasses ressemblent étrangement au fluvioglaciaire terminal.

D'après A. JAYET (1964), la terrasse de 30 m n'existerait pas et ne serait que les cailloutis du Würm terminal. Il faut reconnaître que l'analogie des faciès tendrait à cette explication. A Excenevex, un lambeau de cette terrasse a surtout montré des sables et silts gris-jaune.

La terrasse de 10 m, elle, est assez bien représentée : Excenevex, la Renouillère, les Balises. Une coupe dans celle-ci, avenue de Corzent, à l'I.N.R.A., a donné (figure 20) :

- Gravier argileux : 1,5 m.
- Sables fins jaunes limoniteux : 3 m.
- Argile bleue à blocs : moraine.

A Excenevex, la terrasse de 10 m est essentiellement graveleuse et sableuse et ressemble au fluvioglaciaire terminal, mais le pourcentage de galets cristallins est nettement plus important que celui des galets calcaires.

Ces terrasses de 10 mètres ont été datées par une faune lacustre (*Limnea ovata* Drap) (FAVRE, 1927, 1938).

La terrasse de 3 mètres est post-romaine et passe très souvent à la plage actuelle.

- Dépôts palustres et tourbières.

Dans des petits bassins fermés comme à Veigy, Filly, Château Chanterelle, on trouve des dépôts d'argiles bleues, craie ou tufs avec de nombreux mollusques, puis de la tourbe. Une datation au ^{14}C est en cours sur la tourbe du Château Chanterelle.

Signalons que J. MARTINI et J.J. DURET (1965), dans un carottage pratiqué dans le marais de Veigy, ont découvert dans le niveau crayeux, un horizon de cendres volcaniques à hornblende brune, augite et sanidine, provenant des dernières explosions du Laachersee, dans l'Eifel, il y a de cela 11 000 ans. Ces tourbières ont fonctionné entre 11 000 ans (disparition du glacier rhodanien) et 6 000 ans BP environ.

- Sables d'Excenevex.

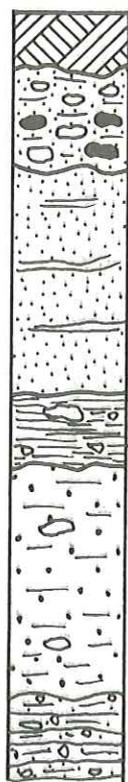
Cette formation, correspondant à la terrasse de 3 mètres, est constituée essentiellement de sables, composés de grains de quartz et de grains de calcaire dans leur grande majorité. L'analyse granulométrique en sera donnée plus loin.

Ces sables dont l'origine semble être fluviatile, puis éolienne, sont amenés, selon les auteurs (DUSSARD, JUGET, SITARZ, 1959), de la côte suisse (région de Lausanne) par les courants et sous l'action du vent du Nord-Est s'accumuleraient dans la baie de Sciez, puis le vent les déposerait sous forme de dunes dans le domaine de Coudrée.

Je pense que si un gros pourcentage de sables vient de Suisse, il ne doit pas falloir mésestimer l'apport du Foron, qui prend sa source dans les grès des Voirons et doit contribuer à enrichir en quartz ces sables d'Excenevex. Une étude sédimentologique fine pourrait peut être le prouver. Une étude pédologique dans ces sables montre dans le domaine de Coudrée, directement sous l'horizon A (humus), l'horizon C (roche mère). Mais, sur la route, entre Sciez et le camping d'Excenevex, on a :

- Horizon A (humus).
- Horizon B (sol brun, totalement décalcifié).
- Horizon C (roche mère).

D'où, entre ces deux points distants de 1 km, on constate une sensible évolution des sols, ce qui montrerait que les sables éoliens les plus anciens se seraient déposés à la fin du Würm et continueraient actuellement



1 Terre végétale

2 Nombreux galets arrondis calcaire et cristallins
matrice sablo-argileuse

3 Sables gris jaunâtres ferrugineux avec quelques
galets cristallins et calcaires
Petits niveaux argilo - sableux

4 Argile jaune compacte litée à rares galets calcaires
et cristallins, petits galets plus nombreux

5 Argile bleue à rares galets de grande taille
nombreux petits cailloux de 1 à 3cm

5

Argile jaune, compacte, litée à galets calcaires
et cristallins

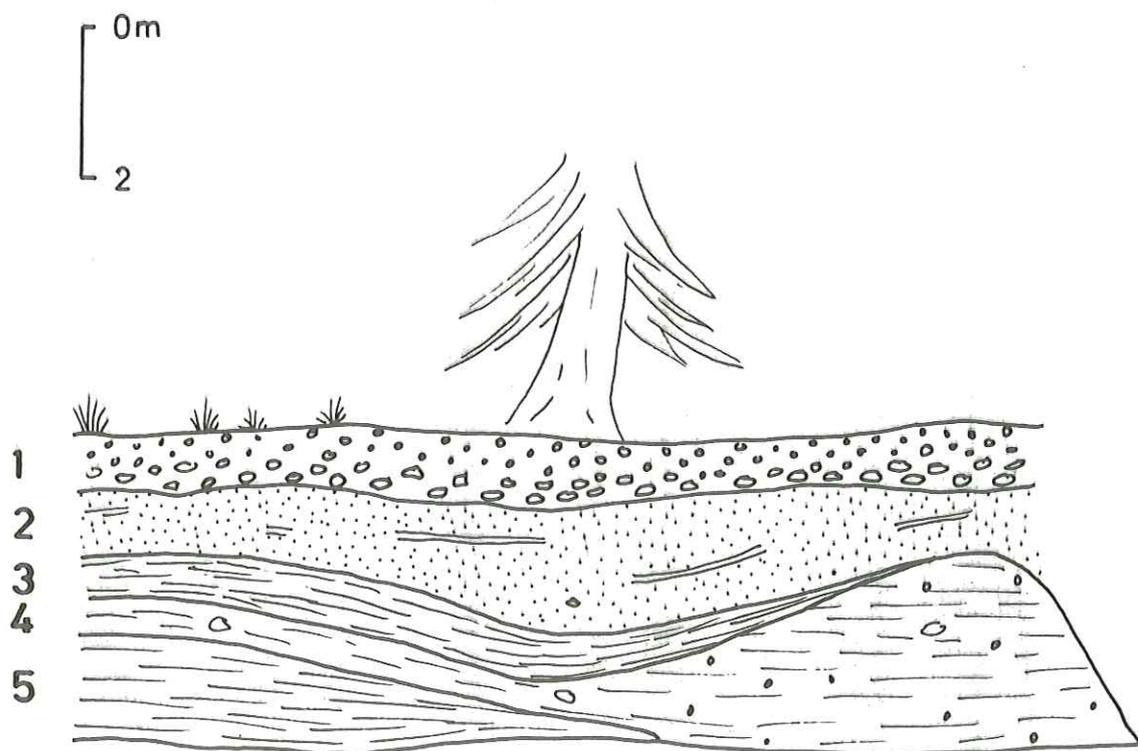


Fig.20 : COUPE DANS LA TERRASSE LACUSTRE
BORD DU LAC. I. N. R. A.

à se déposer (par basses eaux du lac, un "cordon littoral" émerge entre Excenevex et Le domaine de Coudrée).

- La terre rouge.

Cette terre rouge, visible en de nombreux endroits (terrasse des Chavannes, Chens-sur-Léman, Sciez,...) se trouve surtout sur les terrains graveleux et sableux. Son épaisseur peut varier de 10 cm à 3 mètres. Cette terre a une matrice argileuse, où les éléments caillouteux ont presque totalement disparus. Les galets calcaires ont été le plus souvent dissous et les galets cristallins entièrement corrodés. On a formation d'un sol brun décalcifié. Dans un stade plus poussé, on n'a plus qu'une argile rouge (fond de dolines périglaciaires à Thonon).

Cette décalcification peut se produire, soit sur tout un affleurement (Chens-sur-Léman où l'on voit deux anciens sols superposés), soit attaquer seulement un chenal fluviatile dans les dépôts à stratification entrecroisées (Le Noyer).

Par contre, l'étude systématique de ces sols ne permet pas de dire que l'évolution soit plus poussée sur les hautes terrasses que sur les basses terrasses (HOREMANS, communication personnelle).

V - SEDIMENTOLOGIE.

5.1. - *Analyse granulométrique.*

Des analyses granulométriques ont été faites sur différents terrains quaternaires, mais cette méthode n'a donné des résultats que pour les sables, car une erreur d'analyse a faussé les résultats des graviers et des moraines.

- Analyse des moraines.

L'étude n'a été faite que pour les éléments inférieurs à 2 mm, ainsi l'analyse n'en sera pas complète. On ne donnera donc que le pourcentage de fraction grossière et fraction fine :

	% FRACTION GROSSIERE	% FRACTION FINE
Col de Cou	1,31	98,69
Tuilière des Crapons	4,83	95,17

La fraction inférieure à 2 mm pour la tuilière des Crapons donne :

TAILLE	%	TAILLE	%
2 mm	28,09	0,5	2,06
1,6	4,22	0,4	3,70
1,25	3,09	0,315	3,29
1,00	3,09	0,25	4,22
0,8	2,67	0,2	4,12
0,63	2,57	Fond	38,89

Une analyse faite par E. SIWERTZ (1973) donne :

TAILLE DES ELEMENTS EN mm	%
5 à 50	15
1 à 5	5
0,5 à 1	25
0,05 à 0,5	20
< 0,05	35

Les valeurs trouvées ne varient guère dans la région. On a généralement 80 à 95 % de fraction fine et 30 à 40 % d'éléments inférieurs à 0,5 mm.

- Analyse des graviers et sables des terrasses de Thonon.

Le tableau ci-après donne les moyennes réalisées sur 18 prélèvements du bassin des Blaves (figure 21) (E. SIWERTZ).

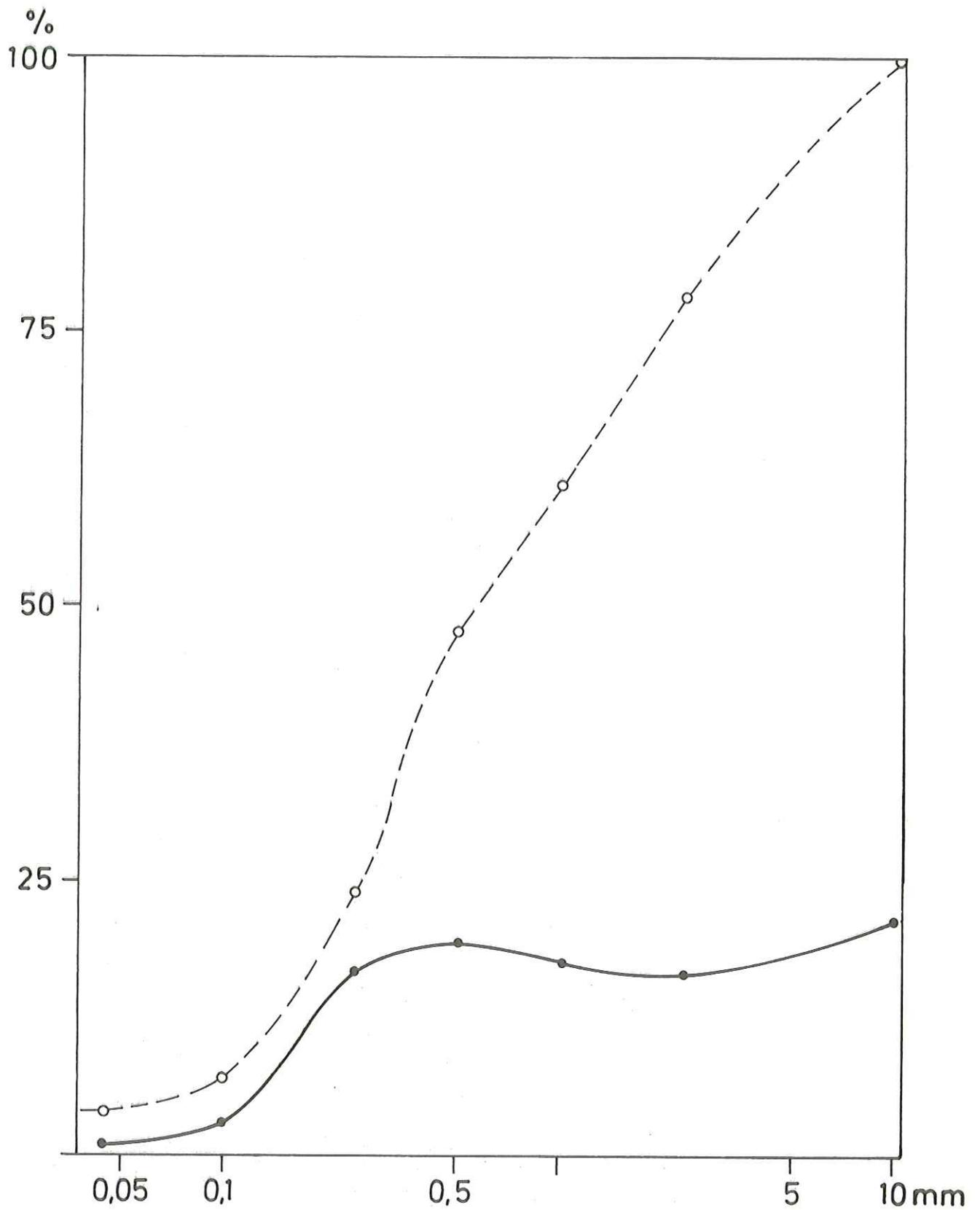


Fig.21 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE
 TERRASSES DE THONON. (Moy. de 18 prélèvements)

TAILLES DES ELEMENTS EN mm	% DU POIDS TOTAL	TENEURS EN CaCO ₃
d > 10	22 %	
10 > d > 2,5	17 %	55 %
2,5 > d > 1	18 %	58 %
1 > d > 0,5	19 %	53 %
0,5 > d > 0,25	17 %	54 %
0,25 > d > 0,1	3 %	52 %
0,1 > d > 0,04	1 %	43 %
0,04 > d	3 %	49 %

Les courbes de fréquences simples et cumulées montrent un mauvais triage et un mauvais classement des sédiments. La médiane est de 0,6 mm, les quartiles Q₁ et Q₃ sont respectivement de 0,25 et 2 mm.

Le sorting-index So de Trask égal à $\sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$ est de 2,84, ce qui montre que ce sédiment est moyennement classé.

Les valeurs des différents indices indiquent que ce sédiment s'est formé en régime torrentiel.

- Analyse des sables interglaciaires (figure 22).

L'analyse du prélèvement, effectué dans le Nant de Chamburaz, montre d'après les courbes de fréquence simple et cumulée, deux modes à 0,125 mm et 0,4 mm.

La médiane Q₂ est de 0,23 mm, les quartiles Q₁ et Q₃ de 0,135 et 0,32 mm, les centiles P₁₀ et P₉₀ de 0,09 et 0,46 mm.

$$\text{Le sorting index } S_o = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}} = 2,37$$

Le q de ϕ de Krumbeim est de :

$$q \text{ d } \phi = \frac{Q_1 Q_3}{2} = 0,67$$

Le skewness S est de :

$$S = \frac{Q_1 \times Q_3}{(Q_2)^2} = 0,81$$

En conclusion, les sables du Nant de Chamburaz montre un classement moyen et un mauvais triage (courbe bimodale).

Les indices numériques confirment le bon classement, mais le $q d \phi$ montre un triage moyen. Le skewness indique que le classement est maximum du côté des grossiers et montrerait des apports torrentiels.

- Analyse des sables de l'I.N.R.A. à Thonon et d'Excenevex (figures 23 et 24).

Le premier prélèvement a été effectué dans la terrasse lacustre, dans les fouilles du laboratoire de chimie de l'I.N.R.A. à Thonon. Les courbes des fréquences simples et cumulées montrent :

- Un bon classement.
- Deux modes à 0,125 et 0,4 mm, indiquant une dualité d'apport.
- Que la médiane est de 0,27 mm, les quartiles Q_1 et Q_3 de 0,17 et 0,33 mm, les centiles P_{10} et P_{90} de 0,1 et 0,48 mm.

Le sorting index S_o est de 1,4 qui confirme le bon classement.

Le $q d \phi$ de Krumbein est de 0,53.

Le skewness S est de 0,78 (dépôt agité).

Le deuxième prélèvement a été effectué dans les sables de la baie d'Excenevex. Les courbes montrent :

- Un très bon classement.
- Un bon triage (mode à 0,23 mm).
- Une médiane à 0,175 mm.
- Des quartiles Q_1 et Q_3 à 0,15 et 0,22 mm.
- Des centiles P_{10} et P_{90} à 0,115 et 0,24 mm.

Le sorting index S_o est de 1,21 confirme le bon classement.

- Le $q d \phi$ de Krumbein égal à 0,32 montre que le sédiment est bien classé.

Le skewness S est de 1,04 et montrerait un dépôt tranquille.

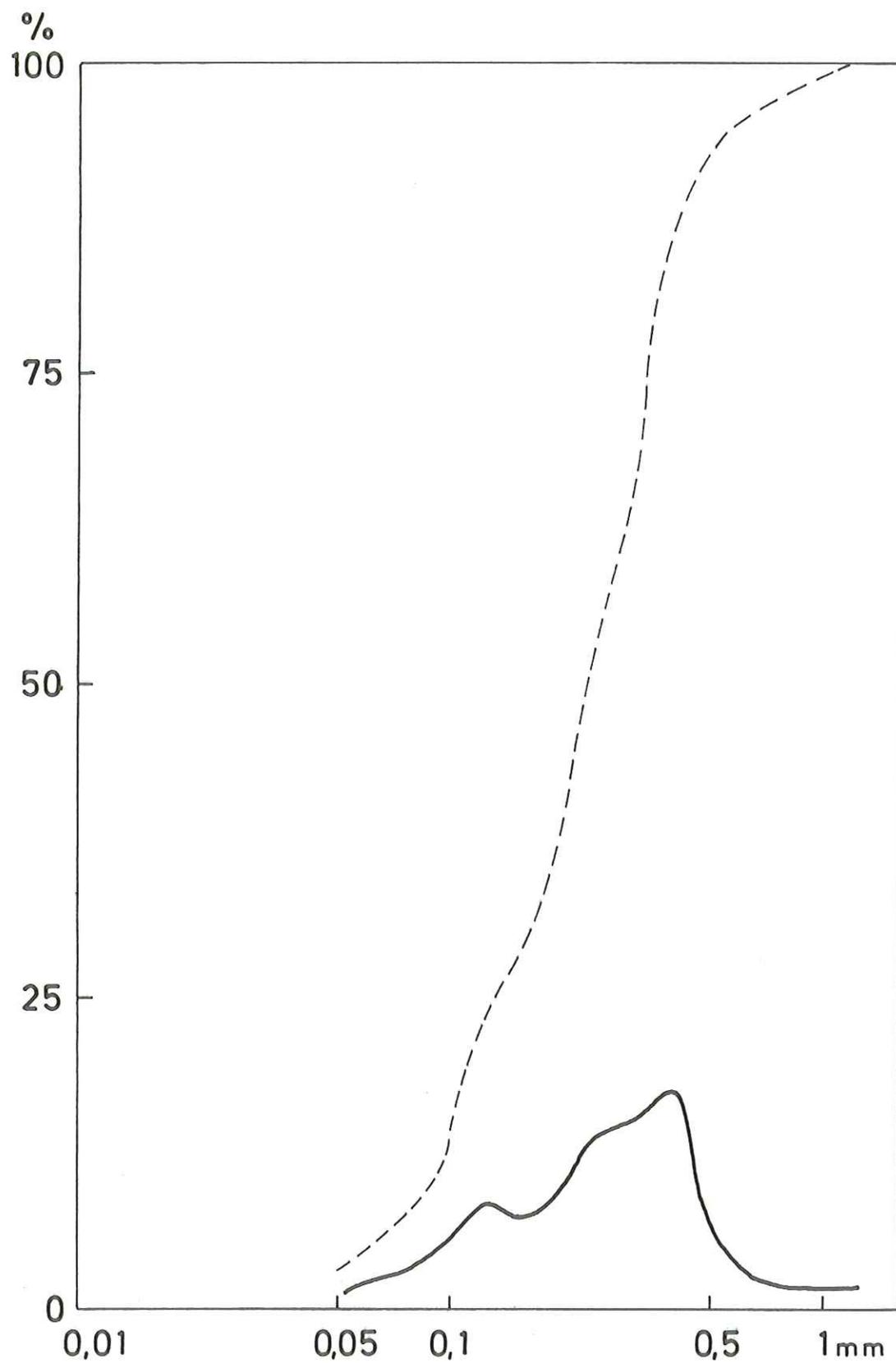


Fig.22 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE
Sables d'Hermance. Nant de Chamburaz

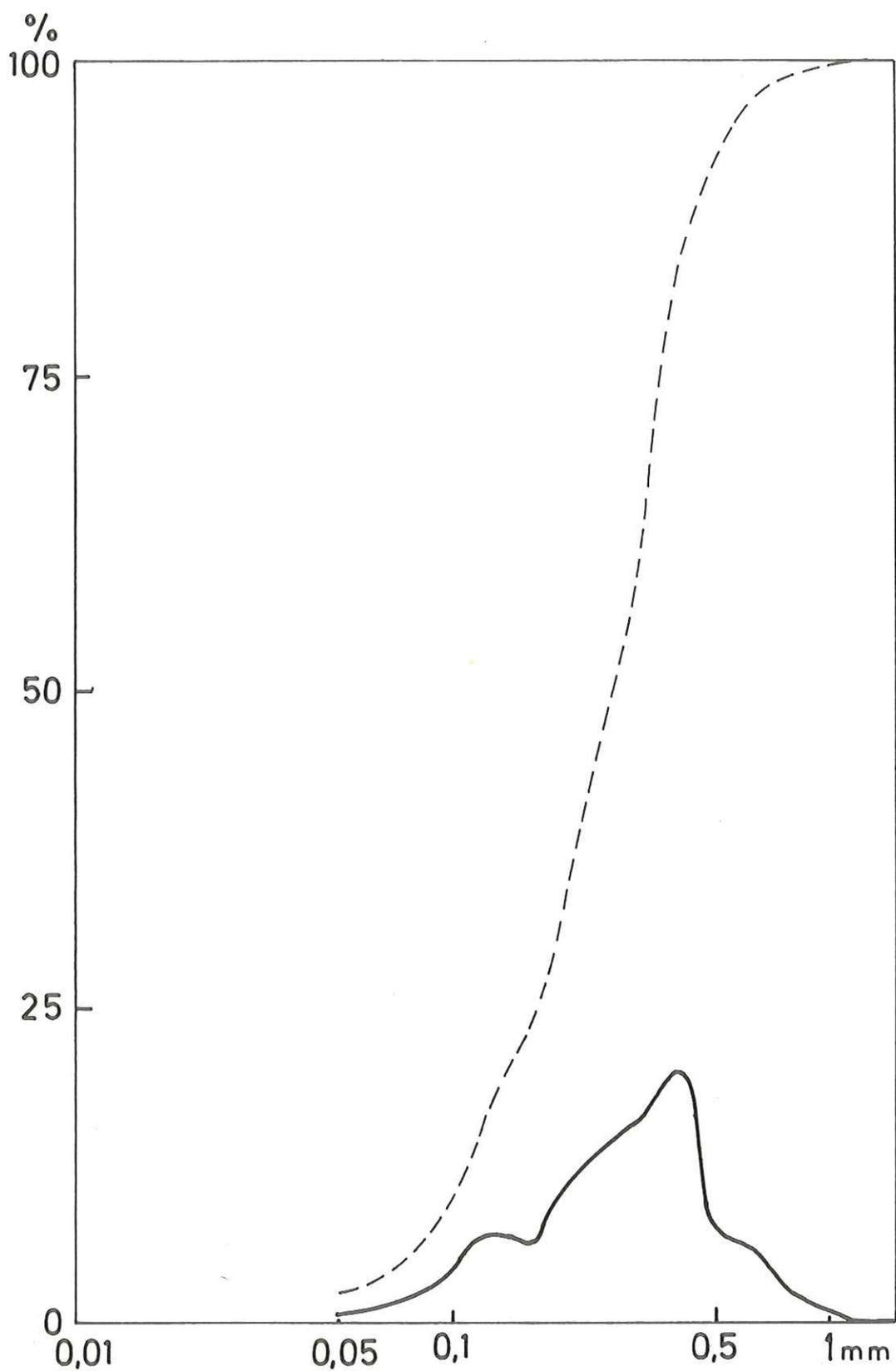


Fig.23: ANALYSE GRANULOMETRIQUE
Sables de la Station d'Hydrobiologie
lacustre de Thonon

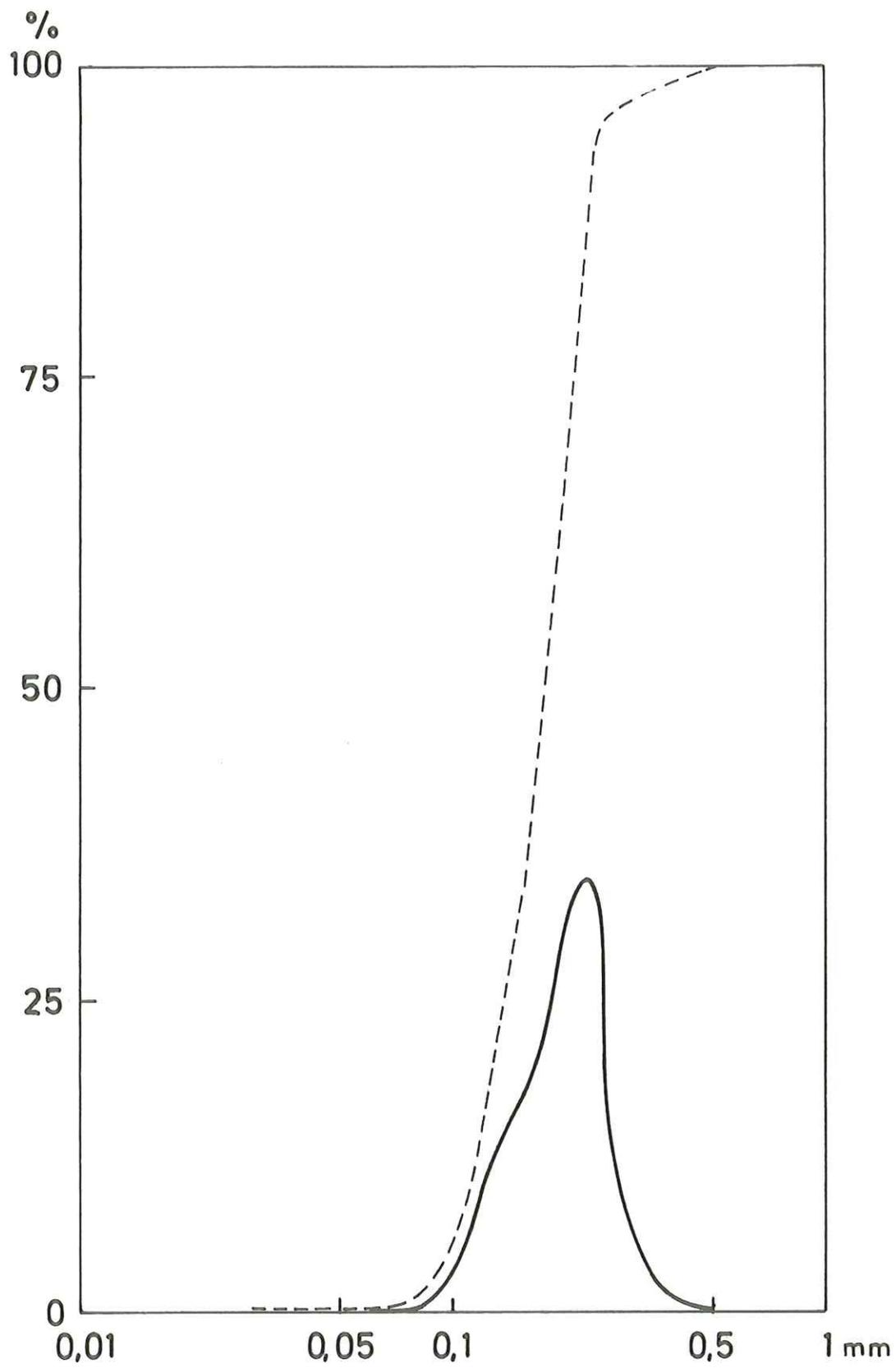


Fig.24 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE
Sables d'Excenevex (Coudrée)

Ces deux analyses nous renseignent sur la formation de ces sables. Le premier échantillon est bien classé, mais de dépôt agité, correspondant à une formation lacustre, tandis que le deuxième correspondrait à une formation de type éolien (très bon classement et dépôt tranquille).

5.2. - Comptage pétrographique.

Deux comptages pétrographiques ont été effectués dans les graviers et sables des terrasses de Thonon : l'un sur la route du Renard Bleu, dans la terrasse la plus élevée, l'autre dans la carrière de Perrignier.

- Route du Renard Bleu (figure 25).

Le comptage effectué sur un lot de 200 galets montre :

- Une prédominance des galets calcaires jurassiques des Préalpes Médiannes dans toutes les classes (78 % du total).

- Peu de galets cristallins (12 %).

- 88 % de galets d'origine préalpine (nappe ultrahelvétique, Médiannes, Brèche, Simme).

- Que la taille la plus représentée se situe entre 30 et 50 mm, que ce soit parmi les galets calcaires ou cristallins.

- Carrière de Perrignier (figure 26).

Le comptage pétrographique a été fait sur un lot de 350 galets. Il nous montre :

- Une prédominance des galets calcaires jurassiques des Médiannes, mais moins nette que précédemment (59 % du total).

- 13,5 % de galets cristallins, donc sans changement.

- 86,5 % de galets préalpins (ultrahelvétique, Médiannes, Brèche).

- Que la longueur moyenne se situe entre 30 et 50 mm.

En conclusion sur l'étude pétrographique, on peut dire que les galets préalpins dominent largement, mais ces prélèvements ont été faits sur les hautes terrasses, les Préalpes du Chablais influençant beaucoup plus les apports. En bordure du lac, la taille des éléments est plus petite et les galets cristallins nettement plus nombreux. Une étude systématique de la variation géographique des éléments pourrait amener quelques résultats sur les apports des graviers des terrasses.

5.3. - *Morphométrie des galets (figure 27).*

Sur les mêmes lots que précédemment, une étude morphométrique des galets a été faite afin d'en connaître les différents indices. Les différentes valeurs des médianes sont, en mm :

	ROUTE DU RENARD BLEU	PERRIGNIER
Indice d'éroussé	242	169
Indice d'aplatissement	170 Rang 85 = 213	228 Rang 85 = 148
Indice de dissymétrie	700	700

Le report des médianes de l'indice d'éroussé et de l'indice d'aplatissement, sur le graphique éroussé-aplatissement de J. TRICART, montre que, si les affleurements du Renard Bleu sont d'origine fluvio-glaciaire ou fluviales, les affleurements de Perrignier quant à eux sont franchement fluviales.

5.4. - *Etude des litages.*

Une étude systématique des litages dans la formation des terrasses de Thonon sur tous les affleurements gravelo-sableux a été faite. Généralement ceux-ci montrent soit des litages entrecroisés, soit des litages obliques, suivant qu'ils sont vus de face ou transversalement par rapport au sens d'apport. Vus de face, les chenaux montrent des dimensions allant du mètre à la centaine de mètres. En coupe longitudinale, ces chenaux sont généralement inclinés de 10 à 40°. Assez souvent, sur ces litages obliques, on observe des dépôts horizontaux, passant eux-mêmes à des dépôts obliques.

L'association de ces deux litages montre que l'on se trouve en présence de dépôts de deltas (foreset et topset bedding) aériens ou sous aquatiques. Il est à noter que j'ai trouvé des polygones de dessiccation sur des bancs à matériaux fins montrant que le dépôt s'est produit sous faible épaisseur d'eau ou à l'air libre.

Donc, théoriquement, l'étude des litages peut amener à découvrir le sens des apports, mais dans la région, si le cas se présente souvent, il arrive aussi fréquemment que les litages originels aient été bouleversés par

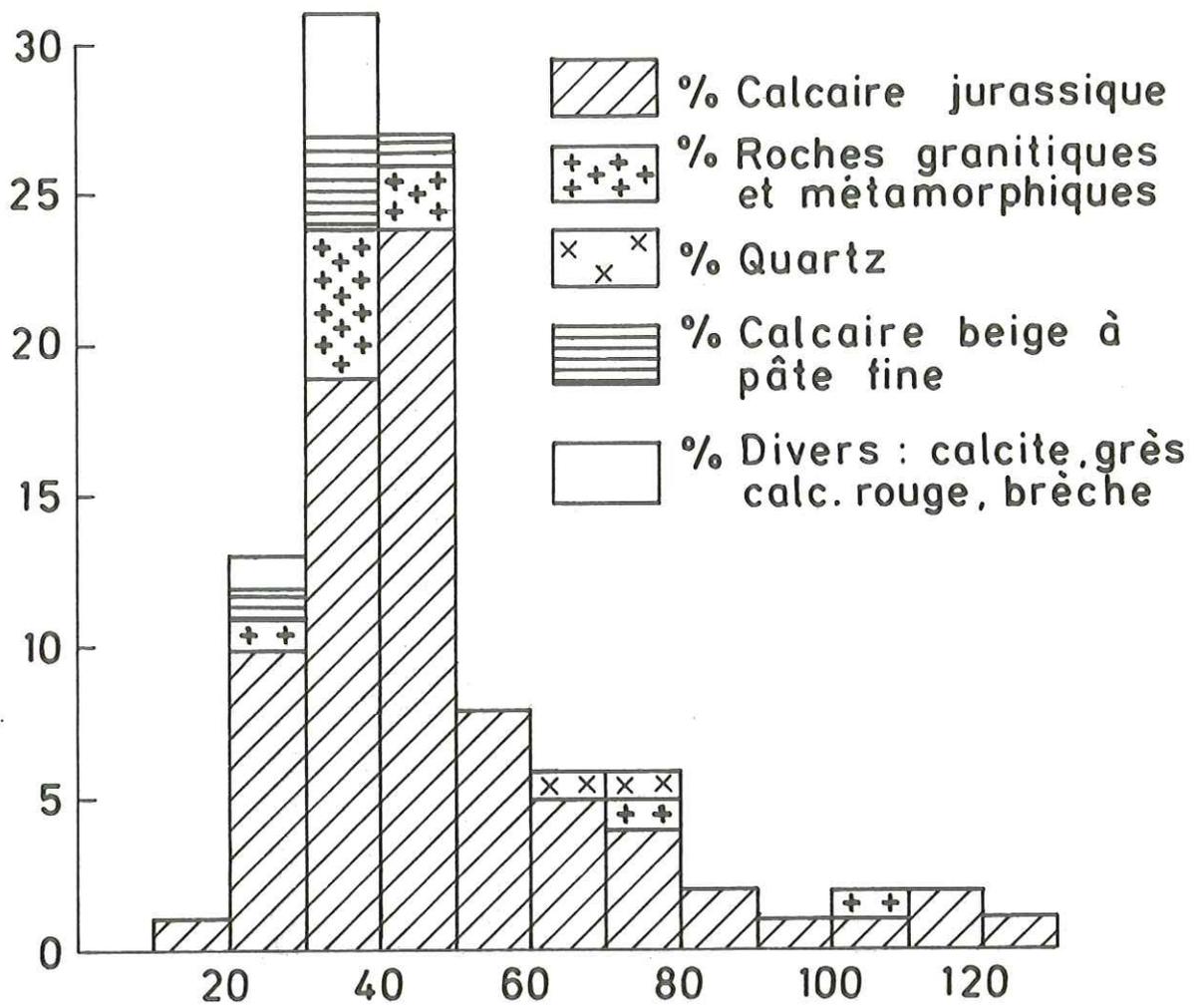


Fig. 25 : COMPTAGE PETROGRAPHIQUE :
RENARD BLEU (Histogramme)

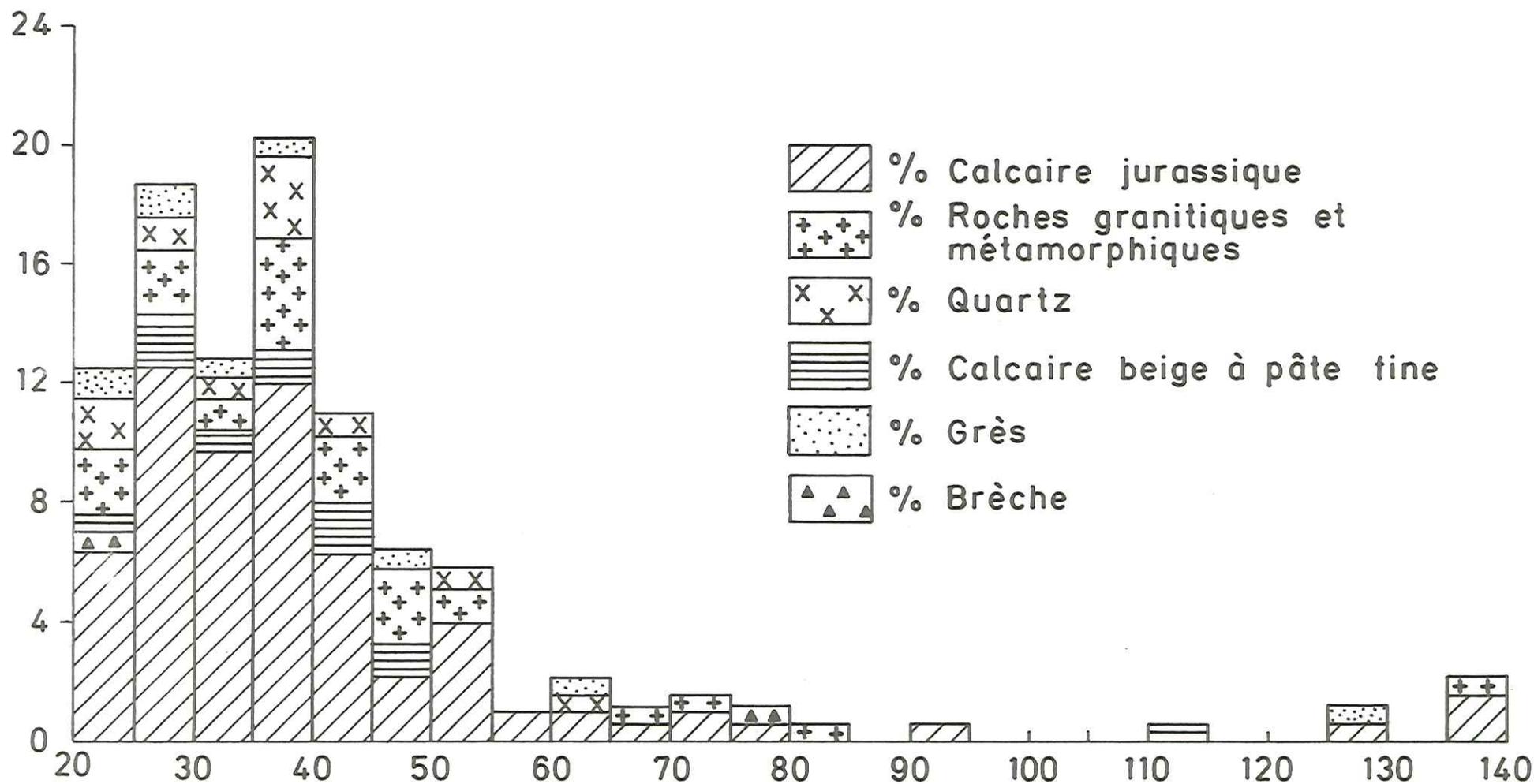


Fig.26 : COMPTAGE PETROGRAPHIQUE :
PERRIGNIER - (Histogramme)

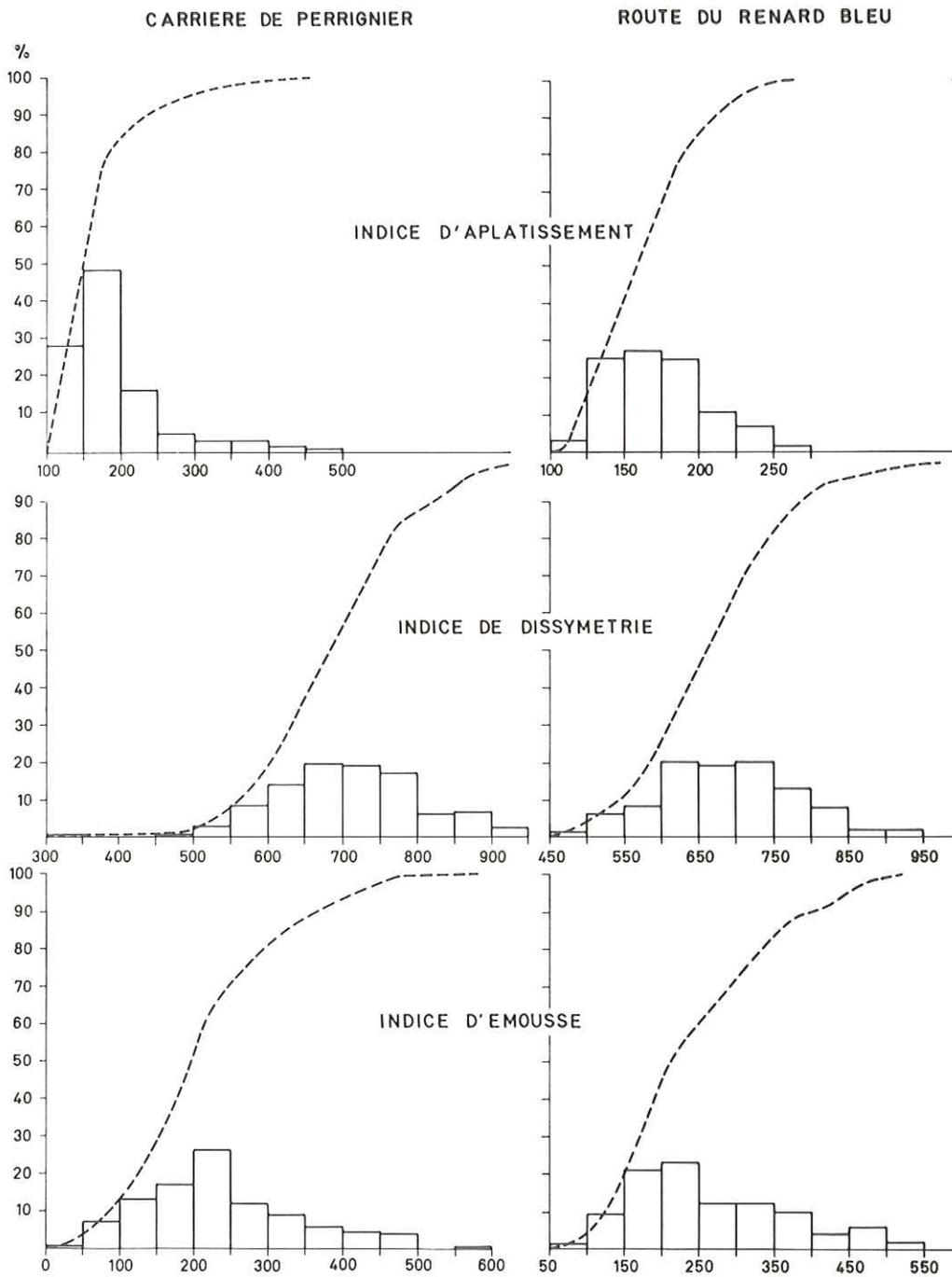


Fig.: 27 HISTOGRAMMES ET COURBES DES FREQUENCES CUMULEES

les mouvements du glacier (failles de tassement), montrant alors des sens d'apports totalement aberrants. Mais généralement deux directions sont bien représentées, ce sont en gros, les directions Est-Ouest et Nord-Sud, avec des oscillations de 20° autour de N 0° et N 90°. Les directions N 90° parallèles au lac peuvent être liées à des écoulements perpendiculaires aux glaciers et les N 0° à des écoulements parallèles au glacier.

En conclusion à l'étude sédimentologique, il apparaît que les dépôts sablo-graveleux des terrasses de Thonon seraient des formations deltaïques et fluviales amenées par des eaux circulant perpendiculairement et parallèlement aux glaciers. L'étude de la morphologie va nous le confirmer.

VI - MORPHOLOGIE.

C'est elle qui m'a permis de me guider pour le lever de la carte et pour la compréhension de la région, car la morphologie de la région Thonon-Douvaine présente plusieurs éléments liés par leur mode de mise en place respectif ainsi que par leur position.

6.1. - *La moraine de fond.*

Elle est formée par l'argile à blocs. Elle tapisse tout le territoire et se rencontre partout. Quelques drumlins lui donnent un relief mou, peu élevé, tels ceux de Massongy, Messery, Chevilly. Ceux-ci se rencontrent le plus souvent au Nord et à l'Ouest du Mont de Boisy, entre la Suisse et Excenevex. Leur dissémination dans cette zone ne permet pas de faire une corrélation avec d'autres régions.

6.2. - *Les crêtes morainiques latérales.*

Elles sont très nombreuses et assez bien conservées, leur matériel est assez divers, généralement argileux mais aussi sableux ou graveleux, lités ou pas, suivant si elles ont été plus ou moins délavées. Dans le cas d'un délavage poussé, il est difficile lithologiquement et à l'affleurement d'en faire la différence d'avec les matériaux des terrasses de Thonon. Seule, dans ce cas là, la morphologie peut aider à en faire le discernement.

Sur le terrain, les crêtes morainiques se suivent souvent sur des distances assez longues.

On peut reconnaître plusieurs familles : du Sud au Nord :

- Mâcheron-Draillant-Pessinges-Cervens-Rézier-Fessy-Bons.
- Perrignier-Brécorens-Brenthonne-Noyer.
- Allinges-Commelinges.
- Marcorens-Senoche.
- Lauzenette-Margencel-Jouvernex.
- Genevray-Ronsuaz-Citadelle-Massongy-Chilly.
- Morcy-Séchex.
- Chevilly-Aubonne.
- Corsier-Anières-Chevrens-Chens-sur-Léman.
- Messery-Esserts.
- Yvoire-Excenevex.

6.3. - *Les terrasses de Thonon.*

Elles sont très reconnaissables au Sud de Thonon, entre la Capite et Thonon, où elles s'étagent entre les altitudes de 730 m et 420 m et sont au nombre de 14. Par contre, à l'Ouest de la colline des Allinges, la morphologie en terrasse est moins nette, car l'érosion les a souvent démantelées. Les mieux conservées sont celles de la Capite, du Lyaud, de Perrignier, des Chavannes, de la Versoie, de Crête et du Funiculaire. Au Nord et à l'Ouest, du Mont de Boisy, les plaines de Douvaine, Chens-sur-Léman, Vereitre et Veigy sont à rapporter aux terrasses de Thonon.

En parcourant la région, on peut voir que ces terrasses sont souvent creusées de dépressions circulaires appelées vouas dans le Bas-Chablais. Ce sont des dolines périglaciaires, accidentant les surfaces planes des terrasses, ces dépressions se rencontrent à toutes les altitudes et sur presque toutes les terrasses.

6.4. - *Les chenaux.*

Le dernier élément morphologique prédominant est la présence de chenaux. Ils sont assez nombreux à l'Ouest de Thonon et de plus ou moins grande importance. Ils sont souvent remblayés par des alluvions.

Il faut citer ceux de Brens-Machilly-Annemasse, de Maugny-Perrignier, du château de Lauzenette.

Ceux-ci ont une largeur de 500 m, pour une profondeur d'une cinquantaine de mètres. Ils sont parcourus par des rivières ne débitant pas plus d'une centaine de litres d'eau par seconde, c'est dire qu'actuellement, ils ne fonctionnent quasiment plus.

Dans la vallée de la Dranse, deux chenaux, remblayés par le matériel graveleux des terrasses de Thonon, sont visibles l'un à l'aval de l'affleurement de flysch ultrahelvétique, au Pont de la Douceur, l'autre au niveau des carrières de gypse d'Armoy.

6.5. - *Autres éléments morphologiques.*

- Les terrasses lacustres.

La terrasse de 30 m est très peu visible (Corzent, Excenevex). Par contre, celle de 10 m et 3 m s'observent sur presque tout le pourtour du lac.

- Les dunes d'Excenevex.

Ces dunes sont malheureusement de moins en moins visibles, du fait de l'aménagement du littoral.

Quelques crêtes dunaires restent encore visibles.

6.6. - *Adaptation de la morphologie quaternaire à la structure tectonique (figure 4).*

La région se situant au front des grandes nappes préalpines et dans le bassin molassique, nous allons rappeler brièvement les principales structures du Nord-Ouest au Sud-Est.

- L'anticlinal molassique de Messery et le synclinal de Douvaine.

- L'écaille chevauchante du Mont de Boisy et sa continuation au Nord-Est, par la zone haute du delta de la Dranse et le ressaut morphologique de Publier.

- La nappe ultrahelvétique chevauchante sur la molasse. Son front passe au Sud de Bons-en-Chablais, Lully, Allinges, Dranses. En rive droite, sur le plateau d'Evian, le ressaut morphologique de Champanges-Saint-Thomas serait la prolongation à l'Est de ce front.

- La nappe des Préalpes Médiannes, chevauchante sur l'ultrahelvétique. Le front passe au col de Cou et à Armoy. En rive droite de la Dranse, la géophysique le situe à Larringes, chez Folliet, pour continuer en direction de Saint-Paul et Meillerie.

Si on observe maintenant la morphologie quaternaire, on s'aperçoit que des familles de crêtes morainiques se groupent à l'aplomb des zones hautes du substratum.

- Les vallums de Corsier-Chevrens-Chens-sur-Léman et celui d'Aubonne sont parallèles à la direction axiale de l'anticlinal de Messery, et se disposent de part et d'autre de celui-ci.

L'écaille du Mont de Boisy et son prolongement vers Thonon et Evian est soulignée en surface par les vallums de Chilly-Massongy à la base du Mont de Boisy, par les alignements morainiques de Citadelle-Chavannes-Cinq Chemins, Anthy, ainsi qu'en rive droite par ceux de Publier, Neuvecelle, Maxilly sur le ressaut de Publier.

Les vallums de Bons-Perrignier, Commelinges-Allinges, le ressaut des Chavannes séparant hautes et basses terrasses, les vallums de Champanges-Les Granges-Chez Crosson et Chez Tupin en rive droite et sur le ressaut de Champanges marquent en surface la trace du front de la nappe ultrahelvétique.

Le front de la nappe des Préalpes est également jalonné en surface par des alignements morainiques, dont les orientations sont toutefois plus complexes que précédemment.

Au Sud de Cervens, le plan de chevauchement ne constitue pas un guide morphologique principal. Mais à l'Est de Cervens, les cordons morainiques de Draillant-Charmoisy le soulignent. En rive droite, sur le plateau d'Evian, les vallums de Larringes-Verrosier-Praubert se groupent suivant la trace du plan de chevauchement. Il est à noter qu'au niveau de Larringes, les directions des vallums sont Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest, puis Nord-Ouest - Sud-Est, au niveau de Lyonnet pour redevenir Nord-Est - Sud-Ouest entre Praubert et Saint-Paul.

Si l'on suppose que la position des vallums est liée aux structures profondes, comme c'était le cas précédemment, on peut penser que ces changements de direction sont une manifestation superficielle d'une orientation différente des axes de direction structurale, peut être un accident affectant le substratum et décalant celui-ci (continuation au Sud-Est de l'accident affectant la molasse entre Amphion et Evian).

On vient donc de voir que le glacier, pendant son écoulement, s'est adossé aux diverses structures de la région Thonon-Evian. Ceci a un intérêt hydrogéologique, car les secteurs compris entre les divers ressauts morphologiques (correspondant donc à des zones basses) ont été certainement surcreusés pendant les diverses glaciations, puis remblayés par la suite : zone Douvaine-Sciez, plateau des Blaves à l'arrière du front ultrahelvétique (confirmées par géophysique). Sud d'Evian (sondage des Tours et Sionnex), les divers chenaux remblayés (Brécorens, Pont de la Douceur, Armoy). On peut donc penser que ces zones sont susceptibles d'être de bons aquifères (sondage de Brécorens, sondage de Draillant, sondages d'Evian, Fessy). Entre autres, B. BLAVOUX (1966) estime que la zone d'alimentation de la nappe d'Evian se situe sur le plateau de Vinzier et que l'écoulement s'effectue suivant une direction Nord-Sud. Mais on peut aussi supposer que les écoulements se font suivant une direction à peu près Est-Ouest, parallèlement aux structures du substratum et que, grâce à la présence de drains, genre Amphion (faille ou ancien cours d'eaux remblayés) l'eau s'écoule suivant une direction Nord-Sud, pour émerger à Evian à la faveur d'une remontée du substratum. L'alimentation se ferait donc plus à l'Est que le plateau de Vinzier.

VII - MISE EN PLACE DES DEPOTS DU RETRAIT GLACIAIRE.

7.1. - *Formation des terrasses.*

Nous avons vu dans les chapitres "lithologie" et "sédimentologie", que les matériaux gravello-sableux des terrasses se sont sédimentés sous forme de deltas en milieu lacustre, sous faible épaisseur d'eau. Lors du retrait würmien, le glacier s'écoulant de la haute vallée rhodanienne (Valais) vers Genève et Bellegarde, barrait les vallées des Préalpes (Dranse en particulier), alors que les glaciers locaux se retiraient à l'amont. Un lac de barrage glaciaire latéral s'est formé entre le glacier rhodanien et le substratum, alimenté par les eaux de fonte descendant des Préalpes, ainsi que du glacier rhodanien. Ces cours d'eaux charriaient de grandes quantités de matériaux qui se déposaient dans le lac sous forme de deltas.

Ces terrasses sont donc un exemple typique de kame terraces. Les vouas, quant à eux, ne sont pas autre chose que des kettles, dépressions creusées par des masses de glace détachées du glacier, emprisonnées dans les matériaux graveleux et ayant fondu sur place.

Le glacier rhodanien fondant, le lac de barrage s'abaissait progressivement étageant ainsi les terrasses entre 730 m et 420 m d'altitude.

Si le lac, alimenté par la Dranse, a été de loin le plus important, d'autres lacs de barrage ont fonctionné, en particulier au Sud du Mont de Boisy, dans la région de Bons, ainsi que vers Douvaine et Chens-sur-Léman.

Le temps de formation des terrasses de Thonon est estimé à 5 - 6 000 ans (de 16 000 à 11 000 ans B.P.). Les fossiles y sont rares, quelques morceaux de bois et une dent de mammoth trouvée à la carrière Roch, donnant par le ^{14}C un âge de 14 000 ans B.P. (B. BLAVOUX, 1971).

7.2. - Formation des crêtes morainiques.

Pendant le retrait würmien, le glacier et ses langues adjacentes ont déposé sur leurs marges latérales des vallums, qui, comme les terrasses s'étagent en altitude et permet de définir des groupes sensiblement contemporains. Ces moraines latérales se sont déposées pendant un arrêt de fonte glaciaire, mais dont la durée ne doit pas être très grande. On ne peut pas dire que chaque groupe de vallum correspond à un stade de stationnement prolongé.

7.3. - Formation des chenaux.

Les chenaux actuellement visibles ont eu diverses fonctions. Ils ont permis un écoulement des eaux de fonte latéralement au glacier, la communication entre les divers lacs et l'amenée de matériaux de construction des terrasses. Entre autres, on peut relier les chenaux de Maugny-Cursinges-Perrignier avec la terrasse du Petit Lieu et le Chenal de Brens-Machilly avec les terrasses d'Annemasse.

7.4. - Schéma de mise en place des dépôts de retrait (figure 28).

Plusieurs schémas peuvent être avancés pour la mise en place des différents dépôts, mais tous sont basés sur le même principe.

Lors de la fonte, le glacier dépose sur son bord latéral un ou des vallums morainiques. Les eaux de fonte descendant des Préalpes se déversent dans un lac latéral au glacier. Les sédiments transportés par celles-ci se sédimentent donnant une terrasse deltaïque. D'où, dans le schéma le plus simple, mais le moins courant, un ou des vallums latéraux seront contemporains d'une terrasse (figure 29.1). La fonte s'accroissant, le glacier déposera un autre vallum topographiquement plus bas, la surface du lac suivra l'abaissement du glacier, mettant à l'air libre la première terrasse, tandis qu'une seconde s'édifiera à une altitude plus basse (figure 29.2).

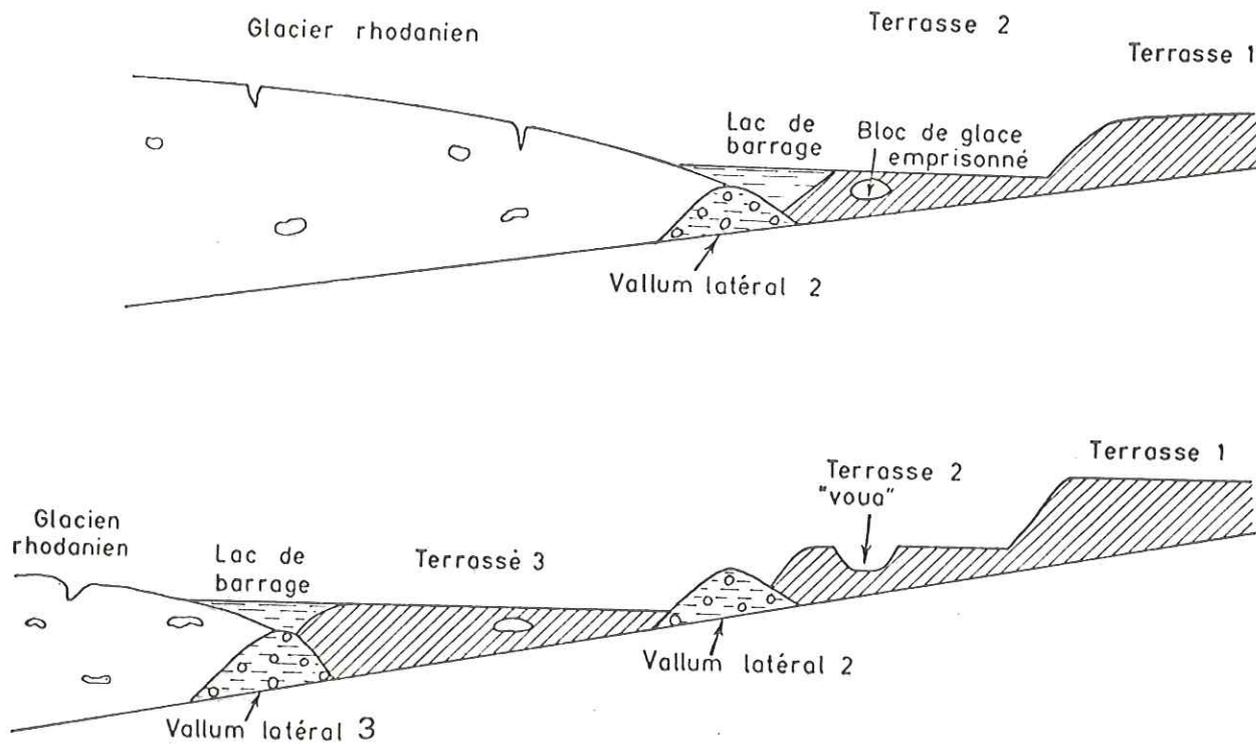


Fig. 28 - Schéma théorique montrant la mise en place des dépôts glaciaires et deltaïques pendant le retrait du glacier rhodanien.

Lors de la fonte, un lac de barrage s'installe en bordure du glacier. Les ruisseaux descendant des Préalpes, ainsi que les eaux de fonte, charrient des matériaux gravo-sableux qui donnent une sédimentation deltaïque (Terrasse T_1 puis T_2).

Le glacier, quant à lui, dépose des moraines latérales (V_2) contemporaines des terrasses T_2 . Du glacier se détachent des masses de glace, qui sont emprisonnées dans les alluvions deltaïques.

Lors d'un stade 3 du retrait, le glacier, topographiquement plus bas, laisse des vallums latéraux V_3 . Le niveau du lac baissant, des terrasses T_3 vont s'édifier à une altitude plus basse que les terrasses T_2 et pourront recouvrir les vallums de stade 2.

Sur la terrasse T_2 , les blocs de glace fondent, laissant à leur tour une dépression (vouas).

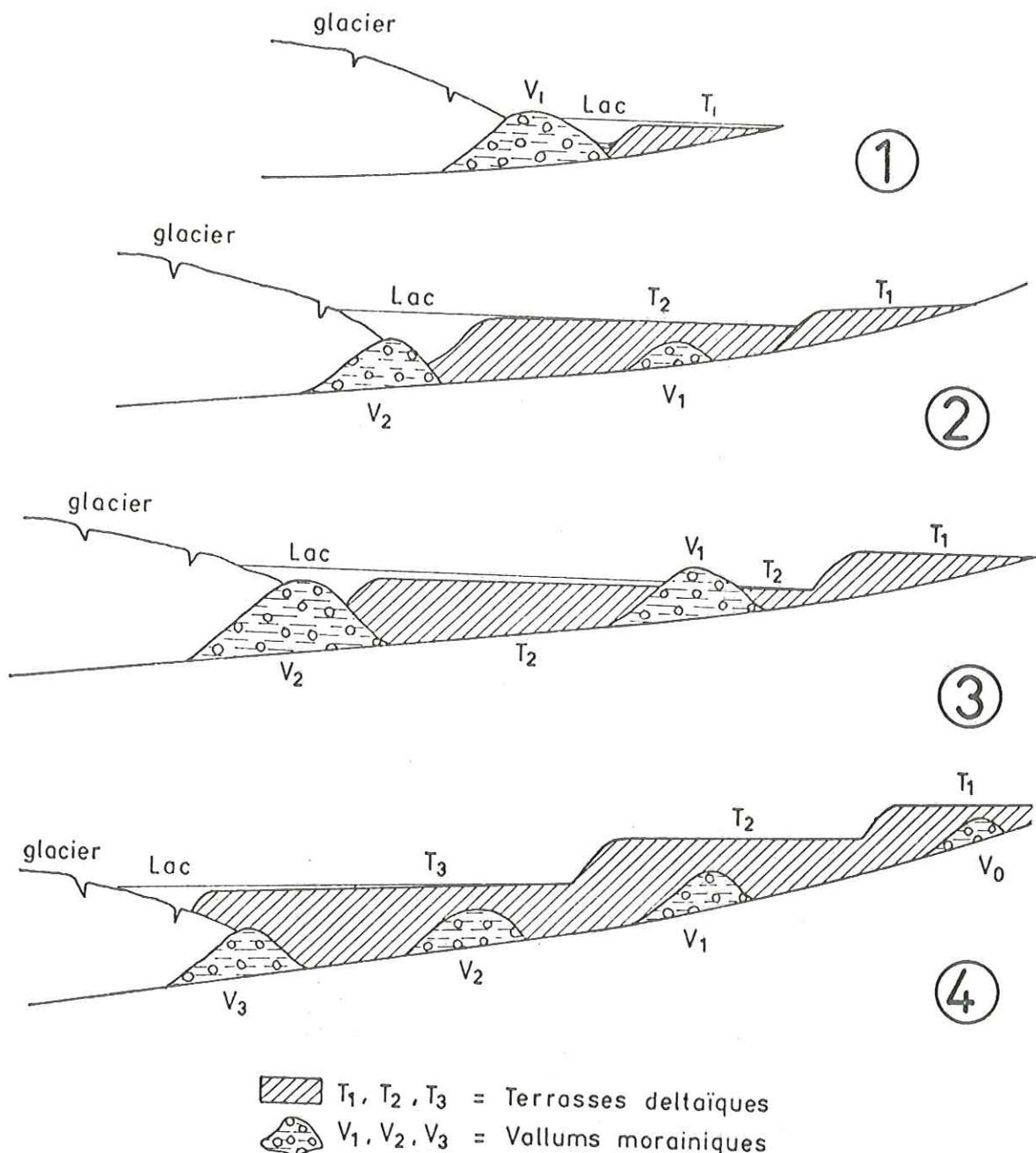


Fig. 29 — Représentation schématique des diverses dispositions des formations quaternaires rencontrées dans la région de Thonon (Bas-Chablais).

(1) Cas le plus simple mais le moins courant : A une terrasse ou plusieurs terrasses est lié un vallum unique ou un groupe de vallums, mais ce schéma peut se compliquer par suite de l'existence d'un deuxième stade donnant lui-même vallums et terrasses (2).

(3) Au pied d'une terrasse T_1 va se déposer un vallum latéral V_1 , lequel, dans un stade postérieur 2, sera recouvert en partie par une terrasse T_2 , contemporaine d'un vallum V_2 , topographiquement plus bas que le vallum V_1 . En surface, ne sera visible que le sommet de la crête morainique. Deux cas peuvent se présenter :

- le vallum peut être recouvert par des graviers de stade 3 et, dans la morphologie, on ne verra que l'image du vallum fossilisé ;
- le vallum pointe à travers les cailloutis et l'argile à blocs sera à l'affleurement.

On peut constater, sur le terrain, le passage latéral de cette configuration à celles correspondant soit au cas n° 1, soit au cas n° 3.

(4) Les crêtes morainiques latérales des stades successifs (1, 2, 3) sont remblayées sous les alluvions des terrasses T_1, T_2, T_3 et ne sont identifiables que par leur prolongement vers l'amont ou vers l'aval.

Mais le schéma se complique par le fait que les vallums peuvent être recouverts partiellement ou entièrement par les dépôts graveleux.

S'ils sont recouverts partiellement, on trouvera au front de la terrasse, un bombement argileux marquant le vallum (ferme de Genevray) (figure 29.3).

S'ils sont recouverts entièrement, le matériel sera graveleux, mais un bombement pourra marquer en surface l'image du vallum, si celui-ci n'est pas trop en profondeur. Si ce n'est pas le cas, on aura une terrasse plane, sans réplique superficielle du vallum (figure 29.4). C'est en suivant vers l'Ouest l'extension de ces terrasses que l'on voit les vallums se dégager à travers les terrasses, alors qu'au Sud de Thonon, ils sont généralement recouverts.

Après avoir vu le mécanisme de mise en place, décrivons maintenant les épisodes ayant marqué le retrait du glacier rhodanien pendant le Würm.

VIII - LE GLACIER RHODANIEN LORS DU RETRAIT WURMIEN (figure 30).

Dans le chapitre, un essai de corrélation va être tenté entre les dépôts glaciaires de retrait.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées, celle qui est exposée ici, paraissant la mieux adaptée à la région.

Avant de passer aux différentes phases du retrait, il faut préciser le sens dans lequel nous emploierons le terme de stade glaciaire. Il n'est pas pris ici, dans son sens général représentant un stationnement prolongé du glacier, mais dans le but de mieux faire ressortir les coupures que l'on peut constater dans la chronologie des dépôts.

Avant 16 000 ans B.P., date présumée des premiers dépôts des terrasses et des premiers signes de retrait du glacier rhodanien, ne devaient émerger que quelques sommets et crêtes du substratum (Mont Forchat, Signal des Voirons). Le glacier tapisse les cols et les vallées de moraines de fond (argile à blocs).

Au lieu-dit Ramble, à 1 120 m d'altitude, un fragment de conifère a été daté grâce au ^{14}C de 27 000 ans B.P. Ce gisement a été recouvert par une argile de fond bleue verte, très limoniteuse à éléments préalpins et cristallins (Interstade de Paudorf ?).

Entre les deux dates de 27 000 ans et de 16 000 ans B.P., la fonte du glacier commence et celui-ci descend, petit à petit, vers la plaine lémanique, laissant les placages morainiques de Foges et de la Cova sur le versant Nord des Voirons.

1) Stade 1 (figure 30.1).

Le premier signe que le glacier se situe dans la plaine lémanique est le dépôt du vallum latéral Rezier-Le Lyaud. Un lac se forme en bordure de la glace, alimenté par la Dranse et les ruisseaux descendant des Préalpes, avec formation de deltas. L'abaissement progressif du niveau lacustre est marqué par les terrasses de la Capite (730 m) et du Lyaud (640 m) entre lesquelles s'étagent trois terrasses de moindre importance.

A l'Ouest et au Sud-Ouest, les lambeaux de terrasses du Renard Bleu et de Chez Jordan seraient équivalentes de la Capite (apport local, car peu d'éléments cristallins) la terrasse d'Orcier-Maugny correspondrait à celle du Lyaud. Sur le plateau d'Evian, cet épisode se traduit par le dépôt des vallums de Larringes-Lyonnet.

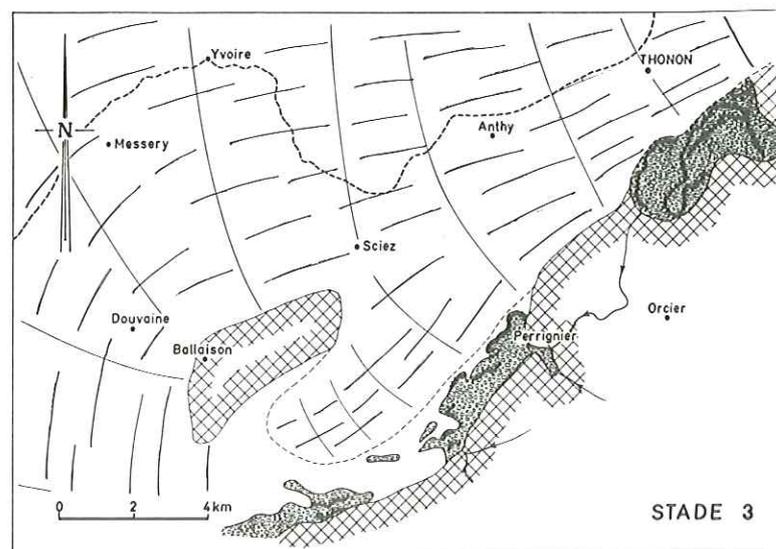
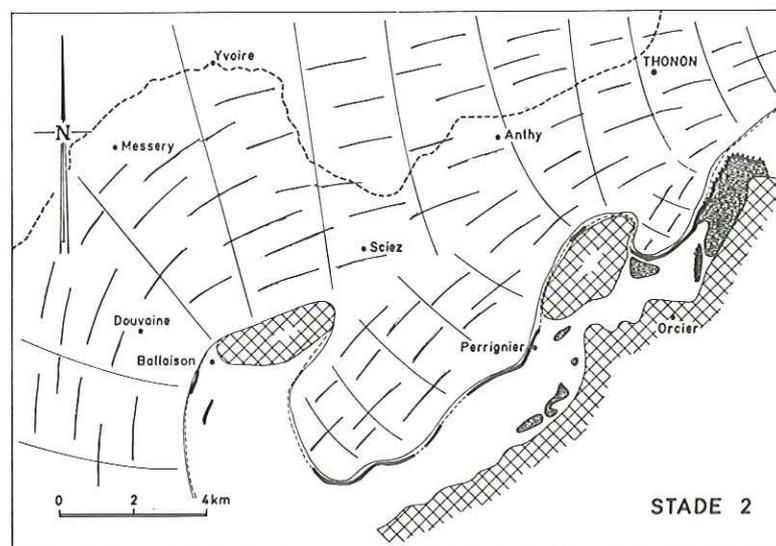
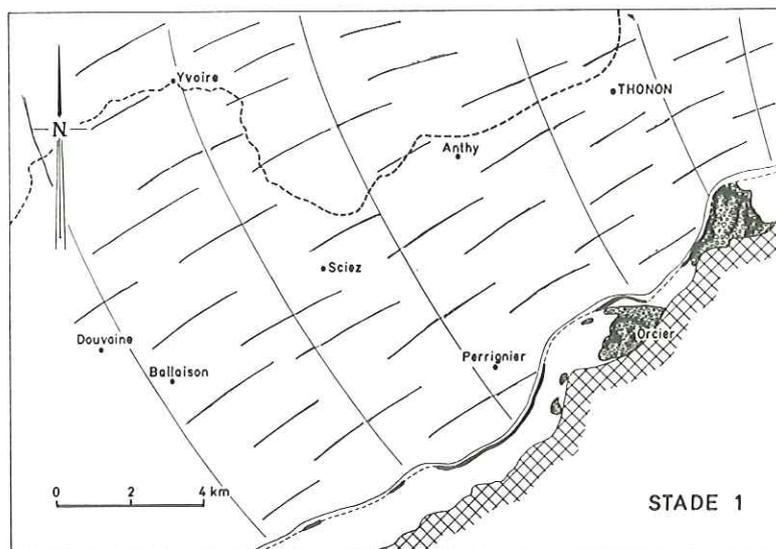
2) Stade 2 (figure 30.2).

Le glacier rhodanien se retire progressivement. Dans la zone comprise entre le Mont de Boisy et les Blaves, deux langues glaciaires subsistent : l'une derrière le Mont de Boisy, dépose le vallum latéro-frontal de Chez Moachon à Perrignier, et l'autre, derrière les Allinges, dépose le vallum Mâcheron-Les Blaves.

Le glacier rhodanien est toujours adossé à la colline de Ballaison (formation des vallums de Sénoche et Marcorens) ainsi que contre la colline des Allinges. A ce stade, correspond le dépôt des terrasses du Bois de la Cour et de la zone des Vouas, de Trossy, de Mâcheron et les lambeaux de terrasses du Villard, Draillant et Cervens-Pessinges.

3) Stade 3 (figure 30.3).

Cet épisode est à rapprocher du précédent. La fonte s'accroissant, les deux langues régressent (disparition de la glace se situant derrière la colline des Allinges). Au Sud du Mont de Boisy, la langue de glace se retire progressivement vers le Nord-Est, permettant le dépôt des terrasses de Perrignier, Bons, Langins.



Le corps du glacier rhodanien est toujours contre la colline de Commelinges, Ballaison, la colline des Allinges (vallum des Chavannes), ainsi que contre son prolongement au Nord-Est (ressaut des Chavannes).

Sur le plateau évianais, cet épisode correspondrait au dépôt des vallums de Champanges-Chez Crosson.

Simultanément à la formation de ces vallums, on assiste à la construction des terrasses de sur Lonnaz (600 m), de l'Ermitage (550 m) et de celle des Chavannes équivalente à l'Est de celle de Bons.

Le creusement du chenal Maugny-Perrignier, s'effectue encore à ce stade qui est daté de 14 000 ans B.P. (Dent de Mammouth de la carrière Roch).

4) Stade 4 (figure 30.4).

La glace a totalement disparu au Sud du Mont de Boisy. Le glacier rhodanien se trouve toujours contre le pied de la colline, mais nettement plus bas en altitude (450 m). Il s'est éloigné de la colline des Allinges, laissant les groupes de vallums de Mesinges-Rebaty de direction Nord-Est - Sud-Ouest à Est-Ouest. La rotation de l'axe des crêtes morainiques peut marquer le dégagement total de la glace de la zone Bons-Perrignier-Mont de Boisy.

Le creusement du chenal Brens-Machilly-Annemasse correspondrait à ce stade, ainsi que la formation des vallums latéraux de Chilly-Massongy-La Citadelle-Jouvernex-Margencel-Ferme de Genevray et des terrasses de la Versoie et de Lauzenette.

Dans la région d'Evian, les vallums de Publier-Neuvecelle seraient à relier à ce stade.

5) Stade 5 (figure 30.5).

Trois phases peuvent être distinguées :

a) Le glacier rhodanien se situe dans le Petit Lac, mais déborde sur la rive gauche, déposant les moraines d'Anières, Chevrens, Chens le Pont, Vereitre, Messery sur la retombée Nord-Ouest de l'anticlinal de Messery. Sur l'autre flanc, une langue glaciaire subsiste (vallum d'Aubonne) entre Aubonne et Ballavais.

b) La fonte s'accroissant, le glacier se retire petit-à-petit vers le Grand Lac, mais il recouvre largement la zone Messery - Yvoire déposant le vallum Messery - Essertz. Les crêtes morainiques des Culoz marquent la disparition de la langue Aubonne - Ballavais (vallum Chapponex - Coiry - Chevilly). Entre Sciez et Thonon, la limite des glaces est marquée par les moraines latérales de la Citadelle, Tuilière, Ronsuaz, Morcy.

Les terrasses de Genevray, Crête et Fontenailles s'édifient en bordure de la glace. Par le chenal de Margencel, Jouvernax, Choisy, puis par des circulations en bordure même du glacier, les matériaux sont amenés à la plaine de Douvaine, Chens-sur-Léman, Chens le Pont et la remplissent. Il en est de même pour la plaine de Veigy - Foncenex.

c) La langue glaciaire d'Aubonne - Ballavais a disparu ; le petit vallum de Contet semble en être le dernier témoin.

6) Stade 6 (figure 30.6).

Le glacier rhodanien quitte le Petit Lac, mais laisse sur la terre les vallums d'Yvoire - Excenevex, ainsi que celui d'Anthy - Marclaz. On a dépôt des terrasses du Funiculaire, puis de Concise à Thonon, de Séchex, de Sciez et du ruisseau des Blaches à Nernier.

7) Stade 7.

Ce dernier stade correspond aux moraines de Noville et Chessel, en Suisse. Le glacier a totalement quitté le Chablais. Une récurrence glaciaire, a eu lieu bien avant ce stade, décelable grâce aux témoins morainiques laissés sur quelques terrasses.

8) La morphologie ne change plus guère. On a formation des terrasses lacustres de 30, 10 et 3 m et du delta de la Dranse.

On peut résumer l'ensemble des phénomènes que nous venons de décrire dans le tableau 2.

IX - LES TEMPS POST-GLACIAIRES : DONNEES PALEOCLIMATOLOGIQUES ET PREHISTORIQUES

Ce paragraphe est un résumé d'une étude faite par Ph. OLIVE (1972) sur la région lémanique.

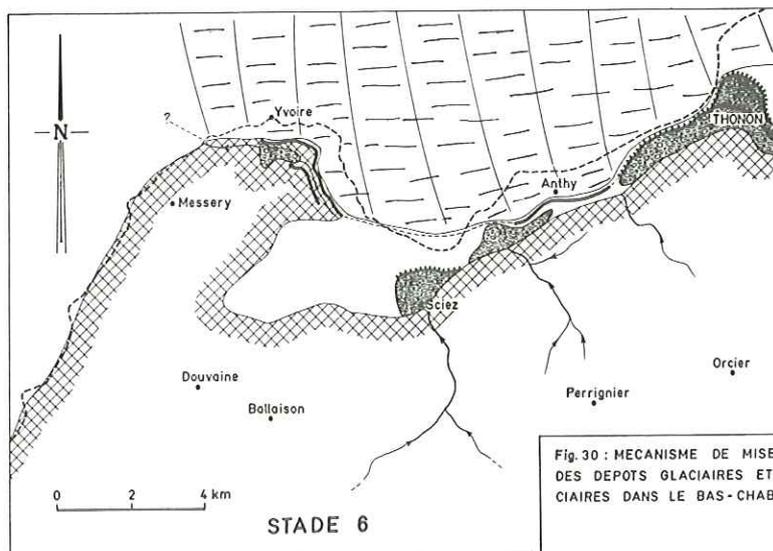
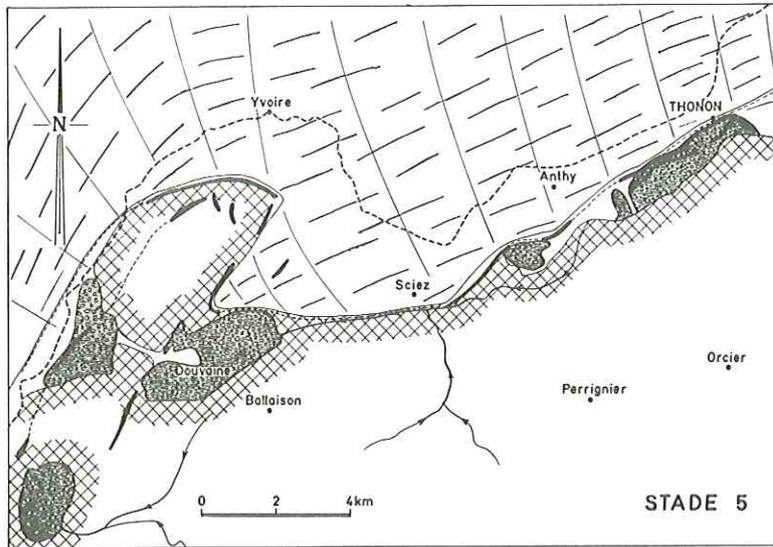
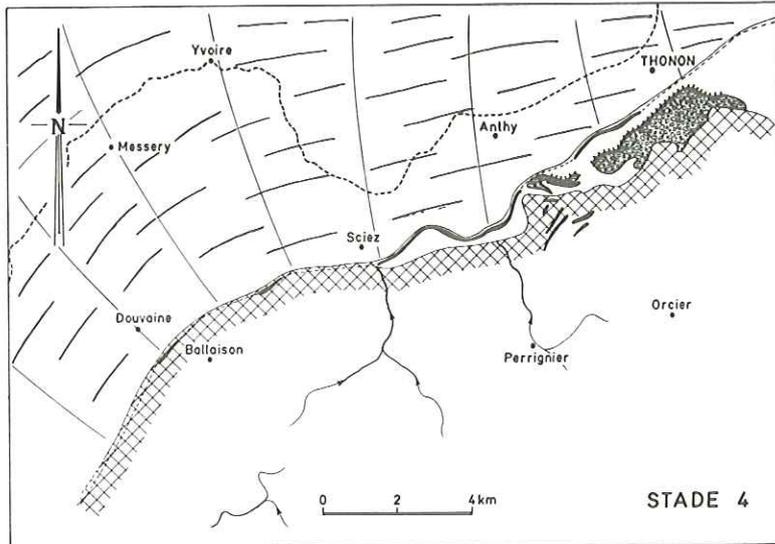


Fig. 30 : MECANISME DE MISE EN PLACE DES DEPOTS GLACIAIRES ET PERIGLACIAIRES DANS LE BAS-CHABLAIS.



AGES PRESUMES	STADES	TEMOINS MORAINIQUES	DEPOTS DELTAIQUES	ALTITUDES DES TERRASSES	PLATEAU D'EVIAN
> 16 000 ans B.P.		Argile à blocaux		---	---
	1	Vallum Rézier-Le Lyaud	La Capite Renard Bleu Le Lyaud-Orcier Maugny	730 m 640 m	Vallum Larringes-Lyonnet
	2	Vallum Moachon-Perrignier Vallum Macheron-Les Blaves Vallum Marcorens-Sénoche	Drailant Cervens Pessinges Bois de la Cour Trossy Macheron	630 m	Idem
14 000 ans B.P.	3	Vallum de Commelinges	Sur Lonnaz Perrignier Bons-Langin Ermitage Chavannes	600 m 570 m 550 m	Vallum Champanges-Chez Crosson
	4	Vallum Mesinges-Rebaty Vallum Chilly-Ferme de Genevray	Versoie Lauzenette	475 m	Vallum Publier-Neuvecelle-Maxilly
	5	Vallum Chevrens-Messery Vallum d'Aubonne Vallum Messery-Esserts Vallum de Culoz Vallum Chaponnex Chaponnex-Chevilly Vallum Citadelle-Morcy	Douvaine Chens Veigy Genevray Crête	430 m 460 m	
	6	Vallum Yvoire-Excenevex Vallum Anthy-Marclaz	Funiculaire Concise Sêchex Sciez Ruisseau des Blaches	420 m	
11 000 ans B.P.		Récurrence sur le Chablais Moraines de Noville-Chessel	---	---	Moraines de Bernex et Vacheresse

TABLEAU 2 - TABLEAU CHRONOLOGIQUE RESUMANT LES DIFFERENTS EPISODES GLACIAIRES DU BAS-CHABLAIS.

- Paléoclimatologie.

Les tableaux 3 et 4 résument la paléoclimatologie du post-glaciaire lémanique.

- Préhistoire.

Les premières implantations humaines datent du tardi-glaciaire, avec des abris sous écoulement (Homme de Veyrier au pied du Salève - Magdalénien). L'outillage est en pierre, ainsi qu'en os et ramure de renne.

Au Mésolithique, le cerf se substitue au renne. Le Néolithique (5 000 ans B.P.) est caractérisé par l'apparition de la céramique et du polissage de la pierre. Dans le bassin du Léman, on a les civilisations suivantes :

Néolithique final	Céramique cordée et céramique campaniforme
Néolithique récent	Horgen
Néolithique moyen	Chasséen et Cortaillod

A l'âge du Bronze, on peut distinguer les civilisations suivantes :

Bronze final	Civilisation des Champs d'Urnes
Bronze moyen	Civilisation des Tumulus du Bronze
Bronze ancien	Civilisation du Rhône

Les cités lacustres ou palafitiques datent de cette époque (entre 5 000 et 3 000 ans B.P.). On peut citer celles de Genève, Collonges, Anières, Hermance, Chens-sur-Léman, Tougues, Nernier, Excenevex, Coudrée, Thonon. La figure 30 bis montre l'étagement des cités des différentes époques en liaison avec l'altitude du plan d'eau et du climat.

PHASES DU TARDI-GLACIAIRE	AGES APPROXIMATIFS (en années B.P.)	PHASES PALEOSYLVIQUES (d'après J. Sauvage, 1969)	CLIMATS
Younger Dryas	de 10 000 à 11 000	Recrudescence du bouleau et régression du pin	Refroidissement
Alleröd	de 11 000 à 12 000	Pin dominant et bouleau	Réchauffement
Older Dryas	vers 12 000	Argousier dominant	Refroidissement
Bölling	de 12 000 à 13 000	Pin dominant	Réchauffement
Oldest Dryas	de 13 000 à 16 000	Armoise dominante	Phase froide

TABLEAU 3 - PALEOCLIMATOLOGIE DU TARDI-GLACIAIRE LEMANIQUE.

PHASES DU POST-GLACIAIRE	AGES APPROXIMATIFS (en années B.P.)	PHASES PALEOSYLVIQUES (d'après J. Sauvage, 1969)	CLIMATS
Actuel	depuis 2 500	Forêt diversifiée Recrudescence du pin	Plus sec
Sub-Atlantique		Forêt diversifiée (chêne, pin, sapin, épicéa, noyer)	Humide et plus froid
Sub-Boréal	de 2 500 à 5 000	Sapin et chêne	Chaud et sec
Atlantique	de 5 000 à 8 000	Chênaie mixte (orme, chêne, tilleul)	Humide et chaud (<i>optimum</i>)
Boréal	de 8 000 à 9 000	Pin et coudrier	Sec et moins froid
Pré-Boréal	de 9 000 à 10 000	Pin dominant	Sec et froid

TABLEAU 4 - PALEOCLIMATOLOGIE DU POST-GLACIAIRE LEMANIQUE.

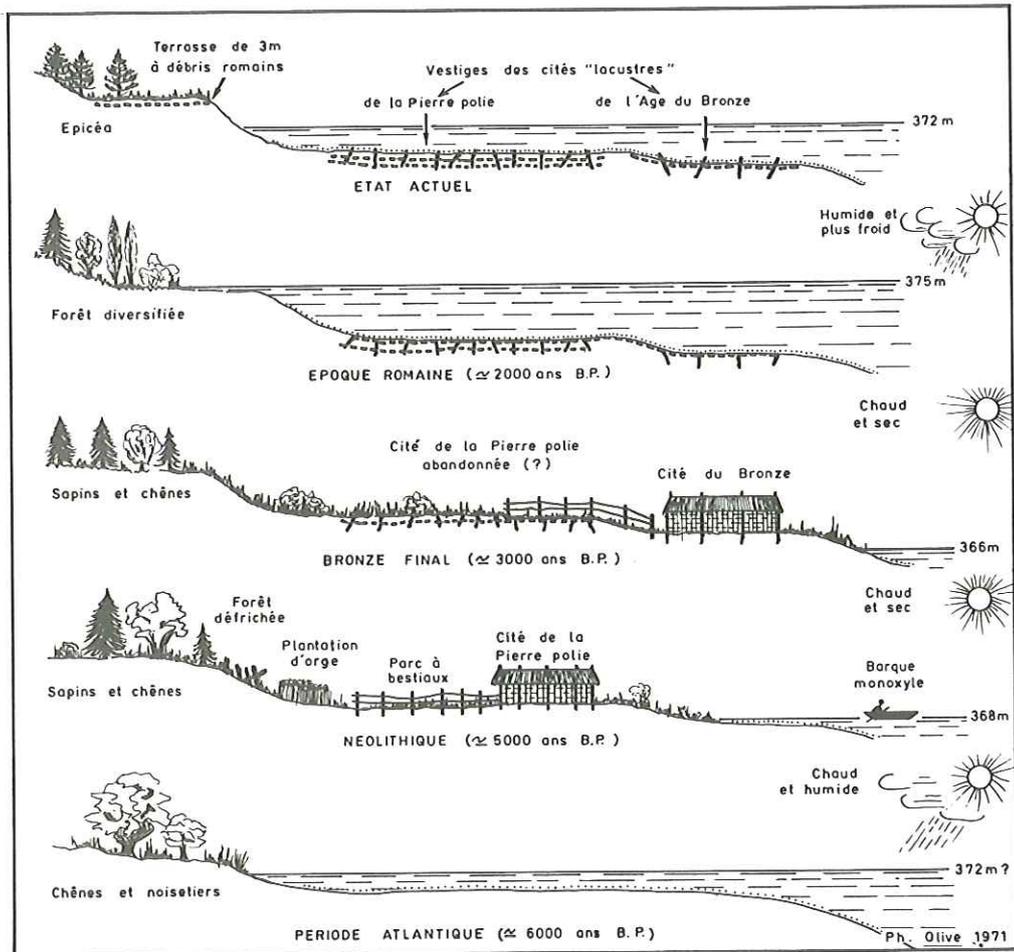


Fig. 30bis

10) Conclusion à l'étude géologique.

Dans cette première partie, il a été tenté d'approfondir nos connaissances géologiques sur la région de Douvaine.

Pour le substratum, l'étude de terrain n'a apporté que peu de faits nouveaux. Seule, une corrélation entre substratum et morphologie glaciaire a permis de positionner les différentes unités structurales dans la région Bons-en-Chablais-Douvaine-Thonon, ainsi que sur le plateau d'Evian.

La campagne de terrain n'ayant donné que peu de résultats, il a été nécessaire d'utiliser les données de géophysique profonde (Campagnes de prospection pétrolière et campagnes de géophysique sur le Lac Léman), ainsi que les carottages des sondages d'Evian.

Une synthèse a été tirée du regroupement de ces travaux, mettant en évidence :

- La continuation de l'axe anticlinal molassique du Mont de Boisy vers l'Est, en direction de Thonon et d'Evian.
- L'influence sur toute la région de la tectonique cassante jurassienne (Failles de type Saint-Cergues).
- La prolongation vers le Sud de l'accident de Pontarlier (J.P. VERNET et al) décalant l'anticlinal de Messery et sa possible existence entre la Dranse et Evian en affectant la molasse autochtone.

La deuxième grande partie a été l'étude du quaternaire. Les études lithologiques, cartographiques, sédimentologiques et morphologiques ont donné les résultats suivants :

- Une superposition assez nette existe entre les axes structuraux et les directions et positions des vallums.
- Des surcreusements importants se rencontrent au niveau des parties basses du substratum (surtout sur le plateau d'Evian). Ceux-ci sont remblayés actuellement par des dépôts glaciaires importants. Il n'est pas exclu que dans le fond de ces anciennes vallées, existent des lambeaux de terrains, des glaciations ultérieures (Riss) tels qu'il s'en voit dans la vallée de la Dranse.
- Les relations étroites liant les terrasses fluvioglaciaires, les chenaux ainsi que les vallums morainiques, ont permis d'établir une chronologie, qui, aussi schématisée soit-elle, permet une meilleure compréhension

dans la mise en place des formations glaciaires de la fin du Würm. Mais plusieurs points restent encore à éclaircir : les sens d'apports des graviers des terrasses, la part à donner à l'appareil glaciaire rhodanien et aux torrents préalpins. Seule, une étude sédimentologique fine amènerait des réponses à ces questions.

DEUXIEME PARTIE

DEUXIEME PARTIE

HYDROGEOLOGIE DU BAS-CHABLAIS

(1971 à 1974)

INTRODUCTION.

L'étude hydrogéologique du Bas-Chablais regroupe les résultats obtenus entre le 1er Janvier 1971 et le 31 Décembre 1974, dans le but de donner une approche du bilan hydrologique de la région à l'Ouest de Thonon-les-Bains et aussi pour poursuivre les travaux de E. SIWERTZ sur le bassin expérimental des Blaves. Quatre bassins versants ont été suivis, dont deux (bassins versants des Léchères et du Redon) pour connaître les apports chimiques au Lac Léman par des petits ruisseaux.

I - LES DIFFERENTS BASSINS VERSANTS (figures 31, 32 et 33).

D'Est en Ouest nous avons :

1.1. - *Le bassin des Blaves (figure 34).*

Limité à l'Est par la vallée de la Dranse, au Sud par le mont d'Hermone, à l'Ouest par la colline des Allinges et au Nord par des collines peu élevées (Bois de la Cour), ce bassin a été équipé en 1968 par le Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains et étudié de 1968 à 1970 par E. SIWERTZ.

Ses principales caractéristiques sont :

- Relief.

Une zone basse ou Plateau des Blaves couvrant 34 % du bassin et une zone haute (66 % du bassin).

La zone basse montre un relief de collines et terrasses très peu élevées, tandis que la zone haute correspond à un relief de montagne.

L'altitude minimale est de 578 m, l'altitude maximale de 1 411 m (Mont d'Hermone), l'altitude moyenne étant de 810 m.

- Végétation et activité humaine.

Le bassin des Blaves comporte 45 % de prairies, les 55 % restants étant composés de forêts principalement de conifères, de marais et de petits lacs.

La population compte 1 500 habitants pouvant doubler pendant les mois de Juillet et Août.

L'élevage est la principale activité (environ 800 têtes de bétail), les industries étant pratiquement absentes (4 scieries et 1 fruitière).

- Caractères morphologiques.

La superficie du bassin est de 16 km² pour un périmètre de 20 km. L'indice de compacité K est :

$$K = \frac{P}{2 \sqrt{\pi S}} = 0,28. \quad \frac{P}{\sqrt{S}} = 1,4$$

P = périmètre

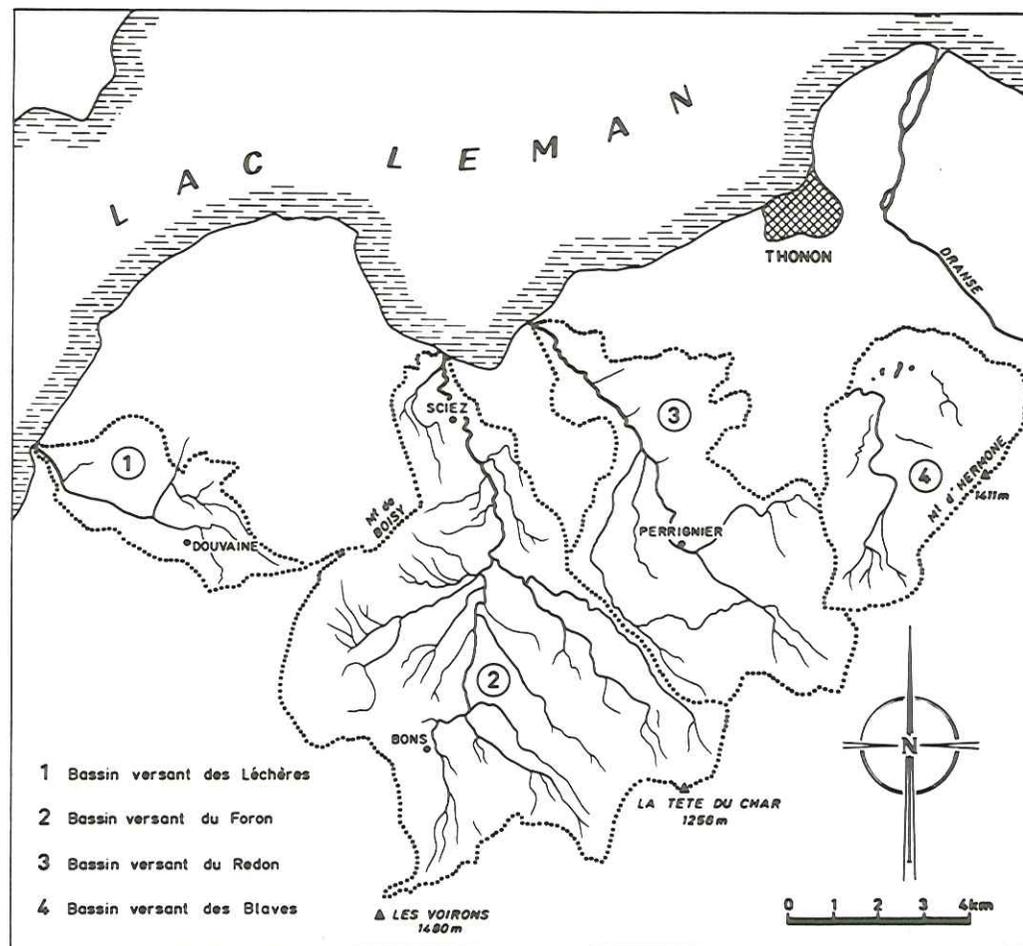
S = surface

Le rectangle équivalent a pour longueur 8 km et pour largeur 2 km.

La pente moyenne est de 0,104.

La répartition par tranches d'altitudes nous donne :

ALTITUDES (en m)	SUPERFICIES (en km ²)	%	VALEURS CUMULEES	% CUMULES
> 1 300	0,4	2,5	0,4	2,5
1 300-1 200	0,96	6	1,36	8,5
1 200-1 100	1,04	6,5	2,4	15
1 100-1 000	1,12	7	3,52	22
1 000- 900	1,52	9,5	5,04	31,5
900- 800	1,68	10,5	6,72	42
800- 700	2,72	17	9,44	59
< 700	6,56	41	16	100



RESEAU HYDROGRAPHIQUE ETUDIE

Fig. 31

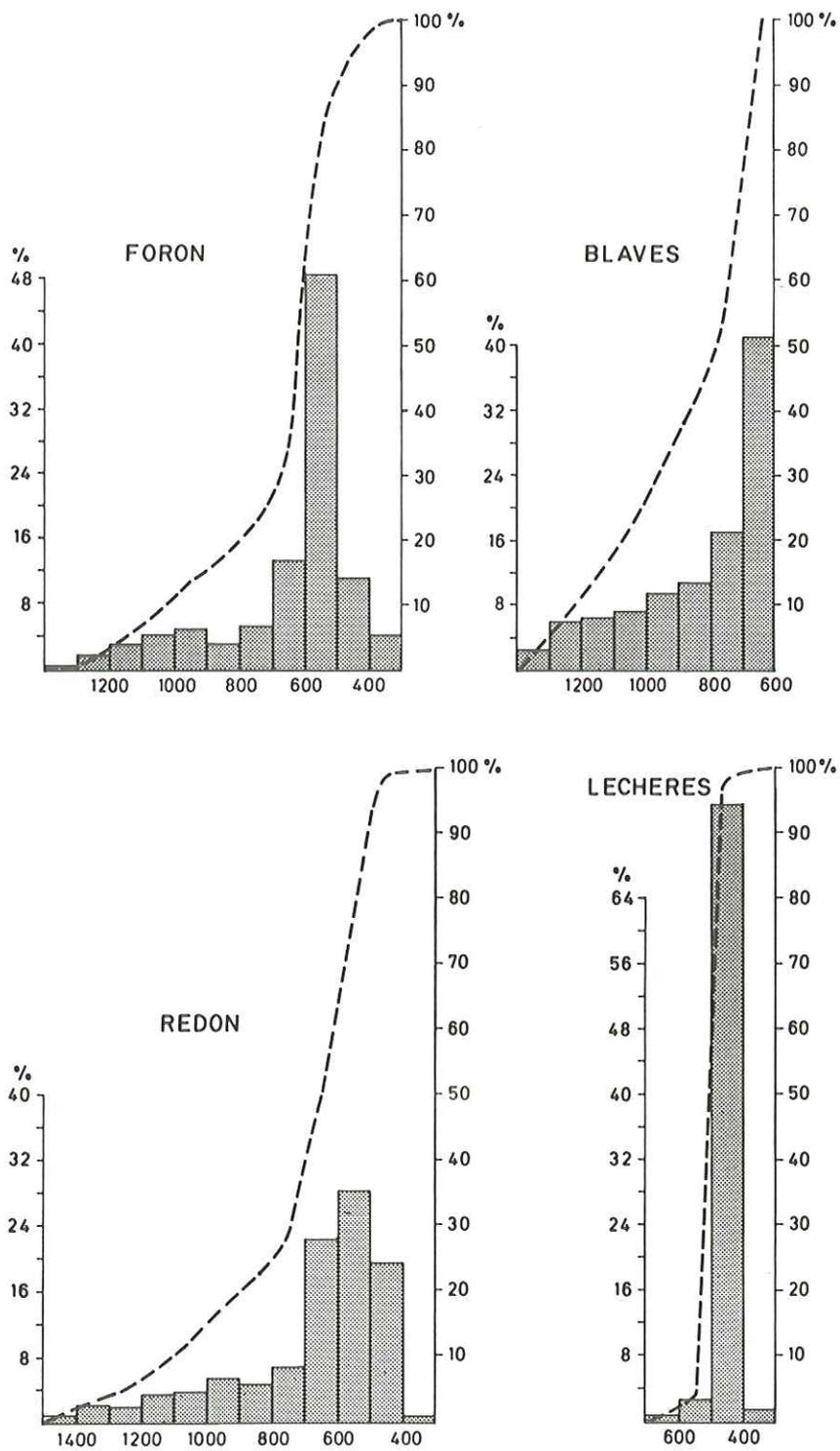


Fig. 32 : COURBE DE FREQUENCE ALTIMETRIQUE  ET COURBE HYSOMETRIQUE  DES BASSINS VERSANTS DU FORON, BLAVES, REDON, LECHERES.

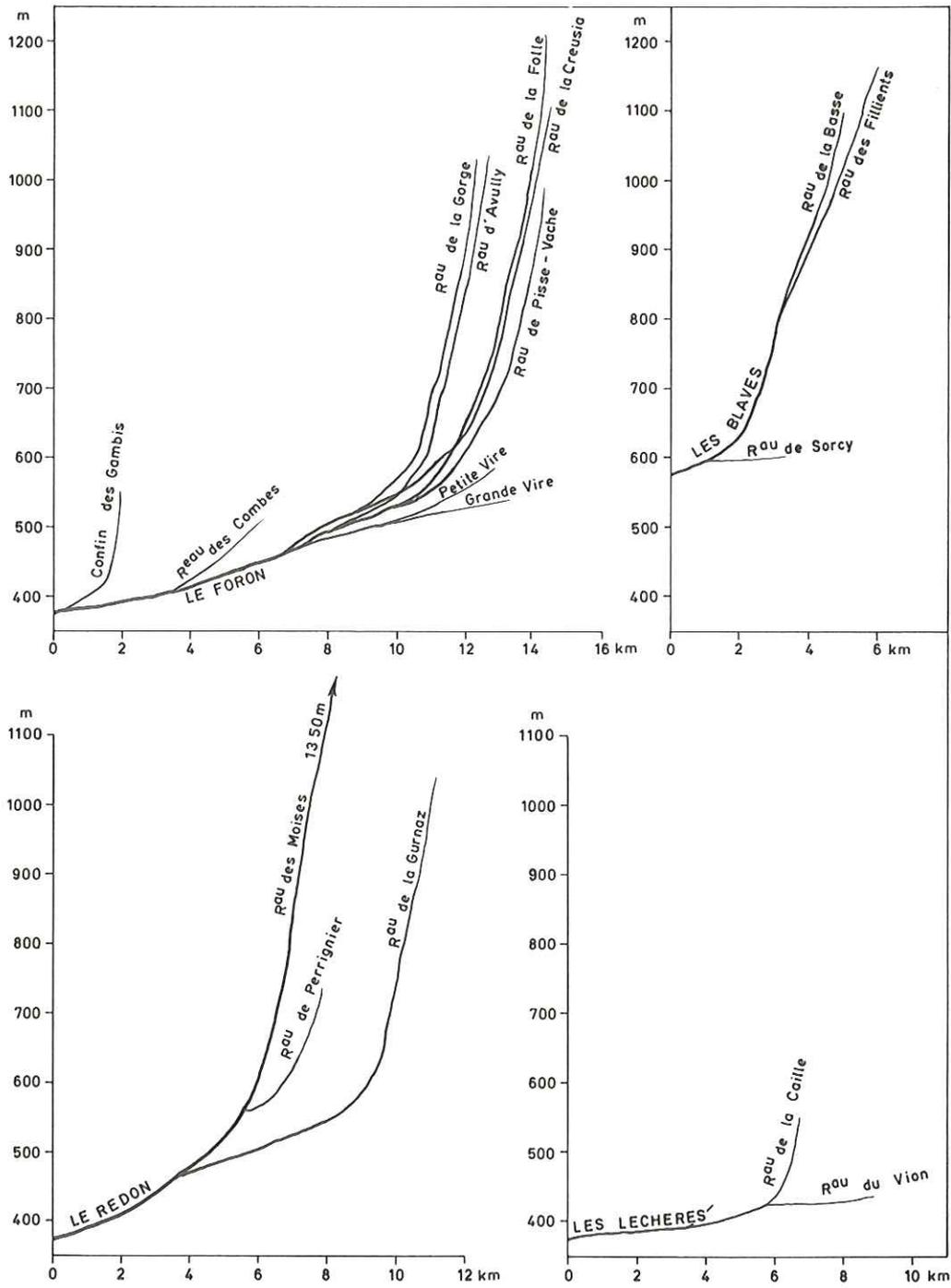


Fig. 33 : PROFIL EN LONG DES RUISSEAUX ET DE LEURS PRINCIPAUX AFFLUENTS

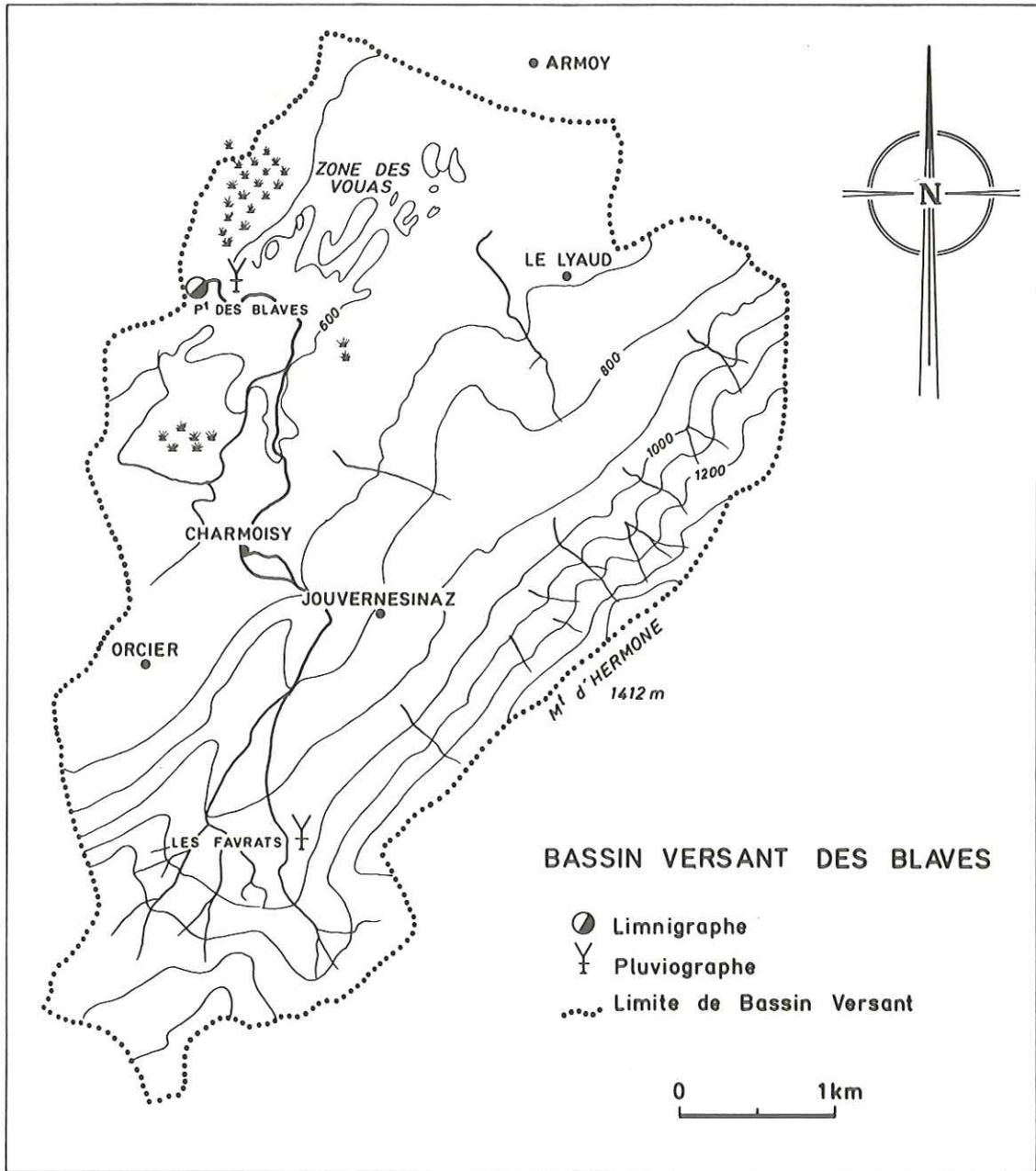


Fig. 34

On peut voir que 41 % de la superficie totale est comprise entre 600 et 700 m, ce qui correspond à la zone basse du bassin (plateau des Blaves).

- Caractéristiques géologiques du bassin.

La zone basse et la zone haute du bassin correspondent à deux caractères géologiques distincts :

- La zone basse fait partie des terrasses de Thonon, ensemble fluvio-glaciaire de dépôts deltaïques gravelo-sableux, formé lors du retrait du glacier rhodanien dans un lac de bordure. Ces terrasses sont accidentées par des dolines périglaciaires (kettles) et correspondent dans le bassin des Blaves à la zone des vouas (Voua Bénit, Voua de la Motte, etc...).

- La zone haute, quant à elle, représente le front de la nappe des Préalpes Médiannes formée en majeure partie de calcaires et marno-calcaires.

Sur le bassin se rencontre, du Nord au Sud, l'anticlinal de Charmoisy déversé vers le Nord-Ouest, le synclinal de Jouvernesinaz à coeur de Dogger et l'anticlinal symétrique du Mont d'Hermone formé de calcaire liasique. L'axe de cet anticlinal représente la limite Sud-Est du bassin versant.

La répartition des différents faciès est :

	graviers et sables des terrasses de Thonon : 38 %
Quaternaire	
	argile à blocs (moraine würmienne) : 34 %
Préalpes	
	gypse, marno-calcaire, calcaire : 28 %

- Profil en long du ruisseau des Blaves.

Le ruisseau des Blaves formé par le ruisseau de la Basse et le ruisseau des Fillients a une longueur de 6 km de sa source située à 1 160 m jusqu'au Pont des Blaves, fermeture du bassin. Entre sa source et Charmoisy, sa direction est Sud-Ouest - Nord-Est, puis jusqu'au Moulin d'Amphion Nord-Sud et ensuite Est-Ouest jusqu'au Pont des Blaves. Au Moulin d'Amphion, le ruisseau des Blaves reçoit en rive gauche le ruisseau de Sorcy.

1.2. - *Le bassin du Redon (figure 35).*

Le bassin du Redon, équipé depuis 1968, est limité au Nord par le Lac Léman, à l'Est par la colline des Allinges, au Sud par le front des Préalpes et à l'Ouest par des collines glaciaires (vallums, drumlins en général).

- Relief.

Comme le bassin des Blaves, on peut séparer deux zones de reliefs, au Sud les crêtes formant le front des Préalpes et à partir de 600 m d'altitude un plateau vallonné s'étendant en pente assez douce jusqu'au Léman.

L'altitude minimale est 375 m, altitude du lac, l'altitude maximale de 1 539 m au Mont Forchat, l'altitude moyenne 675 m.

- Végétation et activité humaine.

La prairie correspond à 53 % de la surface totale. La population est de 2 300 habitants, doublant elle aussi pendant Juillet et Août.

L'élevage est dominant (2 100 têtes de bétail) bien que les céréales soient assez bien représentées. A noter une culture intensive des framboises et cassis.

L'industrie est quand même représentée par des briqueteries, plastiques, fabriques de skis et fruitières.

- Caractères morphologiques.

La superficie du bassin est de 33 km² pour un périmètre de 22,4 km.

L'indice de compacité K est égal à 1,63.

La pente moyenne est de 0.078 et le rectangle équivalent a pour longueur 14,43 km et pour largeur 2,29 km.

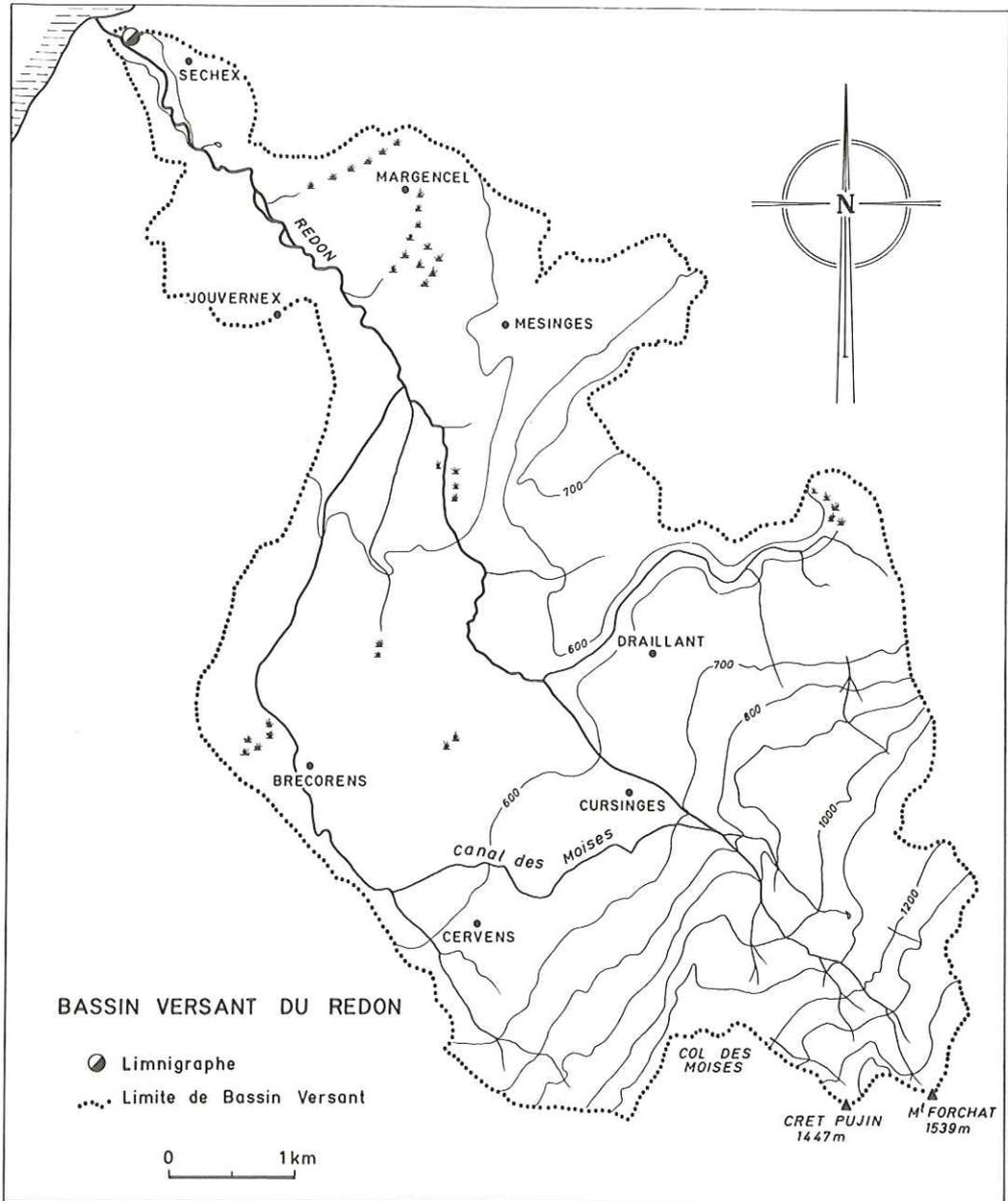


Fig. 35

La répartition par tranches d'altitude est :

ALTITUDES (en m)	SUPERFICIE (en km ²)	%	VALEURS CUMULEES	% CUMULES
> 1400	0,33	1	0,33	1
1400-1300	0,69	2,09	1,02	3,09
1300-1200	0,65	1,97	1,67	5,06
1200-1100	1,17	3,54	2,84	8,60
1100-1000	1,25	3,79	4,09	12,39
1000-900	1,79	5,42	5,88	17,80
900-800	1,47	4,46	7,35	22,26
800-700	2,25	6,82	9,6	29,08
700-600	7,39	22,39	16,99	51,47
600-500	9,31	28,21	26,3	79,68
500-400	6,47	19,6	32,77	99,28
< 400	0,23	0,7	33	99,98

On peut en déduire que 50,6 % de la superficie du bassin correspond à une tranche d'altitude comprise entre 500 et 700 m et 70,2 % entre 375 m (niveau du lac) et 700 m.

- Caractéristiques géologiques du bassin versant.

Le bassin versant du Redon est formé par trois unités structurales distinctes : la molasse (qui n'affleure pas, mais qui se situe à peu de profondeur (une trentaine de mètres), la nappe ultrahelvétique affleurant à la colline des Allinges, ainsi qu'au Château de la Rochette et Vaudalon. Cette nappe formée de grès et conglomérats sépare deux bassins distincts : au Sud, le bassin de Cervens, Pessinges, Maugny où le surcreusement glaciaire a été assez important. Au Nord, le bassin de Perrignier-Mésinges beaucoup moins surcreusé. Il est à noter, à la limite de ces deux bassins, à Brécovens, un sillon essentiellement graveleux de direction Nord-Est - Sud-Ouest.

La troisième unité structurale est la nappe des Préalpes.

On rencontre du Nord-Ouest au Sud-Est :

- L'anticlinal du Col de Cou (Trias à Lias).
- Le synclinal des Moïses (Dogger).
- L'anticlinal d'Orcier (Lias).
- Le synclinal des Favrats (Dogger).
- L'anticlinal du Mont Forchat (Trias Lias).

Le quaternaire est représenté par la moraine de fond (argile à blocs) et par la continuation vers l'Ouest des terrasses de Thonon.

La répartition lithologique est :

	graviers, sables : 19 %
Quaternaire	argiles à blocs : 66 %
Flysch	grès et conglomérat affleurant : 4 %
Préalpes	gypse, calcaire, marno-calcaires : 11 %

- Profil en long du Redon.

Le ruisseau du Redon est formé par la réunion du Ruisseau des Moïses et du ruisseau de la Gurnaz.

- Le ruisseau des Moïses prend sa source à 1 330 m d'altitude au Mont-Forchat et a toujours jusqu'à son embouchure au Lac Léman, une direction Sud-Est - Nord-Ouest. Une partie du ruisseau est dérivée par le canal des Moïses sur le ruisseau de la Gurnaz.

- Le ruisseau de la Gurnaz prend sa source à l'Est du Crêt Vernay à 1 040 m d'altitude, a une direction Sud-Est - Nord-Ouest jusque chez Bulaz où il oblique en direction Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest, pour se jeter dans le ruisseau des Moïses à 470 m d'altitude.

A Perrignier, le ruisseau des Moïses reçoit le ruisseau de Perrignier, dont la source est celle de Maugny, sortant à la base de la terrasse de Maugny.

1.3. - Le bassin du Foron (figure 36).

Le bassin du Foron a été équipé en Octobre 1973, par le Centre de Recherches Géodynamiques. Il est limité au Nord par le Lac Léman, à l'Est par le bassin versant du Redon, au Sud par le front des nappes (Ultrahelvétique et Préalpes), à l'Ouest par le Mont de Boisy.

- Relief.

Le bassin du Foron ressemble à celui du Redon avec une zone haute au Sud et un plateau s'inclinant de 700 à 400 m vers le lac. Par contre, le bassin est fermé à l'Ouest par le Mont de Boisy et par son prolongement au Sud-Sud-Ouest.

L'altitude maximale est de 1 480 m au Signal des Voirons, l'altitude minimale est de 375 m à l'embouchure du Foron dans le Lac Léman, l'altitude moyenne est de 625 m.

- Végétation et activité humaine.

La surface boisée est de 32 %, située entre 1 480 m et 700 m, mais aussi entre 5 et 600 m (Forêt de Planbois).

La population est de 4 400 habitants (à peu près 8 000 en été). L'élevage compte environ 2 600 têtes de bétail. L'industrie est peu développée sauf à Bons-en-Chablais (Salaisons, scieries, préfabriqués).

- Caractères morphologiques.

La superficie du bassin est de 56,9 km² pour un périmètre de 39,5 km.

L'indice de compacité K est de 1,47.

Le rectangle équivalent donne une longueur de 16,32 km et une largeur de 3,49 km.

La pente moyenne est de 0,06.

La répartition par tranches d'altitude est de :

ALTITUDES (en m)	SUPERFICIE (en km ²)	%	VALEURS CUMULEES	SOMME DES %
> 1300	0,01	0,02	0,01	0,02
1300-1200	0,96	1,69	0,97	1,71
1200-1100	1,68	2,95	2,65	4,66
1100-1000	2,34	4,11	4,99	8,77
1000-900	2,72	4,78	7,71	13,55
900-800	2,12	3,73	9,83	17,28
800-700	2,92	5,13	12,75	22,41
700-600	7,64	13,43	20,39	35,84
600-500	27,67	48,66	48,06	84,5
500-400	6,44	11,32	54,5	95,82
< 400	2,37	4,17	56,87	99,99

Comme dans les autres bassins, on peut s'apercevoir que 48,7 % de la superficie totale est comprise entre 500 et 600 m et 64 % entre 375 m (Lac Léman) et 600 m.

- Caractéristiques géologiques du bassin.

Ce bassin versant est caractérisé par la grande prédominance de l'argile à blocs quaternaire, ne laissant que rarement apparaître le substratum. Celui-ci correspond :

- A la molasse autochtone du plateau suisse : écaille du Mont de Boisy.

- A la nappe du flysch ultrahelvétique : série des Voirons et conglomérat du Vouan, séries monoclinales s'enfonçant sous le quaternaire entre Bons-en-Chablais et Avignens.

- A la nappe des Préalpes calcaires, très peu représentée par la continuation au Sud - Sud-Ouest de l'anticlinal du Col de Cou.

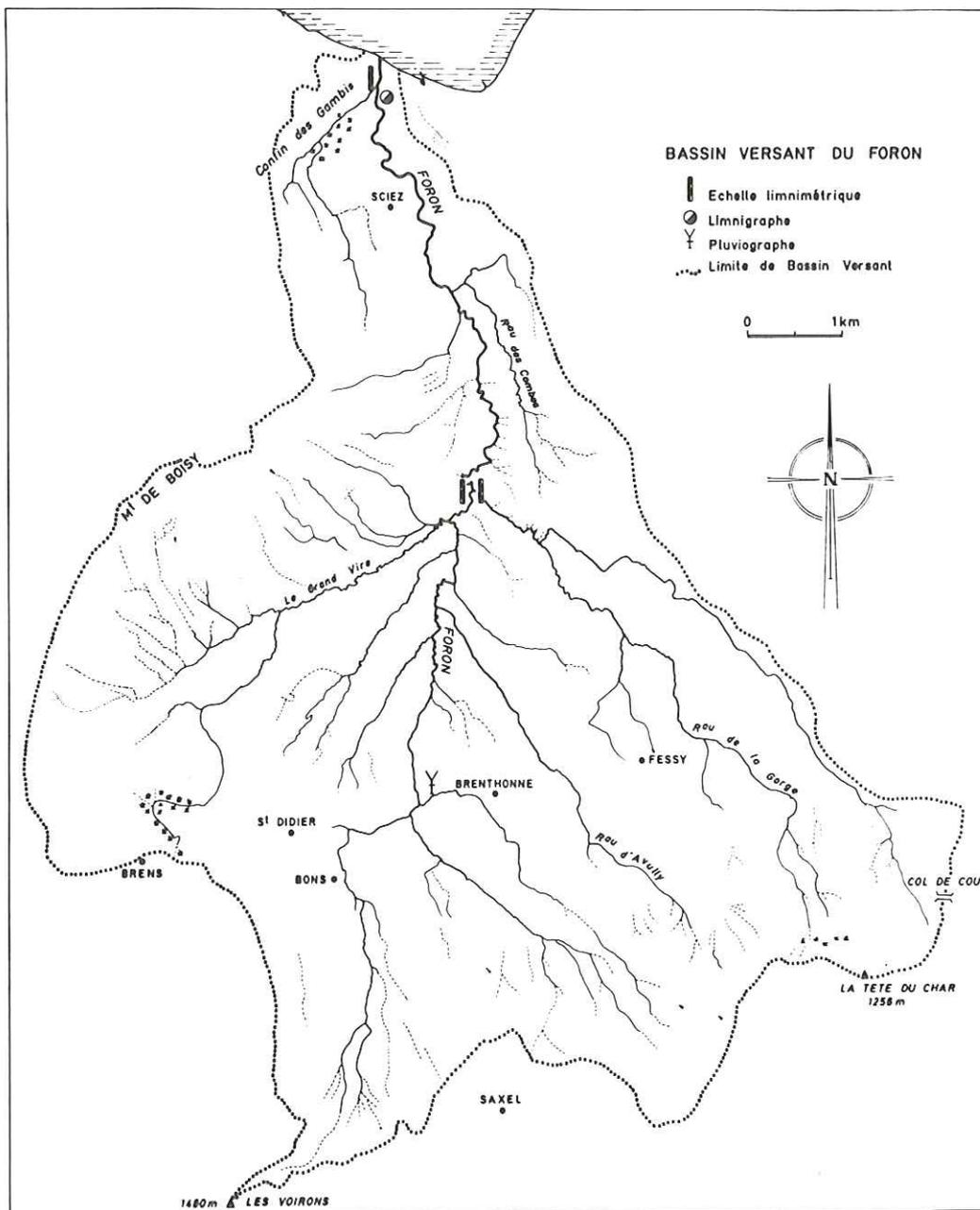


Fig. 36

La répartition lithologique est :

	graviers et sables : 9 %
Quaternaire	argiles à blocs : 69 %
Molasse	grès et marnes : 5 %
Flysch	grès, conglomérat : 16 %
	gypse, calcaire
Préalpes	1 %
	marno-calcaires

- Profil en long du Foron.

Le Foron est la réunion des ruisseaux de La Gurnaz, de la Gorge, d'Avully, de la Folle, de Pisse Vache, de la Creusia, des Gotaies, du Passage, de la Grande Vire, de la Combe et du Confin des Gambis.

Le ruisseau de la Folle que l'on peut considérer comme le ruisseau le plus important (14,5 km de long) prend sa source sous le Signal des Voirons à 1 210 m d'altitude. Sa direction est à peu près Nord-Sud.

Mis à part les ruisseaux des Gotaies, du Passage de La Grande Vire, du Confin des Gambis et des Combes qui ont un débit assez faible et qui se situent entre 400 et 600 m d'altitude, les autres cours d'eaux descendent tous des Préalpes et présentent un assez fort débit.

L'approche du bilan hydrologique pour les années 1971, 1972 et 1973 sera faite sur les bassins des Blaves et du Redon (superficie totale : 49 km²) et pour l'année 1974, sur les Blaves, Redon et Foron (superficie totale égale à 106 km²).

La description qui va suivre, concerne le ruisseau des Léchères, étudié seulement au point de vue chimique.

1.4. - *Le bassin des Léchères (figure 37).*

Le bassin des Léchères est situé au Nord-Ouest du Mont de Boisy et est allongé suivant une direction sensiblement Nord-Ouest - Sud-Est. Ces limites sont :

- Au Nord-Ouest, le Petit Lac.

- Au Nord-Est, la limite passe par des collines peu élevées (450 m d'altitude), formées par des formations essentiellement glaciaires (drumlins, vallums).

Le Mont de Boisy ferme le bassin au Sud-Est.

- Au Sud-Ouest, la limite est beaucoup plus floue, car elle passe dans les plaines de Douvaine et de Vereitre pratiquement sans reliefs.

- Relief.

L'altitude maximale est de 680 m, l'altitude minimale 375 m, l'altitude moyenne 510 m.

- Végétation et activité humaine.

Les forêts représentent 22 % de la superficie et sont essentiellement des forêts de feuillus.

La population est de 2 100 habitants. L'élevage est prépondérant (environ 1 800 têtes de bétail). L'agriculture est représentée par la polyculture, mais aussi la vigne sur les côteaux du Mont de Boisy (vin de Crépy). L'industrie se situe à Douvaine avec une fonderie, fromagerie et embouteillage de vin.

- Caractères morphologiques.

La superficie du bassin est de 10,26 km² pour un périmètre de 17,3 km.

L'indice de compacité K est égal à 1,51.

Le rectangle équivalent a pour longueur 7,21 km et pour largeur 1,42 km.

La pente moyenne est de 0,04.

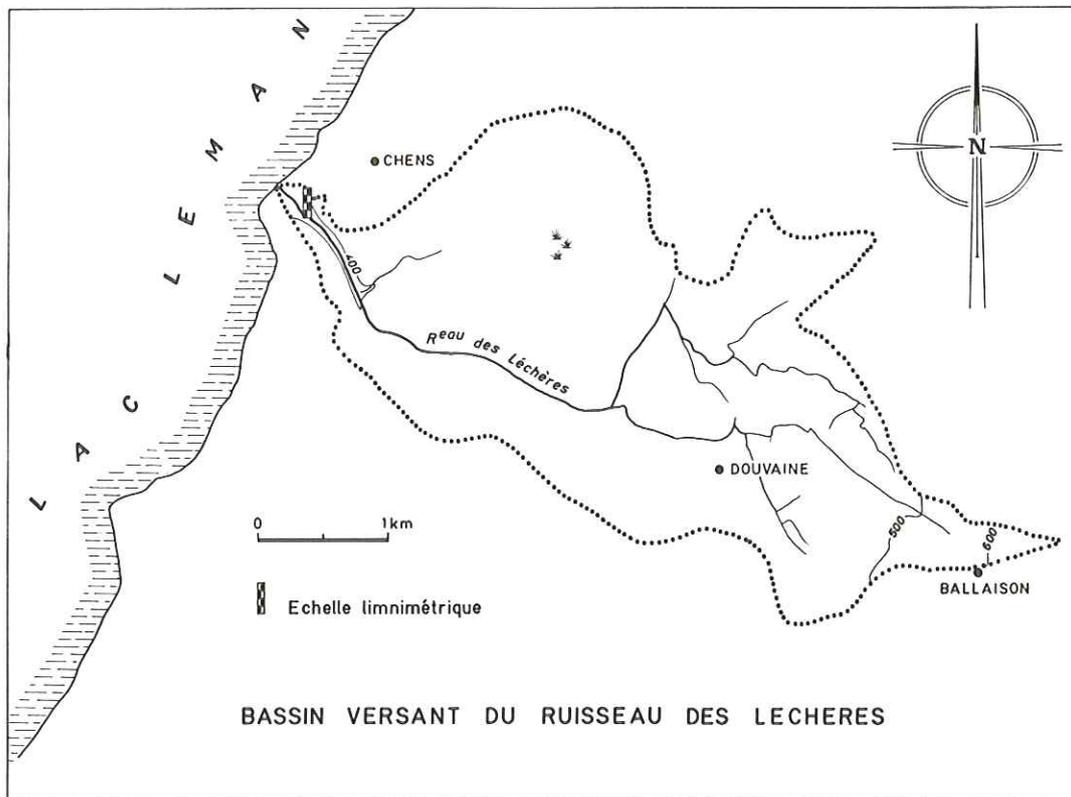


Fig. 37

La répartition par tranches d'altitude est :

ALTITUDE (en m)	SUPERFICIE (en km ²)	%	VALEURS CUMULEES	% CUMULES
> 600	0,08	0,78	0,08	0,78
600-500	0,34	3,31	0,42	4,09
500-400	9,7	94,54	10,12	98,63
< 400	0,14	1,36	10,26	99,99
Σ	10,26			

On voit que 94,5 % de la superficie est compris entre 400 et 500 m. Ceci correspond presque entièrement à la plaine de Douvaine et Vereitre.

- Caractéristiques géologiques du bassin.

Le substratum de ce bassin versant est essentiellement molassique, mais celui-ci est recouvert par un épais manteau quaternaire et n'affleure qu'au Mont de Boisy.

La répartition lithologique donne :

	graviers, sables : 42 %
Quaternaire	
	argiles à blocs : 57 %
Molasse	
	grès et marnes : 1 %

- Profil en long.

Le ruisseau des Léchères est la réunion de deux petits ruisseaux : le ruisseau de la Caille (source à 550 m d'altitude) et le ruisseau du Vion.

Le ruisseau de la Caille a une direction constante de Sud-Est - Nord-Ouest, tandis que celle du Vion est Nord-Est - Sud-Ouest.

II - APPAREILLAGE UTILISE.

2.1. - *Bassin des Blaves.*

- 1 limnigraphe (OTT R 16) : Pont des Blaves : 578 m
- Station météorologique des Blaves (600 m).
 - 1 pluviographe chauffant CERF 2 000 cm²
 - 1 bac évaporation 1 m²
 - 1 évaporomètre Piche
 - 1 barographe
 - 1 thermographe
- Postes météorologiques :
 - 1 pluviographe CERF 2 000 cm² aux Favrats (930 m)
 - 1 pluviomètre à La Capite (720 m) et Orcier (650 m) enlevé en 1972
 - 1 nivopluviomètre totalisateur à Très-le-Mont (1 380 m)

2.2. - *Bassin du Redon.*

- 1 limnigraphe à Séchex (385 m)

2.3. - *Bassin du Foron.*

- 1 limnigraphe (OTT R 16) à Coudrée (380 m)
- 3 échelles limnimétriques sur le ruisseau de la Gorge (468 m), le Foron (472 m) et sur le Confin des Gambis (380 m)
- 1 pluviographe chauffant CERF 2 000 cm² à Verayon (550 m)

2.4. - *Bassin des Léchères.*

- 1 échelle limnimétrique

2.5. - *Autres stations météorologiques, dont les résultats ont servis à l'étude.*

- Station de Thonon-Les-Bains - Centre de Recherches Géodynamiques (385 m).

- 1 pluviographe chauffant CERF 2 000 cm²
- 1 thermographe RICHARD
- 1 thermo-hygro-barographe CERF
- 1 bac évaporation ORSTOM 1 m²
- 1 évaporomètre PICHE
- 1 hygrographe RICHARD

- Station de Genève-Cointrin (430 m).

Relevés communiqués par le Service de Météorologie Suisse pour la pluviométrie, direction et durée des vents.

- Station de Thonon-les-Bains - Rives.

Relevés communiqués pour :

- la pluviométrie
- la température
- l'ensoleillement

- Station de Larringes (Bassin d'Evian).

- pluviométrie
- température

- Station pluviométrique du réseau de la Météorologie Nationale : Habère-Poche (1 098 m), Voiron Ermitage (1 400 m), Annemasse (450 m), Thonon ville (410 m).

- Stations pluviométriques du réseau météorologique suisse : Nyon (390 m), Jussy (465 m), Genève-Cointrin (430 m).

III - CLIMATOLOGIE.

Les observations climatologiques regroupent les résultats des années 1971 à 1974 (1er Janvier 1971 au 31 Décembre 1974).

3.1. - *Les vents.*

Les observations relatives au vent ont été fournies par le Service Météorologique suisse. Il a été transmis la durée et la direction des vents mensuelles pour la station Genève-Aéroport de Cointrin. Les résultats sont donnés par les figures 38 et 39 et par la rose des vents (figure 40) pour la période 1971-1974.

En 1971 et 1972, les vents dominants sont de direction N 240°, N 30°, N 60°, N 210°.

Les vents moyens sont de direction N 270°, N 0°, N 90°.

Pour 1973 et 1974, les vents dominants ont une direction N 60°, N 240°, N 270°, les vents de moyenne dominance étant N 30°, N 90°, N 210°.

En 1971, les calmes représentent 12 % du total, en 1972 : 14 % en 1973 : 18 % et en 1974 : 24 %.

La moyenne 1971-1974 montre l'importance des directions N 240°, N 60°, N 30°, N 270° et N 210°, les calmes étant de 17 %.

On voit donc la prédominance des vents de Nord-Est appelés dans la région la Bise et du Sud-Ouest appelés le Vent. Les précipitations quant à elles sont liées aux vents de secteur Sud-Ouest.

3.2. - *L'hygrométrie (tableau 5).*

L'humidité relative de l'air, enregistrée à Thonon-C.R.G. donne une valeur moyenne de 76,2 % pour la période 1971-1974. Les variations durant l'année ne sont pas supérieures à 6 %. Il est surtout à noter la forte humidité de l'année 1974 (moyenne annuelle 83,9 %) avec des maxima en janvier et décembre.

Les valeurs sont sensiblement identiques à celles trouvées autour du Lac Léman (Genève : 76 % ; Lausanne : 78 %) (MERCANTON, 1952).

Ceci est dû à l'effet tampon du Lac Léman.

3.3. - *Les températures.*

3.3.1. - *Les températures moyennes annuelles.*

Les températures moyennes ont été calculées pour les stations de Thonon-C.R.G., Blaves et Larringes par intégration des enregistrements hebdomadaires. Les valeurs de la station de Thonon-Rives nous ont été fournies par l'I.N.R.A.

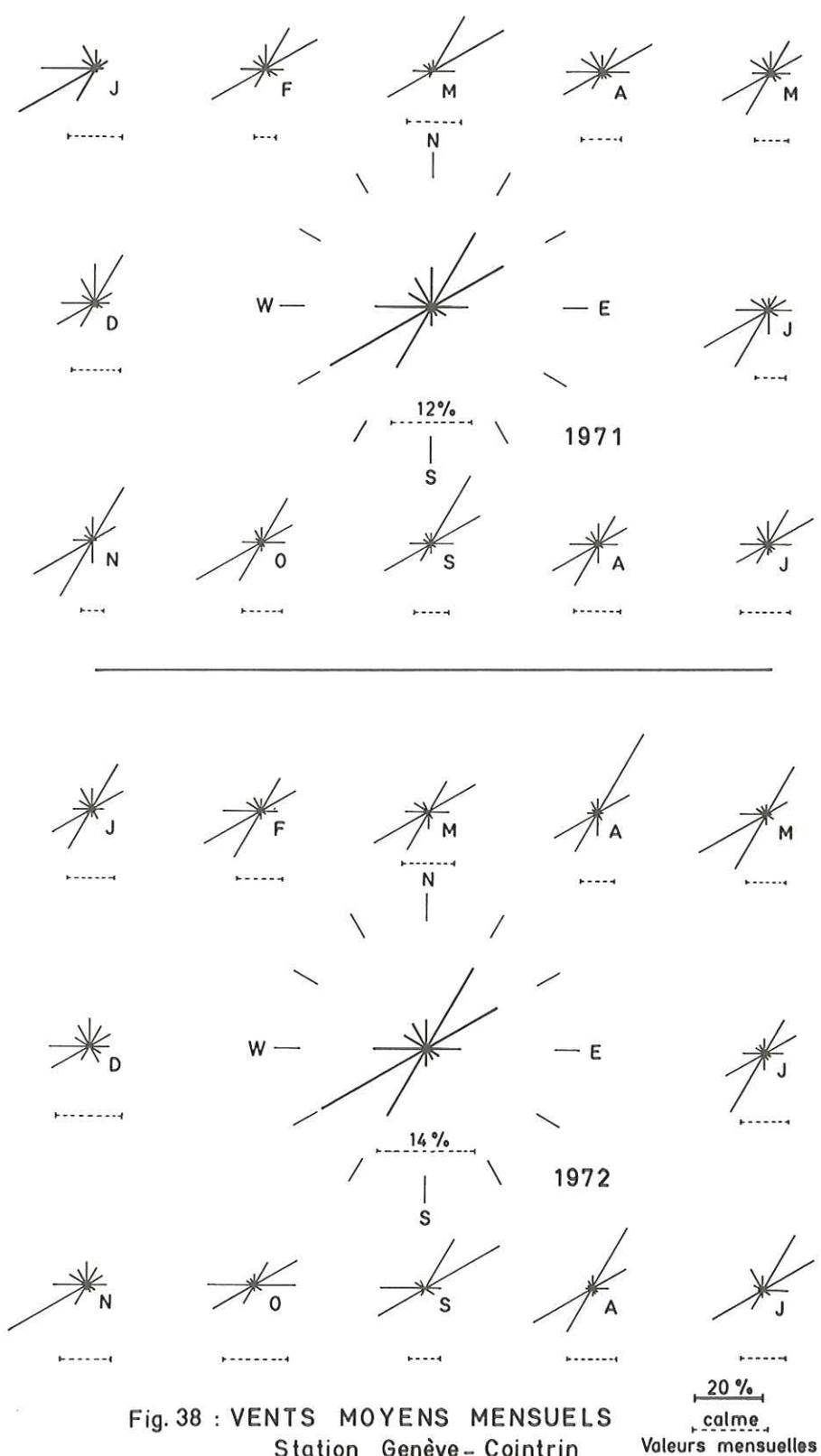


Fig. 38 : VENTS MOYENS MENSUELS
Station Genève-Cointrin

20 %
calme
Valeurs mensuelles

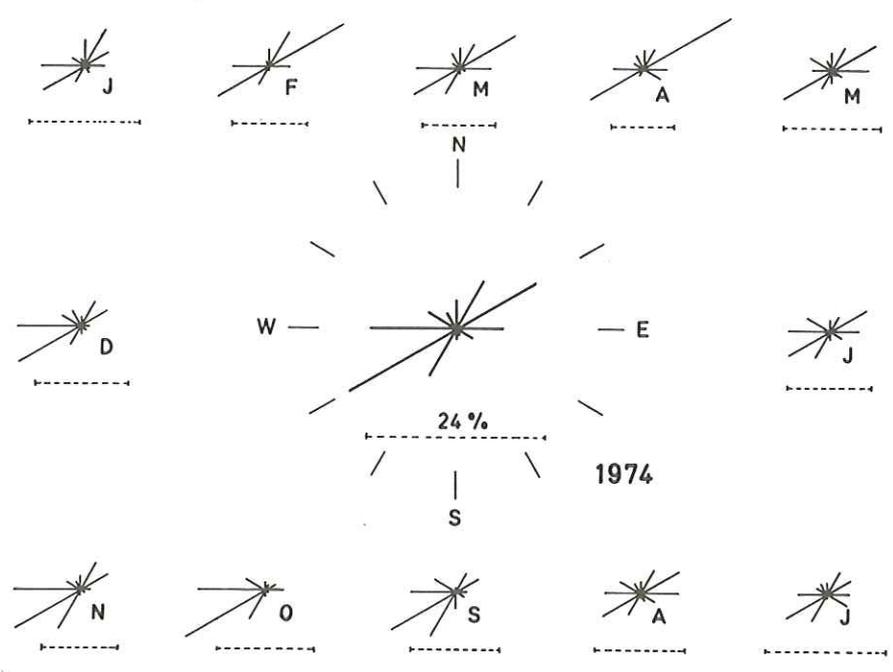
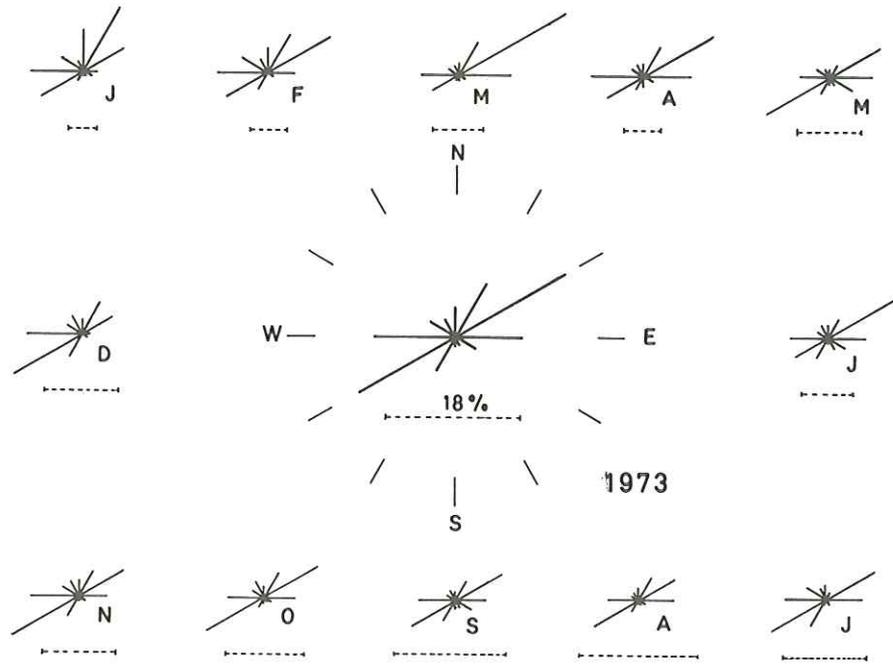


Fig. 39 : VENTS MOYENS MENSUELS
Station Genève-Cointrin

20 %
calme
Valeurs mensuelles

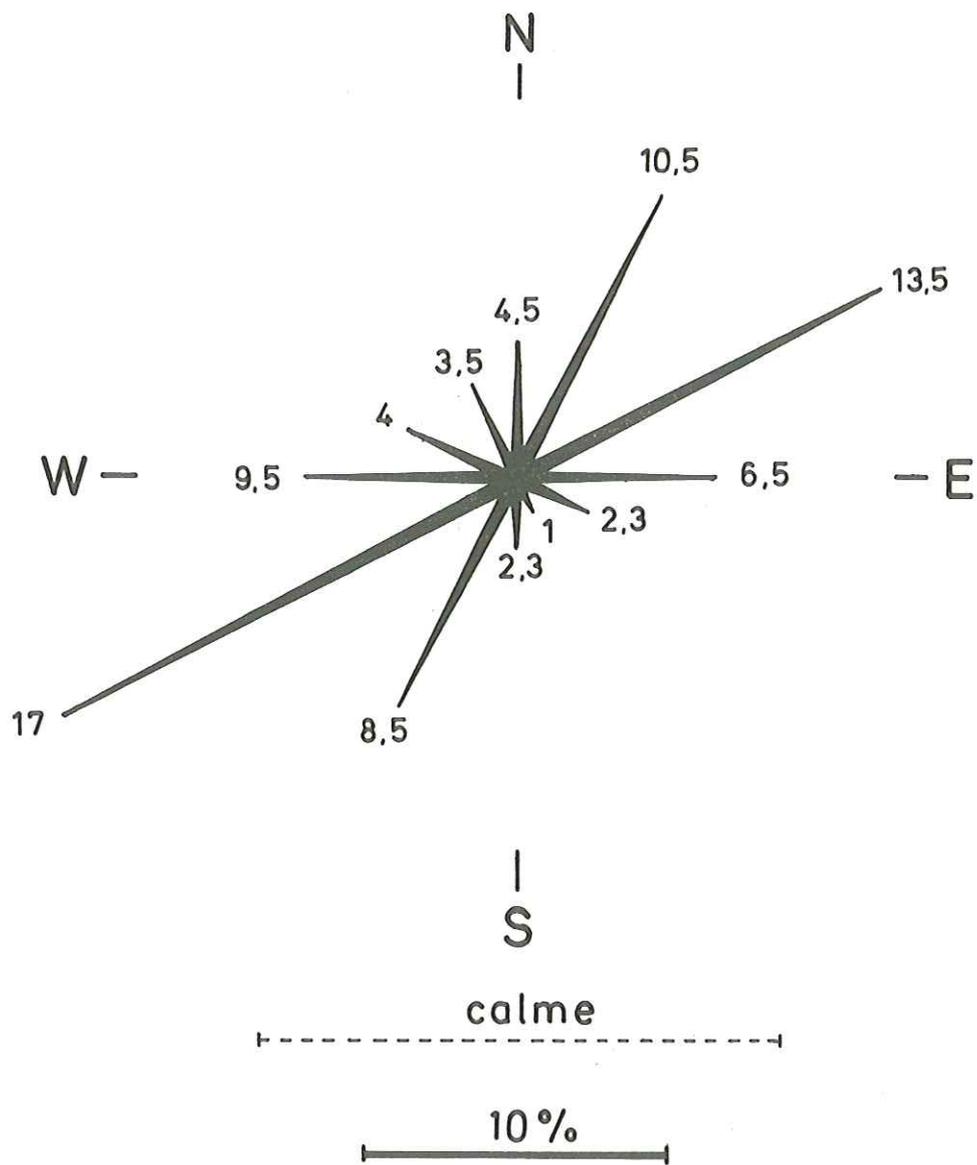


Fig.40: ROSE DES VENTS
Moyenne 1971-1974

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOYENNE ANNUELLE
1971	78,1	76,3	74	68,6	76,6	76	70	70,3	74,6	79,8	78,5	81	75,3
1972	75,6	74	68,6	69,2	66	68,5	68,3	61,2	67,4	73	71,5	74,9	69,9
1973	73	69,8	64,4	62,7	67	68,9	80,1	84,5	83,2	88,7	85,3	80,6	75,6
1974	90	86,2	84	79,9	82,5	81,6	74,3	79,4	85,4	85,8	87,8	89,9	83,9
MOYENNE	79,1	76,6	72,8	70,1	73	73,8	73,2	73,9	77,6	81,8	80,7	81,6	76,2

TABLEAU 5 - HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR EN % (MOYENNE MENSUELLE ET ANNUELLE) : STATION THONON-C.R.G.

Les moyennes annuelles sont :

	THONON-C.R.G.	THONON-RIVES	LES BLAVES	LARRINGES
Période 1971-1974	9°9	10°4	7°2	5°4
Période 1966-1974	9°2	10°4	6°9	5°7
Période 1946-1974	-	10°5	-	-

La moyenne 1971-1974 pour la station Thonon-Rives est plus froide de 0°1 que la moyenne 1946-1974.

Pour la station de Thonon-C.R.G., la moyenne 1971-1974 est plus chaude de 0°7 que la moyenne 1966-1974 (1971 et 1972 sont deux années sèches). Pour Thonon-Rives et pour les mêmes périodes, les moyennes sont les mêmes, tandis que pour la station des Blaves, la moyenne 1971-1974 est plus chaude de 0°3. Pour Larringes, la moyenne 1966-1974 est plus chaude de 0°3 que la moyenne 1971-1974.

Entre 1971 et 1974, les moyennes annuelles ont varié beaucoup, 1°5 entre l'année la plus chaude et la plus froide pour Thonon-C.R.G., 0°9 pour la station des Blaves et 1°9 pour la station de Larringes.

On peut donc en déduire que l'évaporation va varier, elle aussi, en conséquence.

3.3.2. - Gradient altimétrique de température.

Pour les périodes 1971-1974 et 1966-1974, le gradient altimétrique de température a été calculé entre Thonon-C.R.G. (385 m) et les Blaves (600 m), Thonon-C.R.G. et Larringes (800 m) et Blaves-Larringes.

PERIODES	THONON-C.R.G. LES BLAVES (385 m-600 m)	THONON-C.R.G. LARRINGES (385 m-800 m)	LES BLAVES-LARRINGES (600 m-800 m)
1971-1974	1°2/100 m	1°1/100 m	0°9/100 m
1966-1974	1°1/100 m	0°8/100 m	0°6/100 m

Si on prend la période 1966-1974 (beaucoup plus représentative parce que beaucoup plus longue) on peut constater que le gradient est plus fort entre 385 m et 800 m (ainsi qu'entre 385 m et 600 m) qu'entre 600 m et 800 m. Entre 600 m et 800 m, le gradient est proche de celui d'Angot (0°53/100 m) calculé dans les Alpes. On s'aperçoit donc que le lac influence les températures réchauffant les rives l'hiver et les rafraichissant l'été, ce qu'avait déjà constaté E. SIWERTZ (1973).

La figure 41 montre les variations mensuelles de ce même gradient pendant les deux périodes.

On peut voir que :

- Entre Thonon et les Blaves :

Pour la période 1971-1974, le minimum se situe en hiver (0°32/100 m) et le maximum en été et début automne avec 1°86/100 m.

Pour la période 1966-1974, le minimum se situe en janvier (0°3/100 m) ainsi qu'au printemps et été (0°7/100 m) et maximum en automne (1°7/100 m).

- Entre les Blaves et Larringes :

Pour la période 1971-1974, le minimum se situe en décembre (- 0°2/100 m) et le maximum, moins marqué qu'entre Thonon-C.R.G. - Les Blaves, est de 1°3/100 m en Juin-Juillet.

Pour la période 1966-1974, le minimum se situe en Décembre avec - 0°05/100 m et le maximum en Juin avec 1°/100 m.

STATIONS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Thonon C.R.G.	1°	2°6	3°8	7°4	12°1	15°5	18°2	18°1	14°8	10°3	5°4	1°4
Les Blaves	- 1°8	0°1	1°9	6°2	10°4	13°9	16°5	15°6	11°9	6°6	2°6	- 1°5
Larringes	- 3°2	- 1°2	0°7	4°7	8°7	11°9	14°9	14°5	10°9	6°4	1°9	- 1°4

TABLEAU 6 - TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES POUR LA PERIODE 1966-1974.

STATIONS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Thonon C.R.G.	1°9	2°6	4°1	8°5	13°4	16°6	19°8	20°3	15°4	9°2	5°2	2°
Les Blaves	- 1°2	0°3	2°2	6°4	10°8	14°2	17°2	16°4	11°4	5°2	2°4	- 0°7
Larringes	- 3°1	- 1°6	0°9	4°7	8°4	11°6	14°6	14°8	9°9	4°5	1°2	-0°3

TABLEAU 7 - TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES POUR LA PERIODE 1971-1974.

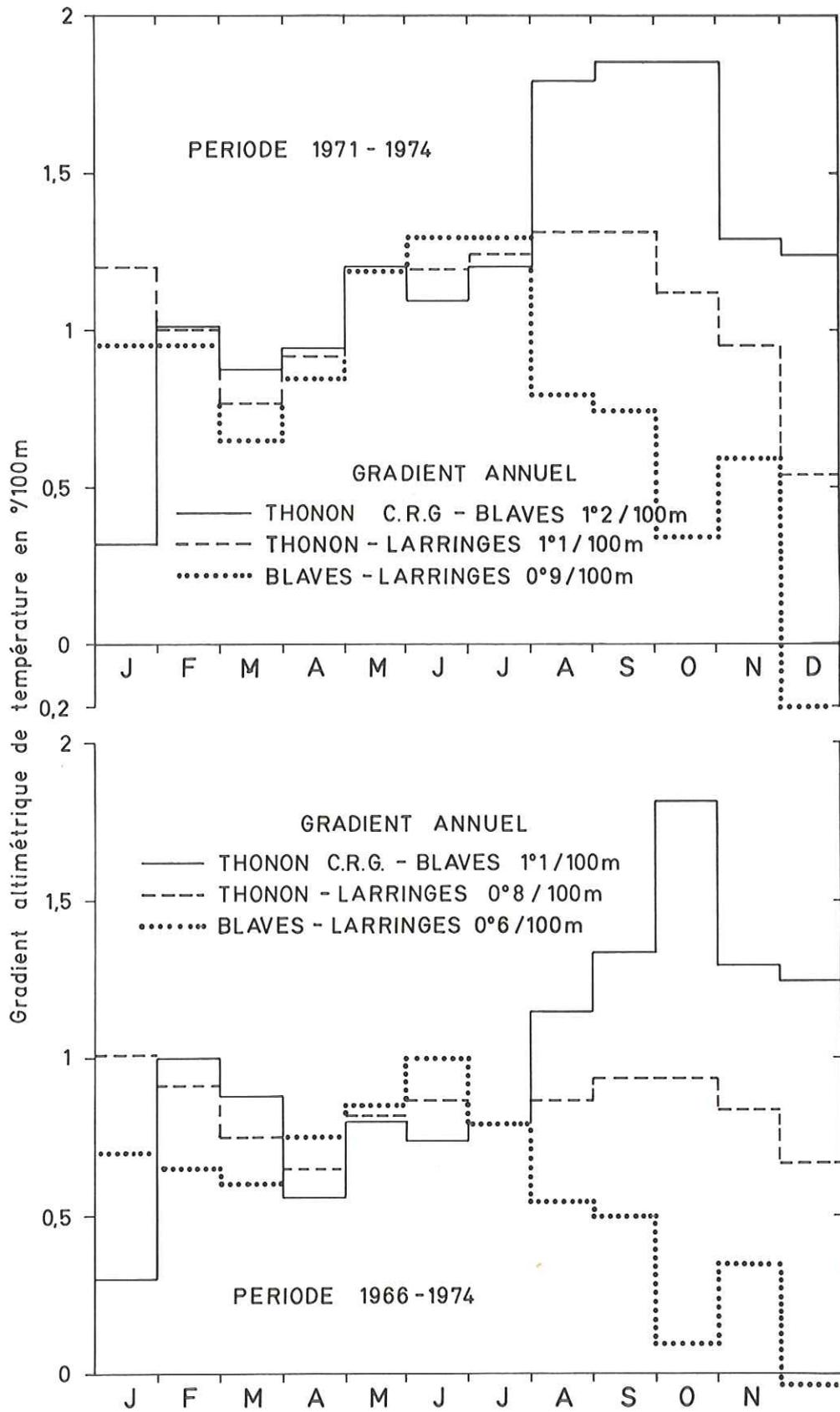


Fig. 41 : EVOLUTION MENSUELLE DU GRADIENT ALTIMETRIQUE DE TEMPERATURE.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOYENNE ANNUELLE
1971	1°2	2°	1°	11°8	15°7	17°2	22°2	22°2	16°4	13°	3°9	1°5	10°6
1972	1°2	3°4	5°4	7°8	11°8	15°3	18°8	18°1	12	8°6	6°4	0°5	9°1
1973	1°9	0°1	2°	4°7	13°5	17°6	19°	21°1	16°3	9°2	4°8	1°8	9°3
1974	3°4	4°9	7°9	9°8	12°7	16°1	19°	19°7	16°8	6°	5°6	4°	10°5

TABLEAU 8 - TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES POUR CHAQUE ANNEE. STATION DE THONON-C.R.G.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOYENNE ANNUELLE
1971	- 4°1	1°4	- 1°6	8°5	11°9	13°	18°5	17°6	11°4	8°	1°2	- 1°1	7°
1972	- 1°6	0°4	3°9	6°5	9°7	15°6	15°9	15°1	9°	5°5	3°8	- 1°9	6°8
1973	- 2°8	- 2°1	1°7	4°3	11°8	15°1	16°2	17°7	13°3	4°3	2°2	- 1°3	6°7
1974	3°8	1°5	4°6	6°1	9°6	13°2	18°2	15°	12°	2°9	2°4	1°5	7°6

TABLEAU 9 - TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES POUR CHAQUE ANNEE. STATION DES BLAVES.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOYENNE ANNUELLE
1971	0°4	2°7	2°2	12°4	15°	16°3	21°7	21°	15°4	12°	5°2	2°2	10°5
1972	2°1	4°5	7°3	8°9	13°1	16°3	19°2	18°7	13°1	9°9	7°1	2°1	10°2
1973	1°1	1°7	4°8	7°2	14°5	18°	19°2	21°2	17°1	10°	5°9	2°3	10°2
1974	3°9	5°1	8°1	10°1	13°	16°2	19°5	20°	15°5	6°9	6°1	5°1	10°8
MOYENNE	1°9	3°5	4°8	9°7	13°9	16°7	19°9	20°2	15°3	9°7	6°1	2°9	10°4

TABLEAU 10 - TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES POUR CHAQUE ANNEE. STATION DE THONON-RIVES.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOYENNE ANNUELLE
1971	- 3°5	- 1°6	- 1°3	8°6	7°6	11°3	15°8	15°5	9°4	6°5	- 0°7	- 2°3	5°4
1972	- 3°7	- 1°5	2°3	3°4	7°8	10°5	13°6	12°7	7°1	3°9	2°3	- 2°9	4°6
1973	- 4°2	- 3°	- 1°1	2°	9°5	12°5	14°4	15°2	11°3	4°7	0°6	2°3	5°
1974	- 1°	- 0°4	3°6	4°8	8°7	11°9	14°8	15°9	12°	3°	2°8	1°8	6°5

TABLEAU 11 - TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES POUR CHAQUE ANNEE. STATION DE LARRINGES.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1971	30,9	123,2	162,8	268,8	235,5	238,6	338,6	294,6	245,1	178,9	69,9	30,7	2 217,6
1972	59,9	115,6	183,1	188,7	217,2	251,1	295,5	259,2	203,8	151,9	63,9	46,2	2 036
1973	27,1	88,7	198,6	208,6	246,2	247,3	247,6	253,9	216,3	123,3	99,8	50,5	2 007,9
1974	52,6	51,1	134,1	242,1	221,6	235,5	278,6	239,6	170,5	78,3	57,2	86,1	1 847,3
MOYENNE	42,6	94,6	169,6	227	230,1	243,1	290,1	261,8	208,9	133,1	72,7	53,4	2 027,2

TABLEAU 12 - DUREE D'ENSOLEILLEMENT EN HEURES A LA STATION DE THONON-RIVES.

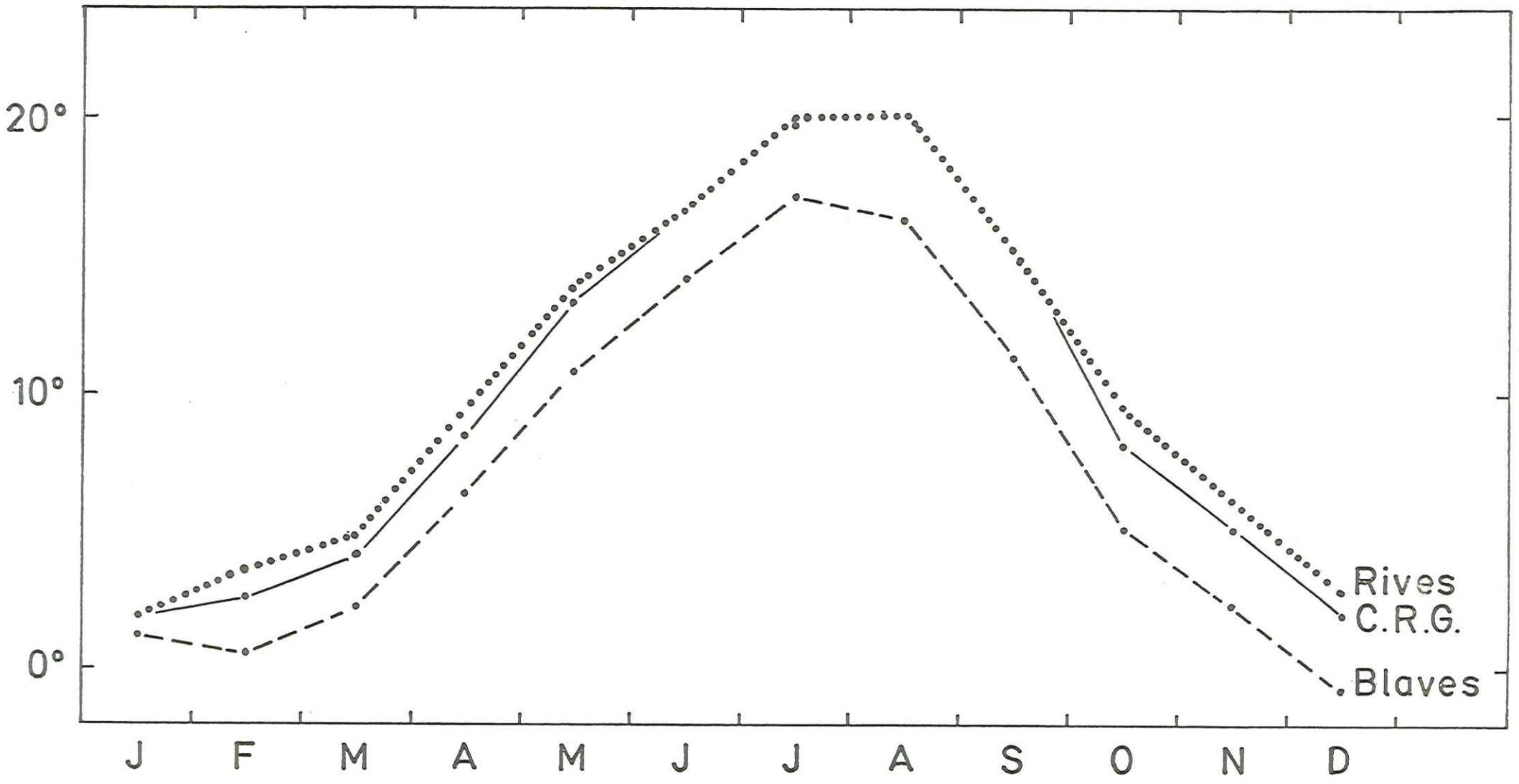


Fig. 42: TEMPERATURES MENSUELLES (Moyenne 1971-1974)

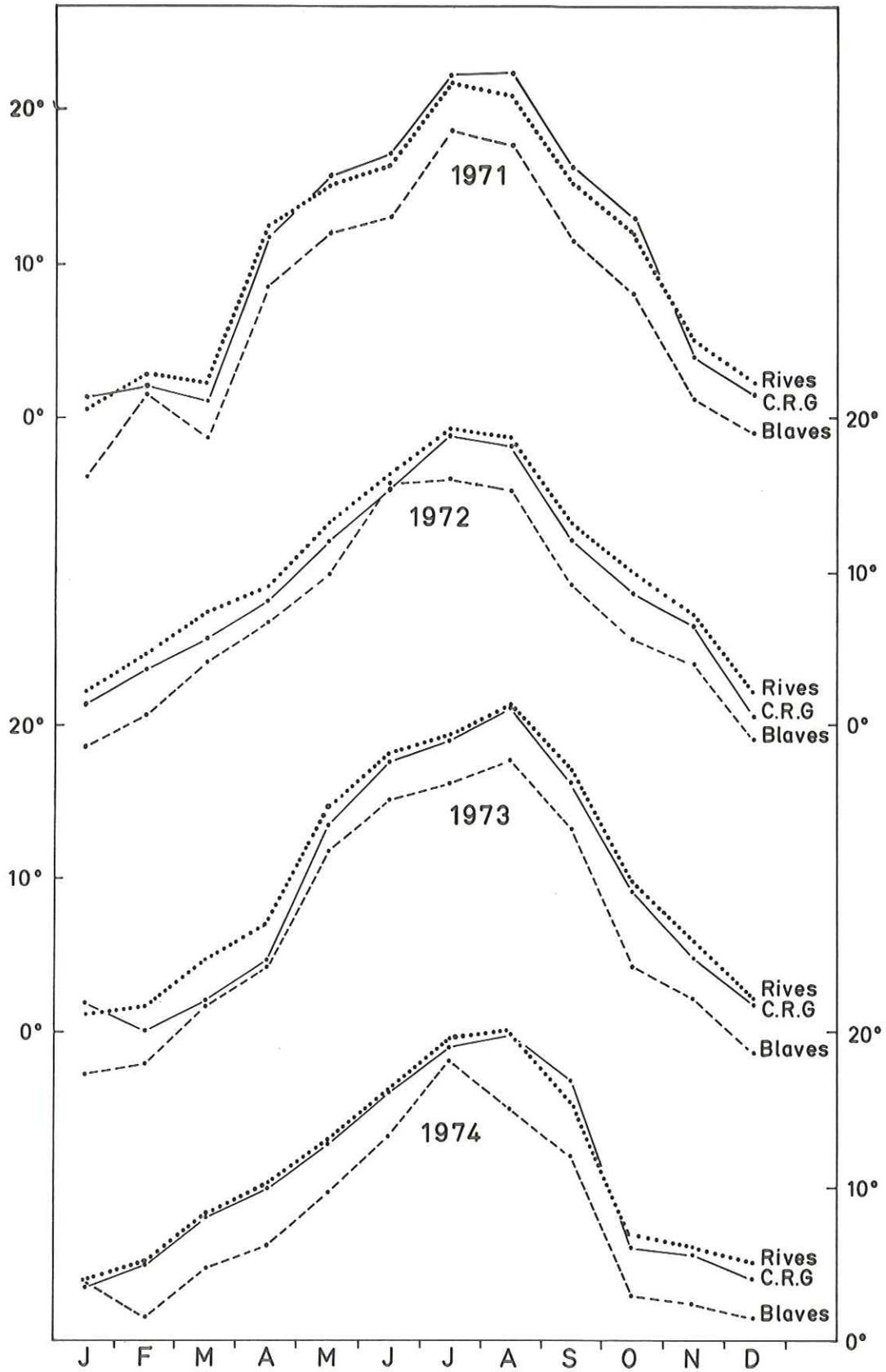


Fig. 43 : TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES

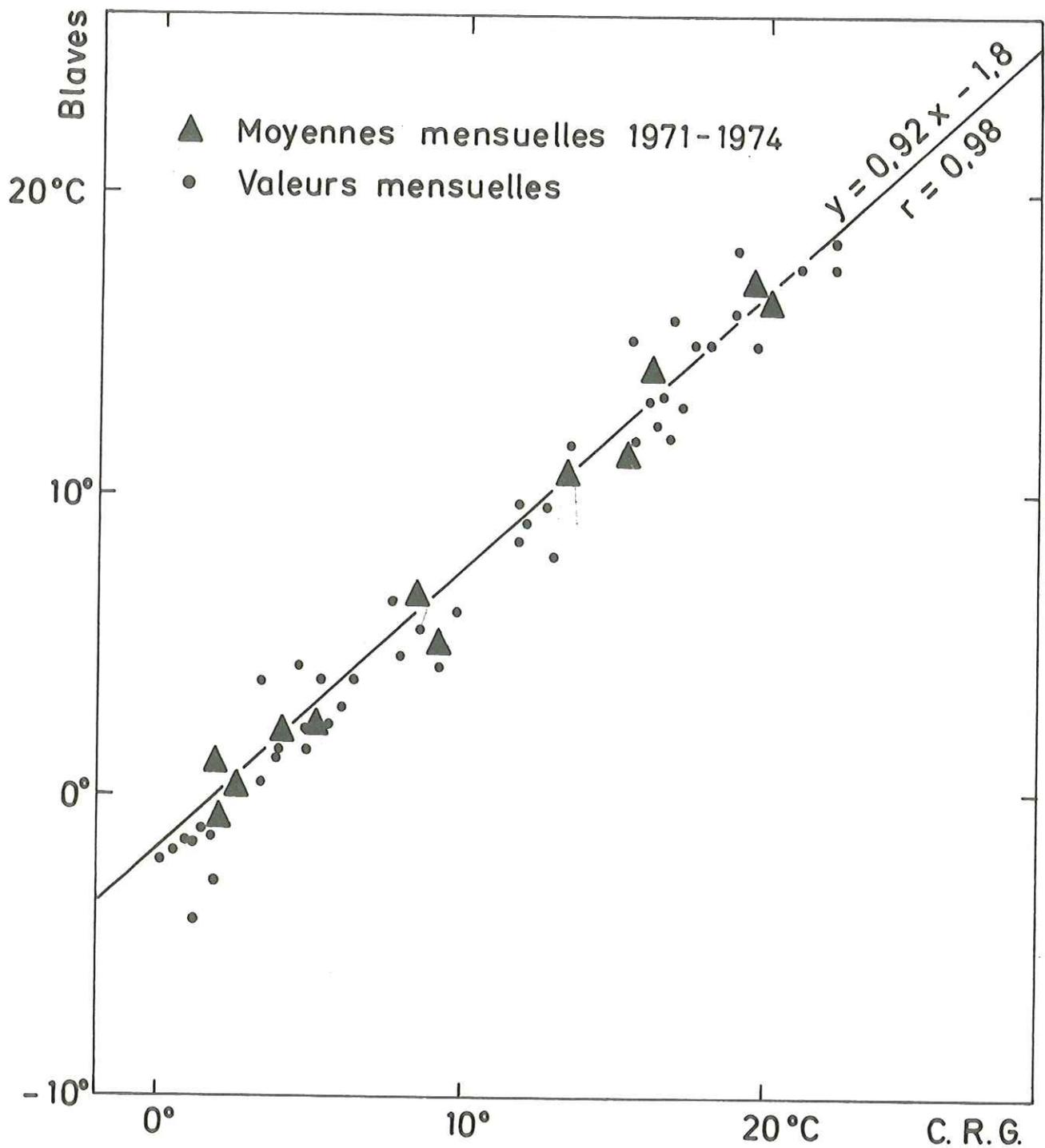


Fig. 44: CORRELATION ENTRE LES TEMPERATURES
Moyennes mensuelles aux Blaves (600m)
et Thonon C.R.G. (385m)

1971 - 1974

3.3.3. - *Les températures moyennes mensuelles*
(figures 42 et 43); (tableaux 6 à 11).

Les différences de températures observables entre Thonon-C.R.G. (385 m) et Thonon-Rives (375 m) s'expliquent par le mode de dépouillement des données : les températures de Thonon-Rives sont relevées 3 fois dans la journée, tandis qu'à Thonon-C.R.G. le dépouillement se fait par planimétrage des relevés de chaque semaine.

Une corrélation a été faite entre la station de Thonon-C.R.G. et la station des Blaves (figure 44).

Les points s'alignent sur une droite d'équation $y = 0,92 x - 1,8$ avec un coefficient de corrélation égal à 0,98 pour 60 valeurs. Ce coefficient montre que la corrélation est valable et l'emploi de la station des Blaves justifié.

3.4. - *Durée d'ensoleillement (en heures).*

Les mesures de la durée d'ensoleillement ont été faites au solargraphe à la station de Thonon-Rives (tableau 12).

3.5. - *La pluviométrie.*

Les stations pluviométriques qui ont servi à l'étude sont :

- Thonon-Rives : 375 m (1971 à 1974)
- Thonon-C.R.G. : 385 m (1971 à 1974)
- Thonon-ville : 410 m (1973-1974)
- Les Blaves : 600 m (1971 à 1974)
- Orcier : 650 m (1971-1972)
- La Capite : 720 m (1971 à 1974)
- Les Favrats : 930 m (1971 à 1974)
- Nyon : 390 m (1971 à 1974)
- Jussy : 465 m (1971 à 1974)
- Genève-Cointrin : 430 m (1971 à 1974)
- Annemasse : 450 m (1971 à 1974)
- Verayon : 535 m (1974)
- Col de Terramont : 1 090 m (1971 à 1974)
- Voiron-Ermitage : 1 400 m (1971)

3.5.1. - Pluviométrie à l'échelle annuelle.

Nous avons calculé les moyennes en mm pour différentes périodes pour les trois stations principales :

STATIONS	1890-1974	1901-1974	1963-1974	1971-1974
Genève-Cointrin	-	900 mm	968 mm	822 mm
Thonon-Rives	974 mm	968 mm	877 mm	729 mm
Thonon-C.R.G.	-	-	947 mm	784 mm

Pour les quatre années étudiées on a :

ANNEES	GENEVE-COINTRIN	THONON-RIVES	THONON-C.R.G.
1971	703 mm	581 mm	669 mm
1972	761 mm	642 mm	676 mm
1973	799 mm	789 mm	812 mm
1974	1 026 mm	905 mm	978 mm

La pluviométrie moyenne pour les quatre années pour Thonon-Rives est de 729 mm, tandis que la moyenne 1890-1974 est nettement plus forte : 974 mm. De même, à Thonon-C.R.G. la moyenne 1971-1974 est de 785 mm, alors que sur douze ans, elle est de 947 mm. Ceci tient au fait que les années 1971-1972-1973 ont été particulièrement sèches. Ceci va être confirmé par les données statistiques faites sur les stations de Thonon-Rives (1890-1974) et Genève-Cointrin (1901-1974).

3.5.2. - *Etude statistique.*

- Thonon-Rives.

La moyenne 1971-1974 est de 720 mm. La moyenne arithmétique \bar{x} sur 85 ans est de 974 mm pour un écart-type σ égal à 164,5 mm.

Cette série de valeurs a été ajustée à la loi de Gauss (figures 45 et 46). Le χ^2 est de 6,27 pour un degré de liberté ν égal à 6. Cette valeur est inférieure à celle correspondant au seuil de probabilité de 5 %. La loi de Gauss convient donc pour représenter l'échantillon.

On peut en tirer les valeurs extrêmes des précipitations :

Année décennale humide = 1 210 mm

Année décennale sèche = 760 mm

Année centenaire humide = 1 400 mm

Année centenaire sèche = 570 mm

Par rapport à la moyenne 1890-1974, la période 1971 à 1974 est déficitaire. La somme des écarts par rapport à la moyenne pour la même période 1890-1974 montre une certaine périodicité dans la pluviométrie mais cela est moins net que pour Genève-Cointrin (figure 47).

- Genève-Cointrin.

La moyenne 1971-1974 est de 822 mm. La moyenne arithmétique pour la période 1901-1974 est de 900 mm pour un écart-type σ de 163,6 mm.

Cette série ajustée à la loi de Gauss (figures 48 et 49) donne un χ^2 de 12,89 pour 6 degrés de liberté, ce qui correspond à une probabilité de 5 %.

Les valeurs extrêmes des précipitations sont :

Année décennale humide = 1 110 mm

Année décennale sèche = 680 mm

Année centenaire humide = 1 280 mm

Année centenaire sèche = 515 mm

Par rapport à la moyenne 1901-1974, trois années sont déficitaires (1971-1972-1973), tandis que 1974 est excédentaire.

La somme des écarts par rapport à la moyenne montre une périodicité assez marquée de la pluviométrie (figure 50). Une étude sur les stations du pourtour lémanique est en cours (J.J. JEREMIE). Celle-ci en amènera certainement une confirmation.

En conclusion sur l'étude à l'échelle annuelle, on peut dire que la période 1971-1974 est déficitaire allant de l'année centenaire sèche à l'année moyennement sèche pour la région thononaise.

3.5.3. - *Pluviométrie aux autres stations en mm.*

STATIONS	1971	1972	1973	1974	MOYENNE
Thonon-Ville (410 m)	-	-	840	972	-
Les Blaves (600 m)	899	946	954	1 237	1 009
La Capite (720 m)	876	874	956	1 024	933
Les Favrats (930 m)	926	1 071	1 197	1 335	1 132
Orcier (650 m)	790	843	-	-	-
Annemasse (450 m)	642	583	773	947	736
Voirons Ermitage (1 400 m)	1 061	-	-	-	-
Col de Terramont (1 090 m)	1 130	1 000	1 500	1 721	1 338
Verayon (535 m)	-	-	-	1 161	-
Nyon (390 m)	788	745	770	1 049	838
Jussy (465 m)	624	584	731	847	697
Très-le-Mont (1 350 m) Tube à neige	1 284	1 160	1 656	-	-

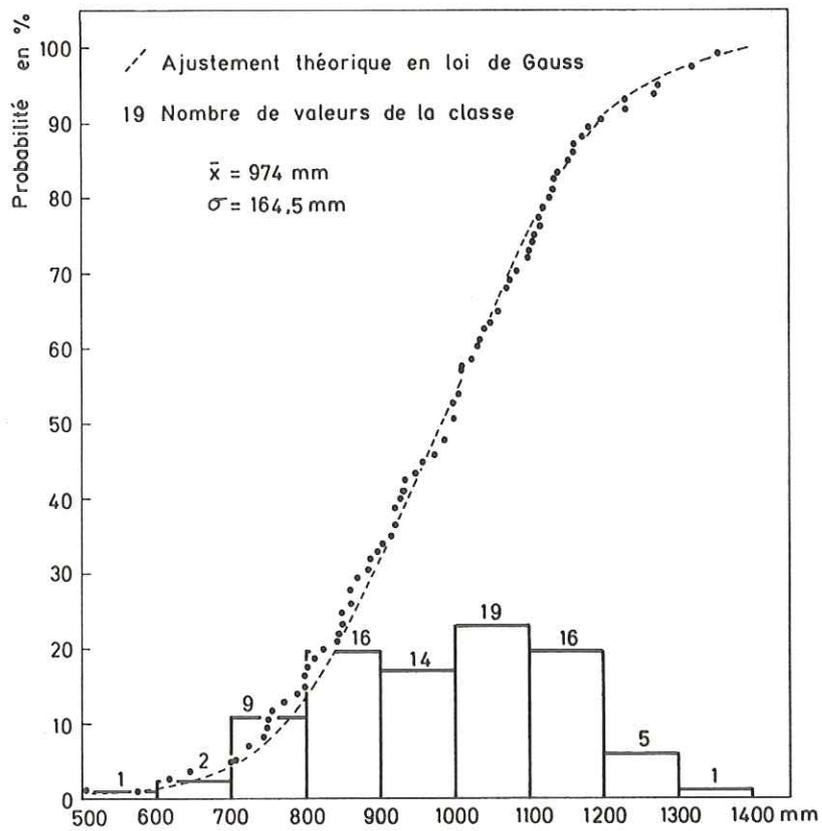


Fig.45: DISTRIBUTION DE LA PLUVIOMETRIE A THONON - RIVES (1890 - 1974)

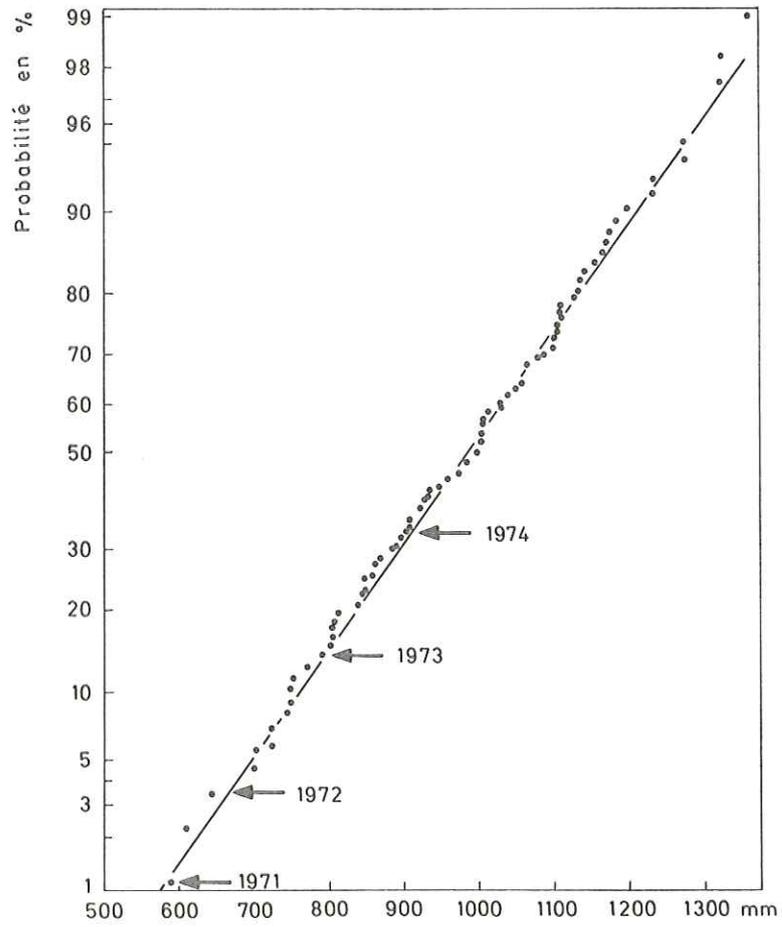


Fig.46 : AJUSTEMENT DES MODULES PLUVIOMETRIQUES ANNUELS A LA LOI DE GAUSS. Thonon - Rives (375m) (1890 - 1974)

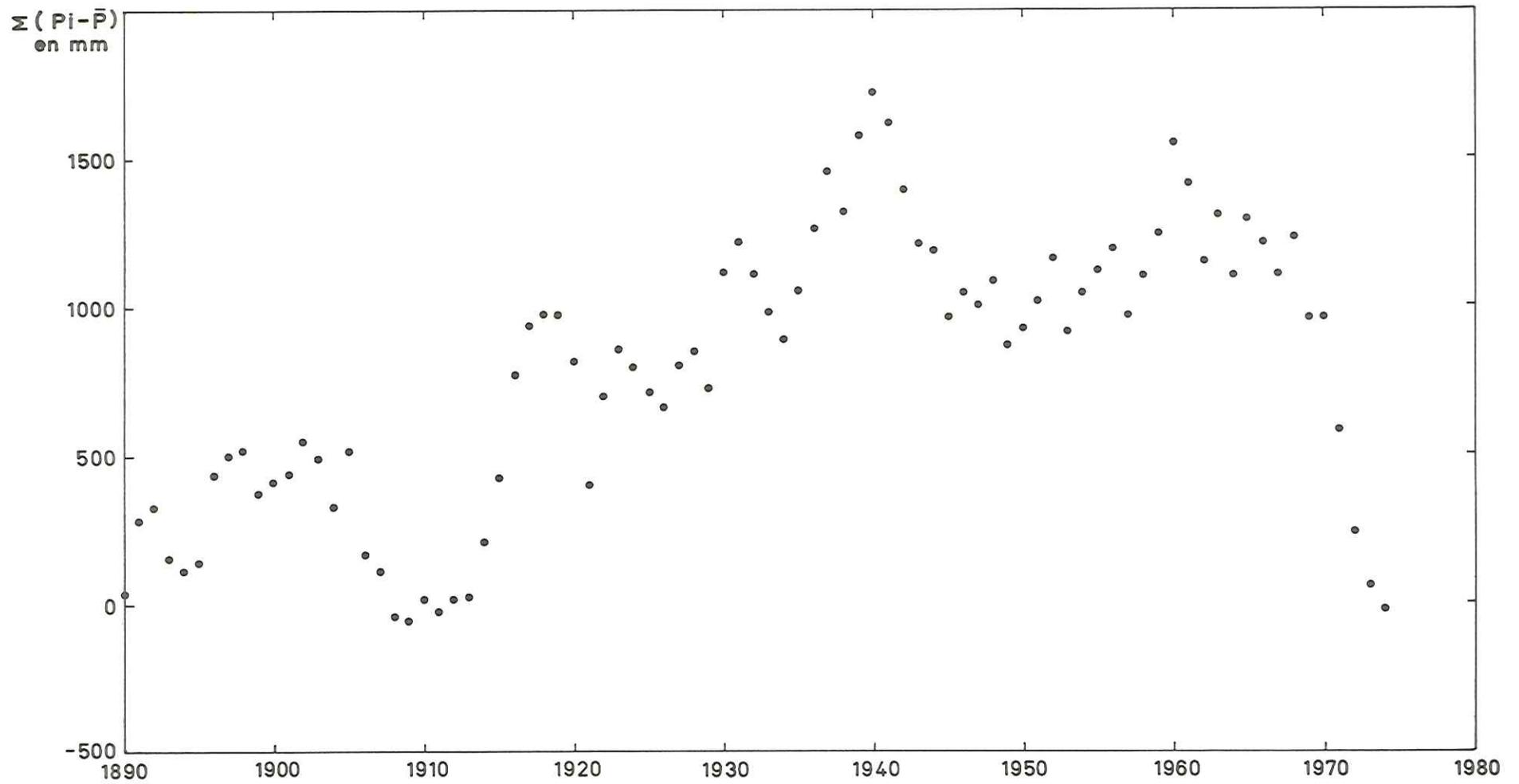


Fig.47 :SOMME DES ECARTS PAR RAPPORT A LA MOYENNE A L'ECHELLE ANNUELLE
Thonon - Rives (375 m)

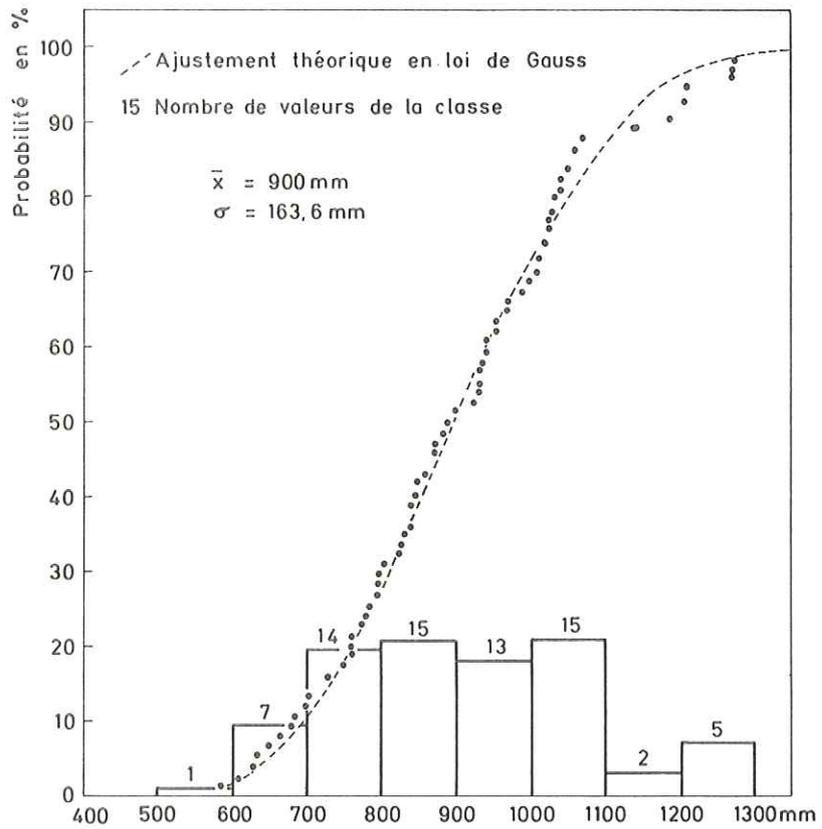


Fig.48 : DISTRIBUTION DE LA PLUVIOMETRIE A GENEVE - OBSERVATOIRE (1901 - 1974)

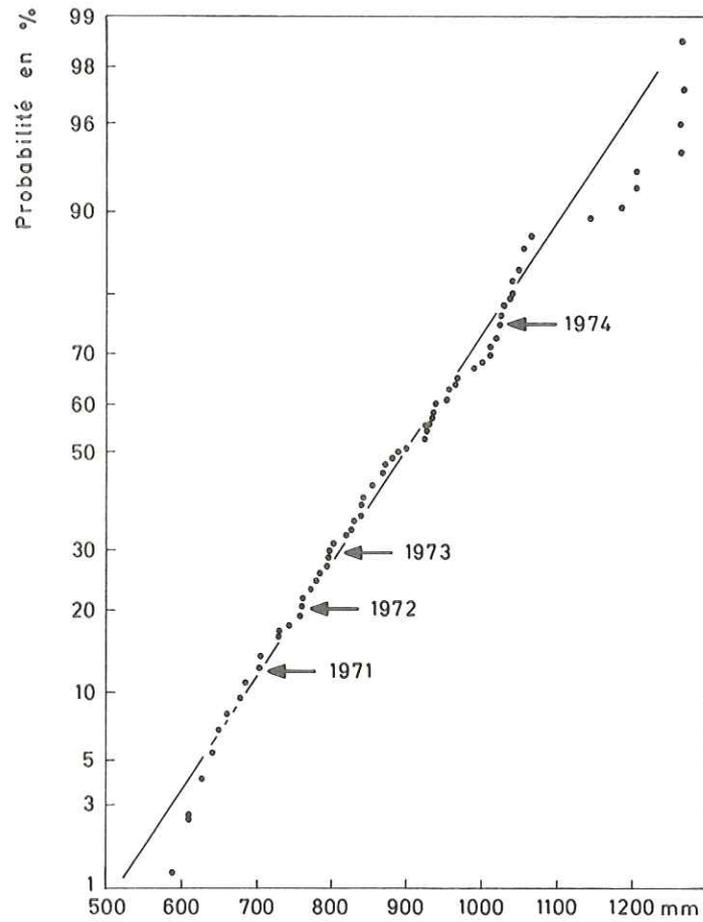


Fig.49 :AJUSTEMENT DES MODULES PLUVIOMETRIQUES ANNUELS
A LA LOI DE GAUSS. Genève - observatoire (405m)

(1901 - 1974)

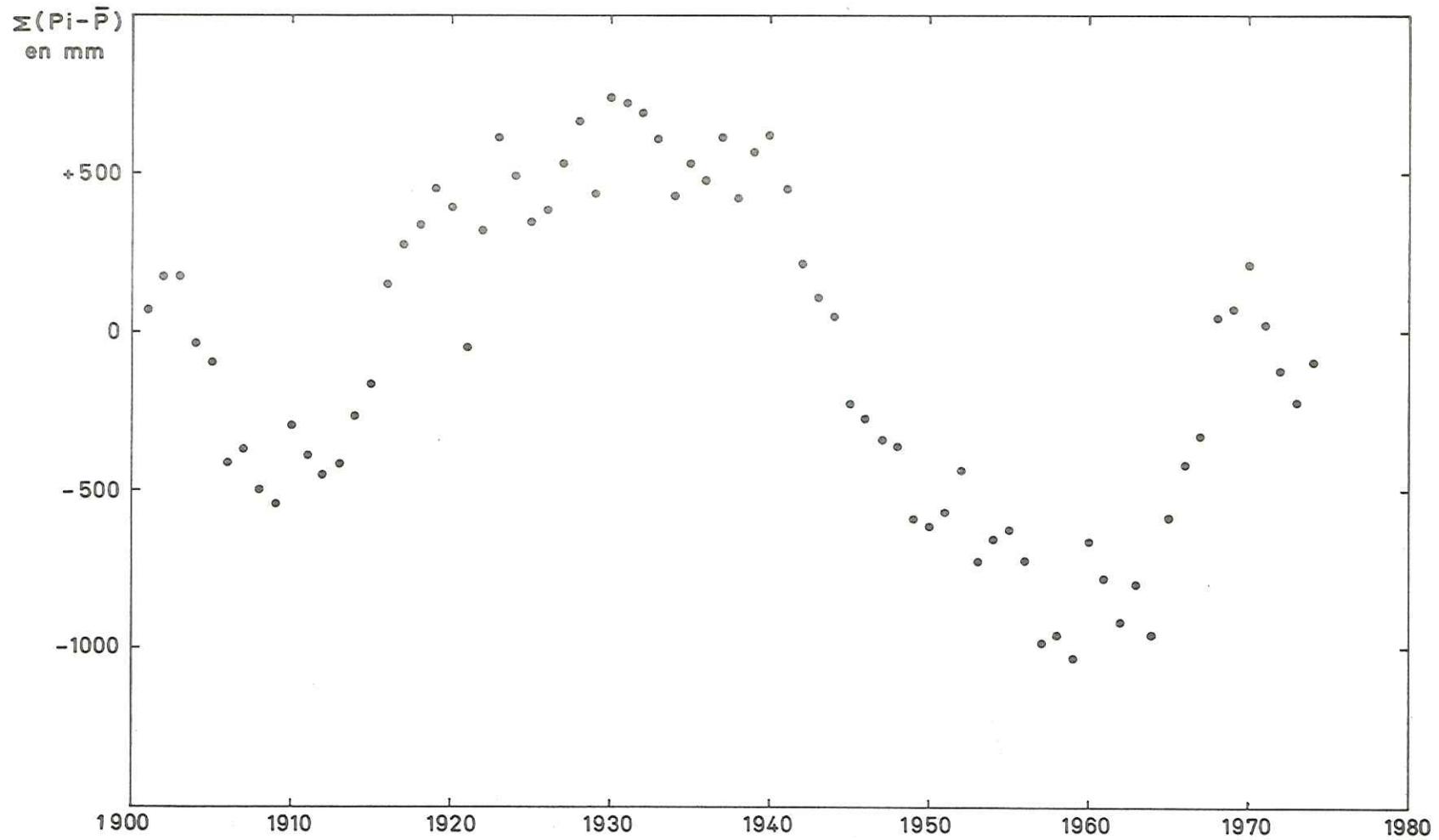


Fig.50: SOMME DES ECARTS PAR RAPPORT A LA MOYENNE A L'ECHELLE ANNUELLE
Genève - Observatoire (405m)

3.5.4. - Détermination du gradient altimétrique.

Grâce aux enregistrements des diverses stations, un gradient altimétrique a été calculé pour la période 1971-1974.

- Thonon-C.R.G. : 385 m	785 mm	$\left. \begin{array}{l} 104,2 \text{ mm}/100 \text{ m} \\ 63,3 \text{ mm}/100 \text{ m} \\ 94,7 \text{ mm}/100 \text{ m} \end{array} \right\} 37,2 \text{ mm}/100 \text{ m}$	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} 63,6 \text{ mm} \\ 100 \text{ m}$
- Les Blaves : 600 m	1 009 mm		
- La Capite : 720 m	933 mm		
- Les Favrats : 930 m	1 132 mm		

La valeur de ce gradient est à rapprocher de celui trouvé par E. SIWERTZ (60 mm/100 m) qui l'a calculé pour la période 1966-1970. On peut donc estimer que la valeur trouvée (64 mm/100 m) pour 1971-1974 est représentative de la région.

Grâce au gradient altimétrique, on peut tracer les courbes isohyètes pour les différentes années et calculer la lame d'eau tombée.

3.5.5. - Calcul de la lame d'eau tombée.

- Calcul par la moyenne arithmétique des précipitations.

Le tableau ci-après nous donne la lame d'eau tombée pour les différentes années :

	1971	1972	1973	1974	1971-1974
P en mm	844	823	981	1 100	902

Soit un volume d'eau tombée de :

	1971	1972	1973	1974
V en 10^4 m^3	8 946,4	8 723,8	10 398,6	11 660

- Calcul par la méthode des courbes isohyètes : (figures 51, 52, 53, 54).

	1971	1972	1973	1974	1971-1974
P en mm	826	876	1 036	1 191	982

Soit un volume d'eau tombée de :

	1971	1972	1973	1974
V en 10^4 m^3	8 755,6	9 285,6	10 981,6	12 624,6

Si on compare les deux méthodes, on s'aperçoit qu'il existe une différence de 80 mm sur la lame d'eau tombée (8 % d'écart).

La première méthode est trop grossière pour pouvoir être employée, tandis que la deuxième serait plus exacte sans être parfaite. Le manque de stations pluviométriques sur le bassin a empêché l'emploi de la méthode de Thiessen.

D'où, bien que la méthode par les courbes isohyètes soit assez approximative (imprécision des mesures, du tracé des courbes et du planimétrage), on peut prendre la valeur de 982 mm pour la lame d'eau tombée pour la période 1971-1974.

3.5.6. - Pluviométrie à l'échelle mensuelle (figure 55).

L'étude de la pluviométrie mensuellement permet de remarquer pour la station Thonon-C.R.G. entre 1971 et 1974 (tableau 13) :

- Deux maximas : Juin (15,6 % de la pluviométrie annuelle et Novembre (11,8 %).
- Deux minimas : Janvier (5,2 %) et Décembre (3,4 %).

Ceci est à peu près vérifiable pour toutes les autres stations.

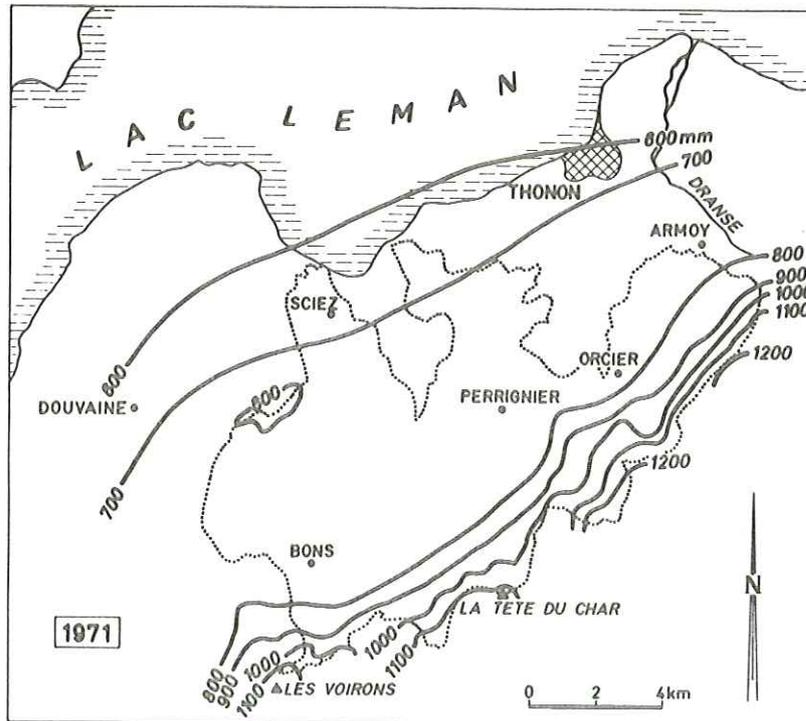


Fig. 51: COURBES ISOHYETES

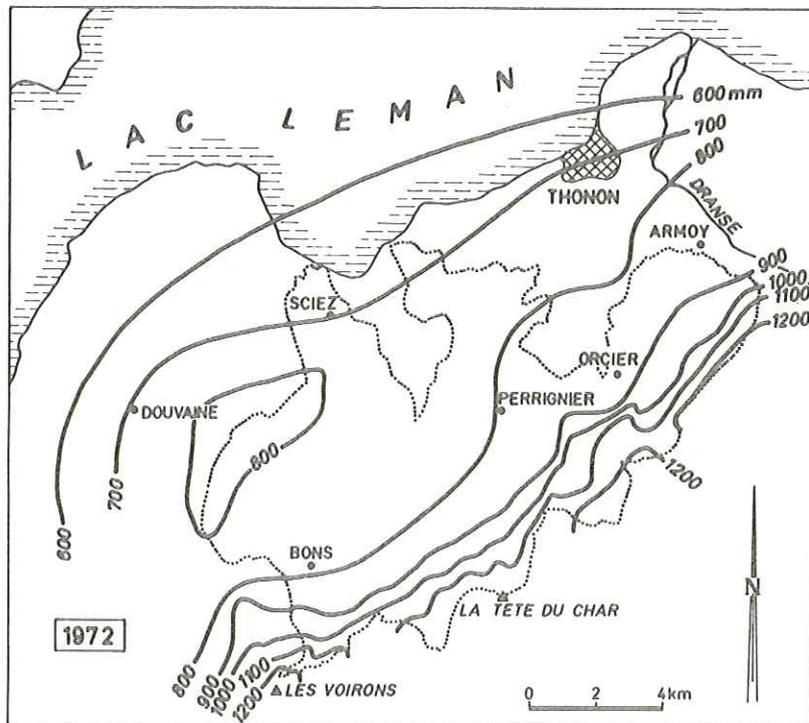


Fig. 52: COURBES ISOHYETES

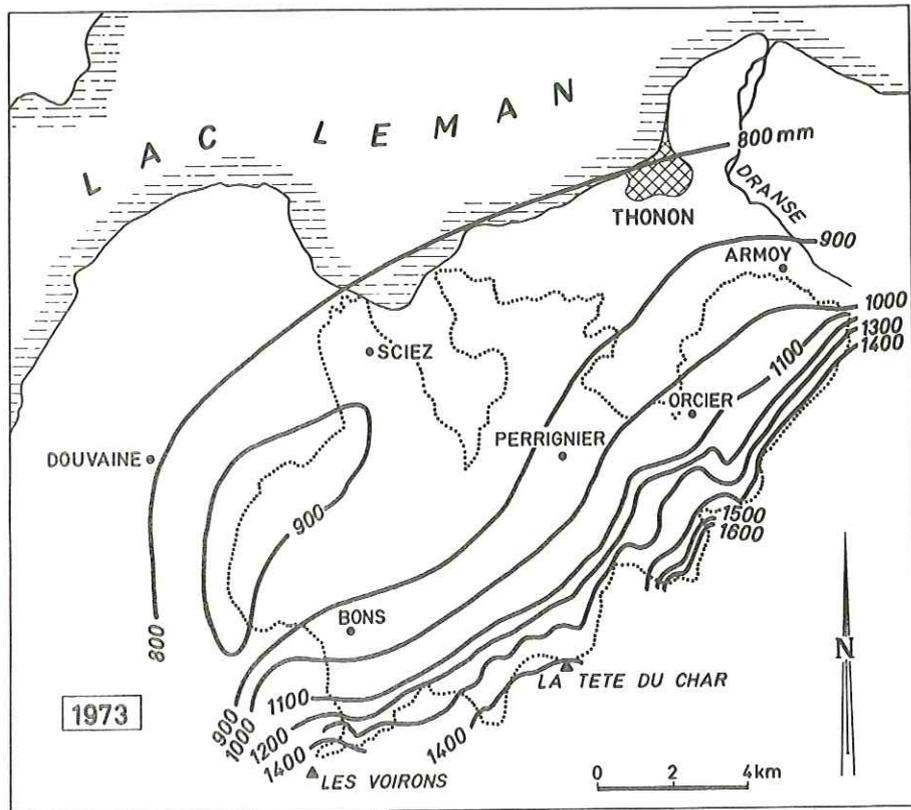


Fig 53 : COURBES ISOHYETES

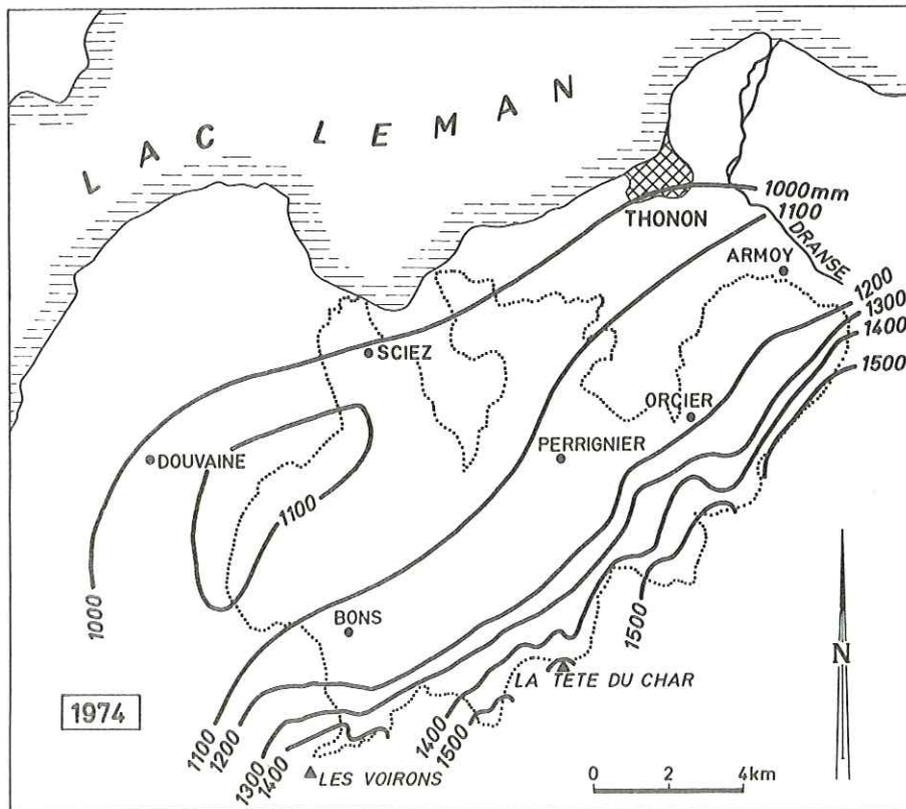


Fig 54 : COURBES ISOHYETES

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Moyenne 1971-1974 (en mm)	41	50,7	47,3	56,5	79,5	122,5	64,3	57,7	83	63,2	92,5	26,8	785

TABLEAU 13 - PLUVIOMETRIE A L'ECHELLE MENSUELLE. THONON-C.R.G.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Moyenne 1963-1974 (en mm)	51,7	60,7	80	77,3	86,4	105,2	70,1	108,5	80,9	59,6	117,5	48,8	947

TABLEAU 14 - PLUVIOMETRIE A L'ECHELLE MENSUELLE. THONON-C.R.G.

L'indicatif saisonnier pour Thonon-C.R.G. est donc :

- Hiver	118,5 mm	15 %	
- Printemps	183,3 mm	23,4 %	L'indicatif est :
- Eté	244,5 mm	31,1 %	E.A.P.H.
- Automne	238,7 mm	30,4 %	

Pour la période allant de 1963 à 1974 et pour la même station, on a (tableau 14) :

- Maximas : Novembre, Août, Juin.

- Minimas : Janvier, Décembre.

L'indicatif saisonnier est donc :

- Hiver	161 mm	17 %	
- Printemps	244 mm	25,8 %	L'indicatif est donc aussi :
- Eté	284 mm	30 %	E.A.P.H.
- Automne	258 mm	27,2 %	

3.6. - L'évaporation et l'évapotranspiration.

L'évapotranspiration peut-être calculée par de nombreuses formules. Nous prendrons les formules de Turc, Coutagne, Thornwaite et Primault et la méthode de Wundt. Une comparaison sera faite entre toutes, ainsi qu'entre les valeurs mesurées (Piche, Bac et Lysimètre).

3.6.1. - Evapotranspiration réelle calculée selon la formule de Turc.

La formule de Turc s'écrit :

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{avec } L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$$

avec : E = évapotranspiration

P = pluviométrie annuelle en mm

T = température moyenne annuelle en degrés

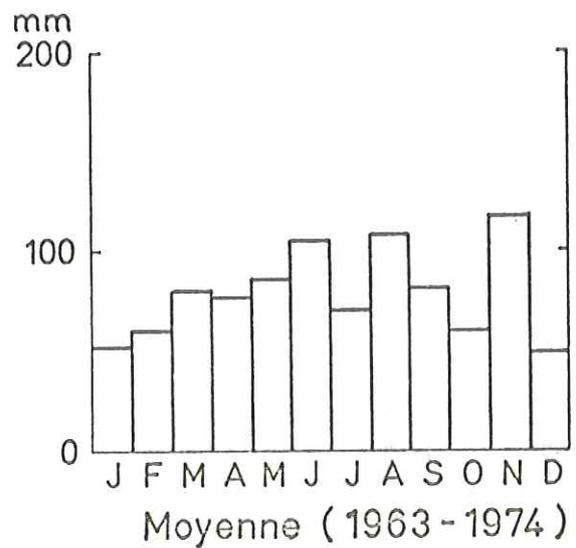
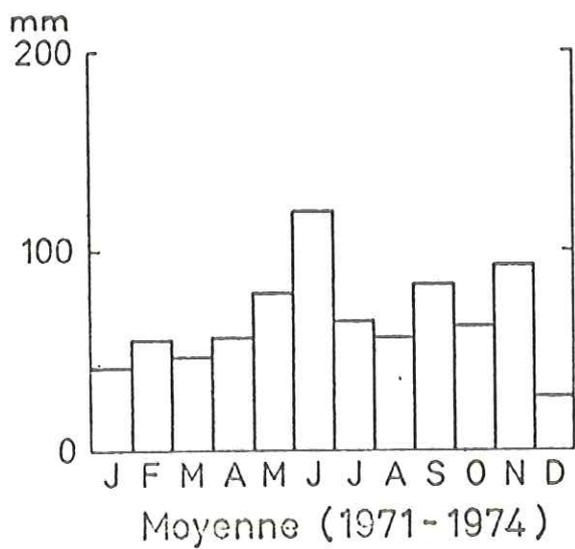
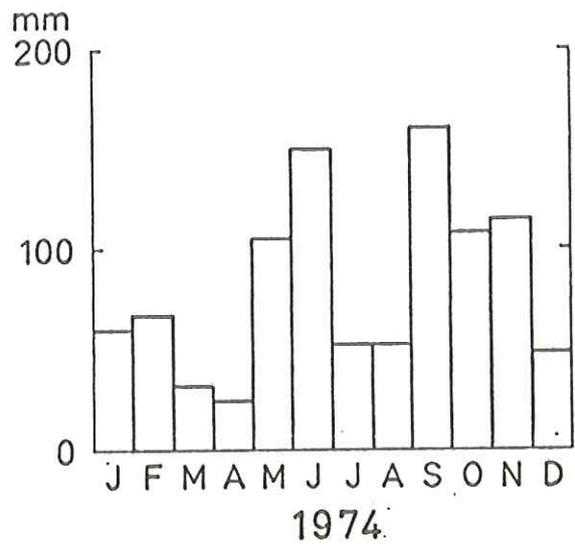
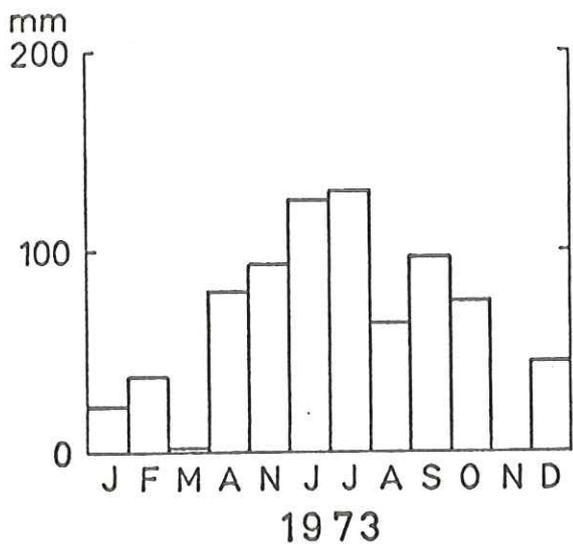
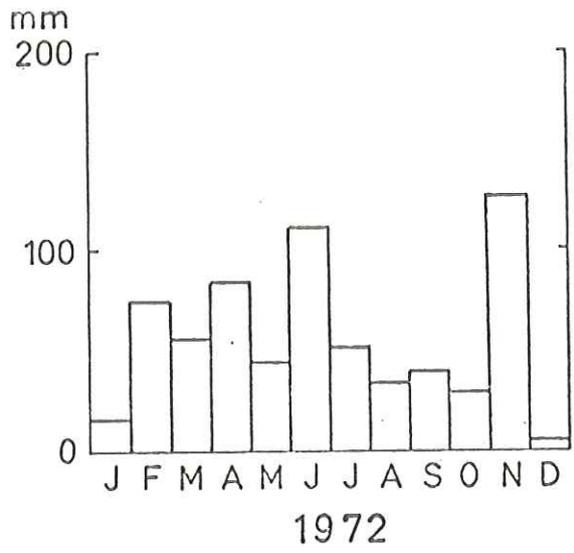
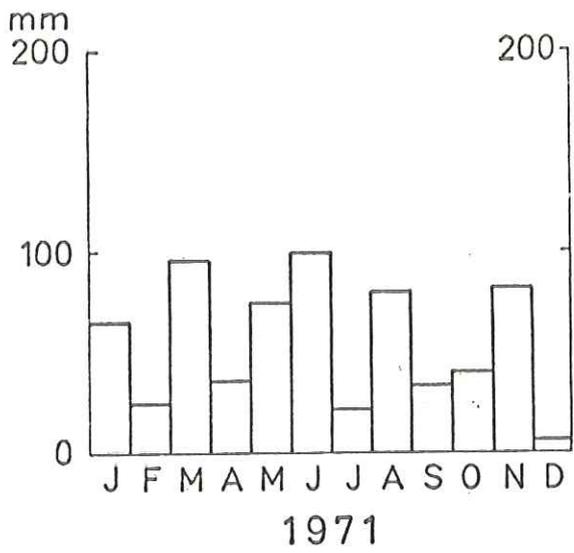


Fig. 55: PRECIPITATIONS MENSUELLES A THONON C. R. G.

Ce qui donne :

ANNEES	THONON-C.R.G.	LES BLAVES
1971	468 mm	437 mm
1972	441 mm	437 mm
1973	476 mm	435 mm
1974	532 mm	476 mm
<i>MOYENNE</i>	<i>479 mm</i>	<i>446 mm</i>

3.6.2. - *Déficit d'écoulement selon Coutagne.*

La formule de Coutagne est donnée par l'expression :

$$D = 210 + 30 T$$

D = déficit d'écoulement en mm

T = température moyenne annuelle en degré

Cette formule est valable pour une pluviométrie comprise entre 960 et 640 mm, donc à la limite d'application pour la région.

Le calcul nous donne :

ANNEES	THONON-C.R.G.	LES BLAVES
1971	528 mm	420 mm
1972	483 mm	414 mm
1973	489 mm	411 mm
1974	525 mm	438 mm
<i>MOYENNE</i>	<i>506 mm</i>	<i>421 mm</i>

3.6.3. - *Méthode de Wundt.*

Grâce à des abaques faisant entrer en jeu la pluviométrie et la température, on peut tirer d'après Wundt un déficit d'écoulement en mm.

Ceci nous donne :

ANNEES	THONON-C.R.G.	LES BLAVES
1971	460 mm	460 mm
1972	470 mm	460 mm
1973	485 mm	465 mm
1974	580 mm	510 mm
MOYENNE	499 mm	473 mm

Cette méthode est assez peu précise, par l'usage même des abaques, mais peut donner une idée sur le déficit d'écoulement. Les valeurs sont à rapprocher de celles données par Coutagne.

3.6.4. - *Evapotranspiration potentielle selon la méthode de Turc.*

La formule s'écrit :

$$ET_p = (I_g + 50) \cdot \frac{0,40 T}{T + 15} \text{ si } Hr > 50$$

avec : $I_g = I_g A \cdot (0,18 + 0,62 \frac{h}{H})$

ET_p = évapotranspiration potentielle

I_g = radiation globale moyenne

Hr = humidité relative

$I_g A$ = radiation au sol sans atmosphère

h/H = insolation relative

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1971	3,5	11	8,1	91	104	114,2	151,9	128,9	89,4	52,4	12,5	4	771
1972	4,1	16,8	36,5	57,5	85,6	111,2	129,8	109,1	68,2	37,8	17,6	1,5	675,9
1973	5,3	0,5	17	42,4	98,9	117,8	117,3	115,2	82,7	35,8	16,6	5,2	654,7
1974	9,8	16,7	40,8	76,6	90,2	109,9	125,8	108,2	73,6	22,6	15,5	11,8	701,5

TABLEAU 15 - EVAPOTRANSPIRATION EN mm SELON LA METHODE DE TURC CALCULEE MENSUELLEMENT.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1971	2	5	3	58	94	107	148	137	80	54	10	3	702
1972	4	13	26	43	75	101	126	112	62	39	24	2	637
1973	6	0	8	23	84	115	126	130	84	40	16	5	626
1974	10	16	35	50	76,5	102	124,5	120	85	23,5	18	12	673

TABLEAU 16 - EVAPOTRANSPIRATION CALCULEE EN mm SELON LA FORMULE DE THORNWAITE POUR LA STATION DE THONON-C.R.G.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1971	0	6	0	49,7	79,2	87,7	125,3	110,3	61,2	39	5	0	563,4
1972	0	2,3	23,7	41,9	69	108,2	111	97,8	51,9	29,9	17,9	0	553,6
1973	0	0	9,9	26,7	80,2	103,1	111,1	111,8	72,5	22,2	9,8	0	547,4
1974	17,5	7,6	27	38,8	67,5	92,2	125,1	96,6	67	16,2	11,4	6,9	573,7

TABLEAU 17 - EVAPOTRANSPIRATION CALCULEE EN mm SELON LA FORMULE DE THORNWAITE POUR LA STATION DES BLAVES.

Cette formule a été calculée mensuellement pour Thonon-C.R.G.
Les résultats sont regroupés dans le tableau 15.

La moyenne pour la période 1971-1974 est donc de 701 mm.

3.6.5. - *Evapotranspiration selon la formule de Thornthwaite.*

$$ET_p = 1,6 \left(10 \cdot \frac{T}{I}\right)^a$$

avec : $I = \sum_1^{12} i$, $i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$

et : $a = 0,49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3$

Les valeurs mensuelles trouvées sont ensuite corrigées par un facteur c en fonction de la latitude.

Ce facteur, calculé pour Thonon est de :

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

Après calculs, regroupés dans les tableaux 16 et 17, on trouve, pour la période 1971-1974, des moyennes égales à 660 mm pour Thonon-C.R.G. et 559 mm pour les Blaves.

3.6.6. - *Evapotranspiration selon la formule de Primault.*

Cette formule donnant l'évaporation mensuelle potentielle a été calculée pour Thonon-C.R.G. Elle s'écrit :

$$ET_p = J.C \left(1,03 - \frac{H}{100}\right) \cdot (\sum si + 2 n)$$

n = nombre de jours dans le mois

H = humidité relative en %

$\sum si$ = durée d'insolation mensuelle en heures

C = constante dépendant de l'altitude et égale à 0,947 à Thonon-C.R.G.

J = coefficient mensuel et égal à :

Janvier	0,11	Juillet	1,11
Février	0,17	Août	1,02
Mars	0,45	Septembre	0,8
Avril	0,75	Octobre	0,56
Mai	0,93	Novembre	0,36
Juin	1,05	Décembre	0,22

Les valeurs mensuelles en mm sont :

MOIS	1971	1972	1973	1974
Janvier	2,4	3,5	2,8	1,5
Février	7,7	8,1	7,7	2,9
Mars	27,8	35,9	42,8	15,9
Avril	80,3	59,7	76,8	49,5
Mai	69,2	91	97,7	51,2
Juin	80,1	106,7	104,2	62,8
Juillet	138,9	130,4	74,5	102,7
Août	106,5	133,7	56,4	68,7
Septembre	65,6	71,1	41,4	30,7
Octobre	28,4	34	14	12,8
Novembre	10,8	13,3	9,6	6
Décembre	4,2	6,3	5,2	4
<i>TOTAL</i>	<i>622</i>	<i>694</i>	<i>533</i>	<i>409</i>

La moyenne 1971-1974 nous donne 564 mm.

3.6.7. - *Mesure du pouvoir évaporant de l'atmosphère :
Piche et Bac.*

L'évaporation a été mesurée aux stations de Thonon-C.R.G. et Blaves, grâce à un bac de 1 m², à un évaporomètre Piche et un lysimètre.

Pendant les mois d'hiver, à cause du gel, l'évaporation a été estimée à 15 mm en Janvier, Février, Décembre, 25 mm en Mars, 50 mm en Avril.

Pour le Piche, les estimations sont de 5 mm en Janvier, Février, Décembre, 20 mm en Mars et Novembre, 45 mm en Avril (SIWERTZ, 1973).

Ces valeurs sont confirmées par les ET_p calculées.

- Evaporation Bac en mm.

ANNEES	THONON-C.R.G.	LES BLAVES
1971	492	553
1972	591	674
1973	595	610
1974	479	545
<i>MOYENNE 1971-1974</i>	<i>539</i>	<i>596</i>
<i>MOYENNE 1966-1974</i>	<i>548</i>	<i>559</i>

Sur la période 1966-1974, un gradient altimétrique d'évaporation peut être calculé ; il est de 5 mm/100 m entre Thonon et les Blaves.

- Evaporation Piche.

Les mesures nous donnent en mm :

ANNEES	THONON-C.R.G.	LES BLAVES
1971	458	464
1972	465	459
1973	433	405
1974	457	425
<i>MOYENNE 1971-1974</i>	453	438
<i>MOYENNE 1966-1974</i>	435	444

- Mesures lysimétriques.

Deux lysimètres de 1 m³ fonctionnent à Thonon-C.R.G. Les résultats donnés ici, correspondent aux valeurs du lysimètre A composé de :

- 10 cm de terre végétale,
- 60 cm de moraine type argile à blocs,
- 30 cm de graviers (taille des galets comprise entre 2 et 5 mm) assurant le drainage.

Ce lysimètre fonctionne en drainage total.

- Résultats.

Pour une période de l'ordre de l'année, on admet que l'évapotranspiration réelle est égale au déficit d'écoulement, car les variations du stock d'eau dans le lysimètre sont négligeables par rapport aux autres facteurs.

D'où : $E = D = P - Q$

P = précipitations

Q = drainage

ANNEES	P en mm	Q en mm	D en mm	D/P
1971	669	282	387	0,57
1972	676	318	358	0,53
1973	812	366	446	0,55
1974	978	543	435	0,45

3.6.8. - *Comparaison des résultats sur l'évaporation et l'évapotranspiration.*

Les deux tableaux suivants reprennent les résultats.

- A Thonon-C.R.G.

L'évapotranspiration potentielle varie entre 560 et 700 mm.

Les valeurs de déficit d'écoulement sont assez proches de celle mesurée par le Piche (50 mm de différence).

La moyenne de l' ET_p , calculée par la formule de Primault est assez faible et plus proche du déficit d'écoulement. Ceci s'explique par le fait que cette formule ne fait entrer en jeu que l'humidité relative.

L'évapotranspiration potentielle est supérieure de 150 mm par rapport au déficit d'écoulement.

Pour la région de Thonon, le déficit d'écoulement pourrait être compris entre 510 et 660 mm.

EVAPOTRANSPIRATION (en mm)	1971	1972	1973	1974	MOYENNE
Formule de Turc	468	441	476	532	479
Formule de Coutagne (Déficit d'écoulement)	528	483	489	525	506
Méthode de Wundt (Déficit d'écoulement)	460	470	485	580	499
Méthode de Turc ETP	771	676	655	702	701
Formule de Thornwaite ETP	702	637	626	673	660
Formule de Primault ETP	622	694	533	409	564
Bac	492	591	595	479	539
Piche	458	465	433	457	453
Lysimètre	387	358	446	435	406

- Aux Blaves.

EVAPOTRANSPIRATION (en mm)	1971	1972	1973	1974	MOYENNE
Formule de Turc	437	437	435	476	446
Formule de Coutagne	420	414	411	438	421
Méthode de Wundt	460	460	465	510	473
Formule de Thornwaite	563	554	547	574	559
Piche	464	459	405	425	438
Bac	553	674	610	545	596

Les résultats des formules donnant le déficit d'écoulement sont plus faibles que l'évapotranspiration potentielle d'environ 100 mm.

Le déficit d'écoulement est compris entre 420 et 450 mm à l'altitude de 600 m.

En conclusion sur l'évapotranspiration, on peut établir les gradients altimétriques pour les différentes formules et méthodes et tirer une valeur moyenne du gradient entre Thonon-C.R.G. et les Blaves.

- Evaporation Piche : - 6 mm/100 m
- Evaporation Bac : - 26 mm/100 m
- Formule de Turc : - 15 mm/100 m
- Formule de Coutagne : - 38 mm/100 m
- Formule de Thornwaite : - 45 mm/100 m

La valeur moyenne est de - 16 mm/100 m. SIWERTZ pour la période 1968-1970 trouvait une valeur de - 20 mm/100 m.

A partir des valeurs du bac de 1 m² et du gradient, l'évaporation réelle sur le bassin est :

ANNEES	EVAPORATION REELLE (en mm)
1971	435
1972	534
1973	538
1974	422
<i>MOYENNE 1971-1974</i>	<i>482</i>

Les valeurs calculées à l'échelle annuelle sont assez voisines de celles du Bac. Pour les années où les précipitations sont déficitaires, il semblerait que la formule de Turc, donnant l'évapotranspiration réelle, soit la plus satisfaisante (B. BLAVOUX, M. DRAY, E. SIWERTZ).

Nous prendrons donc ces valeurs comme valeurs d'évapotranspiration.

1971	468 mm
1972	441 mm
1973	476 mm
1974	532 mm

Pour l'ensemble du bassin, on aura :

1971	425 mm
1972	398 mm
1973	433 mm
1974	489 mm

IV - MESURE DE LA LAME D'EAU ECOULEE.

L'exutoire aval des différents bassins versants était équipé soit par des limnigraphes OTT R 16 (Pont des Braves, Redon, Foron), soit par des échelles limnimétriques (Foron, Esserts, Ruisseau de la Gorge, Confin des Gambis, Léchères).

4.1. - Tarage des stations (figures 56, 57, 58 et 59).

Le tarage des différentes sections a été fait soit au micromoulinet, soit à la Perche Arkansas pour les forts débits. Les résultats étaient obtenus pour les premières mesures par dépouillement au planimètre, puis à partir d'octobre 1974, par l'emploi d'une calculatrice Hewlett-Packard, type 10. La précision entre les mesures par la machine et à la main se situe entre 1 et 5 %. Les équations des courbes de tarage hauteur d'eau-débit ont été calculées par corrélation cubique (de la forme $Q = A_0 + A_1 H + A_2 H^2 + A_3 H^3$) et puissance (de la forme $Q = A.H^B$). Dans certains cas, les deux équations ont été conservées pour certaines parties de courbes s'adaptant le mieux aux points expérimentaux.

Ex : courbe de tarage Pont des Blaves.

Entre 0 et 0,325 m : emploi de la fonction puissance
 $Q = 0,0006 H^{4,1968}$. Au-dessus de 0,325 m : emploi de la fonction cubique
 $Q = 200,025 - 17,389 H + 0,1148 H^2 + 0,0108 H^3$.

Pour les ruisseaux des Blaves et du Foron, une deuxième courbe a du être calculée après la crue du 29 Juin 1974. Au Pont des Blaves, le seuil a été totalement emporté par les eaux. Au Foron, le limnigraphe a été endommagé par la chute d'un arbre et aux Léchères, l'échelle limnimétrique, pourtant rivée dans les fondations d'un pont, a été arrachée. A cause de cette crue les débits des rivières entre le 29 Juin et la fin Août 1974, n'ont pu être qu'estimés.

Les débits moyens journaliers ont été calculés par un programme débit. Les hauteurs d'eau sont rentrées directement dans la machine à calculer, après avoir mis en mémoire les coefficients des courbes de tarage. Ensuite, la machine restitue directement le débit moyen journalier.

4.2. - Débitmétrie.

4.2.1. - Débits moyens mensuels (figures 61, 62, 63, 64).

A partir des débits moyens journaliers, on peut calculer les débits moyens mensuels et les débits spécifiques. Les résultats sont regroupés dans les tableaux 18, 19 et 20.

Q l/s

2500

1° du 1-1-1971 au 29-6-1974

$$Q_1 = 200,025 - 17,359H + 0,1148 H^2 + 0,0108 H^3$$

(r = 0,997)

$$Q_2 = 0,0006 H^{4,1968}$$

(r = 0,988)

H limite = 0,325 m

2° du 29-6-1974 au 31-12-1974

$$Q_3 = 0,4235 + 0,2068 H + 1,3558 H^2 - 0,0094 H^3$$

(r = 0,99)

2000

2500

1000

500

100

0.1

0.2

0.3

0.4

0.5

0.6 m

Q₃

Q₁

Q₂

Hlim

Fig. 56: TARAGE - PONT DES BLAVES

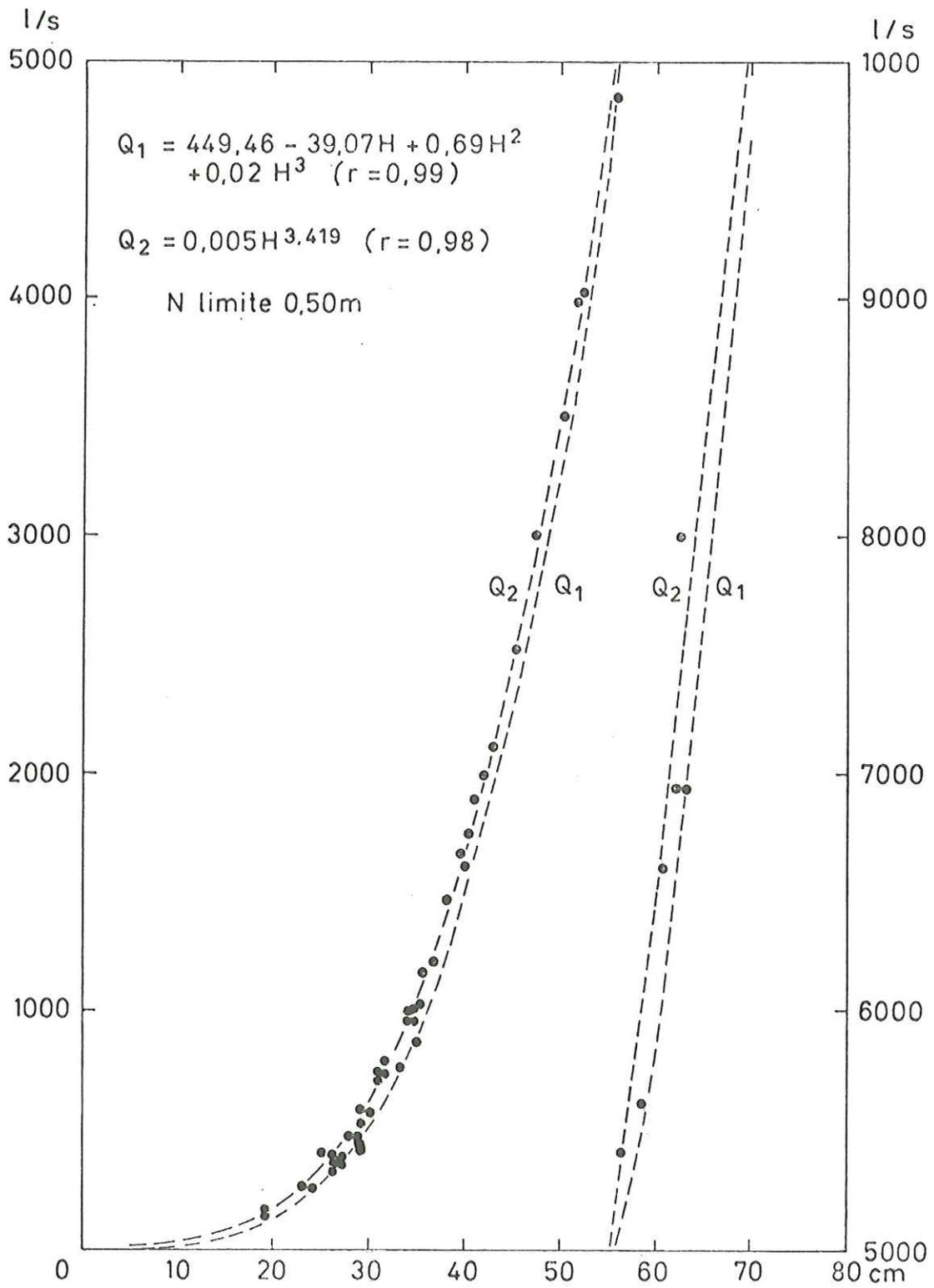


Fig.57: COURBE DE TARAGE - RUISSEAU DU REDON

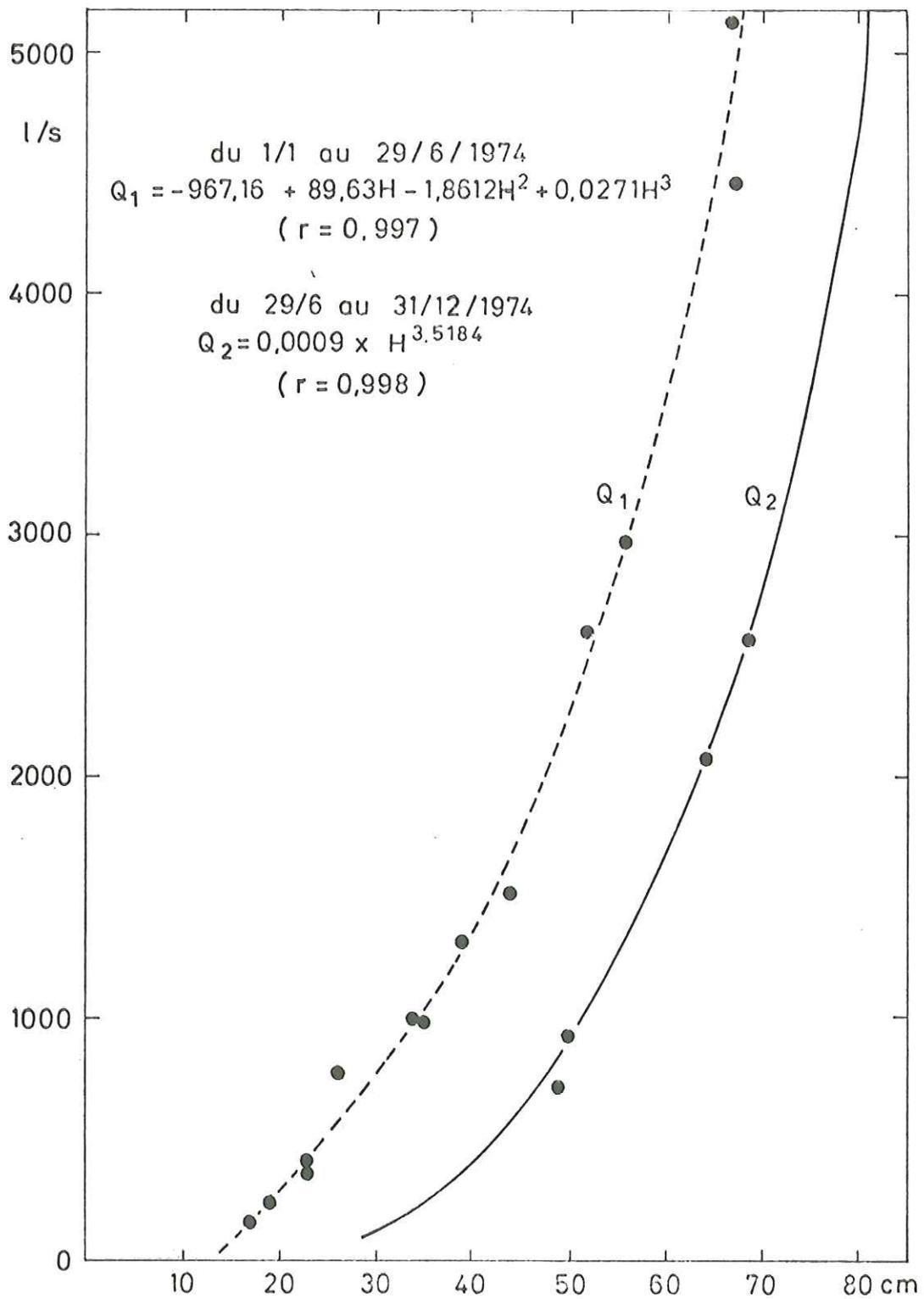


Fig. 58 : COURBE DE TARAGE - RUISSEAU DU FORON

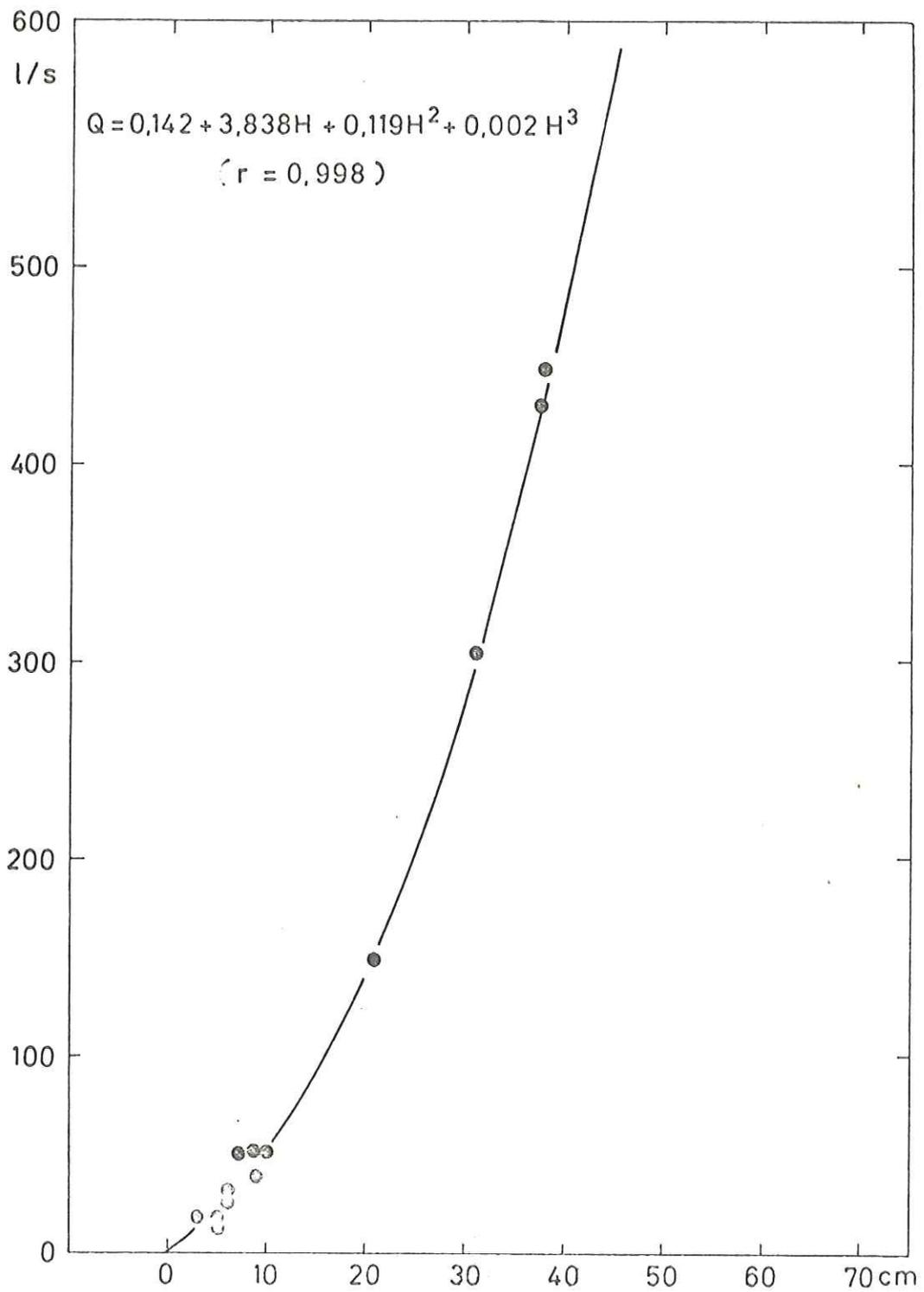


Fig. 59: COURBE DE TARAGE - RUISSEAU DES LECHERES

	ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Débits moyens mensuels	1971	110	79	99	111	78	73	26	12	9	20	41	35
	1972	30	59	70	143	35	56	32	14	17	15	90	62
	1973	46	49	48	81	88	143	116	73	59	81	55	74
	1974	66	92	66	36	56	129	166	46	86	169	187	155
Débits spécifiques mensuels	1971	6,9	4,9	6,2	6,9	4,9	4,6	1,6	0,7	0,6	1,2	2,7	2,2
	1972	1,9	3,7	4,4	8,9	2,2	3,5	2	0,9	1,1	0,9	5,6	3,9
	1973	2,9	3,1	3	5,1	5,5	8,9	7,3	4,6	3,7	5,1	3,4	4,6
	1974	4,1	5,8	4,1	2,3	3,5	8,1	10,4	2,9	5,4	10,6	11,7	9,7

TABLEAU 18 - DEBITS MOYENS MENSUELS EN l/s ET DEBITS SPECIFIQUES MENSUELS EN l/s/km². PONT DES BLAVES.

	ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Débits moyens mensuels	1971	330	253	489	383	320	278	168	105	158	294	366	230
	1972	192	366	438	563	199	245	137	46	111	297	513	422
	1973	176	231	199	249	454	641	465	226	197	310	248	315
	1974	273	420	337	217	229	436	268	156	199	477	676	557
Débits spécifiques mensuels	1971	1,0	7,7	14,8	11,6	9,7	8,4	5,1	3,2	4,8	8,9	11,1	7
	1972	5,8	11,1	13,3	17,1	6	7,4	4,2	1,4	3,4	9	15,5	12,5
	1973	5,3	7	6	7,5	13,7	19,4	14,1	6,8	6	9,4	7,5	9,5
	1974	8,3	12,7	10,2	6,6	6,9	13,2	8,1	4,7	6	14,5	20,5	16,9

TABLEAU 19 - DEBITS MOYENS MENSUELS EN l/s ET DEBITS SPECIFIQUES MENSUELS EN l/s/km². REDON.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	860	1 401	801	467	736	1 497	567	267	873	1 534	1 780	1 049
Débits moyens mensuels												
1974	15,1	24,6	14,1	8,2	12,9	26,3	10	4,7	15,3	27	31,3	18,4
Débits spécifiques mensuels												

TABLEAU 20 - DEBITS MOYENS MENSUELS EN 1/s ET DEBITS SPECIFIQUES MENSUELS EN 1/s/km². FORON.

4.2.2. - Débits moyens annuels.

ANNEES	LES BLAVES	REDON	FORON	LES BLAVES	REDON	FORON
1971	58	281	-	3,6	8,5	-
1972	52	294	-	3,2	8,9	-
1973	76	309	-	4,8	9,4	-
1974	105	354	986	6,6	10,7	17,3
	DEBITS MOYENS ANNUELS (en l/s)			DEBITS SPECIFIQUES ANNUELS (en l/s/km ²)		

Si l'on compare les valeurs des débits spécifiques entre les Blaves et le Foron, on s'aperçoit qu'ils varient du simple au double. Ceci s'explique par la nature géologique des terrains des deux bassins versants. Le plateau des Blaves est essentiellement recouvert par des graviers et sables des terrasses, tandis que le bassin du Foron est beaucoup plus argileux (argile à blocs). Ceci implique donc une capacité de rétention d'eau plus élevée aux Blaves que dans le bassin du Foron, et des débits spécifiques très différents.

4.2.3. - Débits caractéristiques.

Sur les figures 61, 62, 63 et 64, nous avons classé les débits par valeurs décroissantes, ce qui permet de définir les valeurs caractéristiques de l'écoulement (tableaux 21 et 22).

On peut en tirer le débit moyen interannuel 1971-1974 qui est de :

- Blaves : 73 l/s
- Redon : 309 l/s

ce qui correspond à un débit spécifique de :

- Blaves : 4,5 l/s/km²
- Redon : 9,4 l/s/km²

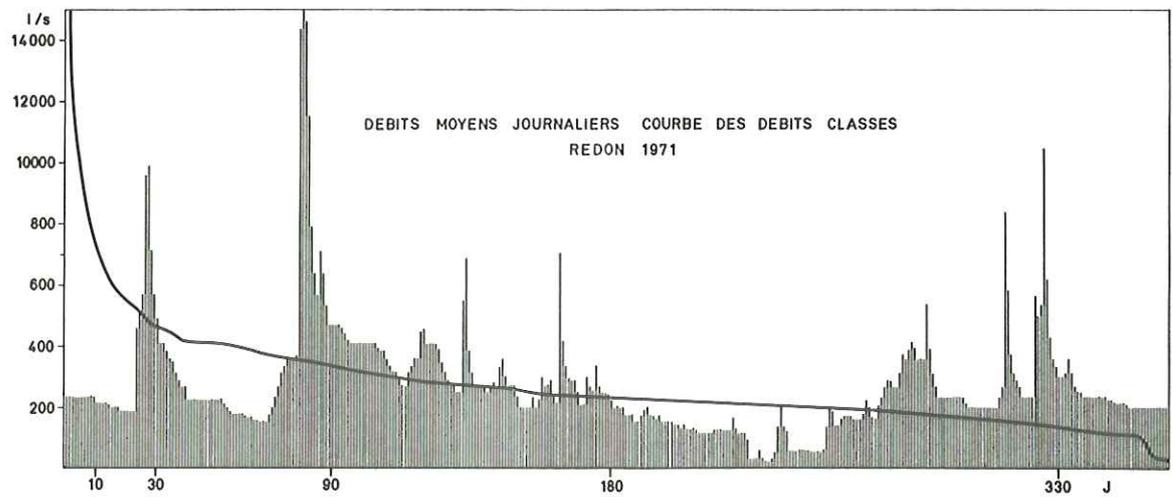
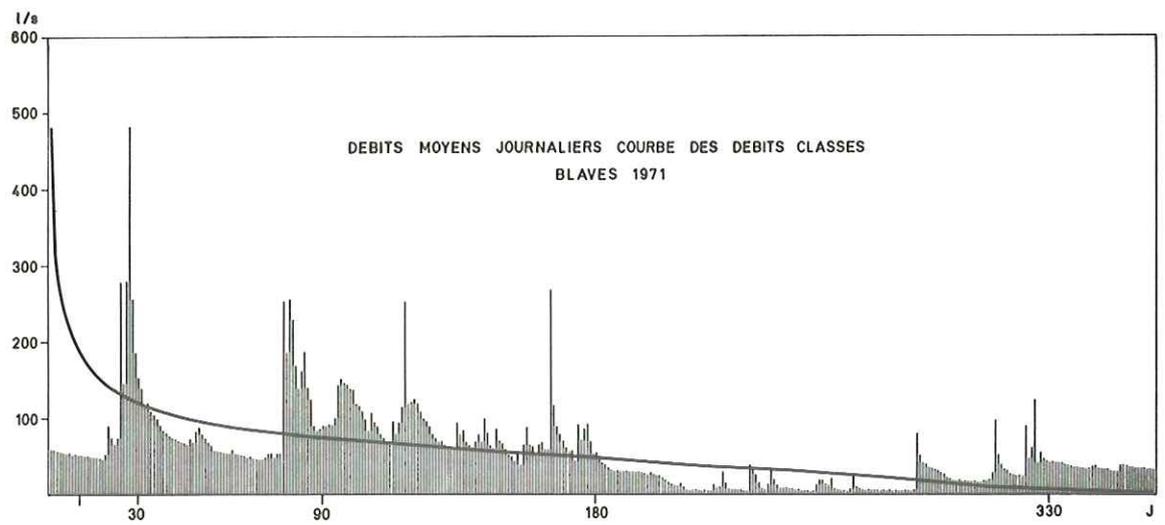


Fig. 60

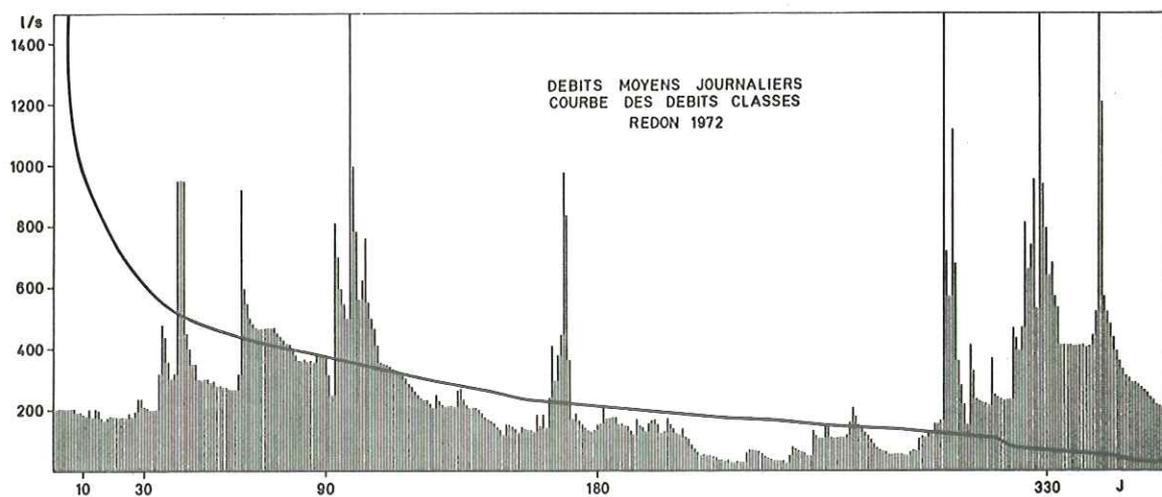
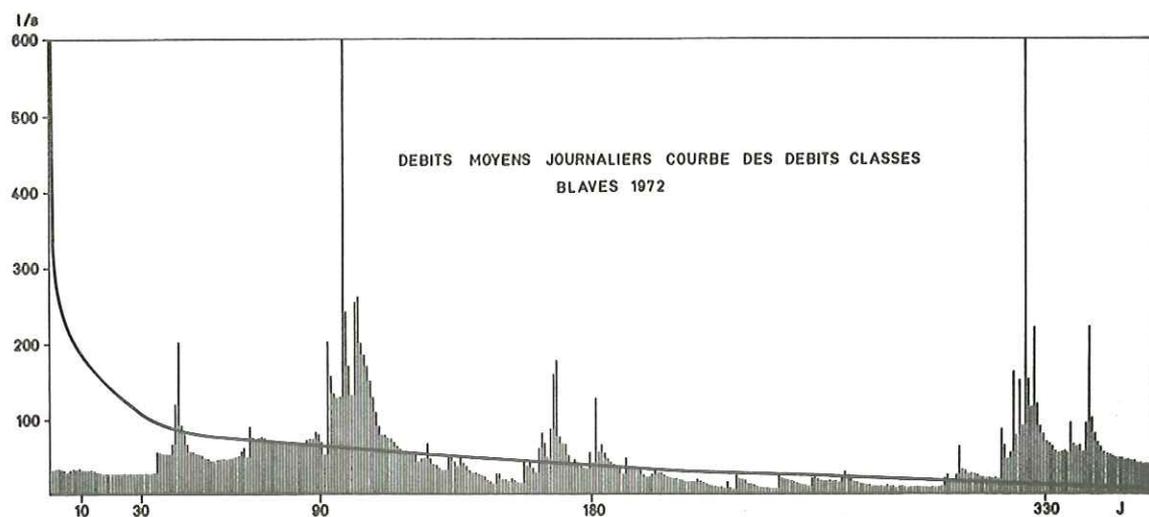


Fig. 61

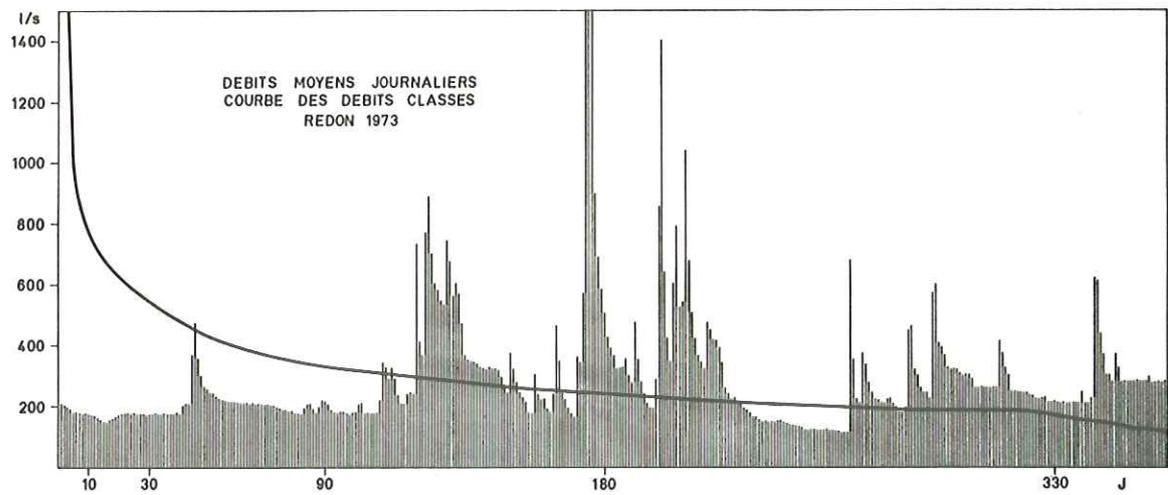
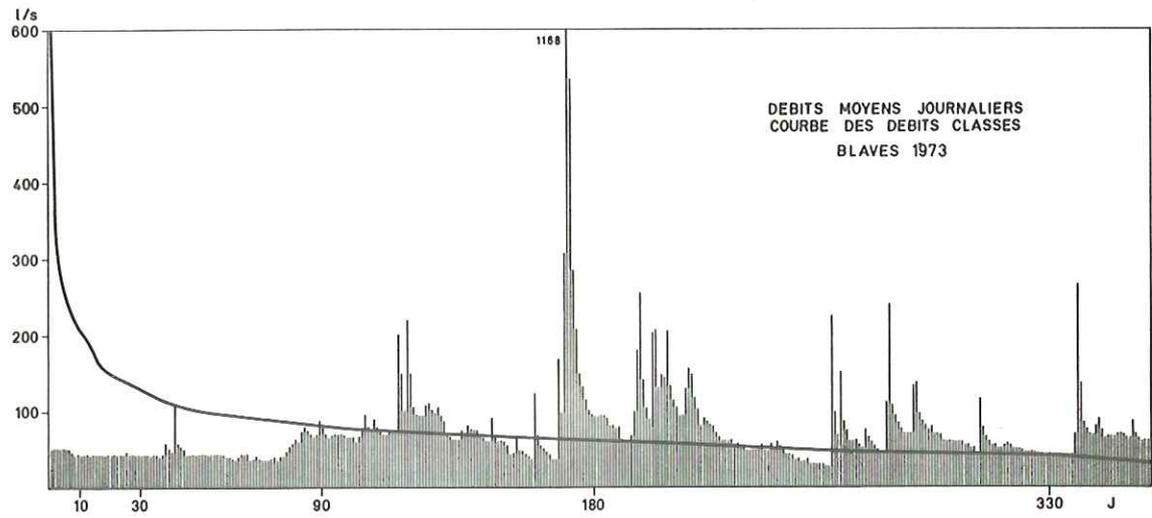


Fig. 62

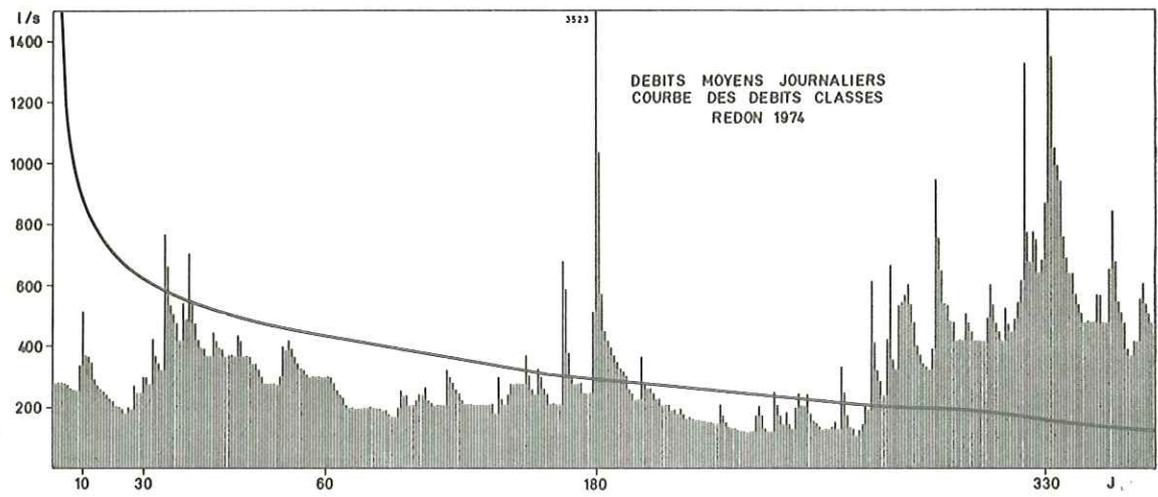
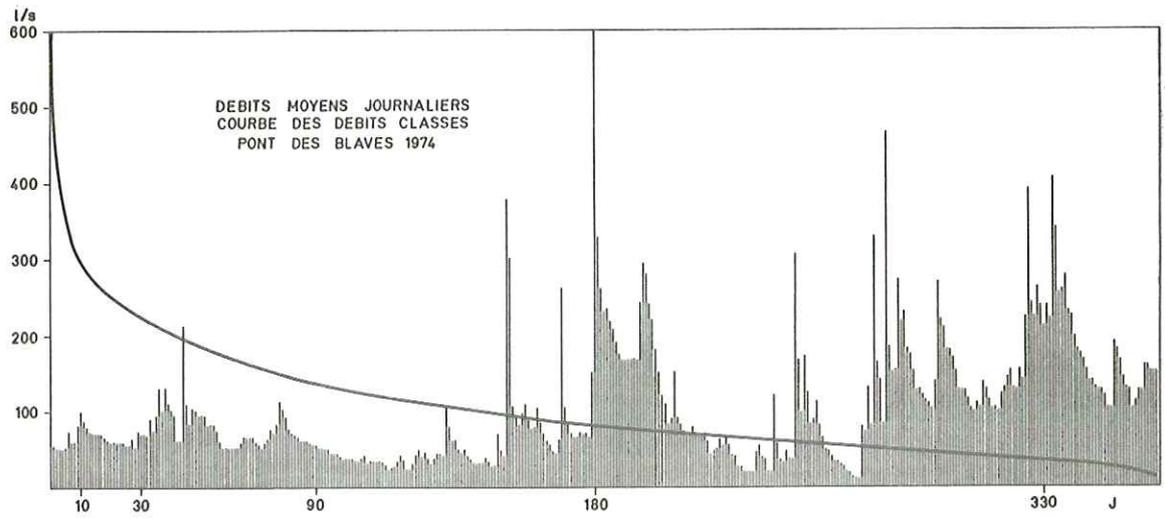


Fig. 63

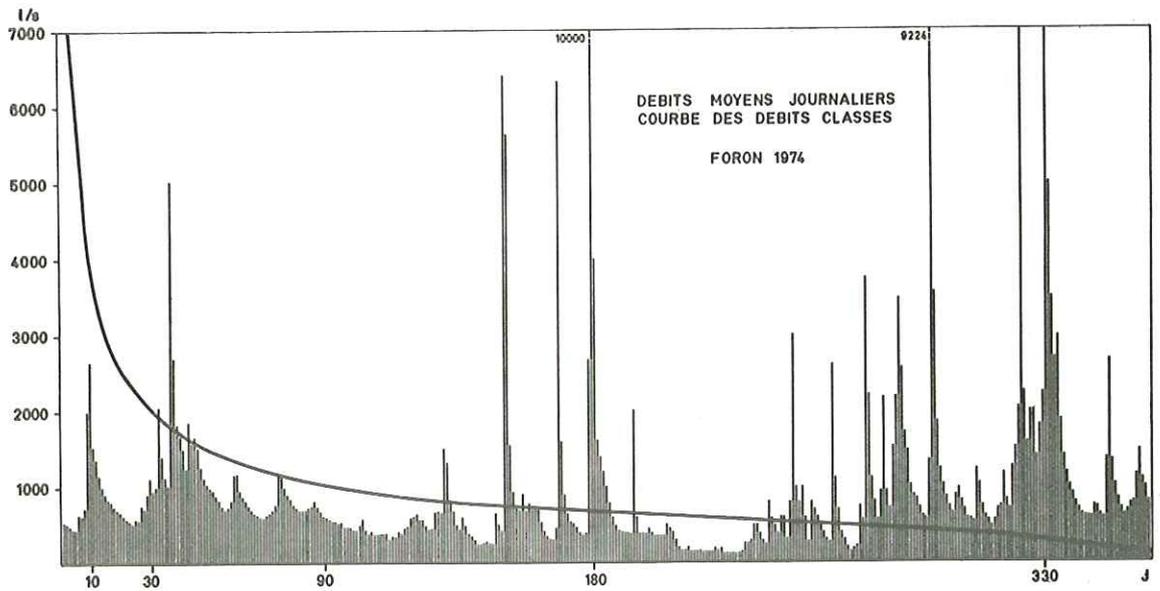
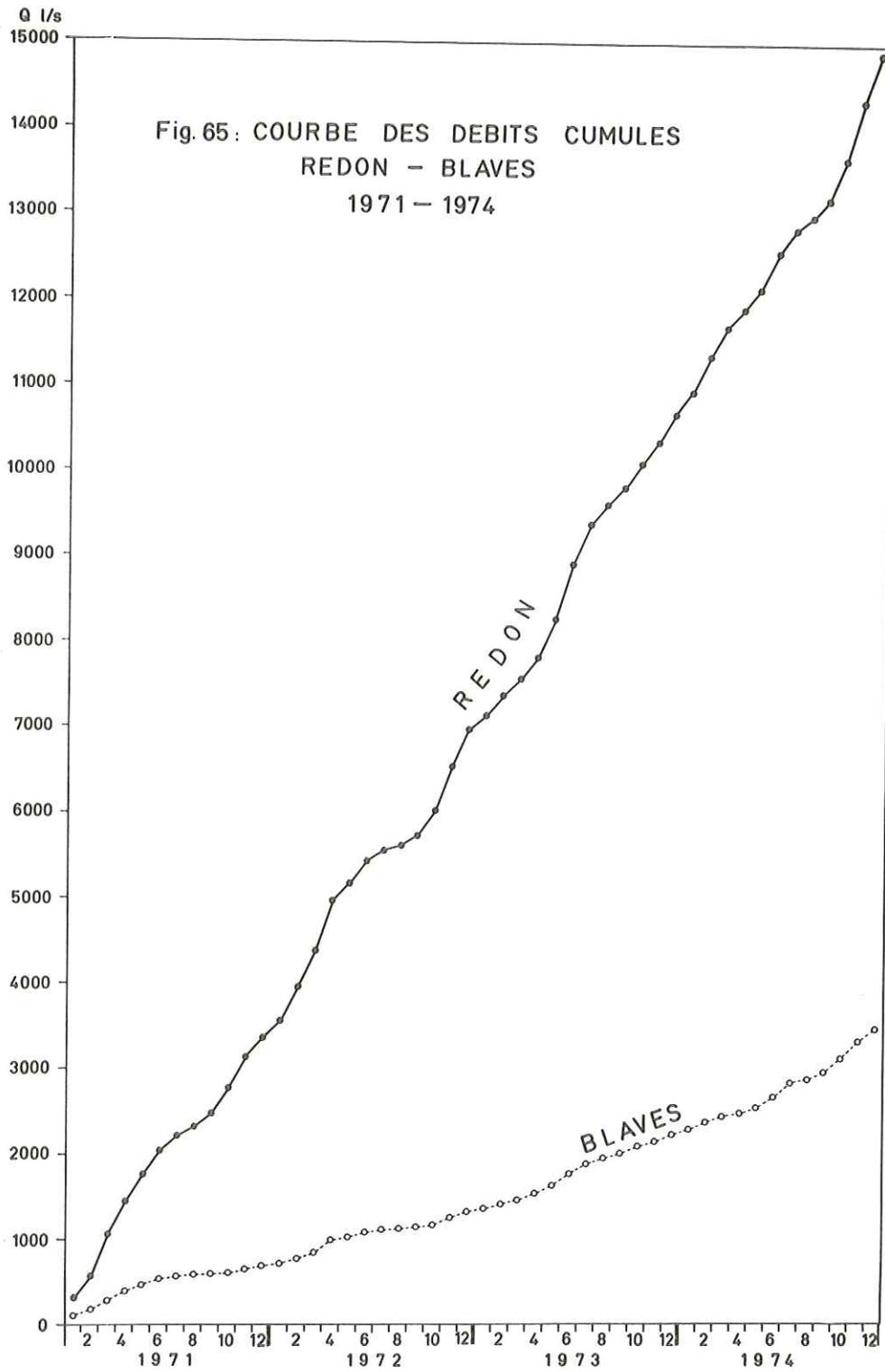


Fig. 64



ANNEES	DC 10	DC 30	DC 90	DC 180	DC 330	DC ETIAGE	en l/s
1971	192	122	76	49	6	4	Blaves
1972	190	106	64	38	11	8	
1973	212	130	81	62	42	35	
1974	301	226	133	79	33	21	
1971	750	465	330	235	135	120	Redon
1972	970	612	375	217	77	30	
1973	770	568	327	235	163	127	
1974	871	641	435	291	153	127	
1974	4 000	2 050	1 040	690	290	160	Foron

TABLEAU 21 - DEBITS CARACTERISTIQUES EN l/s DES DIFFERENTES RIVIERES.

ANNEES	DC 10	DC 30	DC 90	DC 180	DC 330	DC ETIAGE	en l/s/km ²
1971	12	7,6	4,8	3,1	0,4	0,3	Blaves
1972	11,9	6,6	4	2,4	0,7	0,5	
1973	13,3	8,1	5,1	3,9	2,6	2,2	
1974	18,7	14,1	8,3	4,9	2	1,3	
1971	22,7	14,1	10	7,1	4,1	3,6	Redon
1972	29,4	18,5	11,4	6,6	2,3	0,9	
1973	23,3	17,2	9,9	7,1	4,9	3,8	
1974	26,4	19,4	13,2	8,8	4,6	3,8	
1974	70,3	36	18,3	12,1	5,1	2,8	Foron

TABLEAU 22 - DEBITS SPECIFIQUES CARACTERISTIQUES EN l/s/km² DES DIFFERENTES RIVIERES.

4.3. - *Lame d'eau écoulée.*

Les résultats des débits spécifiques mensuels permettent d'exprimer la lame d'eau écoulée, ainsi que le volume d'eau écoulé.

	LAME D'EAU ECOULEE (en mm)	VOLUME D'EAU ECOULE (en m ³)
Les Blaves		
1971	114	1 830 000
1972	102	1 640 000
1973	150	2 400 000
1974	207	3 310 000
Redon		
1971	268	8 900 000
1972	281	9 300 000
1973	295	9 750 000
1974	338	11 170 000
Foron + Confin des Gambis 1974	553	31 550 000

Lame d'eau écoulée rapportée à la superficie totale.

1971	218 mm
1972	223 mm
1973	248 mm
1974	433 mm

4.4. - *Remarques sur l'étude des débits.*

Le tableau 23 donne les moyennes mensuelles des débits moyens mensuels durant la période 1971-1974.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOYENNE
Débit moyen l/s BLAVES	63	70	71	93	64	100	85	36	43	71	93	82	73
Débit mois Débit moyen BLAVES	0,86	0,96	0,97	1,27	0,88	1,37	1,16	0,49	0,59	0,97	1,27	1,12	
Débit moyen l/s REDON	243	318	366	353	301	400	260	133	166	345	451	381	310
Débit mois Débit moyen REDON	0,78	1,02	1,18	1,14	0,97	1,29	0,84	0,43	0,54	1,11	1,45	1,23	

TABLEAU 23 - MOYENNES MENSUELLES DES DEBITS MOYENS MENSUELS 1971-1974.

en l/s/km ²	DRANSE			RHONE			LES BLAVES			REDON		
	1971	1972	1973	1971	1972	1973	1971	1972	1973	1971	1972	1973
Débit spécifique moyen	27,5	32,8	32	29	25	30	3,6	3,2	4,8	8,5	8,9	9,4
DC 10	67	100	158	58	53	63	12	11,9	13,3	22,7	29,4	23,3
DC 180	20	24	24	23	20	20	3,1	2,4	3,9	7,1	6,6	7,1
DC étiage	4	4	2	13	12	9,5	0,3	0,5	2,2	3,6	0,9	3,8

TABLEAU 24 - DEBITS SPECIFIQUES COMPARES ENTRE DIVERS AFFLUENTS DU LAC LEMAN.

Ce tableau montre deux maximas : le premier au printemps (Mars, Avril, Mai, Juin) dû à la fonte des neiges, l'autre en Novembre et Décembre, provoqué par les pluies d'automne. Ce deuxième maximum serait accentué par une évapotranspiration plus faible en cette saison (SIWERTZ, 1973).

Les étiages se situent en Août et Septembre, ainsi qu'en Janvier.

On a donc, dans la région, un régime nivo-pluvial.

Si l'on compare les débits spécifiques avec d'autres rivières, on note que (tableau 24) :

Le débit spécifique moyen est nettement plus fort pour la Dranse et le Rhône que pour les Blaves, un peu moins nettement entre la Dranse et le Redon. Il en est de même pour les débits caractéristiques DC 10 - DC 180. Ceci peut s'interpréter par un stockage important dans les formations quaternaires des Blaves et du Redon.

4.5. - La crue exceptionnelle du 28 et 29 Juin 1974.

Entre le 27 et le 29 Juin 1974, de violents orages ont provoqué des crues exceptionnelles sur tous les bassins. Une pluviométrie de 150 mm a été enregistrée à Bellevaux (930 m) (HAUBERT, 1974). A Verayon (535 m) sur le bassin du Foron, la pluviométrie a été de 91 mm, soit 8 % de la pluviométrie annuelle à cette station.

Sur le Foron (étiage de 392 l/s), le 28 Juin à 22 h 30, une première crue montre un maximum à 16 m³/s, puis le 29 Juin, une averse très violente (environ 40 mm/h) donne une deuxième pointe de crue à 10 m³/s, puis une troisième à 12 h estimée à environ 40 m³/s, ce qui a eu pour effet d'endommager le limnigraphe par la chute d'un arbre sur le Foron et la destruction du seuil au Pont des Blaves.

Le volume écoulé à l'exutoire du Foron entre le 28 et le 30 Juin est de $4,33 \times 10^6$ m³, soit environ 14 % du volume moyen annuel.

4.6. - Les eaux souterraines.

Sur la figure 66, sont représentées les différentes courbes de tarissement obtenues par juxtaposition de périodes de décrues en régime non influencé (sans précipitations).

Pour cela, nous utiliserons la formule de Maillet qui s'écrit :

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

avec : t = temps écoulé depuis le début du tarissement en jours

Q_t = le débit à l'instant t

Q_0 = le débit à l'instant $t = 0$

α = coefficient de tarissement

L'intégrale de cette équation permet d'évaluer les réserves superficielles, estimation par défaut car l'évapotranspiration n'entre pas en ligne de compte.

Nous aurons :

$$V = \int_{t_0}^{\infty} Q_t \cdot dt = \int_{t_0}^{\infty} Q_0 \cdot e^{-\alpha t} = \frac{Q_0}{\alpha}$$

Pour les quatre années, le calcul de α et V donne :

CRUES	α	V en m ³
LES BLAVES		
du 01/01 au 18/01/1971	0,0138	281 900
du 27/01 au 15/02/1971	0,0391	322 600
du 12/02 au 24/02/1972	0,0276	206 600
du 12/04 au 04/05/1972	0,0368	274 700
du 20/07 au 02/08/1972	0,0529	52 300
du 10/12 au 31/12/1972	0,0207	250 400
du 10/01 au 26/01/1973	0,0161	402 500
du 17/03 au 12/04/1974	0,0299	242 700
du 01/12 au 16/12/1974	0,0506	409 800
REDON		
du 28/01 au 11/02/1971	0,055	864 000
du 14/02 au 28/02/1973	0,0161	1 422 100
du 11/03 au 21/03/1973	0,0161	2 040 000
du 10/01 au 24/01/1974	0,0414	730 400
du 19/03 au 26/03/1974	0,046	817 000
du 29/06 au 12/07/1974	0,0668	
du 29/11 au 10/12/1974	0,0506	1 639 200
FORON		
du 10/01 au 24/01/1974	0,0529	2 041 600
du 01/12 au 10/12/1974	0,11	1 237 100

Les valeurs moyennes de α obtenues sur Les Blaves et le Redon sont de 0,0319 et 0,0417, tandis que sur le bassin des Dranses, il n'est que de 0,020 et de 0,027 sur le bassin du Brévon (HAUBERT, 1974). Les valeurs plus faibles de ces bassins versants montrent que les bassins des Blaves et du Redon ont des réserves souterraines moindres. Il n'y a que les formations quaternaires qui soient aquifères, alors que sur les deux autres bassins, le trias, les calcaires des nappes ainsi que les flyschs sont susceptibles d'être aquifères.

Si on regarde le volume des réserves en 1972 pour Les Blaves, on s'aperçoit que pendant l'hiver les réserves sont de 206 600 m³, en Avril-Mai, de 274 700 m³, en Juillet de 52 300 m³, en Décembre 1972 de 250 400 m³ et en Janvier 1973 de 402 500 m³. On peut donc noter que les réserves varient en même temps que les débits avec deux maxima au printemps et à l'automne.

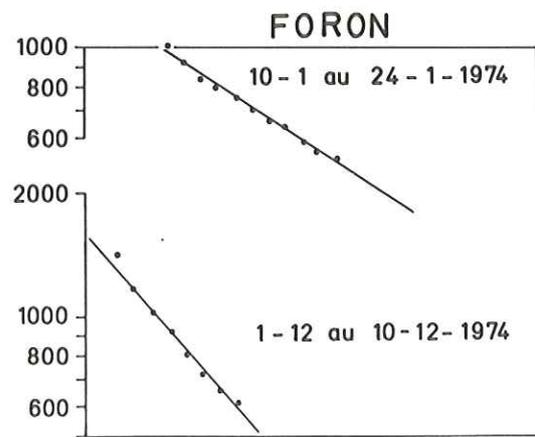
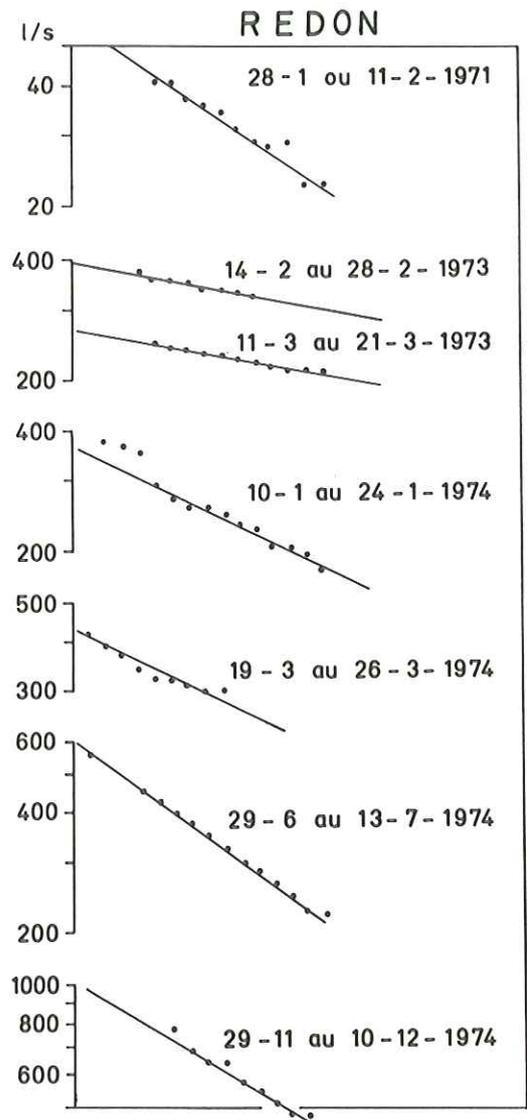
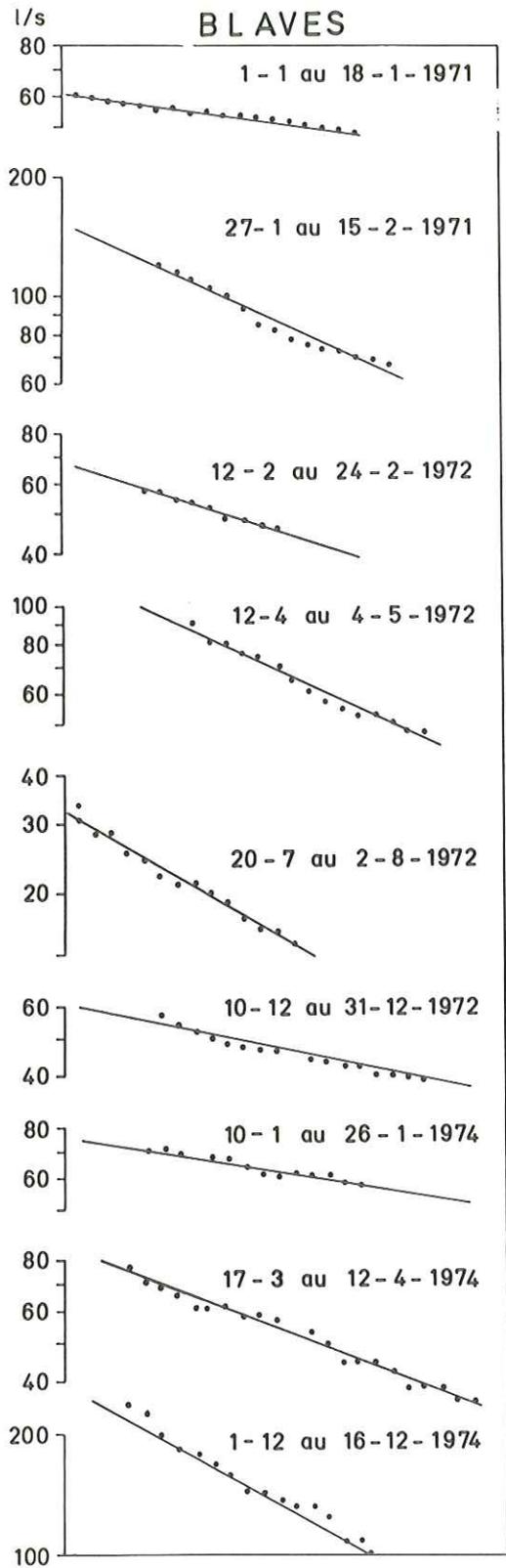


Fig.66: COURBES DE TARISSEMENT

La variation des réserves est d'environ $1,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ pour le bassin de 49 km^2 et $2,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ pour le bassin de 106 km^2 , ce qui représente une lame d'eau de 22 mm et 21 mm.

V - APPROCHE DU BILAN HYDROLOGIQUE.

5.1. - *Bilan annuel.*

Les termes du bilan se décomposent en entrées et sorties du bassin versant.

On a l'expression :

$$P + Q_E = ET_r + Q + Q_s + \Delta r$$

Entrées = Sorties

P = précipitations

Q_E = alimentation par des nappes extérieures au bassin

ET_r = évapotranspiration réelle

Q = écoulement de surface

Q_s = écoulement souterrain vers l'extérieur du bassin

Δr = variation des réserves

On peut évaluer le volume de l'eau soutirée par les captages à $1\,770\,000 \text{ m}^3$ par an sur le bassin des Blaves et Redon et $2\,100\,000 \text{ m}^3$ par an sur le bassin des Blaves, Redon, Foron, soit un débit de 56 l/s et 66 l/s et une lame d'eau de 36 mm et 20 mm. La restitution à la nappe de l'eau prélevée par les captages s'élève environ à 10 % donc la lame d'eau effectivement captée est de 32 mm et 18 mm. A cela il faut ajouter la variation des réserves Δr qui est de 22 mm et 21 mm.

Le tableau 24 bis résume les termes des bilans annuels pour les bassins de 49 km^2 (1971-1972-1973) et de 106 km^2 (1974).

	ENTREES	SORTIES		DIFFERENCE E - S	CAPTAGES	Δr	Qs
ANNEES	P en mm	ET _r en mm	Q en mm	en mm	en mm	en mm	en mm
1971	826	425	218	183	36 - 4	22	129
1972	876	398	223	255	36 - 4	22	201
1973	1 036	433	248	355	36 - 4	22	301

	ENTREES	SORTIES		DIFFERENCE E - S	CAPTAGES	Δr	Qs
ANNEE	P en mm	ET _r en mm	Q en mm	en mm	en mm	en mm	en mm
1974	1 191	489	433	269	20 - 2	21	230

TABLEAU 24 bis - BILANS HYDROLOGIQUES ANNUELS.

On s'aperçoit donc que pour les quatre années, le bilan n'est pas équilibré et que des écoulements vers l'extérieur du bassin existent, représentant un volume de :

1971 : $6,3 \times 10^6 \text{ m}^3$

1972 : $9,8 \times 10^6 \text{ m}^3$

1973 : $14,8 \times 10^6 \text{ m}^3$

1974 : $24,3 \times 10^6 \text{ m}^3$

Après l'approche du bilan et grâce aux données météorologiques qui ont permis de mettre en évidence un bilan positif, on peut tenter de donner un bilan excédentaire maximum et minimum, en critiquant les différentes méthodes de mesure.

- La pluviométrie : la précision des mesures peut être évaluée à 10 %.

- L'évapotranspiration réelle : la précision peut être évaluée à 20 % et même plus, car c'est le terme le plus difficile à approcher.

- Les débits d'écoulement de surface peuvent être évalués, quant à eux, à 5 %, car c'est le terme qui se mesure avec le plus de précision. On aura donc :

- Bilan excédentaire maximum en mm (Pluviométrie maximum, E_{Tr} et débits minimas).

	P	-	(E_{Tr} + Q + Captage + Δr)	=	Qs
1971	909	-	(340 + 207 + 54)	=	308 mm
1972	964	-	(318 + 212 + 54)	=	380 mm
1973	1 140	-	(346 + 236 + 54)	=	504 mm
1974	1 310	-	(391 + 411 + 39)	=	469 mm

- Bilan excédentaire minimum en mm (Pluviométrie minimum, E_{Tr} et débits maximas).

1971	743	-	(510 + 229 + 54)	=	50 mm
1972	788	-	(478 + 234 + 54)	=	22 mm
1973	932	-	(520 + 260 + 54)	=	98 mm
1974	1 072	-	(587 + 455 + 39)	=	9 mm

Les écoulements non décelés sont donc compris entre :

1971	:	- 50 mm	<	Q_s	<	308 mm
1972	:	22 mm	<	Q_s	<	380 mm
1973	:	98 mm	<	Q_s	<	504 mm
1974	:	- 9 mm	<	Q_s	<	469 mm

Ce qui donne un volume (en 10^6 m³) de :

1971	:	- 2,5	<	Q_s	<	15,1	
1972	:	1,1	<	Q_s	<	18,6	Bassin de 49 km ²
1973	:	4,8	<	Q_s	<	24,7	
1974	:	- 0,9	<	Q_s	<	49,7	Bassin de 106 km ²

Essayons de préciser maintenant les zones et le sens de ces écoulements non décelés.

Il a déjà été dit que la majeure partie du bassin est recouverte de Quaternaire et c'est surtout dans ses différents aquifères que les écoulements se feront.

- Sur le bassin des Blaves, les terrasses de Thonon représentent le principal aquifère. E. SIWERTZ (1973) trouve deux axes d'écoulement, l'un allant du Lyaud au Noyer et l'autre de Maugny vers le Noyer. Ces axes correspondraient à des zones de dépression dans la moraine sous-jacente aux terrasses. Les écoulements en direction de la Dranse existent, mais sont peu nombreux. Par contre, les niveaux sableux des interstades (équivalents à ceux d'Evian) représentent certainement une part importante des écoulements souterrains non décelés (sondage de Chessy).

- Sur le bassin du Redon, la zone comprise entre Jouvernex, Séchex, Ronsuaz et Allinges permet un écoulement en direction du lac. Celle-ci est recouverte par les cailloutis des terrasses dont l'épaisseur à Séchex est d'au moins 50 m. Un témoin de cet écoulement est la source du Renan, alimentant le village d'Anthy à la limite du bassin du Redon et du Pamphiot. La zone comprise entre la Renouillère et les Balises correspond à un ancien delta (BUCHLI, DONZE, PAQUIN) et par ce sillon graveleux, une grande part de l'eau excédentaire doit s'échapper pour aller alimenter le lac.

- Sur le bassin du Foron, les eaux de la rivière doivent se réinfiltrer à partir d'Excuvilly, en direction du lac et Bonnatrait. De plus, un drain NE-SW entre Langins et Brens doit faire échapper les eaux souterraines de la région de Bons vers le bassin du Foron d'Annemasse.

Ces écoulements s'effectuent essentiellement dans les graviers des terrasses de Thonon, mais il ne faut pas mésestimer la capacité de rétention et les circulations pouvant exister dans la moraine. Elle est généralement argileuse, mais suivant le degré du délavage qu'elle peut avoir subi, on arrive à obtenir des valeurs de perméabilité analogues à celles des terrasses de Thonon (10^{-2} à 10^{-3} cm/s).

Des écoulements souterrains à l'extérieur du bassin dans le substratum sont limités sauf si des failles, jouant le rôle de drains existent, ce qui n'a pas été encore reconnu. Les structures tectoniques et la lithologie ne permettent pas d'envisager des écoulements hors des limites du bassin. Seuls, le Trias gypseux et le lias calcaire, quelquefois karstifié de la nappe des Préalpes permettraient de tels écoulements. Le débit de l'eau soutirée au bassin par ces terrains n'est pas évaluable.

En résumé, le calcul du bilan montre un excédent moyen de 240 mm, mettant ainsi en évidence des circulations allant du bassin vers l'extérieur. Celles-ci s'effectuent dans les terrains gravelo-sableux du Quaternaire, dans la partie basse du bassin entre Excuvilly et Margencel, contribuant ainsi à alimenter le lac.

5.2. - *Bilan mensuel aux Blaves en mm.*

En regroupant les résultats des paragraphes précédents dans les tableaux 25, 26, 27 et 28, on peut dresser le bilan mensuel pour chaque année :

Le stockage représente la différence Précipitations - (Evapotranspiration + lame d'eau écoulée).

Si le résultat est positif, on a un excédent des entrées, s'il est négatif, on a un déficit des entrées.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
P (en mm)	68	30	114	68,5	99,5	146,5	40,5	106,5	57	49	108	11,5	899
ETP Thornwaite (en mm)	0	6	0	50	79	88	125	110	61	39	5	0	563
Lame d'eau écoulee (en mm)	18	12	16,5	18	13	12	4	2	1,5	3	7	6	113
Stockage (en mm)	50	12	97,5	0,5	7,5	46,5	- 88,5	- 5,5	- 5,5	7	96	5,5	223
Stockage cumulé (en mm)	50	62	159,5	160	167,5	214	125,5	120	114,5	121,5	217,5	223	223

TABLEAU 25 - BILAN MENSUEL AUX BLAVES EN mm. ANNEE 1971.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
P (en mm)	11	78	69,5	103	66	168	69	71	47	46,5	147	69	945
ETP Thornwaite (en mm)	0	2	24	42	69	108	111	98	52	30	18	0	554
Lame d'eau écoulee (en mm)	5	7	12	22	6	9	5	2	3	2,5	15	10	98,5
Stockage (en mm)	6	69	33,5	39	- 9	51	- 47	- 29	- 8	14	114	59	292,5
Stockage cumulé (en mm)	6	75	108,5	147,5	138,5	189,5	142,5	113,5	105,5	119,5	233,5	292,5	292,5

TABLEAU 26 - BILAN MENSUEL AUX BLAVES EN mm. ANNEE 1972.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
P (en mm)	31	34	11	111	97	198	165	84	77	44	41	60,5	953,5
ETP Thornwaite (en mm)	0	0	10	27	80	103	111	112	73	22	10	0	548
Lame d'eau écoulée (en mm)	8	7	8	13	15	23	19,5	12	10	14	9	12	150,5
Stockage (en mm)	23	27	- 7	71	2	72	34,5	- 40	- 6	8	22	48,5	255
Stockage cumulé (en mm)	23	50	43	114	116	188	222,5	182,5	176,5	184,5	206,5	255	255

TABLEAU 27 - BILAN MENSUEL AUX BLAVES EN mm. ANNEE 1973.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
P (en mm)	64	86	33	36	151	217	98	84,5	121	143	149	54,5	1 237
ETP Thornwaite (en mm)	18	8	27	39	68	92	125	97	67	16	11	7	575
Lame d'eau écoulée (en mm)	11	14	11	6	9	21	28	7	14	28	30	26	205
Stockage (en mm)	35	64	- 5	- 9	74	104	- 55	- 19,5	40	99	108	11,5	447
Stockage cumulé (en mm)	35	99	94	85	159	263	208	188,5	228,5	327,5	435,5	447	447

TABLEAU 28 - BILAN MENSUEL AUX BLAVES EN mm. ANNEE 1974.

D'après les tableaux, on peut s'apercevoir que l'on a :

- Recharge des nappes d'Octobre à Juin.
- Prélèvement sur les réserves en Juillet, Août et Septembre.

On a donc une accumulation d'eau dans le bassin de l'automne au début de l'été, soit sous forme de neige, soit par recharge de la nappe. Pendant l'été, il y a prélèvement sur les réserves entraînant une diminution du stock d'eau. Le stockage cumulé montre, quant à lui, l'état des réserves en eau du bassin. On s'aperçoit à la fin des années 1971-1972-1973 que le stockage est sensiblement le même mais que pour l'année 1974, les réserves ont augmentées d'environ 200 mm. Au bout des quatre ans d'étude, le stockage total s'élève à environ 1 200 mm.

VI - CONCLUSIONS SUR LES ETUDES CLIMATOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE.

Ces études portant sur quatre années, ont permis de connaître et de préciser plusieurs paramètres hydrométéorologiques.

Pour Thonon-C.R.G., on trouve :

- Hygrométrie : moyenne 76,2 %
- Températures : moyenne 9°9
- Durée d'ensoleillement : moyenne 2 027,2 h
- Pluviométrie : moyenne 729 mm
- Evapotranspiration réelle : moyenne 480 mm

Certains gradients altimétriques ont été calculés grâce aux corrélations effectuées entre les diverses stations météorologiques. Ce sont :

- Le gradient thermométrique : - 0°6/100 m
- Le gradient pluviométrique : + 63,6 mm/100 m
- Le gradient d'évaporation : - 16 mm/100 m

Les débits moyens interannuels sont respectivement pour le ruisseau des Blaves et du Redon de 73 l/s et 309 l/s correspondant à des débits spécifiques de 4,5 l/s/km² et 9,4 l/s/km². Pour 1974, le ruisseau du Foron a eu un débit moyen de 986 l/s représentant un débit spécifique de 17,3 l/s/km².

Le calcul du bilan montre que des écoulements souterrains vers l'extérieur des bassins existent, représentant pour le bassin de 46 km², une moyenne de 19 % des précipitations. Pour le bassin de 106 km² et pour 1974, la part réservée aux écoulements vers l'extérieur est aussi de 19 % des précipitations. Ces pertes se font en direction du lac, dans les terrains quaternaires et en majeure partie dans les terrasses fluvioglaciales.

Mais cette étude hydrogéologique ne serait pas complète, si on ne connaissait pas les caractères physico-chimiques des différentes sources, ainsi que les possibilités qu'offrent les différents terrains d'être aquifères. C'est ce que nous allons essayer de faire apparaître dans le chapitre suivant.

TROISIEME PARTIE

T R O I S I E M E P A R T I E

ETUDE DES SOURCES ET HYDROCHIMIE

L'eau d'une émergence présente des caractères physico-chimiques propres dépendant de la nature du réservoir, ainsi que du temps de séjour dans le terrain ; pour cela, on mesure des paramètres tels que le débit, la température, la résistivité électrique et le pH. La composition chimique renseigne l'hydrogéologue sur la nature des terrains traversés et sur leur composition minéralogique.

Un inventaire des sources de la région thononaise a donc été effectué pour connaître les possibilités en eaux qu'offrent les différents terrains. Cet inventaire vient en complément aux études déjà publiées par B. BLAVOUX (1966), M. DRAY (1970), E. SIWERTZ (1973), et M. HAUBERT (1975).

I - GENERALITES SUR LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.

1.1. - Le débit.

Le débit des différentes sources a été mesuré par capacité jaugée. Deux paramètres seront donnés : le débit d'étiage et le débit maximum.

1.2. - La température.

La température a été mesurée à l'aide d'un thermomètre à mercure avec une précision de 0,1 °C. Deux températures ont été relevées : celle de l'eau et celle de l'air.

1.3. - La résistivité électrique.

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un résistivimètre de terrain à électrodes en acier inoxydable. Les valeurs données correspondent à une température de 25 °C.

1.4. - Le pH.

Le pH a été mesuré en laboratoire à l'aide d'un pH-mètre équipé d'une électrode au calomel et d'une électrode de verre. Précision : $\pm 0,1$.

1.5. - *La composition chimique.*

Sur les échantillons analysés au Laboratoire de Thonon C.R.G. ont été dosés les ions suivants :

SiO_2 , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Sr^{++} , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{---} , P total. Les résultats sont donnés en mg/l.

II - LES SOURCES.

Deux grands types de sources sont à différencier. Ce sont :

- Les sources du substratum,
- Les sources du Quaternaire.

2.1. - *Les sources du substratum.*

Elles sont relativement rares, soit à cause de la lithologie et de la tectonique, soit parce que leurs émergences sont masquées par les terrains quaternaires, entraînant un mélange des deux types d'eaux.

2.1.1. - *Les sources liées à la molasse.*

Cette formation est très peu aquifère et les quelques émergences visibles ont un débit faible.

La molasse, étant en majeure partie argileuse, seuls les grès pourraient être aquifères, mais ceux-ci sont très indurés, de faible épaisseur et ne sont bien représentés que vers le sommet du Mont de Boisy. La structure de cette même colline est elle aussi peu favorable. Elle se présente comme un monoclin à pendage Sud-Est, s'enfonçant sous le Quaternaire argileux du bassin du Foron où on n'observe aucune source.

Par contre, sur le versant Nord-Ouest, quelques petites sources s'écoulent, liées à la fracturation de la molasse (diaclasses). On peut citer les sources du Chalet, du Château des Fées et de Chezaboïs.

SOURCES	pH	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	P total
Le Chalet	7,8	8,84	122,7	28	7,43	0,5	0,09	1	3,8	17	413,8	0,02	0,003	0,005	0,007
Château des Fées	7,6	10,7	125,7	18	4	0,5	0,001	0,2	12,6	13,6	434,3	0,38	0,001	0,005	0,007
Chezabois	7,7	10,8	100,1	24,7	4,5	0,8	0,009	0,4	2,3	9	409,9	0,12	0,001	0,001	0,003

TABLEAU 29 - ANALYSES CHIMIQUES DE SOURCES DE LA MOLASSE.

SOURCE	pH	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	P total
Bois Besson	8	7,2	91,6	7,5	9,6	1,1	0,02	0,3	7,1	20,8	295,7	0,2	0,001	0,006	0,008

TABLEAU 30 - ANALYSE CHIMIQUE D'UNE SOURCE DU FLYSCH ULTRAHELVETIQUE.

SOURCES	DATES	DEBITS (en l/s)	T° AIR (en °C)	T° EAU (en °C)	ρ (en Ω .cm)
Le Chalet	31/07/74	0,01	25	16,5	1 720
Château des Fées	31/07/74	0,05	18	11	1 620
Chezaboïs	31/07/74	0,1	24	14	1 800
Débit minimum					
Le Chalet	08/10/74	1	9	8	1 870
Château des Fées	08/10/74	1	5	7	1 810
Chezaboïs	08/10/74	0,1	5	7	2 020
Débit maximum					

Les débits et les températures sont très variables, indiquant un temps de séjour relativement court. La résistivité varie entre 1 600 et 2 000 Ω .cm.

Les analyses chimiques effectuées le 31/07/74 sont reportées dans le tableau 29.

Ces eaux sont bicarbonatées calciques, légèrement magnésiennes, le magnésium provenant des argiles continentales formant cette molasse. Les teneurs en silice sont assez importantes, tandis que les sulfates et les chlorures sont faibles. Seule la source du Château des Fées présente une teneur plus élevée, due à une pollution locale.

2.1.2. - Les sources liées au flysch ultrahelvétique.

Le flysch ultrahelvétique ne représente pas un aquifère important, bien que les niveaux gréseux et conglomératiques représentent les faciès les plus constants. Mais ceux-ci sont très indurés et ne permettent que des circulations par fissures.

En surface, ces grès sont souvent altérés, donnant des sables de couleur beige, très souvent mélangés à la moraine sus-jacente. Ces sables argileux contiennent de l'eau, mais ne forment que des placages de peu d'extension limitant beaucoup leur intérêt.

La structure des Voirons (monoclinal à pendage Sud-Est) est elle aussi peu propice à des écoulements vers le bassin du Léman. Les eaux s'infiltrant sur les Voirons s'écouleront vers la vallée de la Mênoge au Sud, où les sources sortant du Flysch doivent être plus nombreuses.

Sur le versant lémanique, les émergences se feront à la faveur de cassures (diaclasses). Un exemple en est donné par la source du Bois Besson au Sud de Bons-en-Chablais.

Ses caractéristiques physico-chimiques sont :

SOURCE	DATE	DEBIT (l/s)	T° AIR (en °C)	T° EAU (en °C)	ρ (en Ω .cm)
Bois Besson	31/07/74	0,05	18	9	2 580
Débit minimum					
Bois Besson	08/10/74	1,5	5	8	3 550
Débit maximum					

Les écarts entre les débits sont grands en relation directe avec la pluviométrie. La résistivité (la plus élevée de la région) correspond donc à une minéralisation assez faible, ce qui est confirmé par l'analyse chimique faite en période de basses eaux (tableau 30).

On note une teneur en calcium et en sulfates peu élevée et une teneur moyenne en bicarbonates.

2.1.3. - *Les sources liées aux Préalpes Médiannes.*

Ces sources se rencontrent essentiellement sur le bassin des Blaves, sur le versant Nord-Ouest de l'anticlinal du Mont d'Hermone.

Aucune n'émerge véritablement des calcaires et des gypses, la sortie des eaux se faisant dans les terrains quaternaires, ceci impliquant un mélange avec les eaux des sédiments würmiens.

Deux types de sources peuvent être différenciées : celles liées au Trias et celles liées au Lias. Les premières se caractérisent par une forte teneur en sulfates, calcium et bicarbonates, provenant de la dissolution du gypse, tandis que les deuxièmes ont une teneur élevée en bicarbonates et calcium seulement.

Comme source appartenant au type triasique, on peut citer le Puisoir. C'est un entonnoir de dissolution du gypse de 8 mètres de profondeur, se situant au front de la nappe des Préalpes. Il a un débit de trop-plein de 14 litres par seconde, une résistivité variant entre 410 Ω .cm et 750 Ω .cm et un pH variant entre 6,7 et 7,3.

Les teneurs en éléments dissous varient :

- de 542 mg/l à 570 mg/l de Ca^{++}
- de 39,9 mg/l à 58,4 mg/l de Mg^{++}
- de 1,8 mg/l à 3,6 mg/l de Na^+
- de 1,8 mg/l à 2,7 mg/l de Cl^-
- de 1 180 mg/l à 1 426 mg/l de SO_4^{--}
- de 228,4 mg/l à 244 mg/l de HCO_3^-

On remarque les fortes valeurs en sulfates et en calcium, ainsi que les faibles valeurs en sodium et en chlorures, propres aux eaux séléniteuses.

L'analyse chimique de la source de la Basse amont montre des teneurs moins élevées en calcium, magnésium, et sulfates. On a respectivement 118,3 mg/l, 27,5 mg/l et 208 mg/l. Cette source présente des valeurs élevées (en sulfates surtout) et est caractéristique des eaux mixtes ayant

transité dans des terrains triasiques, mais ayant subi un mélange avec des eaux du Quaternaire. Les eaux d'un captage au Nord de Draillant sont du même type. Le captage a été effectué dans des graviers fluvio-glaciaires au front du chevauchement des Préalpes sur le Flysch ultrahelvétique. La résistivité est faible (870 Ω .cm) correspondant à des teneurs élevées en calcium (221,7 mg/l), en bicarbonates (253,7 mg/l) et en sulfates (551 mg/l).

Les autres types de sources des Préalpes sont celles ayant transité dans les terrains du Lias et du Dogger. Le Lias est représenté par des calcaires siliceux ou spathiques très épais et quelquefois karstifiés, tandis que le Dogger est formé de calcaires marneux.

Les eaux infiltrées sur les anticlinaux et synclinaux ressortent à la faveur de failles orientées transversalement aux axes des plis. C'est le cas de la source Zouzou, bien étudiée par E. SIWERTZ (1973). Cette source se situe au pied de la falaise liasique dominant Trossy. Cette dernière correspond au rebord Nord du synclinal de Jouvernésinaz (altitude moyenne 870 mètres), formé de Lias à coeur de Dogger et recouvert d'un manteau morainique. L'axe du pli s'abaisse vers le Nord-Est. Les eaux, s'infiltrant sur l'anticlinal du Mont d'Hermonie et du Mont Forchat lui faisant suite ainsi que sur le synclinal, sont drainées dans cette gouttière. A la faveur de cassures de direction N 120° Est, affectant le synclinal, elles émergent au pied de la falaise de Lias 200 mètres plus bas environ.

Le débit a été de 5 l/s au moment du captage, mais est tombé rapidement à 0,1 l/s, la résistivité se situe entre 1 600 et 1 900 Ω .cm. La composition chimique donne une moyenne de 86 mg/l de Ca^{++} , 16,5 mg/l de Mg^{++} , 35 mg/l de SO_4^{--} , 311 mg/l de HCO_3^{--} . Un mélange avec les eaux du Quaternaire du synclinal est donc très possible.

En conclusion, sur les eaux du substratum, on peut dire que les sources sont relativement rares et n'ont jamais de gros débits. La lithologie est peu favorable, les terrains, sauf ceux de la nappe des Préalpes, n'étant pas aquifères. La structure tectonique, elle aussi, s'oppose généralement à ce que l'on ait des sorties sur le versant lémanique. Mais la cause la plus importante à cette absence d'émergence est le recouvrement quaternaire. S'il existe de grosses émergences dans le substratum, (et cela n'est pas impossible), elles ne sont pas visibles, car il y a généralement mélange des eaux avec celles des terrains quaternaires, comme par exemple au captage situé au Nord de Draillant. Ce mélange est bien mis en évidence,

quand les eaux sont très dissemblables (exemple : apport massif d'ions sulfates par les eaux du Trias), mais généralement, les eaux du Quaternaire sont peu différenciables entre elles, ainsi qu'avec celles du substratum.

2.2. - Les sources du Quaternaire.

Ce sont les plus importantes par leur nombre ainsi que par leur débit. Elles se situent le plus souvent dans les terrasses graveleuses ou, à leur base, au contact moraine argileuse-graviers, mais de nombreuses émergences existent aussi dans la moraine et dans les graviers inférieurs de la série würmienne.

Par contre, la moraine rissienne ne présente aucune source visible. Son manque d'extension et sa nature très argileuse en font un terrain de peu d'intérêt, en apparence.

2.2.1. - Les eaux de l'interglaciaire Riss-Würm.

Connu dans le Nant de Chamburaz et en bordure du Lac, cet interglaciaire à faciès argileux et sableux présente un certain intérêt comme aquifère, car les eaux sont de type bicarbonatées magnésiennes et sodiques.

Ces eaux se situent dans les lentilles de sables jaunes intercalées dans des argiles feuilletées noires. Aucune source n'émerge, seul un captage a été réalisé par un habitant d'Hermance (Suisse) à 4 mètres de profondeur.

Trois prélèvements pour analyses ont été faits. Les résultats sont donnés dans le tableau 31.

La résistivité varie entre 1 550 Ω .cm et 1 750 Ω .cm. Ces eaux sont donc bicarbonatées magnésiennes et sodiques, chimisme rare dans la région. Les fortes teneurs en magnésium et en sodium peuvent s'expliquer :

- Soit par la présence en profondeur et dans le substratum de niveaux évaporitiques (gypse, sel gemme, dolomie), ce que la géologie confirme : molasses continentales à évaporites du Chattien se situant entre 20 et 50 mètres de la surface du sol.

- Soit par la présence au sein des argiles interglaciaires de minéraux de recristallisation de la série évaporitique, analogue à ceux trouvés dans des argiles d'Eybens (J. APRAHAMIAN, 1970).

SOURCES	pH	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	P total
Captage	7,35	12,2	65,9	36,4	39,5	1,8	0,05	1,5	4,5	87,4	365,5	0	0,002	0,003	0,01
Hermance	7,35	12,6	63	35	41,6	1,8	0,01	1,5	4,9	99,8	363,1	0,03	0,005	0,002	0,015
18/12/74	7,2	12,6	62,2	35	42,4	1,9	0,05	1,5	4,7	99,5	363,1	0,07	0,001	0	0,015

TABLEAU 31 - ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DE L'INTERGLACIAIRE RISS-WÜRM.

SOURCE	pH	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	P total
Nant de Chamburaz	7,5	8,5	74	21,8	15,6	1,1	0,006	0,5	14,1	33,2	298,2	3,44	0,003	0,001	0,013

TABLEAU 32 - ANALYSE CHIMIQUE DES EAUX DES GRAVIERS DE BASE WÜRMIENS.

- Soit par échanges ioniques dans les minéraux de type argileux comme par exemple la montmorillonite.

Ces trois hypothèses se justifient :

- Les sulfates sont en quantité notable, confirmant la possibilité de lessivage de gypse recristallisé ou appartenant à la molasse.

- La teneur en sodium est élevée mais, par contre, les chlorures sont rares, excluant la présence de sel gemme en profondeur et pouvant confirmer un échange ionique.

- La teneur en magnésium est une des plus importantes de la région, ce qui peut sous-entendre une participation de minéraux d'altération telles que la chlorite, la montmorillonite et la serpentine.

En fait, la solution réelle doit être une combinaison des trois hypothèses avec :

- Mise en solution des sulfates, bicarbonates, calcium des évaporites de la molasse ou des recristallisations à l'intérieur des argiles.

- Puis échanges d'ions entre calcium et sodium dans les minéraux argileux.

2.2.2. - *Les eaux des graviers et conglomérats de base würmiens.*

Dans le ruisseau de Chamburaz et dans celui de l'Hermance, des sources émergent à la base des graviers et conglomérats, les argiles interglaciaires Riss-Würm formant le mur de l'aquifère (figure 16).

Les caractères physico-chimiques de ces sources sont :

SOURCES	DATES	DEBITS (en l/s)	T° AIR (en °C)	T° EAU (en °C)	ρ (en Ω .cm)
Nant de Chamburaz	31/07/74	0,08	25	11	2 000
Débit minimum					
Nant de Chamburaz	08/10/74	0,5	9	9	2 200
Débit maximum					

Ces eaux sont très variables au point de vue débit et température. Ceci s'explique par l'extension très limitée de ces terrains, ainsi que par la conglomératisation les affectant, abaissant ainsi leur perméabilité.

L'analyse chimique des eaux de cette source prélevées le 31/07/74 est donnée dans le tableau 32.

Les teneurs en magnésium et sodium sont notables, alors que la teneur en sulfates est moyenne. Ces eaux passent sur les argiles interglaciaires et les lessivent. Dans l'hypothèse d'un échange ionique dans les argiles, on peut penser que, même pour les eaux des graviers et des conglomérats, une partie des cations de l'eau est remplacée par le sodium et le magnésium. L'hypothèse d'une mise en solution des évaporites de la molasse s'appliquerait mal, car ces eaux sont trop superficielles pour qu'elles aient lessivé les terrains du Chattien.

2.2.3. - Les sources de la moraine wilrmienne.

Elles sont pratiquement inexistantes car la moraine est généralement très argileuse. Par contre, un lessivage intense a souvent éliminé l'argile, laissant en place les graviers, augmentant ainsi fortement la perméabilité de ces moraines. Les émergences de ce type sont peu différenciables des sources des terrasses fluvioglaciaires. C'est le cas de la source des Crapons-La Plantée.

SOURCES	pH	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	P total
Les Crapons La Plantée	7,7	9	131,2	18,5	4,7	0,6	0,006	0,4	12,5	19,7	442,1	1,45	0,001	0,03	0,005

TABLEAU 33 - ANALYSE CHIMIQUE D'UNE EAU DE MORAINÉ.

SOURCES	pH	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	P total
Sous-Estraz	7,5	10,4	135,2	21,6	14,8	11,8	0,005	0,7	12,8	63,1	412,8	7,3	0,003	0,37	0,4
Sous-Draillant	8	8,5	118,3	23	4,4	4,2	0,013	0,3	8,4	20,2	404,6	6,3	0,003	0,008	0,015
Maugny	7,8	7,3	116,5	20,6	2,3	1,42	0,012	1,1	2,6	61,8	390,4	1,6	0,001	0,005	0,008

SOURCE	pH	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Sr ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	P total
Moulin des Etrepets	7,5	7,7	106,6	17,3	4,5	1,0	0,006	0,26	11	23,4	351,8	2,86	0,001	0,09	0,014

TABLEAU 34 - ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DU FLUVIOGLACIAIRE.

Cette source apparaît à la base d'un placage morainique de faible extension au sommet du Mont de Boisy. C'est une moraine caractéristique, ayant perdu un fort pourcentage d'argile.

Ses caractéristiques physico-chimiques sont :

SOURCES	DATES	DEBITS (en l/s)	T° AIR (en °C)	T° EAU (en °C)	ρ (en Ω .cm)
Les Crapons La Plantée	31/07/74	0,1	18	14	1 450
Débit minimum					
Les Crapons La Plantée	01/10/74	10	10	12	1 530
Débit maximum					

On observé une très grande variabilité dans les débits, en relation directe avec la pluviométrie.

L'analyse chimique du 31/07/74 est donnée dans le tableau 33.

C'est une eau bicarbonatée calcique identique aux eaux des terrasses, étudiées dans le paragraphe suivant.

2.2.4. - Les eaux des terrasses fluvioglaciales.

Ce sont les sources les plus nombreuses. Leurs conditions géologiques d'émergence sont de deux types :

- A la base d'une terrasse au contact graviers-moraine.
- Au sein même des terrasses par changement de perméabilité.

Le premier type est le plus courant et on peut citer comme exemple les sources de Sous-Estraz, Maugny et Sous-Draillant.

Les sources de Sous-Estraz, servant actuellement à alimenter des cressonnières, se présentent sous forme de nombreuses petites émergences à la base des graviers de la plaine de Douvaine, la moraine argileuse sous-jacente jouant le rôle de mur imperméable. Elles drainent une partie de la plaine de Douvaine et émergent à la faveur d'un sillon du substratum morainique.

Les nombreuses sources de Sous-Draillant drainent la terrasse du même nom. Leurs débits sont peu importants car les graviers sont peu épais et en majeure partie conglomérés. De plus, cette terrasse est surmontée par un placage morainique argileux de récurrence glaciaire isolant l'aquifère des eaux de précipitation, l'alimentation se faisant à travers les éboulis de pente plaqués contre les premiers contreforts des Préalpes.

La source de Maigny draine totalement la terrasse du même nom. Là aussi, la moraine argileuse sert d'horizon imperméable. Par contre, il n'y a pas ici de recouvrement argileux et les conglomérats sont moins abondants, ce qui fait que le débit est plus important et strictement lié aux variations de pluviométrie.

Les caractères physico-chimiques de ces sources sont :

SOURCES	DATES	DEBITS (en l/s)	T° AIR (en °C)	T° EAU (en °C)	ρ (en Ω .cm)
Sous-Estraz	31/07/74	11	24	11	1 200
Sous-Draillant	31/07/74	0	22	-	-
Maigny	31/07/74	5	25	10	1 520
Débit minimum					
Sous-Estraz	08/10/74	12	8	11	1 350
Sous-Draillant	08/10/74	6	6	5,5	1 410
Maigny	08/10/74	34	7	7	1 570
Débit maximum					

Les sources de Sous-Estraz sont constantes aussi bien par leurs débits que par leurs températures, impliquant un temps de séjour relativement long dans l'aquifère et une circulation relativement profonde. Les graviers de la nappe de Douvaine entre Douvaine et Sous-Estraz sont protégés par des argiles de délavage de moraines, empêchant ainsi un mélange avec les eaux de précipitation, l'infiltration se faisant au niveau de Douvaine environ 2 kilomètres à l'amont.

La variabilité des débits et températures de Sous-Draillant fait soupçonner un temps de séjour relativement court. De plus, les surfaces d'infiltration sont peu importantes et le niveau aquifère peu épais (de 3 à 10 mètres), limitant la durée de séjour dans les graviers.

Sur le tableau 34, a été reportées les analyses chimiques de ces trois sources.

Ce sont des eaux bicarbonatées calciques, la variabilité des teneurs se faisant essentiellement sur des ions secondaires (Na^+ , K^+ , Cl^-) indicateurs de pollutions.

La source du Moulin des Etrepets représente le deuxième type de source, émergeant à la faveur de changements de faciès dans les graviers.

SOURCES	DATES	DEBITS (en l/s)	T° AIR (en °C)	T° EAU (en °C)	ρ (en $\Omega \cdot \text{cm}$)
Moulin des Etrepets	31/07/74	0,25	29	11	1 760
Débit minimum					
Moulin des Etrepets	08/10/74	2	8	10,5	1 830
Débit maximum					

La composition chimique au 31/07/74 est donnée dans le tableau 34.

Les sources des terrasses du fluvioglaciale se différencient peu au point de vue chimique. L'influence du substratum s'observe quelquefois par un apport en sulfates, comme dans les sources de Sous-Estraz (lessivage du gypse de la molasse chattienne) et de Maugny (gypse triasique des Préalpes).

2.3. - *Caractéristiques physiques de quelques types de sources (figures 71 et 72).*

Quatre sources représentatives de leurs aquifères ont été suivies pendant 9 mois. Par les variations du débit, de la température et de la résistivité au cours de l'année 1974, on peut être renseigné sur la perméabilité, le mode d'écoulement des eaux, ainsi que le temps de séjour de l'eau dans les terrains.

2.3.1. - *Source du flysch ultrahelvétique : la source de Bois-Besson.*

- Le débit : il est très variable, faible et fonction directement de la pluviométrie. Le coefficient de variabilité est de 30 et le débit moyen de 0,6 l/s.

- La température : l'écart entre minimum et maximum est de 10° C. La température la plus élevée se situe au mois d'Août.

- La résistivité : elle varie d'environ 1 000 Ω .cm entre les basses eaux et les hautes eaux. Elle s'élève lors des précipitations montrant la relation directe entre la pluviométrie et le débit.

- Conclusion : la source de Bois Besson a un bassin d'alimentation réduit (débits faibles). La circulation des eaux s'effectue à la faveur de diaclases dans le flysch ultrahelvétique. Le temps de séjour est relativement court, car les températures ne sont pas constantes dans le temps et correspondent aux moyennes de l'air du plateau de Saxel (zone d'infiltration). Ceci est confirmé également par les débits qui varient en même temps que la pluviométrie. En hautes eaux, un mélange à l'émergence avec des eaux de moraines et d'éboulis est fort possible.

2.3.2. - *Source des graviers et conglomérats de base : la source du Nant de Chamburaz.*

- Le débit : il est faible, mais plus constant que la source de Bois Besson. La moyenne annuelle est de 0,25 l/s et le coefficient de variabilité de 7.

- La température : l'écart entre maximum et minimum est de 2 °C, avec un maximum au mois d'Août.

- La résistivité : elle varie peu (300 Ω.cm) et suit approximativement la courbe des débits.

- Conclusion : la source du Nant de Chamburaz, sortant à la base des graviers du Würm a un débit faible, donc un bassin d'alimentation peu étendu. Les graviers sont réduits à quelques centaines de mètres d'extension latérale et de 2 à 5 mètres d'épaisseur. Une conglomératisation importante abaisse encore la perméabilité. L'écart de température de 2 °C et les variations du débit indiquent un temps de séjour de l'eau dans l'aquifère assez court et fonction de la pluviométrie.

2.3.3. - Source de la moraine : la source des Crapons - La Plantée.

- Le débit : c'est une des sources les plus importantes de la région. Le débit moyen annuel est de 3 l/s, le coefficient de variabilité de 100. Le débit est essentiellement lié à la pluviométrie.

- La température : l'écart maximum-minimum est de 8°C, avec un maximum en été. Les températures varient en fonction de la température du lieu.

- La résistivité : elle varie peu (200 Ω.cm). Un léger maximum s'observe pendant les grosses pluies d'automne.

- Conclusion : cette source est une des émergences d'un aquifère formé de graviers morainiques, plaqués sur la colline de Ballaison. Ce placage, peu étendu en superficie et très réduit en épaisseur, est un bon aquifère par la perméabilité, mais peu important par ses possibilités en eaux. Ceci est confirmé par les grandes variations de débit et de température, liées à la pluviométrie.

2.3.4. - Source du fluvioglacière : la source du Moulin des Etrepets.

- Le débit : c'est une petite source dont le débit moyen annuel est égal à 0,7 l/s. Le coefficient de variabilité est de 8.

- La température : elles varient de 2 °C et montrent un léger maximum en été.

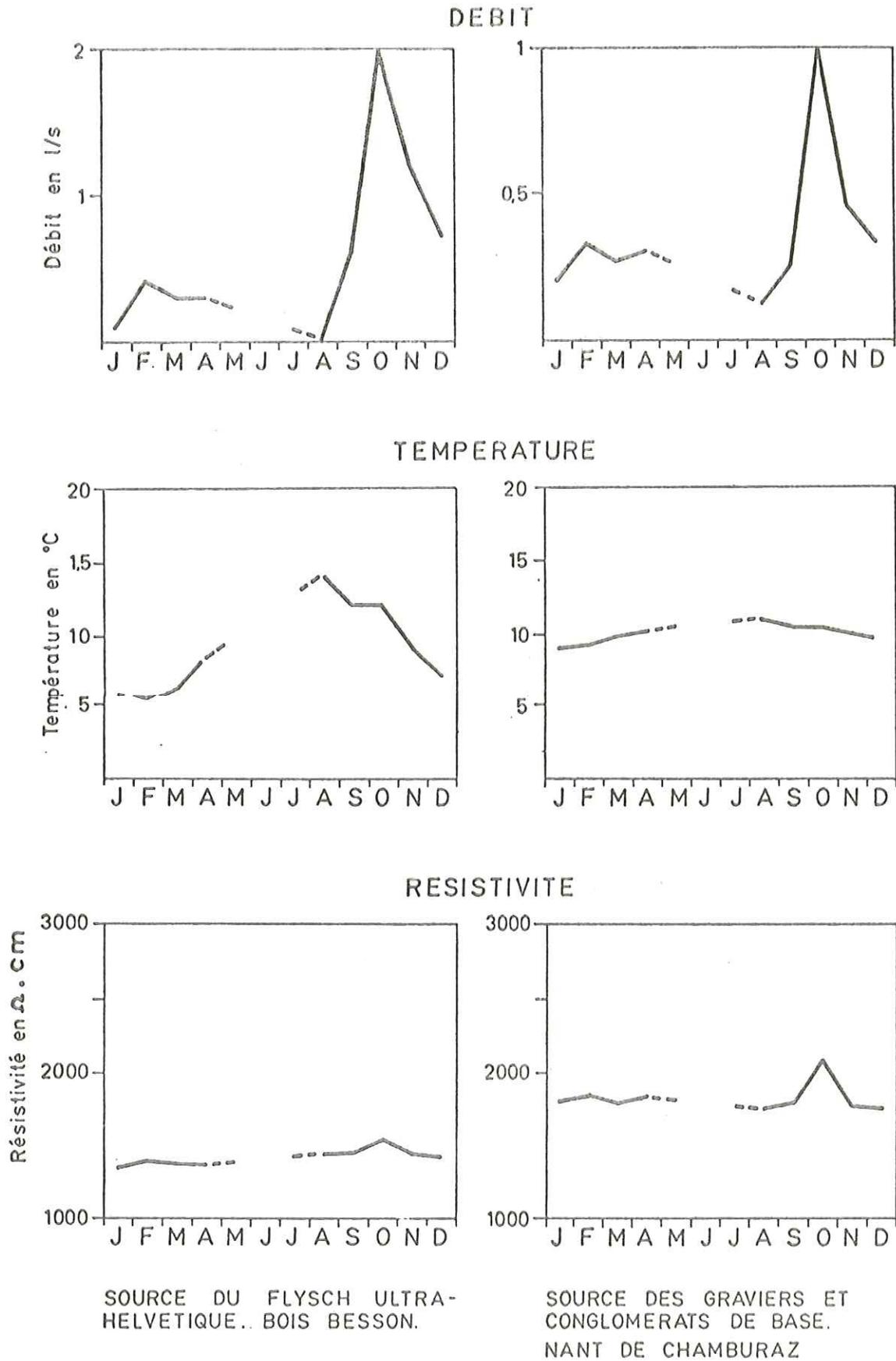
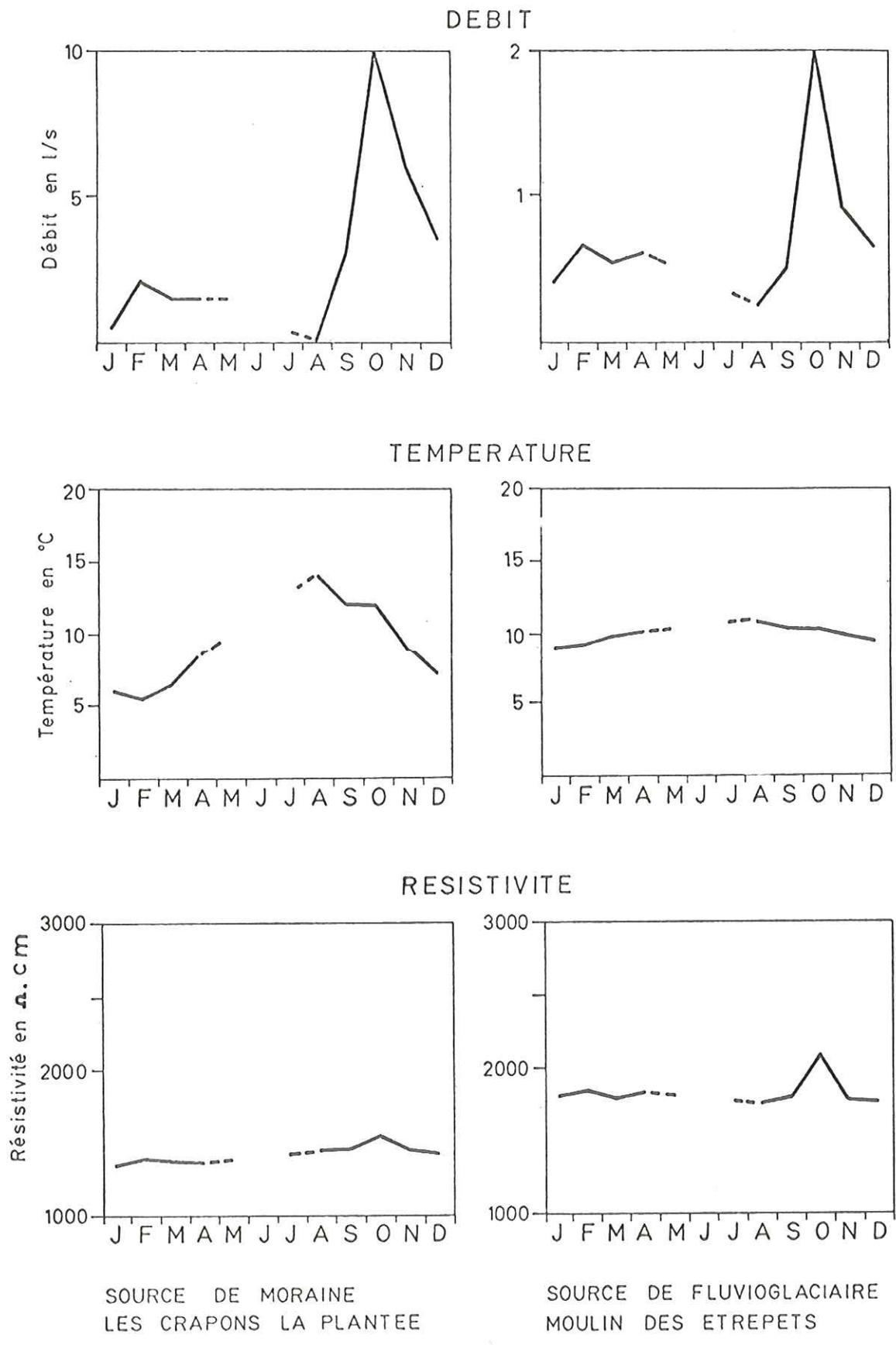


Fig. 71



SOURCE DE MORAINES
LES CRAPONS LA PLANTEE

SOURCE DE FLUVIOGLACIAIRE
MOULIN DES ETREPETS

Fig. 72

- La résistivité : entre les basses eaux et les hautes eaux, la résistivité varie de 350 Ω .cm. La valeur la plus élevée se situe en été.

- Conclusion : cette source, émergeant à la faveur de changement de faciès dans les graviers de type terrasse de Thonon, a un débit faible et peu constant. La variabilité des débits, la constance des températures et de la résistivité s'expliquent par le fait que cette source est une source de trop-plein de la nappe du delta de Séchex. Ce delta est formé par des graviers très épais (50 m et peut-être plus) et de grande extension latérale. En basses eaux de la nappe, la source est alimentée par les eaux infiltrées au niveau des carrières des Cinq-Chemins. Une partie sort à l'émergence du Moulin des Etrepets et l'autre partie s'infiltré dans les sables formant le mur de la source, rechargeant la nappe. En hautes eaux de la nappe, les sables gorgés d'eau, ne permettent plus d'infiltration. La totalité des eaux des graviers et une partie des eaux de la nappe alimentent alors la source.

2.4. - Les différentes nappes de la région thononaise.

Rappelons la stratigraphie du complexe quaternaire de Thonon. Elle montre en-dessous des graviers des terrasses de Thonon :

- Moraine supérieure argileuse
- Niveau sablo-argileux interstadiaire
- Moraine argileuse intermédiaire
- Niveau sablo-argileux interstadiaire
- Moraine argileuse inférieure

Cette succession lithologique s'observe dans la vallée de la Dranse, mais a été aussi reconnue par sondages à Chessy et Evian.

Le sondage de Chessy (P. BLANC et al., 1969 ; M. DRAY, 1970) a permis de mettre en évidence plusieurs nappes se succédant verticalement.

La première, libre, correspond à la nappe supérieure des terrasses de Thonon (~ 3,70 mètres par rapport au niveau du sol).

La deuxième, captive et artésienne à Chessy, se situe toujours dans les terrasses de Thonon (- 23 à - 32 mètres), la moraine argileuse formant le mur de cette nappe.

SOURCES	pH	ρ en $\Omega \cdot \text{cm}$	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
Versoie	7,2	1 720	5,5	110,0	8	2,3	1,2	4,3	12,7	348	13
Evian	7,2	1 840	11,9	85	20,9	4,7	0,9	2,3	9,9	358	3,9
Chessy IV	7,6	1 900	12,45	55,5	25,9	18,7	1	2,2	30	309	0
Chessy II	7,6	1 900	7,75	86,5	21,6	3,2	1	2,5	10,3	352	14,75

TABLEAU 35 - ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DES DIFFERENTES NAPPES DE LA REGION THONONAISE.

La troisième, captive, correspond au premier niveau sablo-argileux (- 52 à - 55 mètres).

La quatrième, elle aussi captive, se trouve dans les graviers et sables du deuxième niveau interstadiaire (- 68 à - 102 mètres).

A Evian, les sondages montrent le même système de nappes superposées, les niveaux sablo-argileux interstadiiaires représentant l'aquifère des eaux minérales d'Evian.

Quant à l'eau minérale de Thonon (La Versoie) elle est pompée dans la première nappe et sert à l'alimentation en eau de Thonon. Des essais de pompage (E. SIWERTZ, 1973) sur La Versoie donnent une transmissivité moyenne de 10^{-3} m²/s.

Un essai de pompage a été effectué sur la quatrième nappe de Chessy (M. DRAY, 1970), ce qui a permis de calculer la perméabilité du deuxième niveau sablo-argileux. Celle-ci est de l'ordre de 10^{-4} cm/s. L'étude des teneurs en tritium de ces eaux montrent que le temps de renouvellement est de 20 ans.

L'analyse chimique (Juillet 1968) des eaux de ces différentes nappes est reportée dans le tableau 35.

Ces eaux sont toutes bicarbonatées calciques et légèrement magnésiennes. Les eaux de Chessy IV semblent particulières, car elles sont peu chargées en calcium mais, par contre, beaucoup plus en sulfates et en sodium. Il faut certainement voir là l'influence du substratum molassique.

2.5. - Conclusion sur les caractères physico-chimiques des eaux de Thonon-Douvaine : 200 analyses.

Dans ce chapitre, on va reprendre les différents types de sources en comparant leurs propriétés physiques et chimiques.

2.5.1. - Le pH.

Il varie en général entre 7 et 8, la valeur minimale étant de 7 pour les sources de Ronsuaz et des Gouilles (eaux de moraines würmiennes) et la valeur maximale de 8,5 pour la source du ruisseau de La Cova (Flysch ultrahelvétique).

2.5.2. - *La résistivité électrique.*

La résistivité électrique a été mesurée sur une centaine de sources et, à priori, on s'attendait à ce que les résistivités fussent différentes d'un terrain à un autre. Après dépouillement des résultats, il s'avère que les eaux ont des résistivités très proches et sont peu différenciables dans le détail.

Néanmoins, on peut tenter de les classer :

- Sources de la molasse : entre 1 600 et 2 000 Ω .cm
- Sources du Flysch : entre 2 500 et 3 500 Ω .cm
- Sources du Trias : entre 400 et 750 Ω .cm
- Sources du Lias-Dogger, ayant transité dans les terrains quaternaires : entre 1 800 et 2 700 Ω .cm
- Sources de l'interglaciaire Riss-Würm : entre 1 500 et 1 700 Ω .cm
- Sources du Würm basal : entre 1 900 et 2 400 Ω .cm
- Sources de moraines et terrasses : entre 1 200 et 2 200 Ω .cm

D'après les résultats, on s'aperçoit que, seules les eaux du Trias et du Flysch ont des résistivités bien tranchées.

Par contre, les mesures sont très voisines dans le Quaternaire, et les terrains sont peu différenciables par cette méthode.

2.5.3. - *La composition chimique.*

Les valeurs données dans les tableaux ci-après, correspondent à la moyenne faite sur les sources de la région.

- Concentration en calcium.

D'après le tableau suivant, on peut s'apercevoir que les teneurs en Ca^{++} sont généralement voisines de 100 mg/l pour les eaux issues des différents terrains, exception faite des eaux du Flysch à teneur nettement plus faible et celles du Trias cinq fois plus élevée.

AQUIFERES	TENEURS MOYENNES (en mg/l)	TENEURS EXTREMES (en mg/l)
Molasse (5 échantillons)	105,5	67,6 ; 125,7
Flysch (15 échantillons)	78,8	22,4 ; 115
Trias (6 échantillons)	555,2	541,9 ; 570
Quaternaire sur Lias et Trias (40 échantillons)	103,1	68,5 ; 221,7
Interglaciaire Riss-Würm (3 échantillons)	63,7	62,2 ; 65,9
Moraine (31 échantillons)	106	57,6 ; 258
Fluvioglaciaire (45 échantillons)	119	106,6 ; 153,3

- Concentration en magnésium.

AQUIFERES	TENEURS MOYENNES (en mg/l)	TENEURS EXTREMES (en mg/l)
Molasse (5 échantillons)	19	12,1 ; 28
Flysch (15 échantillons)	7,7	1,68 ; 21,5
Trias (6 échantillons)	49,4	39,9 ; 58,4
Quaternaire sur Lias et Trias (40 échantillons)	11,4	4 ; 34,6
Interglaciaire Riss-Würm (3 échantillons)	35,5	35 ; 36,4
Moraine (31 échantillons)	12,1	2,5 ; 24,7
Fluvioglaciale (45 échantillons)	14,4	4,9 ; 39,5

Le magnésium est un bon indicateur des aquifères du substratum. Les valeurs moyennes sont assez bien tranchées entre elles et permettent de différencier assez nettement les eaux du Flysch (valeurs les plus basses), de la molasse et du Trias (valeurs les plus élevées).

Les valeurs des eaux du Quaternaire sont peu différentes, hormis celles de l'interglaciaire Riss-Würm (eaux minérales d'Hermance). De plus, les sources offrent un éventail de valeurs assez étendues, correspondant à leurs mélanges ou non avec les eaux du Trias.

- Concentration en sodium,

AQUIFERES	TENEURS MOYENNES (en mg/l)	TENEURS EXTREMES (en mg/l)
Molasse (5 échantillons)	6,3	3,9 ; 9
Flysch (15 échantillons)	3,5	0,6 ; 9,6
Trias (6 échantillons)	2,6	1,8 ; 3,6
Quaternaire sur Trias et Lias (38 échantillons)	2,5	0,6 ; 6,9
Interglaciaire Riss-Würm (3 échantillons)	41,2	39,5 ; 42,4
Moraine (31 échantillons)	3,8	0,6 ; 10,2
Fluvioglaciaire (45 échantillons)	3,9	1,5 ; 18,6

Le sodium, généralement associé aux minéraux argileux ainsi qu'au sel gemme, est rare dans les eaux. Seules, les eaux minérales d'Hermance en sont très chargées.

- Concentration en potassium.

Les eaux de la région sont généralement pauvres en potassium, et les teneurs extrêmes ne dépassent que rarement 3 mg/l. Les eaux à fortes teneurs ont été généralement polluées par des engrais ou des produits chimiques domestiques.

- Concentration en chlorures.

Les chlorures sont généralement présents en faible concentration dans les eaux (< 5 mg/l). Les fortes teneurs sont dues aux pollutions.

- Concentration en sulfates (figure 67).

AQUIFERES	TENEURS MOYENNES (en mg/l)	TENEURS EXTREMES (en mg/l)
Molasse (5 échantillons)	18,5	13,6 ; 25,4
Flysch (13 échantillons)	30	6 ; 42,2
Trias (6 échantillons)	1 304,7	1180 ; 1426
Quaternaire sur Trias et Lias (40 échantillons)	56,3	5,4 ; 551
Interglaciaire Riss-Würm (3 échantillons)	95,6	87,4 ; 99,8
Moraine (28 échantillons)	29,2	1,3 ; 123,4
Fluvio-glaciaire (45 échantillons)	32,9	16 ; 132

Ce sont les concentrations qui varient le plus. Si les teneurs sont peu élevées pour la molasse et le flysch, il n'en est pas de même pour les eaux du Quaternaire qui sont souvent en relation étroite avec le Trias gypseux. A noter les concentrations exceptionnelles des eaux triasiques.

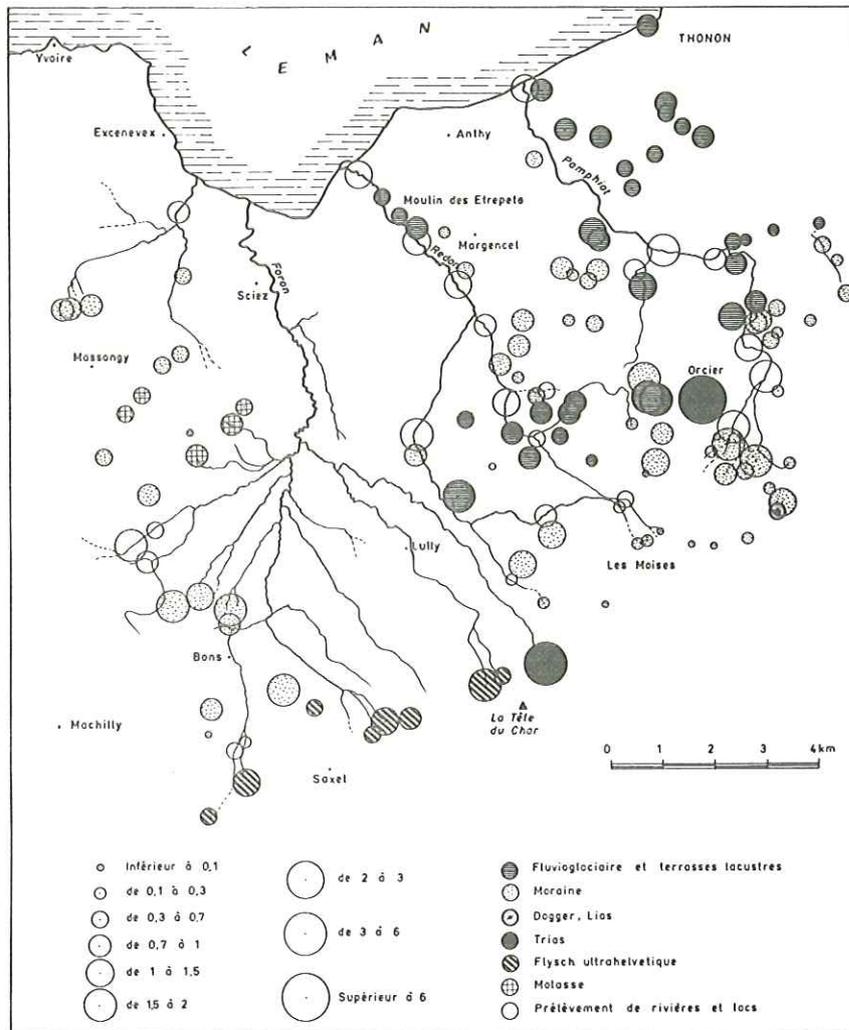


Fig.67 : CONCENTRATIONS EN SULFATES en mg/l

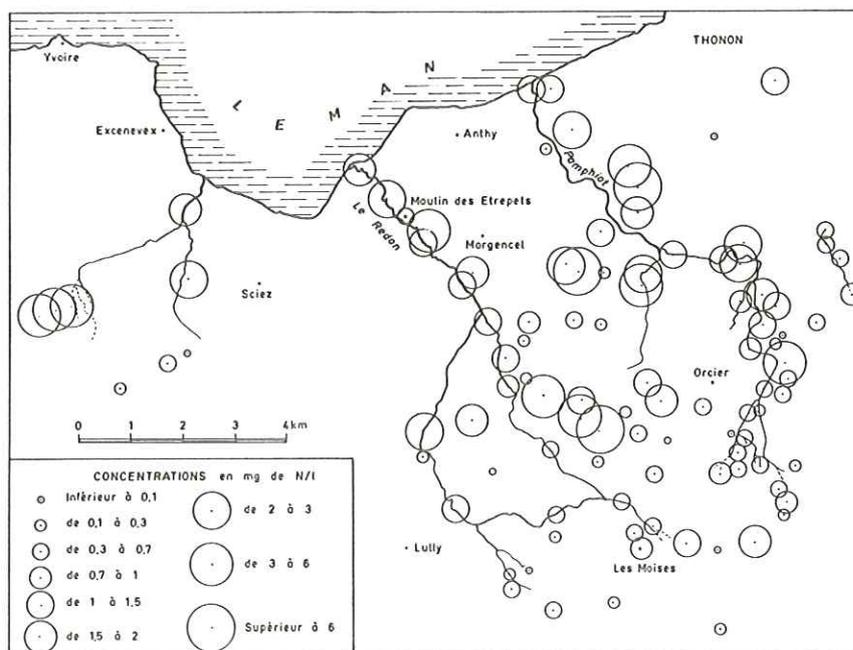


Fig.68 : CONCENTRATIONS EN AZOTE

- Concentration en bicarbonates.

AQUIFERES	TENEURS MOYENNES (en mg/l)	TENEURS EXTREMES (en mg/l)
Molasse (5 échantillons)	417	404 ; 434
Flysch (15 échantillons)	256,6	60 ; 418
Trias (5 échantillons)	238,6	228,4 ; 244
Quaternaire sur Lias et Trias (39 échantillons)	234,3	189 ; 342
Interglaciaire Riss-Würm (3 échantillons)	364	363,5 ; 365,5
Moraine	350	206 ; 442
Fluvio-glaciaire	350	234 ; 421

Les teneurs en bicarbonates sont sensiblement les mêmes pour les eaux du Quaternaire, sauf celles qui ont circulé auparavant dans des terrains liasiques ou triasiques. Par contre, il est à noter les fortes valeurs dans les eaux de la molasse.

- Comparaison des rapports $\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}}$, $\frac{r \text{ SO}_4}{r \text{ Cl}}$, $\frac{r \text{ Na}}{r \text{ Ca}}$ des sources et des eaux caractéristiques du bassin de Thonon.

	$\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}}$	$\frac{r \text{ SO}_4}{r \text{ Cl}}$	$\frac{r \text{ Na}}{r \text{ Ca}}$
Molasse	0,3	2,43	0,05
Flysch	0,16	4,8	0,04
Trias	0,15	460	0,004
Quaternaire sur Trias et Lias	0,18	22,1	0,02
Interglaciaire Riss-Würm	0,93	9,95	0,56
Moraine	0,19	3,87	0,03
Fluvioglaciaire	0,2	4,36	0,03
Eau de la Versoie	0,22	1,5	0,03
Chessy II	0,65	4,6	1,2
Chessy IV	0,77	10,06	0,29
Evian	0,42	3,17	0,048

Toutes les eaux, sauf celles des nappes profondes quaternaires ont un rapport $\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}} < 0,2$.

Le rapport $\frac{r \text{ SO}_4}{r \text{ Cl}}$ est très variable. Il dépend uniquement de la concentration en sulfates, donc de la proximité ou non du Trias gypseux.

Le rapport $\frac{r \text{ Na}}{r \text{ Ca}}$ est inférieur à 0,1 sauf pour Chessy II, Chessy IV et les eaux de l'interglaciaire Riss-Würm. Ces trois types d'eaux sont fortement minéralisées en sodium, expliquant ces fortes valeurs.

D'après ces résultats, on peut classer les eaux de la région comme ainsi :

- Eaux à rapport $\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}} > 0,4$: eaux de type Evian
- Eaux à rapport $\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}} < 0,4$: eaux de type Versoie ou du substratum

- Concentration en azote minéral total.

Sur la figure 68, a été reportée la concentration en azote. Les concentrations sont exprimées en milligrammes d'azote par litre, cet azote provient de l'ammoniaque, des nitrates et des nitrites.

En premier lieu, on s'aperçoit que les teneurs augmentent du Sud au Nord, c'est-à-dire des régions d'altitude vers le Lac Léman.

Les sources, sur les hauteurs (Moïses ou Favrats) contiennent généralement entre 0,3 et 0,7 mg d'azote par litre.

Les teneurs augmentent à partir du plateau des Blaves (Orcier, Draillant, Perrignier), et sont maximales entre les Allinges, Sciez, Mont de Boisy et le Lac (> 6 mg/l). De plus, les zones habitées sont très marquées : Draillant, Perrignier, Allinges, bord du Lac.

Sur les rivières du Redon et du Pamphiot, on assiste à une augmentation progressive et nette entre la source et l'embouchure. Pour le Redon, on a entre 0,3 et 0,7 mg d'azote par litre vers la source, de 1,5 à 2 mg/l à la hauteur de Perrignier, de 2 à 6 mg/l à Séchex.

Dans les analyses, les nitrates sont la principale source d'azote, les nitrites et l'ammoniaque étant peu importants. Ces nitrates proviennent en majeure partie des engrais et fumiers épandus en assez grandes quantités dans la région pour les cultures et pâturages.

En conclusion, les eaux de la région Thonon - Douvaine ne présentent guère de caractères particuliers. Le pH et la résistivité électrique ne permettent pas de différencier clairement les différents types d'eau. Par contre, la chimie donne beaucoup plus de résultats, en particulier avec les sulfates qui indiquent en profondeur la présence de niveaux gypseux. Quelques eaux ont des caractères chimiques particuliers et sont classés comme eaux minérales (Hermance, Versoie, Chessy). Mais, en fait, la plus grande partie des émergences se fait dans la moraine ou dans les terrasses fluvio-glaciaires donnant des eaux bicarbonatées calciques banales. Les eaux du substratum sont rares et de peu d'intérêt ; elles sont plus ou moins minéralisées suivant les aquifères traversés et très souvent mélangées avec les eaux du Quaternaire.

BILAN HYDROCHIMIQUE SUR DEUX AFFLUENTS DU LAC LEMAN

En complément au bilan hydrologique et à l'étude des sources, il a été procédé à l'étude d'un bilan hydrochimique sur deux rivières du bassin lémanique : Le Redon et le ruisseau des Léchères.

I - CHOIX DES RUISSEAUX.

Les prélèvements ont été effectués sur le Redon et les Léchères pour plusieurs raisons :

- Le bilan hydrochimique d'un bassin versant de moyenne montagne avait été fait en 1975 par M. HAUBERT (Dranse de Bellevaux). Cette étude consistait à déterminer les apports chimiques au lac par une rivière représentative du haut-bassin du Rhône.

- L'étude chimique du lac a été entreprise depuis 1957 par la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Lac Léman et du Rhône contre la Pollution, en parallèle avec deux thèses sorties sur le Lac Léman lui-même (M. MEYBECK, 1971 ; M. LUGRIN, 1974).

- Les apports en nutriments au Lac Léman ont été calculés par M. HAUBERT et al., (1975) pour la période 1963-1972. Ce travail, faisant suite à un bilan hydrologique pour la même période, fait ressortir le rôle des petits affluents dans l'établissement du bilan.

Il s'imposait donc de connaître l'influence de ceux-ci sur la totalité des apports au Lac. C'est pour cela que cette étude a été entreprise sur le Redon et la Léchère, que je pense représentatifs des petites rivières de la bordure du Lac car :

- Le Redon et les Léchères ont un petit bassin versant et des débits peu importants.

- Ils se trouvent tous deux en zone rurale.

- Le Redon est le type même du ruisseau du Bas-Chablais, petite rivière à débit peu important permettant encore la pêche à la truite, tandis que la Léchère est un exemple très représentatif de ruisseau pollué.

II - ACTIVITE HUMAINE SUR LES DEUX BASSINS VERSANTS.

Comme il a déjà été dit dans la deuxième partie, le Redon a un bassin versant de 33 km², dont 85 % de la superficie est représenté par le Quaternaire (Fluvioglaciale ou moraine). La prairie représente 53 % de la surface totale. La population est de 2 300 habitants, l'élevage comprend environ 2 100 têtes de bétail (ovins et bovins). L'industrie est peu représentée.

Le bassin versant de la Léchère a une superficie de 10,3 km², dont 22 % sont occupés par la forêt. La population est de 2 100 habitants regroupés sur la ville de Douvaine (vins, fromages, fonderie). L'élevage est bien représenté (800 bovins, 1 000 ovins).

III - METHODE DE PRELEVEMENTS.

Les prélèvements ont été effectués chaque semaine de l'année 1974. Les analyses chimiques ont été faites pour une période de quinze jours, ce qui correspond donc à deux analyses par mois. Conjointement, le débit a été mesuré grâce à un limnigraphe à Séchex sur le Redon et une échelle limnimétrique à Tougues sur la Léchère.

L'étude a consisté à faire le bilan sur la moyenne des concentrations par intervalle de temps.

On suppose que la concentration est constante dans le temps et l'échantillon est considéré comme représentatif sur la période considérée (15 jours pour cette étude). On aura donc un bilan partiel sur un intervalle de temps donné et le bilan total sera la somme des bilans unitaires.

Cette méthode est critiquable car, pour être valable, il faudrait analyser un nombre élevé de prélèvements, ce qui n'est pas le cas dans cette étude. Mais le but final n'était pas de connaître le bilan de façon extrêmement précise, mais plutôt d'estimer les apports au Lac. Il est certain que les valeurs trouvées ne seront pas à extrapoler sur les rivières du pourtour du Lac, car aucun ruisseau ne ressemble à un autre que ce soit par la lithologie du bassin versant ou par l'activité humaine s'y développant, donc en définitive par son chimisme.

IV - RELATIONS RESISTIVITE ELECTRIQUE-ELEMENTS DISSOUS.

La résistivité électrique, servant à évaluer la quantité d'éléments minéraux dissous dans l'eau, a été corrélée pour les eaux du Redon et de La Léchère avec la minéralisation totale, ainsi qu'avec les teneurs en calcium, magnésium, strontium (figures 69 et 70).

Si les résultats sont relativement bons pour La Léchère, il n'en va pas de même pour le Redon, les corrélations linéaires (calculées par machine) étant plus qu'approximatives.

Les essais de corrélation entre la résistivité et les autres éléments dissous n'ont pas aboutis.

Un plus grand nombre de mesures est donc obligatoire pour permettre de préciser l'évolution de la résistivité en fonction de la minéralisation.

V - VARIATIONS DE LA QUALITE CHIMIQUE DES RIVIERES.

Plusieurs effets concourent pour modifier la chimie des rivières. On peut citer :

- La nature géologique des terrains.
- Les apports dûs à l'activité humaine.
- Les variations de débit et de température au cours de l'année en liaison avec les saisons.

Sur les bassins versants du Redon et de La Léchère, ces effets s'observent, mais le nombre limité des analyses fait que les résultats ne sont pas très caractéristiques.

VI - BILAN DES APPORTS.

Le bilan sera donné pour les composés suivants :

SiO_2 , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Sr^{++} , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , N et P.

MOIS	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻	P total
Janvier	0,009	2,5	0,01	0,95	0,18	0,13	0,95	7,14	2,9	0,16	0,004	0,015	0,03
Février	0,04	2,2	0,2	0,69	0,25	0,57	0,51	3,8	1,9	0,47	0,009	0,009	0,023
Mars	0,16	4	0,24	0,45	0,26	0,024	1,13	7,1	2,44	0,67	0,002	0,007	0,026
Avril	0,18	4	0,3	0,58	0,95	0,849	3,18	12,1	0,0	0,29	0,002	0,014	0,038
Mai	0,09	5,5	0,1	0,50	0,47	0,27	1,12	6	12,2	0,38	0,006	0,007	0,009
Juin	0,17	4,83	0,18	0,14	0,54	0,05	0,32	4,35	12,2	0,15	0,013	0,029	0,044
Juillet	0,52	4	0,34	0,53	1,48	0,011	1,5	6,92	2,93	0,06	0,003	0,006	0,037
Août	0,24	2,3	0,39	0,63	0,43	0,87	1,4	5,7	3,2	0,32	0,002	0,004	0,009
Septembre	0,15	0,9	0,20	0,58	0,46	0,29	0,7	3,0	0,0	0,08	0,000	0,011	0,02
Octobre	0,11	0,9	0,24	0,27	0,57	1,66	0,2	3,6	9,3	0,07	0,001	0,18	0,194
Novembre	0,06	1,2	0,25	0,37	0,18	0,41	0,8	3,6	7,3	0,12	0,006	0,005	0,031
Décembre	0,03	1,8	0,27	0,53	0,19	0,12	1,3	4,6	4,9	0,07	0,002	0,000	0,014
<i>MOYENNE ANNUELLE</i>	<i>0,15</i>	<i>2,84</i>	<i>0,23</i>	<i>0,52</i>	<i>0,5</i>	<i>0,44</i>	<i>1,09</i>	<i>5,66</i>	<i>4,94</i>	<i>0,24</i>	<i>0,004</i>	<i>0,024</i>	<i>0,039</i>

TABEAU 36 - ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DE PRECIPITATION A THONON-C.R.G. (ANNEE 1974).

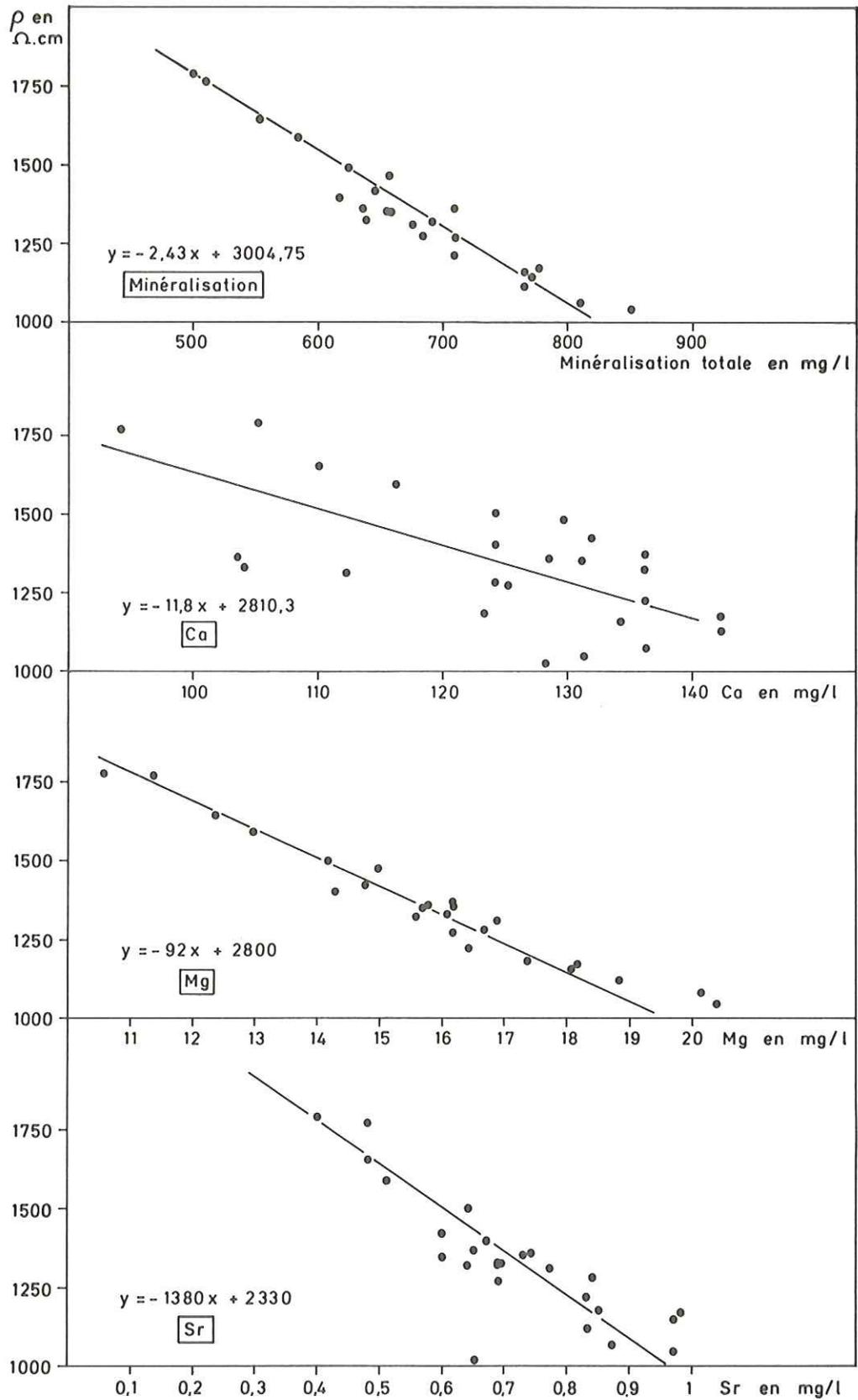


Fig. 69 : RELATION ENTRE LA RESISTIVITE ρ ET LES PRINCIPAUX ELEMENTS CHIMIQUES : RUISSEAU DES LECHERES.

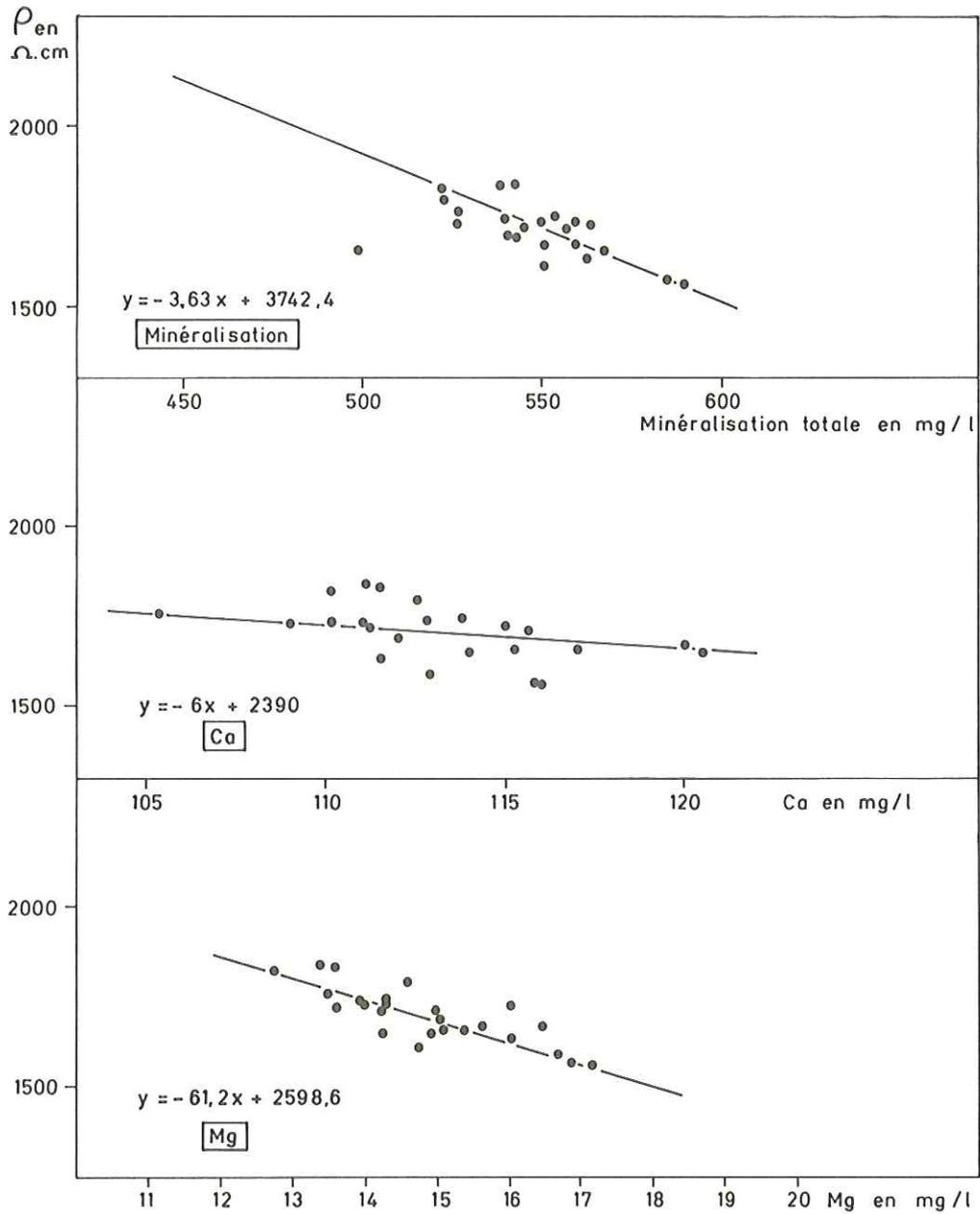


Fig. 70 : RELATION ENTRE LA RESISTIVITE ρ ET LES PRINCIPAUX ELEMENTS CHIMIQUES : RUISSEAU DU REDON

RIVIERE	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	P total
Redon	5,7	107,9	8,7	19,8	19	16,7	41,4	215,1	187,7	9,12	0,15	0,9	1,48
Léchère	1,69	32	2,6	5,9	5,6	5,0	12,3	63,9	55,8	2,7	0,04	0,27	0,44

TABLEAU 37 - APPORTS EN T/AN EN ELEMENTS CHIMIQUES PAR LA PLUVIOMETRIE.

RIVIERE	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	P total
Redon	0,16	3,27	0,26	0,6	0,57	0,5	1,25	6,5	5,7	0,28	0,004	0,03	0,04
Léchère	0,16	3,0	0,24	0,56	0,53	0,47	1,16	6,0	5,26	0,25	0,003	0,025	0,04

TABLEAU 38 - CHARGES SPECIFIQUES EN ELEMENTS CHIMIQUES APPORTEES PAR LA PLUVIOMETRIE.

6.1. - Apports atmosphériques.

L'atmosphère contient en quantités notables des corps chimiques transportés sous forme de poussières ou dans les pluies. La silice, le calcium, le magnésium et le strontium ne proviennent pratiquement que des poussières. Le sodium et le potassium se retrouvent aussi bien dans les poussières que dans les eaux de pluie. Les chlorures et les sulfates proviennent dans notre région essentiellement des zones urbaines (habitations, industries). Les nitrates sont soit d'origine naturelle (atmosphère, humus) ou artificielle (industries). Le phosphore serait d'origine industrielle et agricole (engrais).

Les résultats des analyses des précipitations mensuelles prélevées à la station C.R.G., pour l'année 1974, sont regroupés dans le tableau 36.

Ces valeurs de Thonon-C.R.G. peuvent être facilement extrapolées pour le bassin versant de La Léchère qui est à une altitude moyenne à peine supérieure à l'altitude des prélèvements. Par contre, le bassin versant du Redon présente des reliefs plus élevés, ce qui, à priori, pourrait fausser les résultats mais des mesures comparatives effectuées par M. HAUBERT entre des stations d'altitude et Thonon-C.R.G. ne révèlent pas de différences importantes : légère augmentation en altitude de Na^+ et Cl^- et une diminution de SO_4^{--} et HCO_3^- . Aussi les valeurs de Thonon seront donc prises aussi comme références pour le bassin versant du Redon.

La pluviométrie moyenne s'élève à 1 150 mm pour le Redon et 1 050 mm pour La Léchère. Les tableaux 37 et 38 donnent les apports et la charge spécifique sur ces deux bassins.

Les apports atmosphériques sur les bassins sont donc responsables de 634 T/an d'éléments dissous, correspondant à une charge spécifique de 19,2 T/km²/an pour le Redon et pour La Léchère de 188 T/an donnant une charge spécifique de 17,8 T/km²/an.

RIVIERE		SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Sr ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	N	P	TOTAL
Redon	en T/an	74,6	1 165,2	148,4	59	44,5	10,1	92,7	698,8	3 337,7	23,6	4,4	5 659
	en T/km ² /an	2,26	35,3	4,5	1,79	1,35	0,3	2,8	21,17	101,14	0,71	0,13	171,48
Léchère	en T/an	17,9	244,4	29,3	44,3	21,8	1,28	58,8	137,6	909,3	12,83	4,53	1 482
	en T/km ² /an	1,74	23,72	2,84	4,3	2,12	0,12	5,71	13,35	88,3	1,24	0,44	143,88

TABLEAU 39 - APPORTS AU LAC LEMAN EN ELEMENTS DISSOUS.

6.2. - *Les sources d'apports en azote et en phosphore.*

- Forêts et pâturages (M. HAUBERT et al., 1975).

Sur le bassin de la Morge à Saint-Gingolph, ainsi que sur les lysimètres de Thonon-C.R.G., ont été évaluées les charges en azote et en phosphore provenant uniquement des forêts et pâturages. Les valeurs retenues sont de $0,3 \pm 0,1$ T/km²/an de N et $0,035 \pm 0,01$ T/km²/an de P.

- Zônes cultivées.

Une enquête dans les diverses coopératives agricoles a permis d'évaluer le volume d'engrais employé dans la région. Il s'élève à environ 400 kg par hectare, soit 40 T/km²/an, se répartissant en engrais phosphatés, engrais azotés, superphosphates, potasse, scories. Si l'on compte qu'en moyenne, les engrais contiennent 20 % d'azote et d'acide phosphorique, on obtient 4 T/km²/an de N et 1,3 T/km²/an de P. Par le lessivage des terrains, 1,4 T/km²/an de N et 0,06 T/km²/an de P seraient enlevées aux cultures (M. HAUBERT, 1975).

- Eaux usées.

Les rejets par habitant correspondraient à 4,4 kg de N par an et 0,95 kg de P par an, dont 0,4 kg par an dûs aux détergents, tandis qu'un bovidé rejeterait 66 kg de N par an et 14,25 kg de P par an (VOLLENWEIDER, 1968). Les ovins étant relativement nombreux, il a fallu les distinguer des bovins en leur octroyant les mêmes valeurs de rejets que pour les habitants, faute de documents précis à ce sujet.

6.3. - *Apports au Lac en éléments dissous.*

D'après les analyses chimiques données en annexe, le calcul des apports en éléments dissous et de leurs charges spécifiques est reporté dans le tableau 39.

Les résultats des charges spécifiques des ions majeurs doivent être comparés avec ceux de rivières ou fleuves voisins (Rhône, Dranse, Brévon), pour situer le Redon et La Léchère dans le contexte lémanique.

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻
Brévon	54,3	5,1	1,5	0,9	1,6	41	132
Dranse	100	12	2,3	1,6	4,2	69	291
Rhône	44	5,4	3,3	1,35	4,3	54	93
Léchère	23,7	2,8	4,3	2,12	5,7	13,4	88,3
Redon	35,3	4,5	1,8	1,35	2,8	21,2	101,1

- Apports en calcium.

Le Redon et surtout La Léchère ont des valeurs nettement en-dessous de celles des autres rivières. Ceci tient certainement à la lithologie des bassins versants, les zones calcaires et gypseuses étant peu développées. Rappelons que La Léchère a un bassin versant essentiellement formé de Quaternaire.

- Apports en magnésium.

Le déficit en magnésium est surtout visible pour La Léchère. Là aussi, le rôle de la nature géologique du bassin versant est prépondérant.

- Apports en sodium.

Les charges spécifiques en sodium sont sensiblement équivalentes entre les rivières, à l'exception de La Léchère dont les valeurs sont légèrement supérieures. Il faut certainement en rechercher la cause dans les activités humaines sur le bassin versant (Rejets de la ville de Douvaine).

- Apports en potassium.

Les remarques à faire sur les apports en potassium sont les mêmes que pour le sodium.

- Apports en chlorures.

Comme pour le sodium et le potassium, les charges en chlorures sont relativement semblables. Seule, la valeur observée sur le ruisseau de La Léchère est plus élevée et est à rapprocher de la charge en sodium.

- Apports en sulfates et bicarbonates.

Les valeurs des teneurs en sulfates et en bicarbonates des deux bassins versants sont beaucoup plus faibles que celles de la Dranse, du Brévon et du Rhône. Ces valeurs tiennent certainement, comme pour le calcium, à la nature géologique des bassins versants.

- Comparaison des apports spécifiques en silice et strontium avec le Brévon.

Sur le Brévon, les apports en silice sont respectivement pour les années 1970, 1971, 1972 et 1973, de 3,22 , 1,92 , 1,98 et 1,95 T/km²/an.

Le Redon avec 2,26 T/km²/an et La Léchère avec 1,74 T/km²/an sont sensiblement équivalents.

Les apports spécifiques en strontium sur le Brévon sont de 0,69 , 0,56 , 0,55 et 0,55 T/km²/an et sur les deux ruisseaux de 0,3 et 0,12 T/km²/an. Le strontium étant d'origine souterraine et généralement lié aux dépôts évaporitiques, on comprend que, par suite de la nature lithologique des bassins versants, les valeurs soient de 2 à 5 fois plus faibles.

6.4. - *Apports en nutriments au Lac Léman.*

Dans le chapitre précédent, il a été volontairement mis de côté les apports en nutriments, car les résultats demandent à être développés beaucoup plus.

Dans le bilan des apports à un lac, les charges en ions majeurs sont généralement stables et varient peu dans le temps. Par contre, du fait de l'activité humaine (augmentation de l'urbanisation, agriculture et industrie), les teneurs en azote et en phosphore vont augmenter dans les eaux (5 200 T d'azote apportés au Lac Léman de 1963 à 1967, 7 400 T de 1968 à 1972). Il en résulte que "le seuil critique est maintenant dépassé pour le phosphore et proche d'être atteint pour l'azote". (M. HAUBERT et al., 1975).

Le Redon et La Léchère ont amenés au Lac respectivement 23,6 et 12,83 T d'azote, ainsi que 4,4 et 4,53 T de phosphore, ce qui représente la même quantité d'azote et deux fois plus de phosphore que le Brévon qui a pourtant un débit six fois plus élevé.

Comparons les charges spécifiques :

	AZOTE	PHOSPHORE
Brévon	0,29	0,028
Redon	0,71	0,13
Léchère	1,24	0,44
Rapport $\frac{\text{Redon}}{\text{Brévon}}$	2,45	4,6
Rapport $\frac{\text{Léchère}}{\text{Brévon}}$	4,3	15,7

On s'aperçoit que le Redon transporte à superficie égale 2,5 fois plus d'azote et 4,6 fois plus de phosphore que le Brévon, tandis que La Léchère, pour la même superficie unitaire, transporte 4,3 fois plus d'azote et 15,7 fois plus de phosphore que le Brévon.

Dans ces résultats, il n'est question que de l'azote minéral (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+). Pour le Redon et La Léchère, aucune mesure d'azote organique n'a été effectuée, ce qui empêche de donner les valeurs de concentrations en azote total. Par contre, les valeurs pour le phosphore représentent le phosphore total.

6.5. - Répartition des apports en azote et en phosphore sur les deux bassins d'après leur origine.

- Forêts et pâturages.

Les forêts et pâturages forment les 95 % de la superficie des bassins du Redon et de La Léchère, ce qui représente un tonnage par an en azote et en phosphore de :

	AZOTE	PHOSPHORE
Redon	9,4	1,1
Léchère	2,8	0,3

- Zônes cultivées.

On a vu précédemment que les zones cultivées étaient à l'origine de 4 T/km²/an d'azote et 1,3 T/km²/an de phosphore dans le Bas-Chablais, ce qui représente environ pour les deux bassins versants, un tonnage par an de :

	AZOTE	PHOSPHORE
Redon (50 % de la superficie en cultures)	66	21,4
Léchère (70 % de la superficie en cultures)	28,8	9,4

Pertes par lessivage en T/an :

	AZOTE	PHOSPHORE
Redon	23,1	1
Léchère	10,1	0,4

- Eaux usées domestiques.

Les tonnages et charges spécifiques transportés par les eaux usées domestiques correspondent à :

		AZOTE		PHOSPHORE	
		en T/an	en T/km ² /an	en T/an	en T/km ² /an
Redon	Habitants (2 300)	10,1	0,3	2,18	0,07
	Bétail (1300 bovins) (800 ovins)	89,3	2,7	19,3	0,6
Léchère	Habitants (2 100)	9,2	0,9	2	0,19
	Bétail (800 bovins) (1000 ovins)	57,2	5,6	12,3	1,2

Si l'on compare les apports naturels et artificiels avec les apports mesurés, on trouve :

	AZOTE (en T/an)	PHOSPHORE (en T/an)
1. Forêts, pâturages	9,4	1,1
2. Zônes cultivées	23,1	1
Total 1 + 2	32,5	2,1
3. Eaux usées	99,4	21,7
Total 1 + 2 + 3	131,9	23,8
Apports mesurés	23,6	4,4

BASSIN VERSANT DU REDON.

	AZOTE (en T/an)	PHOSPHORE (en T/an)
1. Forêts, pâturages	2,8	0,3
2. Zônes cultivées	10,1	0,4
Total 1 + 2	12,9	0,7
3. Eaux usées	66,4	14,3
Total 1 + 2 + 3	79,3	15
Apports mesurés	12,83	4,53

BASSIN VERSANT DE LA LECHERE.

D'après ces deux tableaux, on peut déduire que :

- Sur le bassin du Redon :

Les apports mesurés en azote à l'exutoire sont moindres que les apports des forêts et cultures, ce qui permet de dire que le bassin s'épure naturellement. L'azote des eaux domestiques ne se retrouve pas au débouché dans le lac.

Par contre, on décèle deux fois plus de phosphore dans les mesures que dans les apports naturels. Le Redon évacue 10,5 % du phosphore provenant des eaux domestiques.

- Sur le bassin de La Léchère :

Les apports naturels en azote et les apports mesurés s'équilibrent. Le bassin s'épure donc encore naturellement. Mais, si on compare les valeurs en phosphore, on s'aperçoit que les apports mesurés sont nettement supérieurs aux apports naturels. La participation du phosphore des eaux usées s'élève presque à 27 % des apports mesurés.

VII - CONCLUSION SUR LE BILAN HYDROCHIMIQUE DU REDON ET DE LA LECHERE.

Pour l'année 1974, les bassins du Redon et des Léchères ont transporté respectivement 5 660 T/an et 1 480 T/an d'éléments dissous, correspondant à des charges spécifiques de 1 745 T/km²/an pour le Redon et 144 T/km²/an pour La Léchère. Les apports en nutriments au Lac Léman sont d'environ 24 T/an d'azote et 4,4 T/an de phosphore pour le Redon et d'environ 13 T/an d'azote et 4,5 T/an de phosphore pour La Léchère. Actuellement, l'azote amenée au lac correspond aux rejets naturels dans le bassin (cultures, forêts, pâturages), mais pour le phosphore, il ressort de l'étude que la participation des eaux domestiques se situe entre 10 et 30 %. Les bassins versants en sont saturés et ne peuvent plus le fixer dans le sol. Dans la région, ces fortes concentrations sont dues en majeure partie à un élevage intensif et à un début d'industrialisation dans les villages de Perrignier sur le Redon et de Douvaine sur la Léchère.

VIII - CONCLUSION A L'ETUDE DES SOURCES ET DE L'HYDROCHIMIE.

L'inventaire des sources de la région de Thonon - Douvaine, ainsi que l'étude de leurs caractères physico-chimiques, ont permis de préciser plusieurs points concernant les possibilités en eaux des terrains.

Tout d'abord, il apparaît que le substratum (Molasse, Ultrahelvétiques, Préalpes) offre peu d'aquifères importants et ne montre pas d'écoulements en direction du lac. Les sources sont rares et de très faibles débits, à cause de la lithologie et surtout des structures généralement peu favorables. Le plus souvent, le recouvrement quaternaire imperméable empêche des observations sur le substratum. Une participation des eaux de celui-ci dans les eaux des aquifères du Quaternaire a été décelée dans plusieurs sources, surtout dans la zone des Préalpes. Ceci indique donc que le substratum joue un rôle (certainement plus important que ce que l'on peut juger en surface), dans l'hydrogéologie de la région.

Si, en tant qu'aquifère, le substratum n'a guère d'intérêt, la connaissance des structures tectoniques de celui-ci est primordiale. En effet, elles régissent totalement les écoulements dans le Quaternaire sus-jacent, soit parce qu'elles ont favorisé l'installation de chenaux quaternaires le plus souvent remblayés, soit parce qu'elles ont conservé dans les zones basses, du matériel ancien ainsi que des terrains aquifères interstadias. Les structures en monoclinaux chevauchants (voir chapitre géologie), de direction Nord-Est - Sud-Ouest, s'opposent à un écoulement gravitaire vers le lac de direction Sud-Est - Nord-Ouest. A la faveur de drains creusés dans le substratum (failles), l'eau peut s'écouler en direction du lac, en passant d'une zone surcreusée à l'arrière des monoclinaux à une autre zone plus basse. Ce modèle d'écoulement est surtout applicable sur le plateau d'Evian. Il est moins caractéristique sur le plateau de Thonon, sauf au niveau du Pont des Blaves (Communication de la zone du plateau des Blaves à la faveur d'un drain dans le flysch ultrahelvétique avec la zone molassique au Nord).

Le troisième point qu'a fait ressortir l'étude physico-chimique est la différence existant entre les eaux du Quaternaire profond (Eaux de type Evian) et les eaux du Quaternaire superficiel (Eaux de type Versoie). Pour cela, le rapport $\frac{r}{r} \frac{Mg}{Ca}$ est un bon indicateur pour la connaissance de l'aquifère d'une source du Quaternaire.

Par contre, les autres facteurs physico-chimiques, comme la résistivité ou le pH, ne sont pas caractéristiques et ne permettent pas d'établir une classification des sources par ces méthodes.

La dernière partie de cette étude a été un bilan chimique sur deux affluents du Lac Léman. On a pu voir que ces rivières ont transporté un tonnage en nutriments non négligeable vers le lac. Si, sur tout le pourtour lémanique, les ruisseaux en sont au même degré de pollution que le Redon et La Léchère, il faut s'attendre, dans les années à venir, à ce que les petites rivières amènent au Lac Léman, une quantité plus importante d'azote et de phosphore que le Rhône et la Dranse réunis.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

En arrivant au terme de cette étude, les résultats obtenus ont contribué à préciser la géologie et l'hydrogéologie de la région de Thonon-les-Bains.

1) En un premier stade, le levé de la carte géologique au 1/50 000e de Douvaine a été effectué et a permis de reconstituer l'histoire géologique de la région.

Sur le substratum, il a été tenté de délimiter les différentes unités et d'esquisser un schéma tectonique. Celui-ci regroupe les derniers travaux tant géophysiques que géologiques effectués dans la région par les géologues suisses et français. Ce schéma est certainement très incomplet, car le recouvrement quaternaire important masque les terrains secondaires et tertiaires, ce qui explique que les relevés de surface soient très disséminés. Par contre, nous nous sommes attachés à étudier le Quaternaire de la région et surtout la fin du Würm qui est bien représentée. Ceci a permis de donner un modèle de formation des terrains glaciaires au moment où le glacier se retirait dans la vallée du Rhône à l'amont de Genève. Ce modèle englobe un ensemble cohérent de terrains tels que les moraines, les chenaux fluviaux et les terrasses deltaïques. Grâce à cette représentation, une esquisse paléogéographique a pu être faite. Elle permet de montrer que, lors de la fonte du glacier, il y a 16 000 ans, les apports des rivières des Préalpes sédimentaient en deltas dans des lacs de barrage latéraux. Simultanément, le glacier déposait une ou plusieurs moraines latérales contemporaines d'une ou plusieurs terrasses deltaïques. Ce schéma se retrouve du Sud au Nord de la région et correspond à six stades de la période de fonte glaciaire.

Parallèlement, une étude reliant la morphologie glaciaire et la morphologie du substratum a été tentée. On s'aperçoit que, sur les plateaux de Thonon, Douvaine et Evian, les vallums morainiques correspondent aux bombements du substratum. Ce trait morphologique a donc permis de délimiter les différentes unités tectoniques. Grâce aux travaux de géophysiciens suisses et aux sondages mécaniques réalisés entre Thonon et Evian, la nature du substratum a été précisée, ainsi que son rôle dans l'hydrogéologie et dans l'écoulement des différents aquifères, ce dernier point étant relativement important pour une région dont l'économie est en partie basée sur le thermalisme.

2) En un deuxième stade, une étude hydrogéologique a été faite sur des petits bassins versants de rivières affluents au lac Léman. Les résultats ont été calculés à partir des données des années 1971 à 1974 et un bilan a été établi pour cette même période.

Cette étude peut être résumée par les caractéristiques suivantes :

- Dans le cadre géographique.

BASSIN VERSANT	SUPERFICIE (en km ²)	ALTITUDE MOYENNE (en m)	ALTITUDE MAXIMUM (en m)	VEGETATION	POPULATION (en habitants)
Les Blaves	16	810	1 411	Bois 55 %	1 500
Redon	33	675	1 539	Bois 45 %	2 300
Foron	56,9	625	1 480	Bois 52 %	4 400
Léchère	10,3	510	680	Bois 22 %	2 100

Ces bassins versants sont peu élevés, assez peuplés, et leurs principales ressources sont l'agriculture et l'élevage. L'industrie commence à s'y implanter de par la proximité de centres urbains importants tels que Thonon-les-Bains, Annemasse ou Genève.

- Dans le cadre géologique.

Tous les bassins versants montrent une dissymétrie morphologique entre une zone haute où affleure le substratum et une zone basse (la plus étendue) recouverte de Quaternaire.

La répartition des faciès peut se résumer par le tableau suivant :

BASSIN VERSANT	QUATERNAIRE	MOLASSE	FLYSCH	PREALPES MEDIUMNES
Les Blaves	72 %	-	-	28 %
Redon	85 %	-	4 %	11 %
Foron	78 %	5 %	16 %	1 %
Léchère	99 %	1 %	-	-

Sur la superficie totale des bassins versants, le Quaternaire occupe 83,5 % et le substratum 16,5 %. Pour l'hydrologie régionale, deux ensembles stratigraphiques sont importants : Quaternaire et Trias.

- Dans le cadre climatique.

L'étude de la climatologie régionale a permis de connaître les paramètres suivants :

- Les vents : Deux directions de vents dominants : les vents de secteur Nord-Est (la Bise) et de secteur Sud-Ouest (le Vent).

- L'hygrométrie : La moyenne 1971-1974 de l'humidité relative de l'air s'élève à 76,2 %, ce qui est sensiblement identique aux valeurs mesurées autour du lac, à Genève et Lausanne. L'influence du Lac Léman est nette par le rôle de tampon qu'il exerce sur la région.

- Les températures : La moyenne 1971-1974 à Thonon est de 9°9 et de 9°2 pour la période 1966-1974. Un gradient altimétrique de température a été calculé sur la période 1966-1974 et est égal à 1°1/100 m entre 385 m et 600 m et à 0°6/100 m entre 600 m et 800 m. La valeur calculée entre 600 m et 800 m est comparable aux valeurs trouvées dans les Alpes du Nord. Par contre, entre 385 m et 600 m, la valeur calculée est beaucoup plus forte, à cause de l'influence du Lac Léman qui rafraîchit les rives l'été et les réchauffe l'hiver.

- Les précipitations : La moyenne de pluviométrie est de 784 mm pour 1971-1974, de 947 mm pour 1963-1974 et de 974 mm pour 1890-1974. Le gradient altimétrique de pluviométrie s'élève à 64 mm/100 m comparable aux valeurs trouvées par E. SIWERTZ, M. HAUBERT et J.J. JEREMIE.

On note deux maxima en Juin et Novembre et deux minima en Janvier et Décembre.

- L'évapotranspiration : La moyenne 1971-1974 est de 479 mm. Le gradient altimétrique d'évaporation est de 16 mm/100 m.

- Dans le cadre de la débitmétrerie.

Les débits caractéristiques sont donnés dans le tableau suivant :

RIVIERES	DEBITS CARACTERISTIQUES en l/s Moyenne 1971-1974		
	MAXIMUM	MOYEN	ETIAGE
Les Blaves	227	57	17
Redon	840	245	101
Foron(1974)	4 000	690	160

La répartition des débits mensuels montre deux maxima au printemps (fonte des neiges) et en automne.

- Le bilan.

Le bilan hydrologique peut se résumer par cette égalité :

$$\text{Entrées} = \text{Sorties} + \text{Ecoulement extérieur au bassin}$$

c'est-à-dire :

Pour la période 1971 à 1974, et pour les bassins de 49 km² et 106 km², le bilan peut s'écrire :

$$P = ETr + Q + C + \Delta r + Q \text{ ext.}$$

100 %	46 %	25 %	6 %	23 %
-------	------	------	-----	------

On s'aperçoit que les entrées sont supérieures aux sorties ce qui implique un écoulement extérieur au bassin représentant 23 % des entrées.

Ces écoulements se font :

- En direction d'Annemasse, par la vallée de Brens - Machilly.
- En direction du lac par la zone comprise entre la colline des Allinges et Séchex dans les graviers des terrasses, ainsi que par des écoulements profonds du type aquifère d'Evian, dans le Quaternaire.

3) En un troisième stade, les sources de la région Thonon - Douvaine ont été inventoriées et leurs caractères physico-chimiques étudiés. Parallèlement, des prélèvements effectués pendant l'année 1974, sur deux affluents au Lac Léman, ont permis de donner un bilan hydrochimique afin de connaître les apports en sels minéraux au lac.

L'inventaire des sources a mis en évidence le peu d'intérêt du substratum en tant qu'aquifère. Par contre, le Quaternaire offre des ressources beaucoup plus importantes, tant dans les nappes profondes que dans la nappe superficielle des terrasses. Les sources minérales d'Evian et d'Hermance sont à rattacher aux nappes profondes et celle de la Versoie à la nappe des graviers des terrasses.

Les caractères physico-chimiques ne permettent pas de différencier pleinement les sources de la région, seule, la chimie peut être véritablement employée pour la connaissance des aquifères dans le Bas-Chablais.

Le bilan hydrochimique, pour l'année 1974, a montré que les deux rivières affluentes au Léman ont transporté environ 5 700 T pour le Redon et 1 500 T pour la Léchère d'éléments dissous. Les apports en nutriments représentent 0,6 % de la totalité des apports pour le Redon et 1 % pour La Léchère. Ces pourcentages, relativement faibles, ne doivent pas faire oublier qu'ils sont les principaux facteurs d'eutrophisation du lac et qu'actuellement, les deux bassins versants sont à la limite du seuil d'auto-épuration puisque, à l'exutoire, les apports mesurés représentent un peu plus de la totalité des rejets naturels.

De par l'augmentation de la population, de l'élevage et de l'industrie, il faut s'attendre, dans les prochaines décennies, à ce que les petits affluents lémaniques amènent au lac un pourcentage plus élevé de nutriments que le Rhône et la Dranse réunis. Des mesures préventives s'imposent pour pallier ce phénomène de l'ère moderne qu'est la pollution, telles que la construction de collecteurs d'eaux usées, de stations d'épuration tertiaires etc..., ainsi que la prise de conscience de chacun.

L'étude géologique et hydrogéologique du Bas-Chablais est une contribution pour la compréhension de cette partie des Alpes du Nord, encore bien inconnue sur certains sujets.

Pour l'étudiant que je suis, ce travail m'a beaucoup apporté, soit au point de vue scientifique, puisque j'ai pu appliquer mes connaissances théoriques dans de divers domaines tels que la chimie, la géophysique appliquée et la géologie pure, soit au point de vue moral car j'ai ainsi appris à travailler au sein d'une équipe dynamique et compétente dont le but principal est la connaissance par les sciences de la nature de la région lémanique.

B I B L I O G R A P H I E

B I B L I O G R A P H I E

- APRAHAMIAN J., FOURNEAUX J.C., LACROIX B., USELLE J.P., 1970. Observations nouvelles sur les argiles interglaciaires de la vallée de l'Isère. C.R. Acad. Sci. Paris, 271, 1071-1074.
- ATLAS DES STATIONS LACUSTRES. 1912. Lacs de Genève (Léman), de Neuchâtel, de Morat, de Bienne de Zurich. XIVème Congrès International d'Anthropologie et d'Archéologie Préhistorique, Genève.
- BADOUX H., 1962. Essai sur l'évolution tectonique des Préalpes Médiannes du Chablais. Ecl. Geol. Helv., 55, 1, 135-188.
- BADOUX H., 1965. Feuille Thonon-Châtel au 1/50 000ème. XXV-28 et notice. Carte Géol. France.
- BAKALOWICZ M., OLIVE Ph., SIWERTZ E., 1970. Sur la position respective des niveaux d'Armoy et du conglomérat des Dranses. C.R. Acad. Sci. Paris, 271, 892-895.
- BLANC P., DRAY M., OLIVE Ph., 1969. Nouvelles données sur les caractéristiques chimiques et isotopiques des eaux du complexe quaternaire de la région de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie). Rev. Géog. Alp., 57, 4, 823-830.
- BLAVOUX B., 1966. Les sources minérales d'Evian. Thèse 3ème cycle, Paris.
- 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.
- BOURDIER F., 1961. Le bassin du Rhône au Quaternaire. Géologie et Préhistoire. Thèse, Paris.
- BÜCHLI H., 1973. Etude géoélectrique de la région comprise entre Langin et Thonon. Thèse, Lausanne.

- CARRON C., 1963. Etude géologique des flyschs préalpins entre les Dranses du Chablais. Thèse 3ème cycle, Paris.
- CASTANY G., 1963. Traité pratique des eaux souterraines. Ed. Dunod, Paris.
- DEBELMAS J., 1970. Alpes (Savoie et Dauphiné). Guides géologiques régionaux. Ed. Masson, Paris.
- DEBELMAS J., 1974. Géologie de la France. 2 tomes. Ed. Doin, Paris.
- DONZE A., 1973. Etude gravimétrique de la rive sud du Léman. Thèse, Lausanne.
- DRAY M., 1970. Etude hydrogéologique du Quaternaire de la région de Thonon-les-Bains. Thèse 3ème cycle, Paris.
- DRAY M., 1971. Le sondage de Chessy (Haute-Savoie). Contribution nouvelle à la géologie du Quaternaire du Bas-Chablais. Arch. Sci. Genève, 24, 1, 57-72.
- DUSSART B., JUGET J., SITARZ J., 1959. Les sables des dunes lémaniques, conditions de transport, nature. Arch. Sci. Genève, 12, 1, 1-8.
- FAVRE J., 1927. Les mollusques post-glaciaires et actuels du bassin de Genève. Mém. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève, 41, 3, 171-434.
- FAVRE J., 1935. Etude sur la partie occidentale du Lac de Genève. Mém. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève, 15, 3, 295-414.
- FLINT R.F., 1971. Glacial and quaternary geology. Ed. J. Wiley, New-York.
- FOREL F.A., 1886. Le Léman. Monographie limnologique. Ed. Rougé, Lausanne.
- GABNEBIN E., 1937. Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat., 59, 335-416.
- GIDON M., MONTJUVENT G., STEINFATT E., 1968. Sur la morphologie fluvio-glaciaire aux marges des glaciers würmiens alpins. Le dispositif moraine-chenal marginal. Bull. A.F.E.Q., 2, 125-149.

GLANGEAUD L., 1949. Les caractères structuraux du Jura. Bull. Soc. Géol. France, 19, 669-688.

HAUBERT M., 1975. Bilan hydrochimique d'un bassin versant de moyenne montagne : la Dranse de Bellevaux (Brévon). Haute-Savoie. Thèse 3ème cycle, Paris.

HAUBERT M., SIWERTZ E., CHASSAING B., OLIVE Ph., 1975. Apports en nutriments au lac Léman pour la période 1963-1972 (II). Arch. Sci. Genève, 28, 1, 41-52.

INSTITUT SUISSE DE METEOROLOGIE. Krähbühlstrasse 58, 8044 Zurich.

JAN DU CHENE R., GORIN G., VAN STUIJVENBERG J., 1975. Etude géologique et stratigraphique (Palynologie et nannoflore calcaire) des grès des Voirons (Paléogène de Haute-Savoie, France). Géol. Alp., 51, 51-78.

JAYET A., 1964. Notice explicative de la feuille 1281. Coppet de l'Atlas géologique de la Suisse au 1/25 000ème.

JAYET A., 1966. Résumé de géologie glaciaire. Ed. Chapuis, Genève.

JEREMIE J.J., 1976. Contribution à l'étude des paramètres hydrologiques de la région lémanique. Thèse 3ème cycle, Paris.

KISSLING D., 1974. L'Oligocène de l'extrémité occidentale du bassin molassique suisse. Stratigraphie et aperçu sédimentologique. Thèse, Genève.

LOMBARD A., 1940. La géologie des Voirons. Mém. Soc. Helv. Sci. Nat., 74, 1.

LOMBARD A., 1965. Notice explicative de la feuille Genève de l'Atlas géologique de la Suisse au 1/25 000ème.

LUGEON M., 1897. Leçon d'ouverture du cours de géographie physique professé à l'Université de Lausanne. Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat., 33, 124, 47-78.

- LUGRIN M., 1974. Premières données sur les composés organiques dissous dans le bassin du Lac Léman. Thèse 3ème cycle, Paris.
- MARTINI E., 1971. Standard tertiary and quaternary calcareous nanoplankton zonation. Proc. II, Plankt. Conf., Roma, 2, 739-785.
- MARTINI J., DURET J.J., 1965. Etude du niveau de cendres volcaniques des sédiments post-glaciaires récents des environs de Genève. Arch. Sci. Genève, 18, 563-575.
- MEYBECK M., HUBERT P., OLIVE Ph., SIWERTZ E., 1969. Nouvelles données obtenues par la sismique continue, sur la structure de la cuvette lémanique. C. R. int. C.R.G. Thonon.
- MEYBECK M., 1971. Bilan hydrochimique et géochimique du Lac Léman. Thèse 3ème cycle, Paris.
- OLIVE Ph., 1972. La région du Lac Léman depuis 15 000 ans : données paléoclimatologiques et préhistoriques. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., 14, 2, 253-264.
- PAQUIN R., 1973. Etude géoélectrique de la rive sud du Léman au Nord de l'axe du Mont de Boisy. Thèse, Lausanne.
- P.R.E.P.A. Sondage Messery, 1958. Sondage Mont de Boisy, 1959. in Direction des carburants, Service de Conservation des gisements. 228, Avenue Napoléon-Bonaparte, 92 Rueil-Malmaison.
- Rapports sur les études et recherches entreprises dans le bassin lémanique par la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Lac Léman et du Rhône contre la Pollution. Secrétariat : 23, Avenue de Chailly, 1012 Lausanne.
- REMENIERAS G., 1965. L'hydrologie de l'ingénieur. Ed. Eyrolles, Paris.
- RIGASSI D., 1957. Le Tertiaire de la région genevoise et savoisiennne. Bull. Vers. Schweiz. Petrol. Geol. u. Ing., 24, 66, 19-34.

- ROCHE M., 1963. Hydrologie de surface. Ed. Gauthier-Villars, Paris.
- SIWERTZ E. , 1973. Etude expérimentale par le tritium et l'¹⁸O de l'infiltration sur les lysimètres et le bassin de Thonon-les-Bains. Thèse 3ème cycle, Paris.
- SOCIETE ANONYME DES EAUX MINERALES D'EVIAN. Sondages Villa Magnin, Gare, Grottes, Amphion-Sainte-Agathe, Tours, Buvette.
- TRICART J., CAILLEUX A., 1959. Initiation à l'étude des sables et des galets. 3 vol., C.D.U., Paris.
- VERNET J.P., HORN R., 1971. Etude sédimentologique et structurale de la partie occidentale du Lac Léman par la méthode sismique à réflexion continue. Ecl. Geol. Helv., 64, 2, 291-317.
- VERNET J.P., HORN R., BADOUX H., SCOLARI G., 1974. Etude structurale du Léman par sismique à réflexion continue. Ecl. Geol. Helv., 67, 3, 515-530.
- VIAL R., 1975. Le Quaternaire dans le Bas-Chablais (Haute-Savoie). Les derniers épisodes de retrait glaciaire. Géol. Alp., 51, 129-144.
- VIAL R., JAMIER D., OLIVE Ph., 1976. Adaptation de la morphologie quaternaire à la structure tectonique dans la région du Bas-Chablais (Haute-Savoie). Rev. Géogr. Alp., 64, 1, 79-92.
- VOLLENWEIDER R.A., 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. Rapport O.C.D.E., D.A.S., C.S.L., 68, 27.

LISTE DES FIGURES

L I S T E D E S F I G U R E S

Figure 1 - Plan de situation.

Figure 2 - Carte générale de situation.

Figure 3 - Bloc-diagramme du Bas-Chablais.

Figure 4 - Les grandes unités tectoniques du Bas-Chablais.

Figure 5 - Séries stratigraphiques des Préalpes médianes.

Figure 6 - Carte géologique simplifiée du Bas-Chablais.

Figure 7 - Coupe de la molasse, aval du pont des Esserts.

Figure 8 - Coupe de la carrière du chalet, Mont de Boisy.

Figure 9 - Forage du Mont de Boisy.

Figure 10 - Coupe de la carrière inférieure de Saxel.

Figure 11 - Carrière supérieure de Saxel.

Figure 12 - Coupe de la pointe de Targaillan.

Figure 13 - Schéma tectonique du Bas-Chablais.

Figure 14 - Coupe géologique.

Figure 15 - Coupes transversales aux unités tectoniques.

Figure 16 - Coupe du ruisseau de Chamburaz.

Figure 17 - Coupe de la Dranse.

Figure 18 - Coupe dans la terrasse de chez Jordan.

Figure 19 - Carrière des Cinq-Chemins.

Figure 20 - Coupe dans la terrasse lacustre, bord du lac, I.N.R.A.

Figure 21 - Analyse granulométrique, terrasses de Thonon.

Figure 22 - Analyse granulométrique, sables d'Hermance, Nant de Chamburaz.

Figure 23 - Analyse granulométrique, sables de la station d'Hydrobiologie Lacustre de Thonon.

Figure 24 - Analyse granulométrique, sables d'Excenevex.

Figure 25 - Comptage pétrographique, Renard Bleu.

Figure 26 - Comptage pétrographique, Perrignier.

- Figure 27 - Histogramme et courbe des fréquences cumulées.
- Figure 28 - Schéma théorique montrant la mise en place des dépôts glaciaires et deltaïques, pendant le retrait du glacier rhodanien.
- Figure 29 - Représentation schématique des diverses dispositions des formations quaternaires, rencontrées dans la région de Thonon (Bas-Chablais).
- Figure 30 - Mécanisme de mise en place des dépôts glaciaires et périglaciaires dans le Bas-Chablais.
- Figure 30 bis - Les cités lacustres ou palafittiques.
- Figure 31 - Réseau hydrographique étudié.
- Figure 32 - Courbes de fréquence altimétrique et courbe hypsométrique des bassins versants du Foron, Blaves, Redon, Léchère.
- Figure 33 - Profil en long des ruisseaux et de leurs principaux affluents.
- Figure 34 - Bassin versant des Blaves.
- Figure 35 - Bassin versant du Redon.
- Figure 36 - Bassin versant du Foron.
- Figure 37 - Bassin versant des Léchères.
- Figure 38 - Vents moyens mensuels, station Genève-Cointrin, 1971-1972.
- Figure 39 - Vents moyens mensuels, station Genève-Cointrin, 1973-1974.
- Figure 40 - Rose des vents, moyenne 1971-1974.
- Figure 41 - Evolution mensuelle du gradient altimétrique de température.
- Figure 42 - Températures mensuelles (moyenne 1971-1974).
- Figure 43 - Températures moyennes mensuelles.
- Figure 44 - Corrélation entre les températures, moyennes mensuelles aux Blaves et Thonon-C.R.G. (1971-1974).
- Figure 45 - Distribution de la pluviométrie à Thonon-Rives (1890-1974).
- Figure 46 - Ajustement des modules pluviométriques annuels à la loi de Gauss. Thonon-Rives (1890-1974).
- Figure 47 - Somme des écarts par rapport à la moyenne à l'échelle annuelle, Thonon-Rives.
- Figure 48 - Distribution de la pluviométrie à Genève-Observatoire (1901-1974).

- Figure 49 - Ajustement des modules pluviométriques annuels à la loi de Gauss, Genève-Observatoire (1901-1974).
- Figure 50 - Somme des écarts par rapport à la moyenne à l'échelle annuelle, Genève-Observatoire.
- Figure 51 - Courbes isohyètes - 1971.
- Figure 52 - Courbes isohyètes - 1972.
- Figure 53 - Courbes isohyètes - 1973.
- Figure 54 - Courbes isohyètes - 1974.
- Figure 55 - Précipitations mensuelles à Thonon-C.R.G.
- Figure 56 - Tarage - Pont des Blaves.
- Figure 57 - Courbe de tarage - Ruisseau du Redon.
- Figure 58 - Courbe de tarage - Ruisseau du Foron.
- Figure 59 - Courbe de tarage - Ruisseau des Léchères.
- Figure 60 - Débits moyens journaliers, courbe des débits classés Blaves, Redon - 1971.
- Figure 61 - Débits moyens journaliers, courbe des débits classés Blaves, Redon - 1972.
- Figure 62 - Débits moyens journaliers, courbe des débits classés Blaves, Redon - 1973.
- Figure 63 - Débits moyens journaliers, courbe des débits classés Blaves, Redon - 1974.
- Figure 64 - Débits moyens journaliers, courbe des débits classés Foron - 1974.
- Figure 65 - Courbe des débits cumulés, Redon-Blaves - 1971-1974.
- Figure 66 - Courbes de tarissement.
- Figure 67 - Concentration en sulfates des sources du Bas-Chablais.
- Figure 68 - Concentration en azote des sources du Bas-Chablais.
- Figure 69 - Relation entre la résistivité ρ et les principaux éléments chimiques : Ruisseau des Léchères.
- Figure 70 - Relation entre la résistivité ρ et les principaux éléments chimiques : Ruisseau du Redon.
- Figure 71 - Variation annuelle des paramètres physiques des sources de Bois Besson et Nant de Chamburaz.
- Figure 72 - Variation annuelle des paramètres physiques des sources des Crapons. La Plantée et Moulin des Etrepêts.

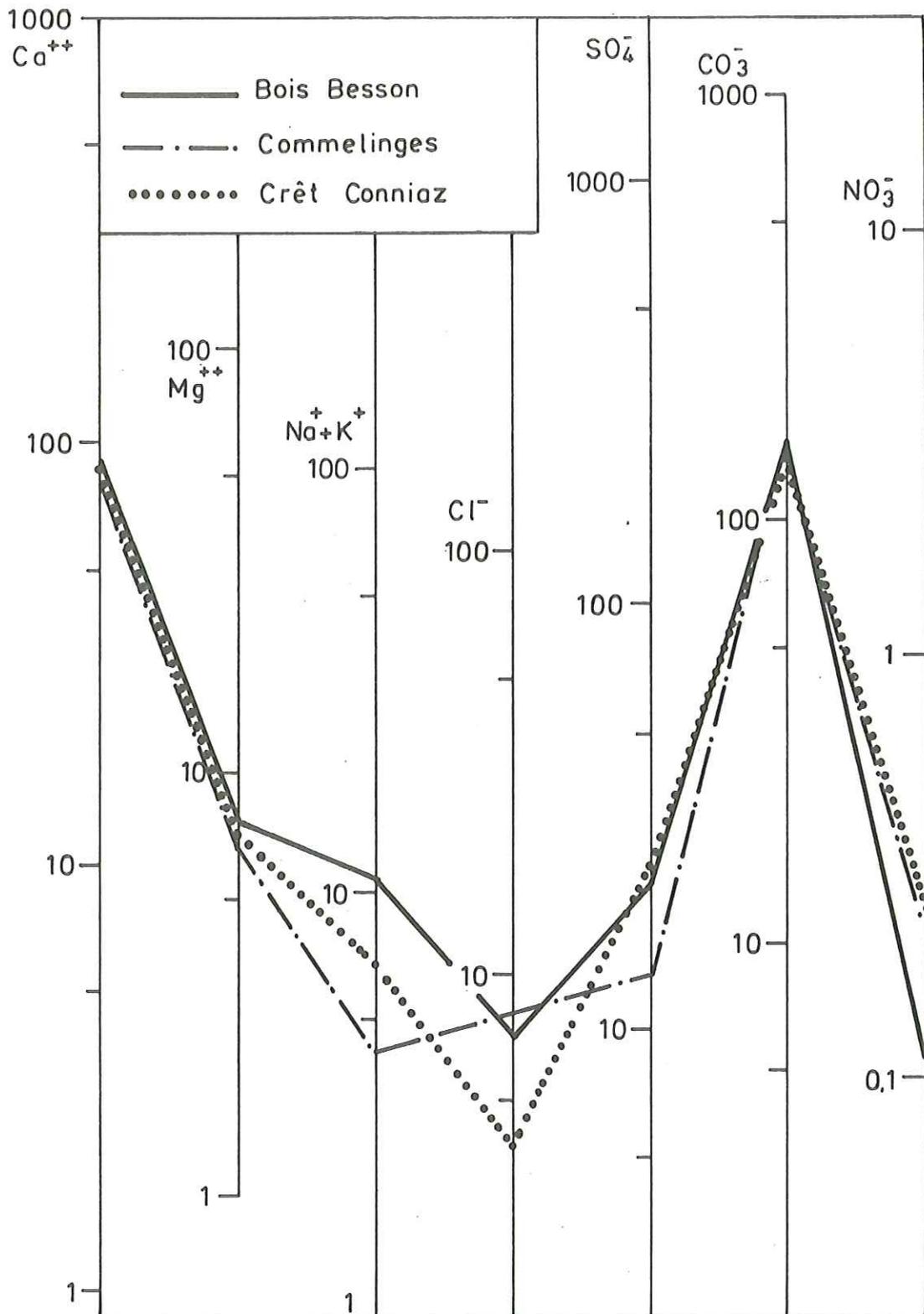
LISTE DES TABLEAUX

L I S T E D E S T A B L E A U X

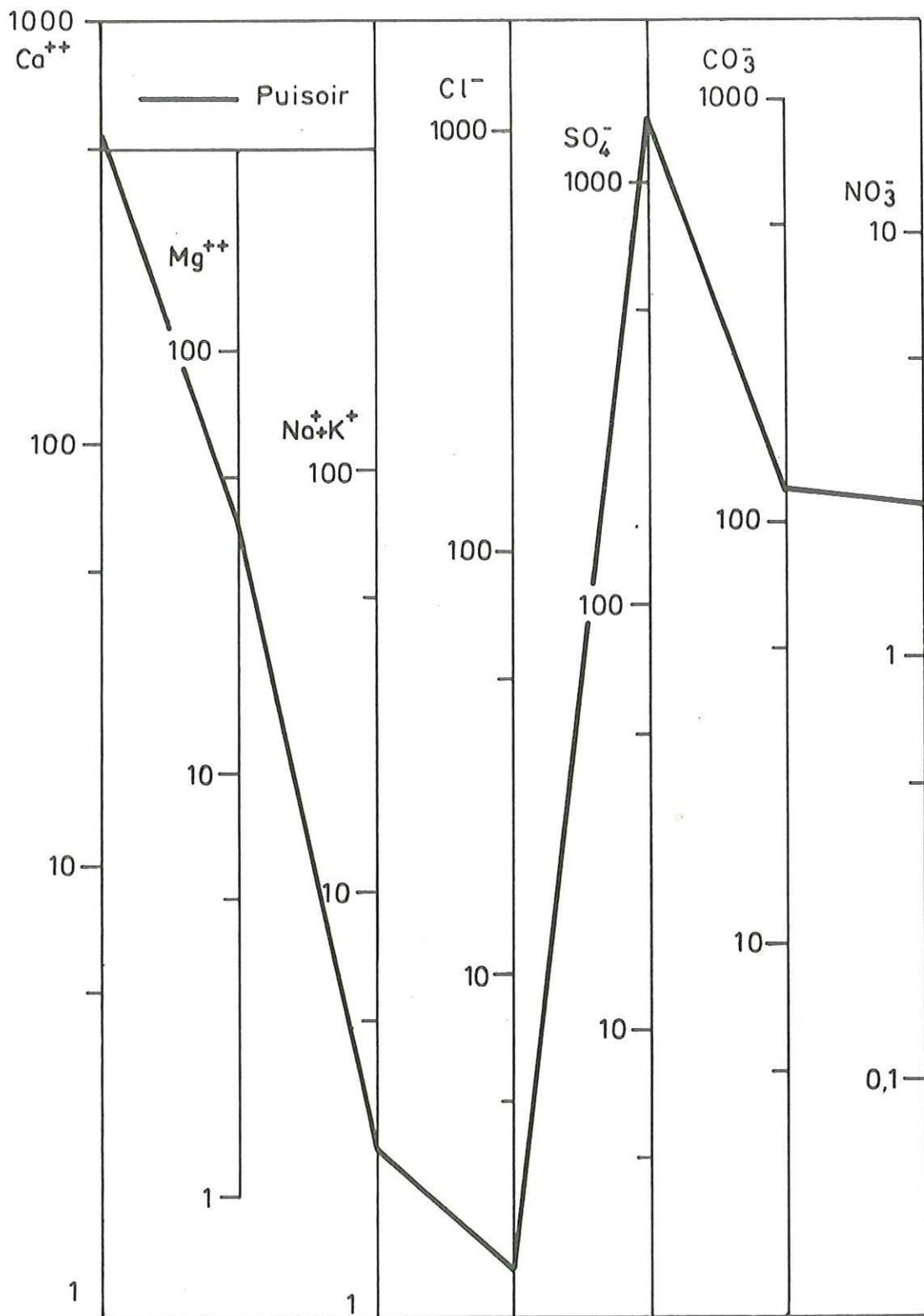
	Pages
Tableau 1 - Forages de reconnaissance réalisés près d'Evian.....	18
Tableau 2 - Tableau chronologique résumant les différents épisodes glaciaires du Bas-Chablais.....	43
Tableau 3 - Paléoclimatologie du Tardi-Glaciaire lémanique.....	45
Tableau 4 - Paléoclimatologie du Post-Glaciaire lémanique.....	46
Tableau 5 - Humidité relative de l'air en % (moyenne mensuelle et annuelle) : Station Thonon-C.R.G.....	63
Tableau 6 - Températures moyennes mensuelles pour la période 1966-1974.....	66
Tableau 7 - Températures moyennes mensuelles pour la période 1971-1974.....	66
Tableau 8 - Températures moyennes mensuelles pour chaque année. Station de Thonon-C.R.G.....	67
Tableau 9 - Températures moyennes mensuelles pour chaque année. Station des Blaves.....	67
Tableau 10 - Températures moyennes mensuelles pour chaque année. Station de Thonon-Rives.....	67
Tableau 11 - Températures moyennes mensuelles pour chaque année. Station de Larringes.....	68
Tableau 12 - Durée d'ensoleillement en heures à la station de Thonon- Rives.....	68
Tableau 13 - Pluviométrie à l'échelle mensuelle. Thonon-C.R.G. Moyenne 1971-1974.....	75
Tableau 14 - Pluviométrie à l'échelle mensuelle. Thonon-C.R.G. Moyenne 1963-1974.....	75
Tableau 15 - Evapotranspiration en mm selon la méthode de Turc calculée mensuellement.....	79
Tableau 16 - Evapotranspiration en mm selon la formule de Thornthwaite pour la station de Thonon-C.R.G.....	79
Tableau 17 - Evapotranspiration calculée en mm selon la formule de Thornthwaite pour la station des Blaves.....	79
Tableau 18 - Débits moyens mensuels en l/s et débits spécifiques men- suels en l/s/km. Pont des Blaves.	
Tableau 19 - Débits moyens mensuels en l/s et débits spécifiques men- suels en l/s/km. Redon.....	90

	Pages
Tableau 20 - Débits moyens mensuels en l/s et débits spécifiques mensuels en l/s/km. Foron.....	91
Tableau 21 - Débits caractéristiques en l/s des différentes rivières.....	93
Tableau 22 - Débits spécifiques caractéristiques en l/s/km des différentes rivières.....	93
Tableau 23 - Moyennes mensuelles des débits moyens mensuels - 1971-1974.....	95
Tableau 24 - Débits spécifiques comparés entre divers affluents du Lac Léman.....	95
Tableau 24 bis - Bilans hydrologiques annuels.....	100
Tableau 25 - Bilan mensuel aux Blaves en mm. Année 1971.....	104
Tableau 26 - Bilan mensuel aux Blaves en mm. Année 1972.....	104
Tableau 27 - Bilan mensuel aux Blaves en mm. Année 1973.....	105
Tableau 28 - Bilan mensuel aux Blaves en mm. Année 1974.....	105
Tableau 29 - Analyses chimiques de sources de la molasse.....	110
Tableau 30 - Analyse d'une source du Flysch ultrahelvétique.....	110
Tableau 31 - Analyses chimiques des sources de l'interglaciaire Riss-Würm.....	116
Tableau 32 - Analyse chimique des eaux des graviers de base würmiens.....	116
Tableau 33 - Analyse chimique des eaux de moraines.....	119
Tableau 34 - Analyses chimiques des eaux du Fluvioglaciale.....	119
Tableau 35 - Analyses chimiques des différentes nappes de la région thononaise.....	126
Tableau 36 - Analyses chimiques des eaux de précipitations à Thonon-C.R.G. (Année 1974).....	140
Tableau 37 - Apports en T/an en éléments chimiques par la pluviométrie.....	141
Tableau 38 - Charges spécifiques en éléments chimiques apportées par la pluviométrie.....	141
Tableau 39 - Apports au Lac Léman en éléments dissous.....	143

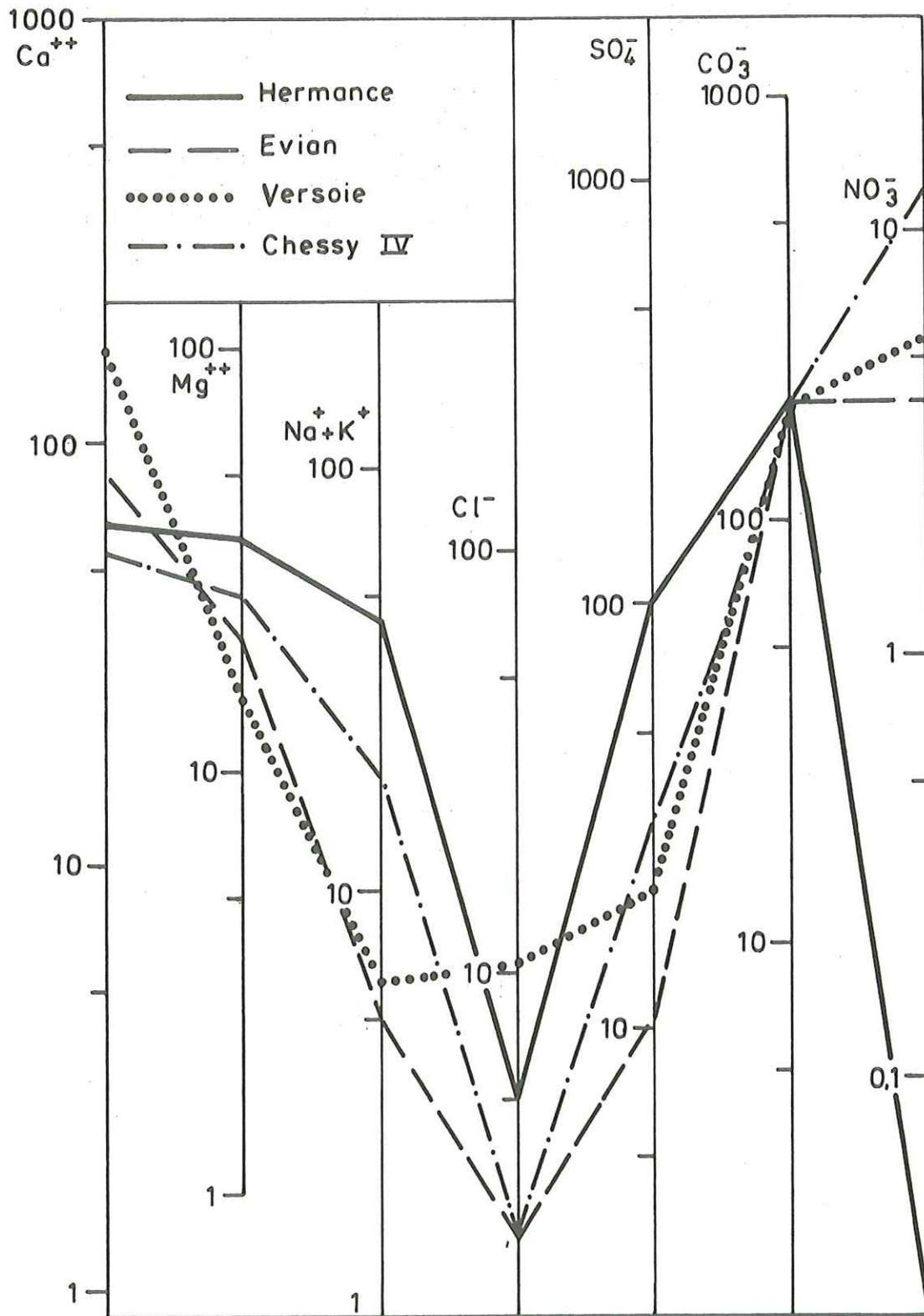
ANNEXES



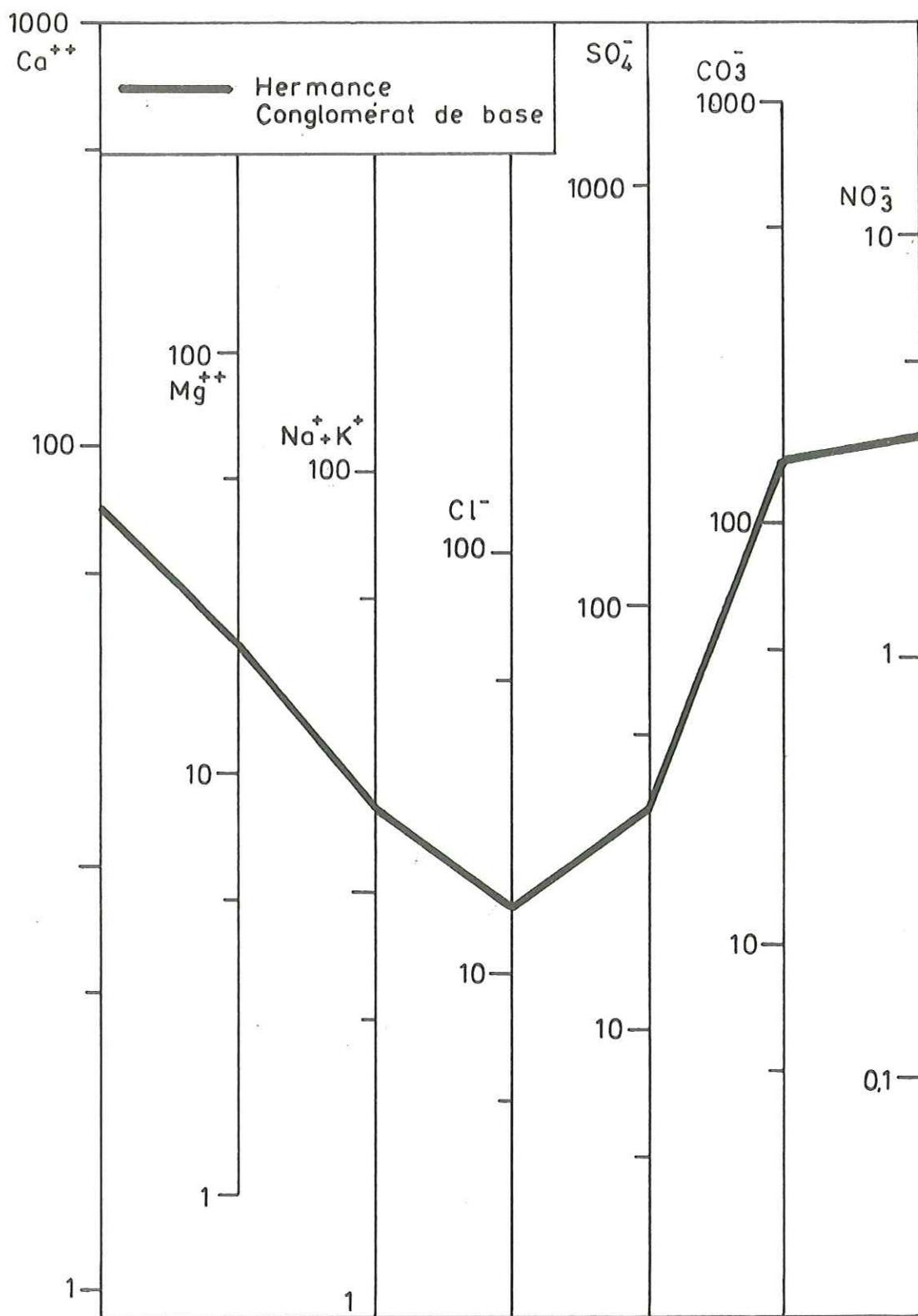
Annexe 1-2 : SOURCES DU FLYSCH



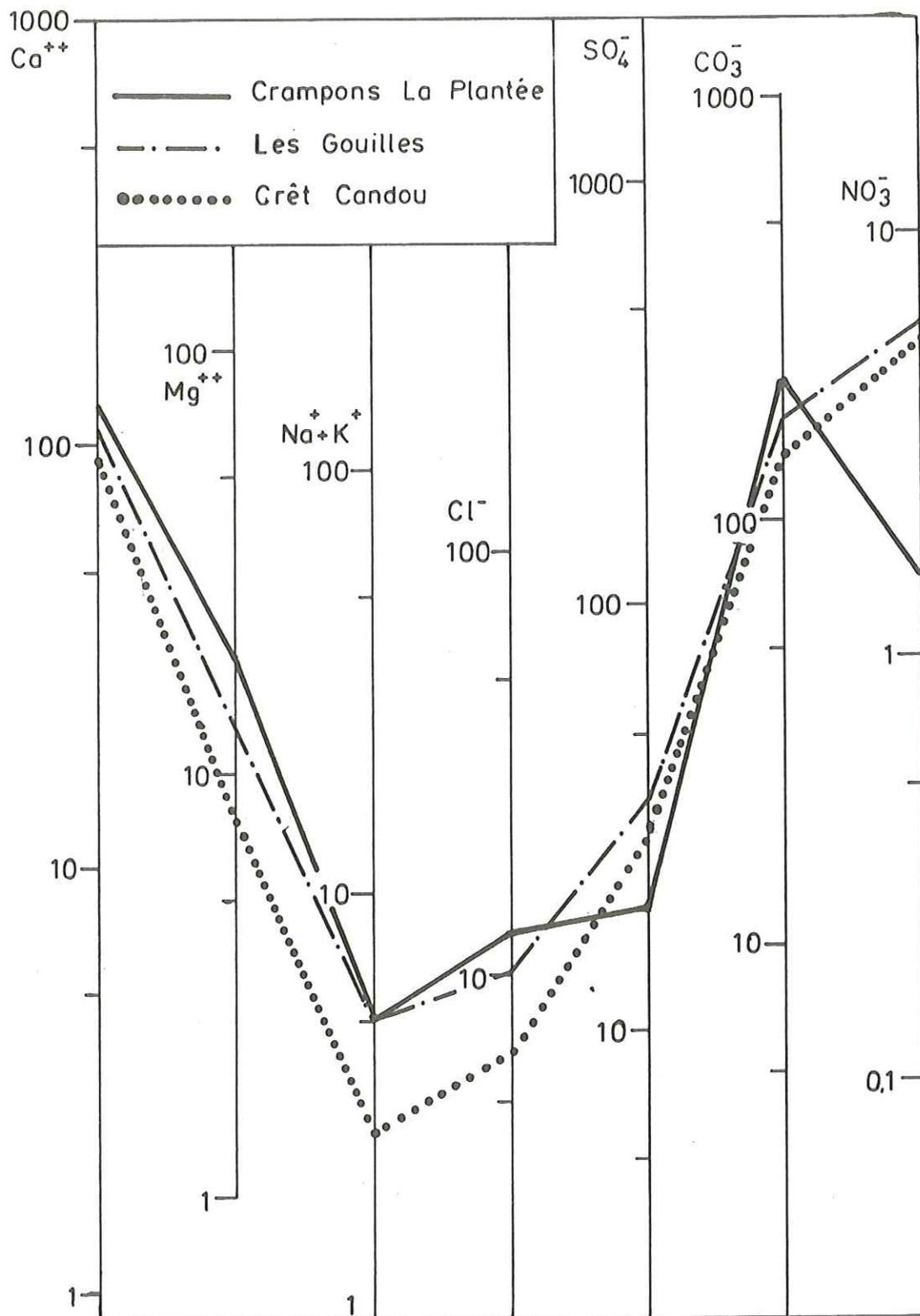
Annexe 1-3 : SOURCE DU TRIAS



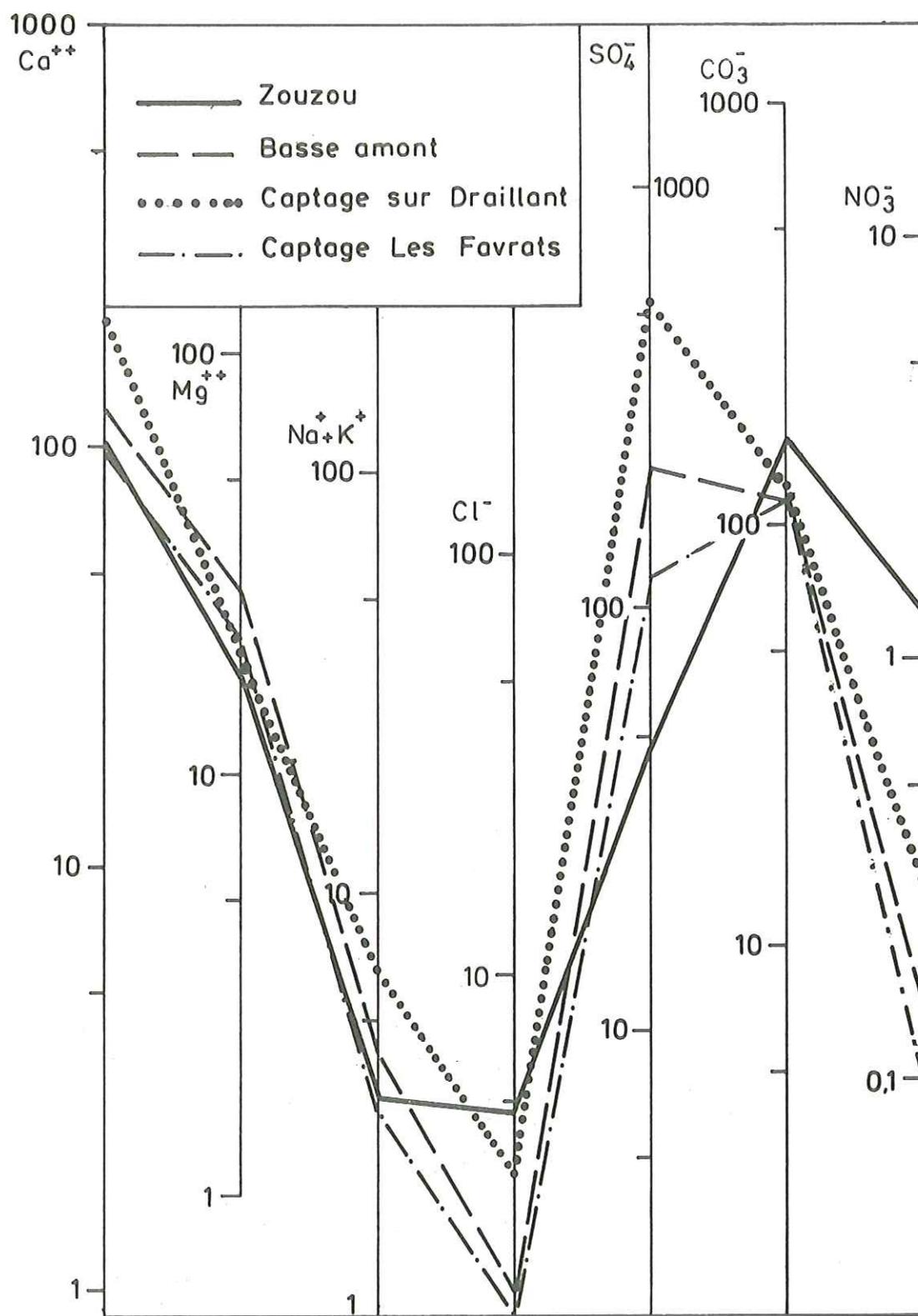
Annexe 1-4 ; SOURCES MINERALES DU BAS-CHABLAI.



Annexe 1-5 : SOURCES DU CONGLOMERAT DE BASE DU WÜRM



Annexe 1-6 : SOURCES DE LA MORAINÉ



Annexe : 1-7 : SOURCES DU QUATERNAIRE INFLUENCEES PAR LE SUBSTRATUM

SOURCES	COORDONNEES LAMBERT		
	x	y	Z en m
Le Chalet	908,2	153,3	535
Chateau des Fées	907,9	153	590
Chezabois	909,6	152,5	700
Bois Besson	911,9	147,5	710
Commelinges	916,8	155,6	600
Crêt Conniaz	917,4	156,3	560
Zouzou	914,5	154,2	620
Basse amont	920,6	152,7	1 000
Captage sur Draillant	917,3	152,7	630
Captage Les Favrats	920,4	152,7	1 000
Hermance	901,8	152	390
Versoie	917,9	158,1	455
Chessy IV	919,2	158,2	490
Nant de Chamburaz	902	152	390
La Plantée	908,6	151,6	630
Les Gouilles	915,8	154,4	485
Crêt Candou	914,9	153,2	520
Sous Estraz	906,9	155	415
Sous Draillant	917	153,3	580
Maugny	918,5	155,9	630
Moulin des Etrepêts	913,6	157	390

ANNEXE 2 - LOCALISATION DES SOURCES.

AQUIFERES	DEBITS	TEMPERATURES	RESISTIVITES
<i>Molasse</i>			
Le Chalet	2	2	1,1
Chateau des Fées	20	1,6	1,1
Chezaboïs	1	2	1,1
<i>Flysch</i>			
Bois Besson	30	1,1	1,4
<i>Trias</i>			
Le Puisoir	-	-	1,8
<i>Interglaciaire Riss-Würm</i>			
Hermance	-	-	1,1
<i>Conglomérat de base du Würm</i>			
Nant de Chamburaz	6	1,8	1,1
<i>Moraine</i>			
La Plantée	100	1,2	1,05
<i>Fluvioglaciale</i>			
Sous Estraz	1,1	1	1,1
Maugny	7	1,4	1

ANNEXE 3 - COEFFICIENTS DE VARIABILITE DES SOURCES.

MOIS	JANVIER		FEVRIER		MARS	
DATES	27/12 au 13/01	14/01 au 04/02	05/02 au 17/02	18/02 au 03/03	04/03 au 17/03	18/03 au 31/03
Débit (en l/s)	266	248	297	385,5	314	335
pH	7,9	7,7	8	8,25	7,62	8,02
ρ en Ω .cm	1795	1607	1835	1233	1652	1727
SiO ₂	7,15	6,6	6,65	8,15	7,35	6,55
Ca ⁺⁺	112,5	115	111,5	119	114	109
Mg ⁺⁺	14,6	14,75	13,6	14	14,25	13,6
Na ⁺	6,4	6,28	5,52	6	5,75	5,5
K ⁺	4,52	4,2	4,65	4	3,82	4,15
NH ₄ ⁺	0,31	0,07	1,02	0,43	0,06	0,02
Sr ⁺⁺	0,94	0,95	-	1	0,94	0,94
Cl ⁻	9,54	9,2	9,04	10,2	10,6	9,3
SO ₄ ⁻⁻⁻	33,2	65,9	62,5	70,9	64,8	66,6
HCO ₃ ⁻	331,3	326	319,6	236	324,5	309,4
NO ₃ ⁻	2,02	2,18	1,72	2,28	2,6	2,24
NO ₂ ⁻	0,049	0,03	0,03	0,45	0,00	0,00
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	0,32	0,28	0,18	0,18	0,29	0,29
P total	0,35	0,32	3	0,26	0,32	0,32

ANNEXE 4.1. - ANALYSES CHIMIQUES. 1er TRIMESTRE 1974. REDON.

(Les teneurs sont données en mg/l. L'ammoniaque, les nitrates et nitrites sont donnés en mg d'azote/l, les phosphates en mg de phosphore/l). Eaux filtrées à 0,45 μ .

MOIS	JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE	
DATES	08/07 au 21/07	22/07 au 04/08	05/08 au 18/08	19/08 au 01/09	02/09 au 15/09	16/09 au 29/09
Débit (en l/s)	281	183	144	122	139	120
pH	7,9	7	7,9	8	7,8	7,95
ρ en Ω .cm	1650	1723	1635	1558	1566	1591
SiO ₂	7,56	7,8	8,24	8,68	8,24	8,48
Ca ⁺⁺	120,5	115	111,5	116	115,8	112,9
Mg ⁺⁺	14,9	16,05	16,1	17,2	16,8	16,7
Na ⁺	5,62	6,54	7,34	8,2	7,28	7,39
K ⁺	4,32	4,5	5,72	6,8	5,88	6,02
NH ₄ ⁺	0,002	0,035	0,032	0,19	0,013	0,016
Sr ⁺⁺	1,19	1,15	1,02	1	1,08	1,04
Cl ⁻	9	4,98	5,07	5,82	11,3	8,75
SO ₄ ⁻⁻⁻	71,8	72,8	74,8	74,7	78	67,4
HCO ₃ ⁻	329,9	334,3	330,4	347,5	337,7	310,4
NO ₃ ⁻	2,62	0,09	2,8	2,94	2,64	1,68
NO ₂ ⁻	0,004	0,68	0,01	0,14	0,00	0,08
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	0,32	0,198	0,46	0,52	0,43	0,377
P total	0,38	-	0,44	0,55	0,45	0,443

ANNEXE 4.3. - ANALYSES CHIMIQUES. 3ème TRIMESTRE 1974. REDON.

(Les teneurs sont données en mg/l. L'ammoniaque, les nitrates et nitrites sont donnés en mg d'azote/l, les phosphates en mg de phosphore/l).

MOIS	AVRIL		MAI		JUIN		
DATES	01/04 au 15/04	16/04 au 28/04	29/04 au 12/05	13/05 au 26/05	27/05 au 09/06	10/06 au 23/06	24/06 au 07/07
Débit (en l/s)	257	189	202	441	222	257	393
pH	8,4	8,4	8,15	8,05	8	8,25	8,45
ρ en Ω .cm	1689	1670	1663	1663	1672	1714	1746
SiO ₂	6	5,6	5,92	6,36	5,6	7,64	7,8
Ca ⁺⁺	112	112	115,2	117	119,9	111,2	113,7
Mg ⁺⁺	15	15,6	15,4	15,1	16,5	15	14,3
Na ⁺	5,9	6,62	6,2	6,24	6,06	6,1	5,6
K ⁺	4,15	5,12	4	3,6	5,26	5,2	3,5
NH ₄ ⁺	0,00	0,00	0,05	0,024	0,034	0,042	0,14
Sr ⁺⁺	1,05	1,05	1,05	1,05	1,1	1,1	1,05
Cl ⁻	9,4	10,3	10,2	9,2	8,76	9,33	8,57
SO ₄ ⁻⁻⁻	71	71,8	71	69,8	70,7	73,6	69,3
HCO ₃ ⁻	316,2	319,6	317,2	314,3	328,4	313,3	327,9
NO ₃ ⁻	2,12	2,42	2,37	2,23	2,52	2,32	1,76
NO ₂ ⁻	0,006	0,017	0,01	0,01	0,02	0,00	0,04
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	0,35	0,39	0,41	0,44	0,43	0,5	0,25
P total	0,39	0,42	0,42	0,45	0,50	0,56	0,25

ANNEXE 4.2. - ANALYSES CHIMIQUES. 2ème TRIMESTRE 1974. REDON.

(Les teneurs sont données en mg/l. L'ammoniaque, les nitrates et nitrites sont donnés en mg d'azote/l, les phosphates en mg de phosphore/l).

MOIS	OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE		
DATES	30/09 au 13/10	14/10 au 27/10	28/10 au 11/11	12/11 au 27/11	28/11 au 08/12	09/12 au 22/12	23/12 au 05/01
Débit (en l/s)	400	561	522	428	742	470	443
pH	7,85	8,05	8,25	7,75	7,9	7,75	7,9
ρ en Ω .cm	1762	1843	1739	1707	1824	1732	1732
SiO ₂	6,96	7,8	8,16	7,36	7	7,7	7,4
Ca ⁺⁺	105,3	111,1	112,8	115,6	110,1	111,3	110,1
Mg ⁺⁺	13,5	13,4	13,9	14,24	12,74	14,3	14
Na ⁺	5,73	4,94	4,94	5,45	4,51	5,57	5,2
K ⁺	5,58	3,83	4,03	4,16	3,41	3,88	3,8
NH ₄ ⁺	0,06	0,012	0,025	0,06	0,11	0,22	0,25
Sr ⁺⁺	0,94	0,93	0,92	0,96	0,88	0,95	0,93
Cl ⁻	8,75	8,24	9,06	8,7	8,05	8,9	8,4
SO ₄ ⁻⁻⁻	67,4	63,18	61,56	69,4	62,4	74,2	71,6
HCO ₃ ⁻	310,4	327,4	323,5	328,4	310,9	330,9	325,5
NO ₃ ⁻	1,68	1,6	1,48	2,66	1,78	2,11	1,93
NO ₂ ⁻	0,08	0,01	0,04	0,01	0,01	0,06	0,22
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	0,38	0,265	0,21	0,3	0,23	0,28	0,22
P total	0,44	0,305	0,235	0,34	0,25	0,34	0,27

ANNEXE 4.4. - ANALYSES CHIMIQUES. 4^{ème} TRIMESTRE 1974. REDON.

(Les teneurs sont données en mg/l. L'ammoniaque, les nitrates et nitrites sont donnés en mg d'azote/l, les phosphates en mg de phosphore/l).

MOIS	JANVIER		FEVRIER		MARS	
DATES	15/01 au 28/01	29/01 au 11/02	12/02 au 28/02	26/02 au 11/03	12/03 au 25/03	26/03 au 08/04
Débit (en l/s)	43	46	45	46	43	36
pH	8	8	8,02	7,9	7,5	7,4
ρ en Ω .cm	1332	1476	1021	1502	1402	1222
SiO ₂	7,9	8	9,25	7,5	7,5	6,75
Ca ⁺⁺	138	129,5	128	124	124	136
Mg ⁺⁺	16,1	15	13,8	14,2	14,3	16,5
Na ⁺	22,5	17,3	22	20	20,4	28
K ⁺	11,6	10,3	8,8	9,7	9,2	11,8
NH ₄ ⁺	3	2,34	2,33	2,31	0,00	0,004
Sr ⁺⁺	0,69	0,6	0,65	0,64	0,67	0,83
Cl ⁻	35,1	30,3	28,04	27,6	29,5	33
SO ₄ ⁻⁻⁻	68,4	67,6	68	54,5	67,2	76,6
HCO ₃ ⁻	327,9	356,7	343,6	356,2	340,1	386,5
NO ₃ ⁻	4,51	3,9	4,78	3,38	2,6	6,58
NO ₂ ⁻	0,25	0,32	0,1	0,22	0,00	0,01
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	0,86	1,16	0,7	1,12	0,29	2,16
P total	0,84	11,8	0,84	1,1	0,32	2,37

ANNEXE 5.1. - ANALYSES CHIMIQUES. 1er TRIMESTRE 1974. LECHERES.

(Les teneurs sont données en mg/l. L'ammoniaque, les nitrates et nitrites sont donnés en mg d'azote/l, les phosphates en mg de phosphore/l).

MOIS	AVRIL		MAI		JUIN		
DATES	09/04 au 22/04	23/04 au 06/05	07/05 au 20/05	21/05 au 03/06	04/06 au 17/06	18/06 au 01/07	02/07 au 16/07
Débit (en l/s)	31	28	25	222	28	247	46
pH	7,4	7,5	7,2	7,5	7,88	8,1	8,45
ρ en Ω .cm	1166	1154	1281	1180	1355	1767	1366
SiO ₂	8,9	10,8	8,7	9	128,6	8,56	10,2
Ca ⁺⁺	142	134	124	123	16,2	94	136,2
Mg ⁺⁺	18,2	18,1	16,7	17,4	16,25	11,4	16,2
Na ⁺	36,4	36,4	34	37,2	2,72	16,4	17,8
K ⁺	15,6	18,4	13,8	18	11,6	7,6	7,3
NH ₄ ⁺	0,01	2,76	0,04	8,09	0,73	1,47	2,91
Sr ⁺⁺	0,1	0,97	0,84	0,85	-	0,48	0,65
Cl ⁻	33,8	40,5	36,2	37,7	29,9	20	30,2
SO ₄ ⁻⁻⁻	88,8	82,6	71,4	68	61,5	50,3	62,7
HCO ₃ ⁻	410,4	414,8	367	445,5	384,1	294,3	417,7
NO ₃ ⁻	4,72	4,68	4,85	1,77	2,82	2,56	4,14
NO ₂ ⁻	2,22	0,27	0,02	0,32	0,24	0,06	0,61
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	2,88	3,66	2,86	4,38	1,82	1,15	1,05
P total	3,09	3,74	3,06	4,44	1,34	1,24	1,1

ANNEXE 5.2. - ANALYSES CHIMIQUES. 2ème TRIMESTRE 1974. LECHERES.

(Les teneurs sont données en mg/l. L'ammoniaque, les nitrates et nitrites sont donnés en mg d'azote/l, les phosphates en mg de phosphore/l).

MOIS	JUILLET		AOUT		SEPTEMBRE	
DATES	17/07 au 30/07	31/07 au 11/08	12/08 au 25/08	26/08 au 08/09	09/09 au 29/09	30/09 au 14/10
Débit (en l/s)	33	15	20	31	25	31
pH	7,6	7,3	7,5	7,05	7,25	8
ρ en Ω .cm	1123	1070	1045	1361	1308	1270
SiO ₂	10,6	11,6	12	10,1	10,7	9,2
Ca ⁺⁺	142,6	136,5	131,5	103,5	112,6	125,4
Mg ⁺⁺	18,8	20,1	20,4	15,8	16,92	16,25
Na ⁺	35,6	48	48	35,4	35,19	30,5
K ⁺	12,54	14,7	16,7	15,4	16,8	12,6
NH ₄ ⁺	0,02	3,22	6,9	0,79	0,04	0,45
Sr ⁺⁺	0,83	0,87	0,97	0,74	0,77	0,69
Cl ⁻	38,4	8,33	9,91	38,5	32,1	32,5
SO ₄ ⁻⁻⁻	72,6	74,1	70,5	54	52,8	70,1
HCO ₃ ⁻	422,6	481,2	523,1	347,5	382,1	406
NO ₃ ⁻	6,82	3,86	0,89	6,58	7,6	4,08
NO ₂ ⁻	0,00	1,35	0,42	0,025	0,47	0,35
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	2,55	3,17	3,85	3,39	3,83	1,23
P total	2,66	3,62	4,02	3,62	3,97	1,36

ANNEXE 5.3. - ANALYSES CHIMIQUES. 3^{ème} TRIMESTRE 1974. LECHERES.

(Les teneurs sont données en mg/l. L'ammoniaque, les nitrates et nitrites sont donnés en mg d'azote/l, les phosphates en mg de phosphore/l).

MOIS	OCTOBRE		NOVEMBRE		DECEMBRE	
DATES	15/10 au 28/10	29/10 au 12/11	13/11 au 24/11	25/11 au 10/12	11/12 au 22/12	23/12 au 06/01
Débit (en l/s)	33	43	70	171	156	177
pH	7,98	8,1	7,7	7,75	7,6	7,85
ρ en Ω .cm	1320	1347	1417	1790	1646	1590
SiO ₂	9,68	9,24	8,32	7,48	8,6	7,9
Ca ⁺⁺	136,5	131,4	131,7	104,9	109,8	116,3
Mg ⁺⁺	15,6	15,6	14,8	10,6	12,4	13
Na ⁺	24,1	18,2	15	8,9	12,8	13,5
K ⁺	9,3	8,6	9,5	5,91	8	7,8
NH ₄ ⁺	0,01	0,01	0,095	0,23	0,02	0,04
Sr ⁺⁺	0,64	0,6	0,6	0,4	0,48	0,51
Cl ⁻	31,6	31,5	28,3	20,8	21,2	21,8
SO ₄ ⁻⁻⁻	65,9	60,5	64,4	46,9	53,2	56,5
HCO ₃ ⁻	388,4	380,2	364,5	285,5	320,1	339,6
NO ₃ ⁻	5,4	4,4	5,98	4,98	4,76	5,3
NO ₂ ⁻	0,01	0,04	0,01	0,09	0,01	0,28
PO ₄ ⁻⁻⁻⁻	1,05	0,96	0,67	0,25	0,48	0,5
P total	1,14	1,03	0,74	3,25	0,56	0,58

ANNEXE 5.4. - ANALYSES CHIMIQUES. 4ème TRIMESTRE 1974. LECHERES.

(Les teneurs sont données en mg/l. L'ammoniaque, les nitrates et nitrites sont donnés en mg d'azote/l, les phosphates en mg de phosphore/l).

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le

Le Président de la thèse

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale