HAL
open science

# Infiltrations et circulations des eaux en milieu calcaire . Hydrogéologie du secteur nord-occidental du massif de la Chartreuse ( Savoie-France) - Alpes françaises.

Patrick Bergeret

## To cite this version:

Patrick Bergeret. Infiltrations et circulations des eaux en milieu calcaire . Hydrogéologie du secteur nord-occidental du massif de la Chartreuse ( Savoie-France) - Alpes françaises.. Hydrologie. Universite Scientifique et Medicale de Grenoble, 1981. Français. NNT : . tel-00563879

**HAL Id: tel-00563879**

**https://theses.hal.science/tel-00563879v1**

Submitted on 7 Feb 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.

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

THESE DE DOCTORAT DE SPECIALITE
SPECIALITE : GEOLOGIE APPLIQUEE
OPTION : HYDROGEOLOGIE

# INFILTRATIONS ET CIRCULATIONS DES EAUX EN MILIEU CALCAIRE

## Hydrogéologie du secteur nord-occidental du Massif de la Chartreuse (Savoie-France)

3 DEC. 1981

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (76) 87.46.42

par Patrick BERGERET

Soutenue le 2 DECEMBRE 1981 devant la Commission d'Examen

| | | |
|---|---|---|
| J. SARROT-REYNAULD | Professeur à l'U.S.M.G. | Président |
| J.C. FOURNEAUX | Maître-Assistant à l'U.S.M.G. | Rapporteur |
| J.P. RAMPNOUX | Professeur à l'Université de Savoie | Examinateur |
| L. RICHARD | Professeur à l'U.S.M.G. | Examinateur |

10073685

# AVANT - PROPOS

Au moment d'achever cette étude, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation :

. Monsieur le professeur J. SARROT-REYNAULD qui m'a confié ce travail, puis m'a conseillé lors de la rédaction du mémoire et me fait aujourd'hui l'honneur de présider le jury.

. Monsieur J.C. FOURNEAUX, Maître-Assistant, qui m'a guidé tout au long de cette étude et n'a eu de cesse de me procurer un travail d'appoint me permettant de résoudre les problèmes financiers.

. Monsieur le Professeur J.P. RAMPNOUX, Directeur du Laboratoire de Géologie de l'Université de Savoie qui a bien voulu juger ce mémoire et qui m'a également financièrement aidé en me confiant quelques heures d'enseignement à assurer au sein de l'Université de Savoie.

. Monsieur le professeur L. RICHARD qui a bien voulu me donner la charge de la station climatologique du col du Granier.

. Monsieur J. ROCHAT qui m'a toujours accueilli avec gentillesse au Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Grenoble.

. Messieurs MEUNIER et BUFFAZ d'Electricité de France (R.E.A.L. Chambéry) qui m'ont prêté le matériel utilisé aux deux stations limnimétriques.

. Tous les membres du Laboratoire de Géologie de l'Université de Savoie et en particulier S. FUDRAL, Maître-Assistant et G. NICOUD, Assistant, pour leur conseil et leur aide. Mais aussi A. PAILLET, Technicien, pour sa grande disponibilité et Madame S. GINET qui a assuré la frappe de cet ouvrage.

. Je veux aussi remercier G. MARTIN, mon beau-père, pour son aide. Sans ses talents de bricoleur, l'installation des appareils de mesure sur le terrain aurait été bien compromise.

. Enfin, toutes les personnes avec lesquelles j'ai été amené à travailler au cours de ces deux dernières années : Messieurs AMOURETTE et REYNARD d'Electricité de France (usine de la Coche, Aigueblanche), Monsieur P. MOREL de la Direction Départementale de l'Agriculture de Savoie, et P. PLOTTO de l'Association pour le Développement des Recherches sur les Glissements de terrain (Saint Egrève).

. J'adresse aussi mes remerciements pour leur aide à ma famille et à ma belle-famille, ainsi qu'aux amis.

*Je dédie cette thèse :*

*à toi, Thérèse, pour ton amour*
*et pour tout ce que tu es.*

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

SOMMAIRE

Page

A. PREMIERE PARTIE : LE CONTEXTE

CHAPITRE I. INTRODUCTION ..... 1

I : ORIGINE ET BUT DE NOTRE ETUDE ..... 1
II : SITUATION GEOGRAPHIQUE ..... 1
III: CONTEXTE GEOLOGIQUE ..... 3

CHAPITRE II. LES DONNEES GEOLOGIQUES ..... 5

I : INTRODUCTION ..... 5
II : LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE ..... 5

1. Le Jurassique supérieur ..... 5
a- Le Tithonique (Kimméridgien supérieur-Portlandien) 5
2. Le Crétacé inférieur ..... 6
a- Le Berriasien -Valanginien ..... 6
b- L'Hauterivien ..... 7
c- L'Urgonien sensu-lato ..... 8
3. Le Crétacé supérieur ..... 8
a- Le Campanien ..... 8
4. Le Paléogène ..... 9
5. Le Miocène ..... 9
6. Les formations quaternaires ..... 9
a- Les formations glaciaires ..... 9
b- Les éboulis ..... 9
7. Conclusion ..... 11

III: ANALYSE STRUCTURALE ..... 11

1. Histoire tectonique de la région ..... 11
2. Les grandes structures ..... 11
a- La terminaison du domaine jurassien ..... 13
b- L'anticlinal occidental ..... 13
c- L'anticlinal médian ..... 13
d- L'anticlinal oriental ..... 13
3. La fracturation ..... 16
a- Massif de Roche Veyrand - Roc de Gleisin ..... 16
b- Mont Outhéran ..... 16

CHAPITRE III. LES BASSINS VERSANTS ETUDIES ..... 21

I : LE PLATEAU D'OUTHERAN ..... 21
II : LE BASSIN VERSANT DE LA FRACETTE : Roche Veyrand ..... 22

1. Répartition hypsométrique ..... 23
2. Les indices morphométriques ..... 25
a- Indice de compacité ..... 25
b- Le rectangle équivalent ..... 25

III: LE BASSIN VERSANT DU COZON A SAINT PIERRE ..... 25

1. Répartition hypsométrique ..... 25
2. Indices morphométriques ..... 27
a- Indice de compacité ..... 27
b- Le rectangle équivalent ..... 29
c- Indice de pente ..... 29
3. Répartition de la surface du bassin en fonction de la nature du sol ..... 29

IV : CONCLUSION ..... 30

CHAPITRE IV. ETUDE CLIMATOLOGIQUE ..... 31

I : LE RESEAU HYDROCLIMATIQUE ..... 31
1. Le réseau existant ..... 31
2. Le réseau complémentaire ..... 32

II : LES PRECIPITATIONS ..... 32

1. Les données antérieures à 1980 ..... 32
a- Les précipitations annuelles ..... 32
b- Les précipitations mensuelles moyennes ..... 34
c- Les répartitions moyennes saisonnières (1961-1980) 34
d- Les précipitations solides ..... 37
e- Gradients altimétriques annuels et mensuels ..... 37
2. Les précipitations de l'année 1980 et de notre période d'étude ..... 38
a- Les précipitations annuelles ..... 38
b- Les précipitations mensuelles ..... 40
c- Le gradient annuel ..... 42
d- Le gradient mensuel ..... 43
e- Carte pluviométrique et conclusion ..... 43

III: LES TEMPERATURES ..... 45

1. Les données antérieures à 1980 ..... 45
a- Le Couvent ..... 45
b- Saint Thibaud de Couz ..... 46
2. L'année 1980 et notre période d'étude ..... 48
a- Les données annuelles ..... 48
b- Les données mensuelles ..... 50
c- Conclusion ..... 52

IV : HYGROMETRIE ..... 52

V : LA TEMPERATURE DU SOL ..... 54

VI : L'EVAPOTRANSPIRATION ..... 54

1. Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc . 54
2. Evapotranspiration réelle ou le déficit d'écoulement selon la formule de Coutagne ..... 55
3. Evapotranspiration potentielle selon la méthode de Thorntwhaite ..... 55
4. Conclusion sur l'évapotranspiration ..... 56

VII: CONCLUSION SUR L'ETUDE CLIMATIQUE ..... 58

B. DEUXIEME PARTIE : HYDROGEOLOGIE ..... 61

CHAPITRE V. LES TRACAGES ..... 63

I : INTRODUCTION ET METHODOLOGIE ..... 63

II : LE TRACAGE DE ROCHE-VEYRAND ..... 63

1. Le but du traçage ..... 63
2. Mise en oeuvre du traçage ..... 65
3. Les résultats ..... 65
4. Commentaires sur les renseignements hydrodynamiques fournis par la courbe de restitution ..... 67

III: LE TRACAGE DES EGAUX ..... 67

1. Le but du traçage ..... 67

2. Mise en oeuvre du traçage ..... 67
3. Les résultats ..... 69
4. Commentaires sur les renseignements hydrodynamiques fournis par la courbe de restitution ..... 69

CHAPITRE VI. ETUDE DES DEBITS ..... 71

I : MESURE DES DEBITS ..... 71

1. Le matériel utilisé ..... 71
2. Les jaugeages ..... 71
a- La Fracette ..... 71
b- Le Cozon ..... 73

II : LES DEBITS A LA SOURCE DE LA FRACETTE ..... 73

1. Les débits moyens journaliers ..... 73
2. Les débits moyens mensuels ..... 73
3. Les débits caractéristiques ..... 75

III: LES DEBITS DU COZON A SAINT PIERRE D'ENTREMONT ..... 77

1. Les débits moyens journaliers ..... 77
2. Les débits moyens mensuels ..... 77
3. Les débits caractéristiques ..... 79
4. Etude statistique des crues mensuelles du Cozon à Saint Pierre ..... 81

CHAPITRE VII. LES BILANS HYDROLOGIQUES ..... 83

I : LES DIFFERENTS TERMES D'UN BILAN HYDROLOGIQUE ..... 83

II : LE BILAN ANNUEL A LA SOURCE DE LA FRACETTE ..... 83

1. Les résultats obtenus ..... 83
a- Variations des réserves souterraines ..... 84
b- Variations des réserves superficielles ..... 84
c- Les autres termes du bilan ..... 84
2. Estimation du coefficient d'infiltration ..... 85

III: BILAN DE QUELQUES AVERSES ESTIVALES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA FRACETTE ..... 86

1. Episode pluvieux du 21 au 29 mai 1981 ..... 86
2. Episode du 8 juillet au 10 juillet 1980 ..... 87
3. Episode de la nuit du 22 au 23 septembre 1980 ..... 87
4. Commentaire ..... 87

IV : APPROCHE DES BILANS MENSUELS A LA FONTE POUR LA FRACETTE 88

V : BILAN ANNUEL DU COZON A SAINT PIERRE ..... 88

1. Les résultats obtenus ..... 88
2. Les valeurs extrêmes du bilan hydrologique ..... 90
a- Vérification du déficit du bilan ..... 90
b- Estimation de l'erreur sur les précipitations ... 91

CHAPITRE VIII. HYDRODYNAMIQUE ..... 93

I : ETUDE DES COURBES DE TARISSEMENT ..... 93

1. Utilisation de la méthode de Maillet ..... 93
a- L'exsurgence de la Fracette ..... 93
b- Le ruisseau du Cozon à Saint Pierre d'Entremont . 97
2. Etude de l'infiltration par la méthode de Mangin ... 99
a- Principe ..... 99
b- Application à la source de la Fracette ..... 100

II : ETUDE STATISTIQUE DES DEBITS CLASSES ..... 105

1. Application à la source de la Fracette ..... 105

III: RELATION PRECIPITATION-DEBIT . VITESSE DE REACTION A L'EXUTOIRE ..... 107

1. Les crues de fonte des neiges ..... 107
2. Cas d'une averse isolée ..... 107
3. Cas de deux averses successives ..... 110
4. Conclusion ..... 110

IV : CONCLUSION GENERALE ..... 110

C. TROISIEME PARTIE : HYDROCHIMIE ..... 111

CHAPITRE IX. HYDROCHIMIE ..... 113

I : LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES : METHODOLOGIE ..... 113

1. Les paramètres physiques ..... 113
a- Le débit ..... 113
b- La température ..... 113
c- La résistivité ..... 113
d- Le PH ..... 114
2. Méthodes de détermination des paramètres chimiques . 114
a- La volumétrie ..... 114
b- La colorimétrie ..... 114
c- La spectrophotométrie ..... 114

II : LA CHIMIE DES PRECIPITATIONS ..... 115

III: L'ETUDE DES SOURCES ..... 115

1. Caractères généraux des émergences ..... 115
a- Relation température-altitude ..... 115
b- Relation titre hydrométrique total (T.H.T.)-résistivité ..... 119
2. Les sources du Jurassique ..... 119
a- La source du Boucherin ou du Pont du Lac ..... 119
3. Les sources du Berriasien inférieur et de ses terrains de couverture ..... 121
a- La source du Crozat ..... 123
b- La source du Mollard ..... 123
4. Les sources du Néocomien calcaire ..... 127
a- La source des Granges de Joigny ..... 127
b- La source des Gants ..... 129
c- Les sources des Georgeats ..... 131
d- La source de la Cascade ..... 133
5. Les sources de l'Urgonien ..... 136
a- La source d'Outhéran ..... 136
b- La source des Fontanettes ..... 138
c- La source de Poirier sec ..... 140
d- La source de Fontaine Noire ..... 142
e- La source de Saint Blaise ..... 145
f- La source de la Fracette ..... 145
6. Les sources du Crétacé supérieur ..... 150
a- La source de La Clusaz ..... 150
7. Les sources du Miocène ..... 151
a- La source des Guillermins ..... 151

IV : ETUDE DE QUELQUES COURS D'EAU ..... 153

1. Ruisseaux à bassin versant essentiellement Berriasien 153
a- Le ruisseau du Gringalet ..... 153
b- Le Cozon aux Minets ..... 153
2. Ruisseau à bassin versant principalement Urgonien ... 155
a- Le ruisseau de la Chaume ..... 155

V : CONCLUSION A L'ETUDE HYDROCHIMIQUE DES SOURCES ..... 155

1. Essai de classification ..... 155
2. Comparaison avec la chimie des cours d'eau superficiels ..... 160
3. Synthèse ..... 160

D. QUATRIEME PARTIE : CONCLUSION ..... 165

CHAPITRE X : CONCLUSION GENERALE ..... 167

BIBLIOGRAPHIE ..... 171

LISTE DES PLANCHES

LISTE DES FIGURES

ANNEXES

# PREMIERE PARTIE

# LE CONTEXTE

# CHAPITRE I

# INTRODUCTION

## I. ORIGINE ET BUT DE NOTRE ETUDE.

Notre travail se proposait à l'origine d'établir un bilan hydrogéologique du secteur nord-occidental de la Chartreuse, afin d'achever l'étude globale de ce massif. Devant l'existence de trop nombreux sous-bassins versants, le manque de moyens financiers et matériels, nous nous sommes alors orientés vers une étude hydrodynamique et hydrochimique, pour tenter de caractériser les circulations d'eaux souterraines en milieu karstique de ce secteur.

Dans la mesure du possible, nous replacerons nos travaux dans le cadre du massif de la Chartreuse dans son ensemble.

La région immédiatement à l'Est de la notre a été étudiée par J.P. BOZONAT : *"Hydrogéologie et bilan hydrique du secteur septentrional du massif de la Chartreuse"* (1980).
La zone méridionale par B. TALOUR : *"Hydrogéologie karstique du massif du Grand Som"* (1976).
Et le secteur plus occidental, correspondant au contact avec le domaine jurassien, par G. NICOUD : *"Hydrogéologie de la vallée de Couz"* (1978).

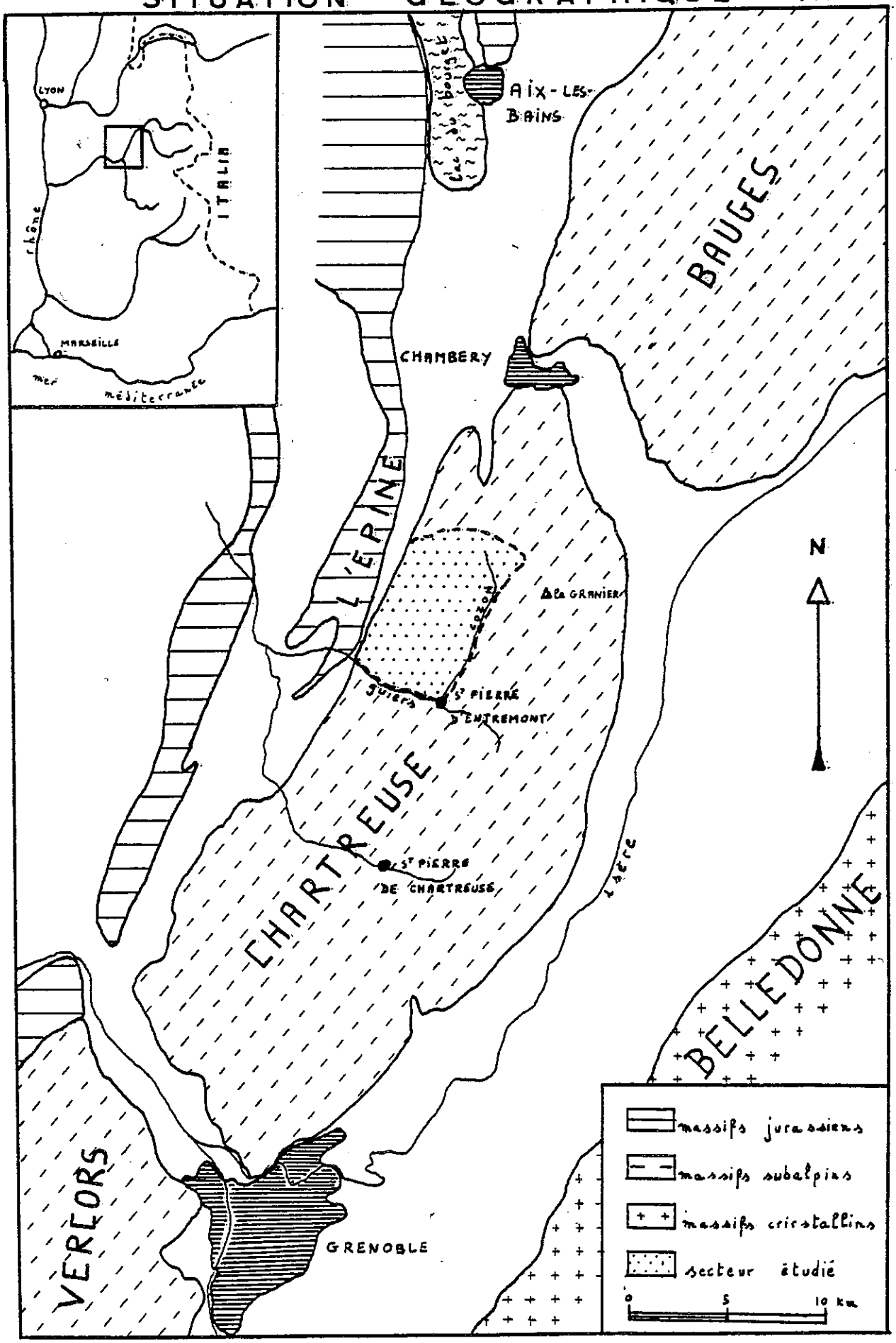
Il est intéressant aussi de faire une liaison avec des travaux concernants les autres chaînes subalpines régionales : Bauges (G. NICOUD, Y. LEMORDANT, G. ZAMOLO) ou le Vercors (J.L. BARBIER, N. AL AMBAR).

## II. SITUATION GEOGRAPHIQUE.

Le massif de la Chartreuse appartient aux chaînes subalpines qui constituent les premiers reliefs occidentaux des Alpes. Bien individualisé, il est limité au Nord par la cluse Chambéry-Montmélian et au Sud par la cluse Voreppe-Grenoble. Son rebord Est domine la dépression du Grésivaudan qui le sépare des massifs cristallins de Belledonne. A l'Ouest, il est bordé par les chaînons jurassiens de la montagne de Beauvoir et du Ratz, et par le Bas-Dauphiné.

Notre secteur d'étude couvre une superficie d'environ 42 $km^2$, il est limité :

SITUATION GEOGRAPHIQUE FIG 1



- au Nord, par les lignes de crêtes qui dominent la vallée de Chambéry : Mont Joigny, Pointe de la Gorgeat, Rocher du Corbeley ;
- à l'Est, par le lit du Cozon qui coule du col du Granier à Saint Pierre d'Entremont ;
- au Sud, par le Guiers vif ;
- et à l'Ouest, par la vallée de Couz et les premiers chaînons jurassiens.

## III. CONTEXTE GEOLOGIQUE.

La Chartreuse est classiquement interprétée comme étant formée par la couverture secondaire décollée et plissée du massif cristallin de Belledonne.

La série stratigraphique présente des niveaux relativement monotones de marno-calcaire, avec cependant deux horizons calcaires bien marqués, formant falaise. Ces deux faciès, Tithonique puis Urgonien, sont eux, particulièrement propices au développement d'un système karstique.

Les plissements alpins donnèrent naissance à une structure de plis parallèles et très serrés, déversés vers l'Ouest, avec anticlinaux chevauchants et même plis-faille. Ces structures, orientées NNE-SSW, ont été remodelées par une érosion qui engendre un relief inverse, avec des synclinaux ou des flancs monoclinaux perchés. Sur notre terrain, les systèmes karstiques se sont développés dans ces panneaux monoclinaux perchés, à faciès calcaire tithonique ou plus souvent urgonien.

# CHAPITRE II

## LES DONNEES GEOLOGIQUES

### I. INTRODUCTION.

La géologie du massif de la Chartreuse est maintenant bien connue. Elle a fait l'objet de nombreuses publications. Nous nous sommes basés particulièrement sur les travaux de M. Gidon (1963 à 1967) auteur des levés géologiques de la carte au 1: 50 000 qui couvre notre secteur (Montmélian XXXIII-33). Il faut citer aussi la thèse de Doctorat de 3ème cycle (1980) de J.M. Santos Narvaez qui s'est attaché plus particulièrement à l'étude lithologique très fine des différents terrains.

Nous décrirons dans ce chapitre les terrains rencontrés et leur stratigraphie tout en soulignant les possibilités hydrogéologiques de chacun.

Puis nous verrons la structure et la tectonique du secteur. L'étude de la fracturation et de la fissuration n'a malheureusement pas pu nous conduire à une estimation de la perméabilité des dalles calcaires du massif.

### II. LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE.

#### II.1. Le Jurassique supérieur :

*a- Le Tithonique (Kimméridgien supérieur - Portlandien).*

Ce faciès, d'une épaisseur de 150 mètres environ, est formé de niveaux essentiellement calcaires. Nous trouvons vers le bas de la série des bancs calcaires, bien lités et sub-lithographiques, brun-clair, de 0,5 à 2 mètres d'épaisseur, séparés par des interlits marneux décimétriques. Puis la série évolue vers de gros bancs calcaires massifs, d'une épaisseur supérieure au mètre, lithographiques, à patine claire et sans intercalation marneuse.

Nous avons effectué des mesures de calcimétrie sur quelques échantillons afin de mieux cerner les caractéristiques hydrologiques de ce faciès. Soit, après passage au manocalcimètre : (Acide utilisé : H Cl 6 N)

- base de la série : Calcite 95% ; Dolomite 0% ; Insolubles 5% ;
- haut de la série : Calcite 95% ; Dolomite 0% ; Insolubles 5%.

Le faciès calcaire, en gros bancs et au pourcentage d'insolubles très faible est particulièrement favorable au développement de formes karstiques largement ouvertes.

L'érosion n'a pas atteint sur notre secteur les calcaires marneux du Séquanien. Nous nous trouvons topographiquement au-dessus du niveau de base. De plus, quand le Tithonique affleure, c'est toujours au niveau d'une charnière anticlinale. Nous ne pouvons pas espérer trouver une belle exsurgence à ce niveau sur notre terrain. En outre, n'affleurant que sur une petite surface, recouverts par les terrains berriasiens plus marneux, les calcaires tithoniques ne reçoivent qu'un faible apport de la part des précipitations. Il faut cependant citer la source du Pont du Lac qui draine les eaux dans un interbanc des calcaires tithoniques, sur le flanc Est d'un petit anticlinal.

## II.2. Le Crétacé inférieur :

### *a- Le Berriasien-Valanginien.*

Les terrains du Berriasien et du Valanginien sont le siège en Chartreuse de nombreux changements latéraux de faciès à la fois dans l'espace mais aussi dans le temps. Ceci est dû aux interpénétrations d'influence jurassienne et subalpine, particulièrement sensibles sur notre secteur d'étude situé exactement au contact. Il en résulte des problèmes de stratigraphie et de chronologie absolue.

Pour la datation des différents niveaux, nous nous sommes basés sur les travaux les plus récents, à savoir ceux de J.M. Santos Narvaez (1980). Ceux-ci, étayés par une étude micropaléontologique minutieuse, tendent d'une manière générale à faire monter dans la série le Berriasien beaucoup plus haut qu'on ne le croyait jusque là. Il englobe toujours tous les faciès marneux de la base, mais monte souvent très haut dans la falaise sus-jacente, jusqu'alors classiquement interprétée comme valanginienne.

L'ensemble Berriasien-Valanginien peut être alors divisé, dans notre secteur, en cinq formations :

- Formation 1 :

Elle est caractérisée par une alternance monotone de calcaires argileux, à cassure conchoïdale, et de marnes. Les bancs ont une épaisseur variable de l'ordre de quelques décimètres, la puissance totale atteignant 200 à 250 mètres.

Calcimétrie :
Base de la formation : Calcite 88% ; Dolomite 0% ; Insolubles 12% ;
Milieu de la formation : Calcite 91% ; Dolomite 0% ; Insolubles 9% ;
De part la présence - de marnes franches ;
- du pourcentage d'éléments insolubles, ce niveau est pauvre en source. Il joue le rôle d'imperméable pour le terrain sus-jacent. La présence de *"Calpionella alpina"* a permis aux auteurs de dater cette première formation du Berriasien inférieur.

- Formation 2 :

Nous trouvons là des calcaires bicolores, spathiques, lités. Ce niveau, d'une épaisseur de 50 à 80 mètres est riche en bioclastes et en éléments ferrugineux. Ce faciès similaire à celui des "calcaires du Fontanil" a pu être, en fait, daté du Berriasien moyen grâce à ses microfossiles algaires de type *"Clypeina jurassica"*.

Calcimétrie :
Calcite 95% ; Dolomite 0% ; Insolubles 5%.
Le niveau est certainement le siège de circulations karstiques comme le témoigne, au contact avec la formation 1 marno-calcaire, l'exsurgence des Gants.

- Formation 3 :

Composée par des calcaires clairs, assez cristallins et en bancs massifs, elle se développe sur une épaisseur de 100 mètres. Ce niveau est caractérisé par des fossiles de milieux péri-récifal et même parfois de milieu dessalé. Santos Narvaez l'attribue au Berriasien supérieur.

Calcimétrie :
Calcite 95% ; Dolomite 0% ; Insolubles 5%.
Aussi soluble que la formation précédente, elle peut former avec celle-ci un réseau hydrologique commun. L'Aven Christine dans le massif de la Coche, est une preuve du développement conjoint de formes karstiques dans ces deux niveaux.

- Formation 4 :

Cette assise d'une épaisseur de 70 à 100 mètres représente le véritable "faciès du Fontanil". Il est caractérisé par des bancs de 40 à 80cm de calcaire roux, bicolore et spathique, avec des interlits marneux. Les figures de stratifications obliques ou entrecroisées ne sont pas rares. Cette formation, d'âge Valanginien inférieur, a été datée par la présence de *"Pseudotextulariella salevensis"*.

Le passage à la formation supérieure est progressif. Il est difficile de le mettre en évidence.

- Formation 5 :

Nous retrouvons des calcaires bicolores, spathiques, se distinguant par la présence de lentilles de silex. On retrouve quelques rares couches marneuses. *"Alectryonia rectangularis"* est présente. L'épaisseur de cette formation, représentant le Valanginien supérieur, est de 30 mètres.

De grosses circulations d'eau n'ont pas été mises en évidence dans ces deux dernières formations.

Les niveaux préférentiels de circulation karstique dans les terrains Berriasien-Valanginien seront donc les formations 2 et 3.

*b- L'Hauterivien.*

Il voit se développer sur 100 mètres d'épaisseur des marnes noires, graveleuses, alternant avec de petits bancs de calcaire marneux gris-bleuté qui se débitent en miches.

C'est le niveau imperméable pour les circulations karstiques des terrains sus-jacents. La source de Poirier sec, située au contact Hauterivien-Barrémien en est un témoignage.

c- *L'Urgonien sensu-lato.*

Il s'étend depuis le Barrémien jusqu'à l'Aptien, avec un faciès calcaire continu et quelques minces niveaux plus détritiques ou plus marneux. L'Urgonien forme l'ossature des reliefs de notre secteur. Il affleure en grandes dalles sommitales et reçoit des précipitations abondantes. Les conditions lithologiques, structurales et climatiques ont favorisé le développement d'un large réseau karstique. L'Urgonien est l'aquifère préférentiel de notre secteur.

Classiquement on distingue de la base au sommet :

a- Des calcaires jaunes, bicolores et détritiques. Bien lités, ils forment sur 30 mètres la base de la falaise urgonienne, en un talus rude en marche d'escalier. On rattache ce niveau au Barrémien inférieur.

b- La masse inférieure des calcaires blancs cristallins à Rudistes. Les bancs sont massifs, parfois de 20 à 30 mètres d'épaisseur, et forment falaise sur 150 à 200 mètres. Ces terrains sont du Barrémien supérieur.

Calcimétrie :
Calcite 95% ; Dolomite 0 % ; Insolubles 5 %.

c- "La couche à Orbitolines", formée d'une quinzaine de mètres de calcaire à débris spathiques roux et de marnes graveleuses. Nous sommes à la base de l'Aptien.

Ce niveau imperméable est cependant fréquemment franchi par les circulations d'eau à la faveur d'amincissements ou de fractures.

d- La masse urgonienne supérieure, de même faciès que la précédente, est d'une épaisseur plus réduite : 50 mètres. Elle représente l'Aptien inférieur.

Calcimétrie :
Calcite 95% ; Dolomite 0% ; Insolubles 5%.

e- Un fin complexe détritique, appelé Lumachelle, termine en concordance ce faciès urgonien (Aptien supérieur). Ce niveau, peu épais (5 à 20 mètres) est même absent sur notre secteur au Nord de la ligne Corbel - Les Déserts d'Entremont.

## II.3. Le Crétacé supérieur :

a- *Le Campanien.*

Il repose en discordance sur les terrains sous-jacents. Après un mince épisode détritique ("béton phosphaté", calcaire gréseux), se développent sur près de 150 mètres de puissance des calcaires argileux gris clair appelés parfois craie marneuse. Puis viennent sur une cinquantaine de mètres des calcaires blancs, compacts à silex. Ce niveau Campanien peut être considéré comme imperméable.

## II.4. Le Paléogène :

A la fin du secondaire, toute la région émerge et durant l'Eocène-Oligocène sera soumise à l'érosion. Cette érosion atteindra l'Urgonien qui sera alors intensément karstifié. Les dépôts sont épisodiques et sur notre secteur d'étude ils n'existent pratiquement pas. Leurs rôles sont donc négligeables.

## II.5. Le Miocène :

Il affleure uniquement sous la forme d'une bande médiane dans le secteur ouest de notre région. Il est caractérisé par un dépôt de molasse marine gréseuse, de couleur gris-verdâtre, avec des figures de stratifications obliques et entrecroisées. L'épaisseur peut être estimée à 90 mètres.

Calcimétrie :
Calcite 33% ; Dolomite 0% ; Insolubles 67%.

Cette molasse marine semble faiblement perméable. Elle joue le rôle de niveau étanche pour les petites sources de talus qui se développent dans les terrains quaternaires qui la recouvrent.

Exemple : source des Guillermins et la majeure partie des sources du flanc ouest de la montagne de Thivelet.

## II.6. Les formations quaternaires :

### a- *Les formations glaciaires.*

Ces terrains de recouvrement occupent une grande superficie : près de 20% de la surface totale étudiée. Les dépôts glaciaires que l'on peut observer sont datés du Würmien. Ils apparaissent sous la forme de moraine à matériel allochtone (amphibolite, gneiss, quartzite) et à matériel autochtone (calcaire urgonien). Les éléments sont mal classés. Dans la dépression de Corbel, le sédiment présente une accentuation du pourcentage des fines, et les épaisseurs atteignent plusieurs dizaines de mètres. Ces niveaux peuvent être interprété comme les dépôts de lacs glaciaires. On observe les dépôts glaciaires jusqu'à une altitude de 1340 mètres au col du Mollard. J.P. Bozonat retrouve en Chartreuse orientale des traces de ce niveau jusqu'à 1300 mètres d'altitude.

Les moraines, riches en argile, peuvent constituer un niveau imperméable pour les petites nappes locales d'éboulis. Sur la route Entremont-le-Vieux, Les Déserts d'Entremont, les niveaux glaciaires sont à l'origine de quelques glissements de terrain.

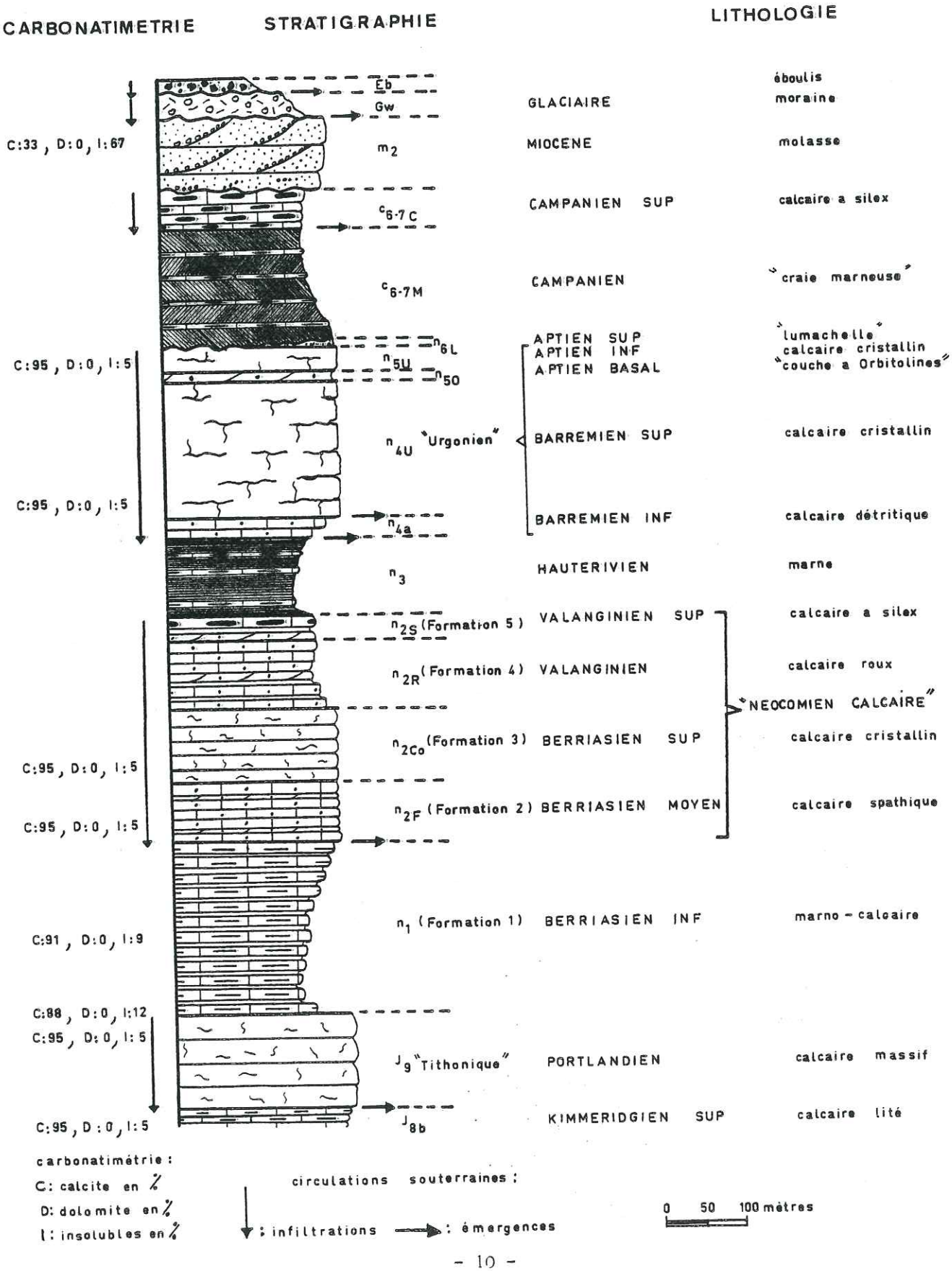
### b- *Les éboulis.*

Anciens, et dans ce cas fixés ou vifs, alors sans végétation, ils sont formés d'éléments grossiers, parfois à gros blocs, et non classés. Très perméables, ils collectent les eaux de ruissellement aux pieds des reliefs. Souvent, à la base des falaises urgoniennes, ils masquent de belles exsurgences au rocher. Les eaux se réinfiltrent et se "diluent" dans ces nappes d'éboulis.

# NORD OUEST DE LA CHARTREUSE

PL 1

## COLONNE STRATIGRAPHIQUE SYNTHETIQUE



### II.7. Conclusion :

Notre étude des lithofaciès a permis de distinguer un grand ensemble aquifère principal. Il s'agit de la masse calcaire urgonienne qui est le siège d'un réseau karstique important et donne naissance à de belles sources.

Les calcaires du Tithonique et Berriasien-Valanginien abritent eux aussi des circulations souterraines. Celles-ci semblent s'effectuer dans ces niveaux par l'intermédiaire de fissures et les débits sont déjà moins élevés.

Les autres aquifères, plus modestes, ont des sources d'origine souvent superficielle et de faible débit.

## III. ANALYSE STRUCTURALE.

### III.1. Histoire tectonique de la région :

Durant le Secondaire, la région est le siège d'une lutte d'influence jurassienne de plateforme et d'influence subalpine pélagique. Cependant la sédimentation marine est pratiquement continue sauf au Crétacé supérieur.

Les premières émersions franches et les premiers plissements se produiront à l'Eocène-Oligocène. En écho aux plissements jurassiens NNW-SSE, la bordure ouest de la Chartreuse, voit se produire des plissements méridiens de style jurassien, "en coffrage". Ils forment ainsi l'anticlinal occidental et l'anticlinal médian.

Au Miocène, les synclinaux occidentaux sont à nouveau submergés par la mer qui dépose la molasse péri-alpine. Le secteur oriental reste lui émergé. Cette mer se comblera progressivement d'Est en Ouest au Tortonien. La région émerge alors définitivement.

La fin du Miocène est marquée par la grande phase plicative alpine, à l'origine du "charriage de la Chartreuse". La Chartreuse, glissant vers l'Ouest, chevauche les abords jurassiens au niveau de "la faille de Voreppe". A l'intérieur du massif, on assiste au même déversement des plis vers l'Ouest. Le secteur oriental vient chevaucher sous la forme d'un pli-faille l'anticlinal médian. Cette mise en place s'accompagne du rejeu par coulissement d'anciennes failles transversales. On peut les grouper en deux familles, semble-t-il conjuguées, l'une de direction N70, décrochante dextre, l'autre, de direction N165, moins bien exprimée, à tendance décrochante sénestre.

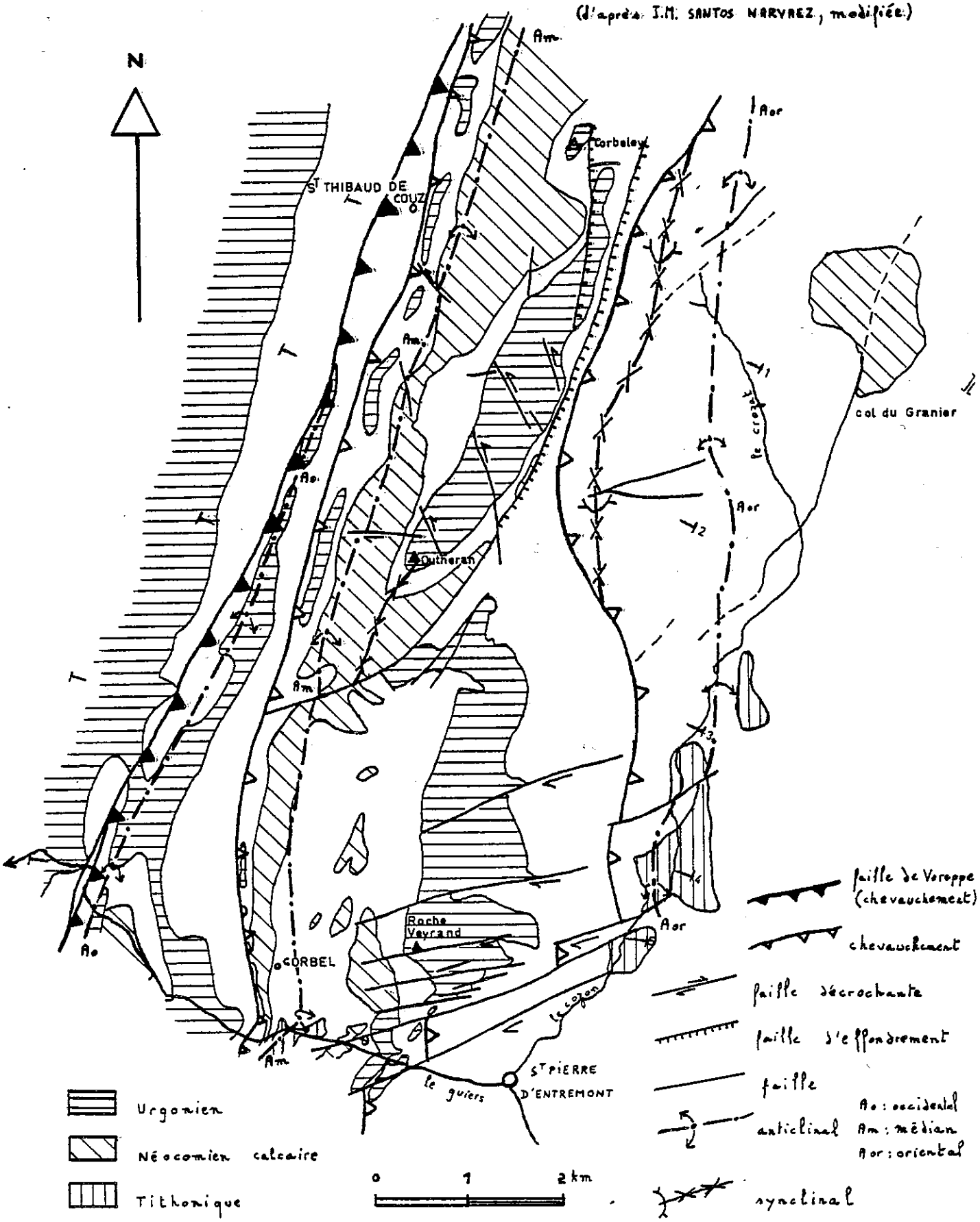
Puis la région ne sera plus troublée que par les dépôts glaciaires.

### III.2. Les grandes structures :

Nous pouvons dégager de notre terrain un certain nombre d'unités structurales, subméridiennes. Soit d'Ouest en Est :

# CARTE STRUCTURALE FIG 2

(d'après I.M. SANTOS NARVAEZ, modifiée)



*a- La terminaison du domaine jurassien.*

Elle est représentée par le synclinal urgonien à remplissage molassique de la vallée de Couz, orienté N20. La terminaison sud de ce synclinal est prise en biseau par le chevauchement de Voreppe. On a alors contact direct entre le flanc ouest de ce synclinal (grande dalle urgonienne de Mont Beauvoir - La Ravoire - gorges de l'Echaillon) et la retombée normale de l'anticlinal occidental de Chartreuse.

Puis, en pénétrant dans le massif subalpin de la Chartreuse :

*b- L'anticlinal occidental.*

Il prend naissance un peu au Sud du hameau des "Gros Louis" où l'on n'a que le flanc normal urgonien du pli, orienté N30. Bientôt vers le Sud, sa charnière s'élève et apparaît avec une retombée rapide du flanc ouest (70-80°). Le Guiers vif entaille le pli jusqu'au Berriasien supérieur, tandis que le flanc est urgonien, au pendage de l'ordre de 20° forme une belle falaise allant du col des Egaux au pas du Frou. L'anticlinal occidental chevauche le domaine précédent par l'intermédiaire de la "faille chevauchante de Voreppe".

*c- L'anticlinal médian.*

Il couvre la majeure partie de la zone étudiée. Orienté N20, il émerge de la plaine de Chambéry, puis devenant plus méridien, présente l'aspect d'une vaste voûte où le Crétacé est érodé jusqu'au Tithonique au passage du Guiers vif. Sa retombée occidentale est brutale, le Crétacé est subvertical ou même renversé. Des laminages couches sur couches sont visibles et on peut même observer la disparition des couches les plus compétentes. C'est le cas pour l'arête calcaire de Thivelet. Le flanc oriental est plus tranquille, et donne naissance à de grandes dalles urgoniennes isoclinales. Celles-ci forment les reliefs les plus hauts : Mont Outheran, Roc de Gleisin. La fracturation N70 s'y développe en une série de décrochements dextres dont les effets s'ajoutent (Roche Veyrand).

*d- L'anticlinal oriental.*

Il forme à lui tout seul la majeure partie de la Chartreuse. Il chevauche l'anticlinal médian dans le secteur Est du terrain, et finit même par le recouvrir entièrement plus au Sud, immédiatement après le Guiers vif. Ce chevauchement oriental passe au Nord par le col du Mollard, puis la rive gauche du ruisseau de la Chaume et se poursuit toujours vers le Sud jusqu'au hameau des Courriers. Au delà, repris par les décrochements N70, il est difficile à suivre. On sait qu'il ressort en rive gauche du Guiers, sous le hameau du Château. Cette faille chevauchante amène ainsi au contact, le Berriasien de l'anticlinal oriental, avec le Crétacé supérieur de l'anticlinal médian. Derrière se déploie l'anticlinorium oriental, sub-méridien. La charnière tithonique est visible au niveau du Boucherin, mais la majeure partie des affleurements est constituée par les marno-calcaires berriasiens. Ceux-ci occupent tout le secteur Nord-Est de notre étude. Sujets à quelques plissements, ils forment les reliefs de la Drière, la pointe de la Gorgeat et le mont Joigny.

# COUPES SERIEES DE LA BORDURE NORD-OCCIDENTALE DE CHARTREUSE

FIG 3

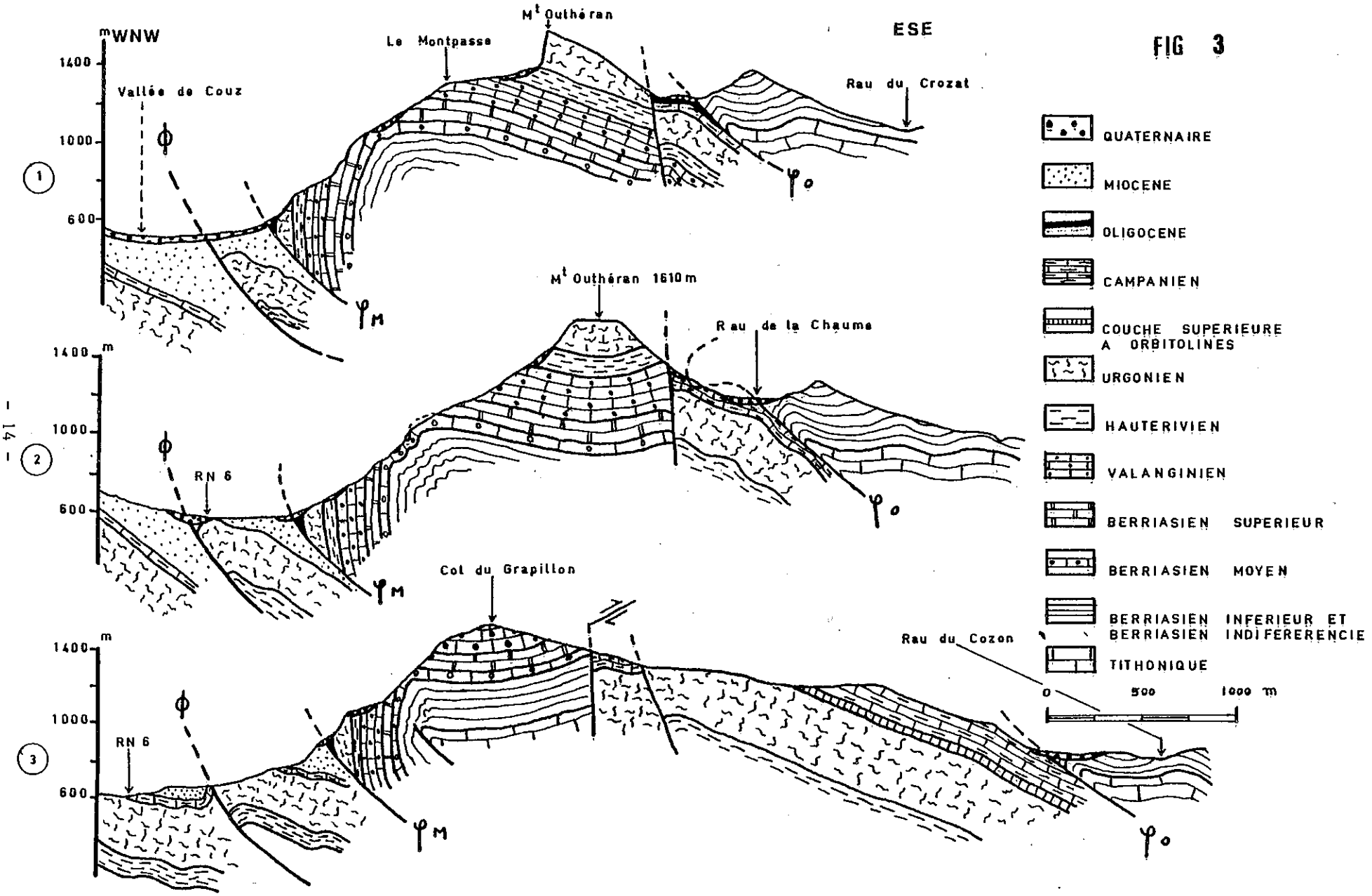
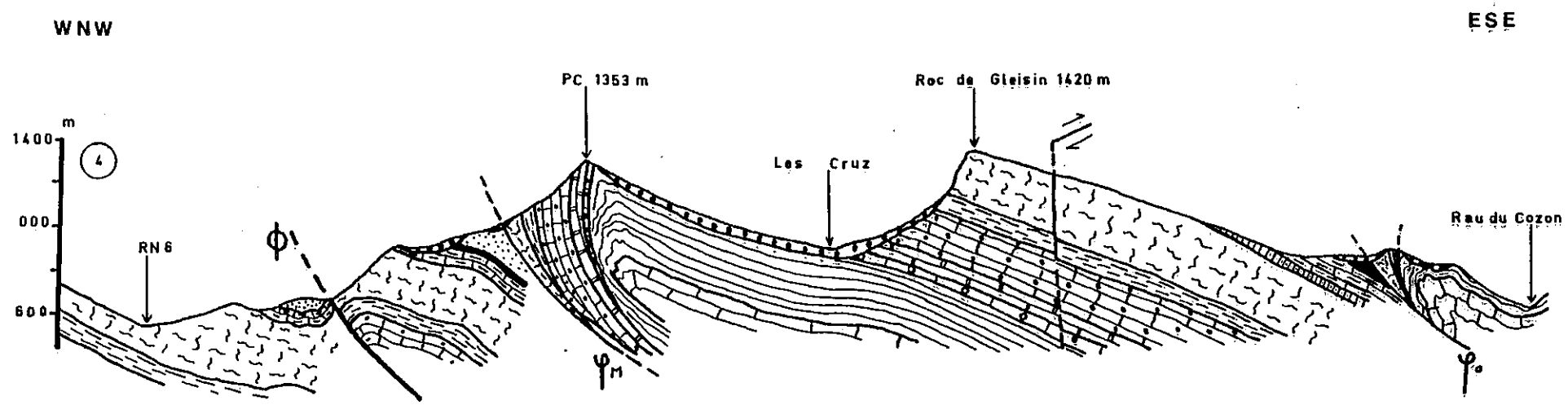
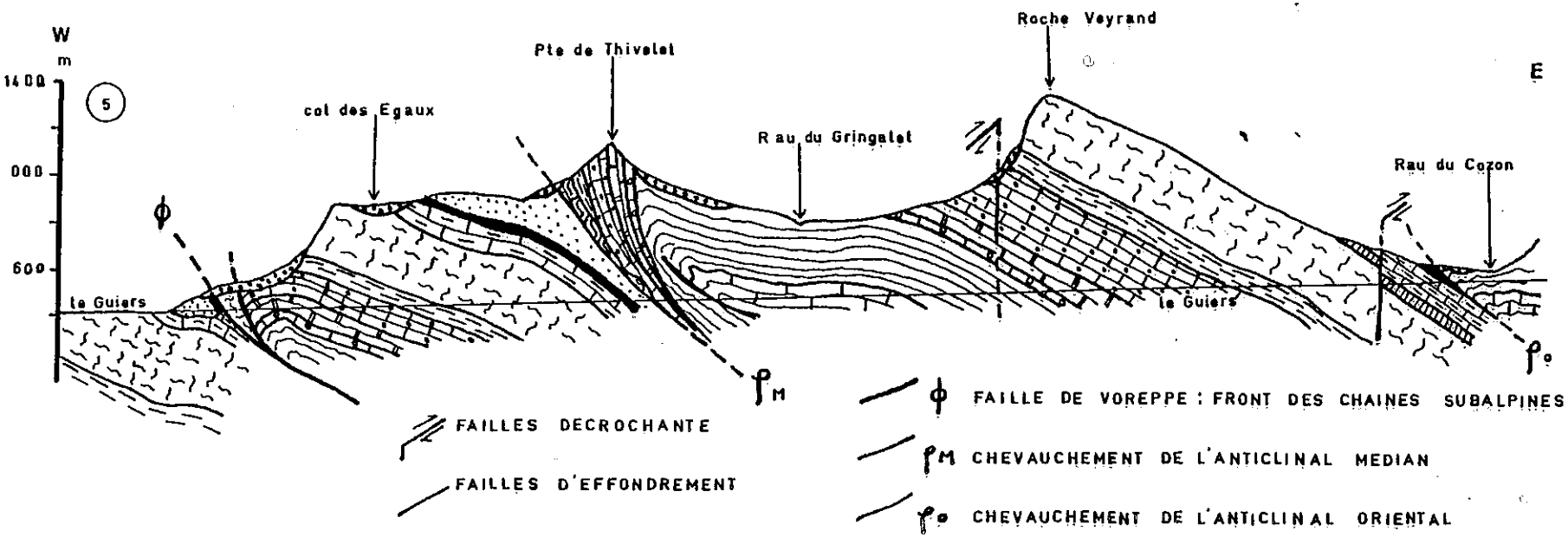


FIG 3 (suite)

d'apres J.M. SANTOS NARVAEZ



### III.3. La fracturation :

Les plateaux se situent à une altitude de 1200 à 1600m, la végétation est encore abondante. La forêt de résineux recouvre entièrement la dalle urgonienne de Roche Veyrand et le Mont Outheran est couvert par les alpages. C'est pourquoi l'étude statistique de la fissuration sur le terrain a été impossible. Les points de mesure favorables sont inexistants, et les relevés très difficiles.

Seule une étude des fractures à l'aide de photos aériennes (format 23 x 23cm, échelle 1/23500) a été menée (fig. 4). Du fait du caractère aléatoire des mesures, nous n'avons pas effectué de calcul de perméabilité à partir de la fracturation ou de la fissuration (pl. 2).

Les rosaces de fracturation, établies par interprétation photogéologique montrent :

#### a- *Massif de Roche Veyrand - Roc de Gleisin.*

- Une fracturation assez intense.
- Une direction majeure allant de N45 à N80 avec un pic principal N70.
  Et sa famille conjuguée, moins bien exprimée, de direction N135 à N170, avec un maximum à N165.
- Un deuxième couple de fractures, d'importance moindre avec une famille de fractures groupées autour des directions N25 à N40 (maximum à N30) et le groupe associé de direction N110-N120.
- Un dernier couple de fractures, aux effets mineurs orienté N5 à N10 d'une part et N90 - 95 d'autre part.

Toutes ces cassures procèdent de la mise en place de l'anticlinal médian (cf. les grandes structures), d'axe N20, dont fait partie la zone étudiée.

Les fractures N30 et N10, plus ou moins parallèles à l'axe du pli traduisent les cassures de la voûte.

Les fractures N95 et N110 jalonnent la direction de compression.

Les deux familles conjuguées de cisaillement N70 et N165, par décrochement provoquent les raccourcissements.

#### b- *Mont Outheran.*

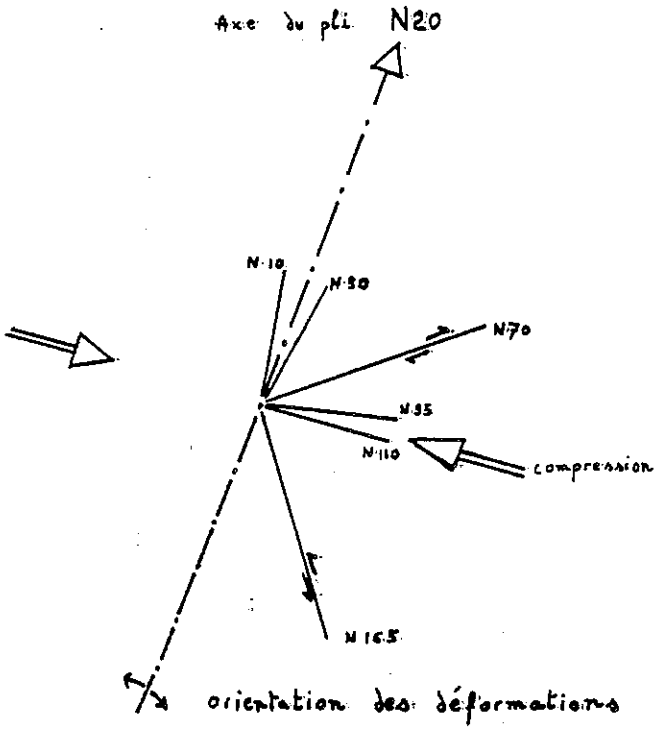
La fracturation est beaucoup moins intense. Cependant on retrouve les mêmes familles de fractures que précédemment, avec les mêmes intensités relatives. Les contraintes et la mise en place de la structure ont été les mêmes (fig. 5).

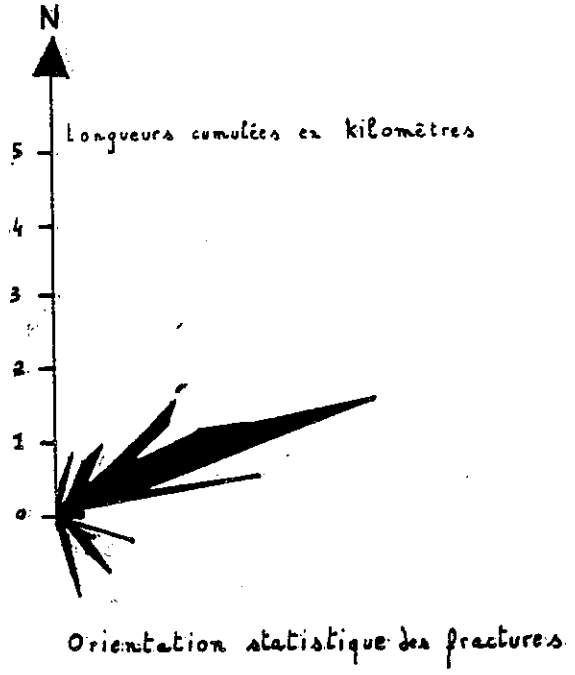
# FRACTURATION DU MASSIF DE ROCHE-VEYRAND

interprétation photogéologique

FIG 4

# FRACTURATION DU MASSIF DE ROCHE VEYRAND PL 2



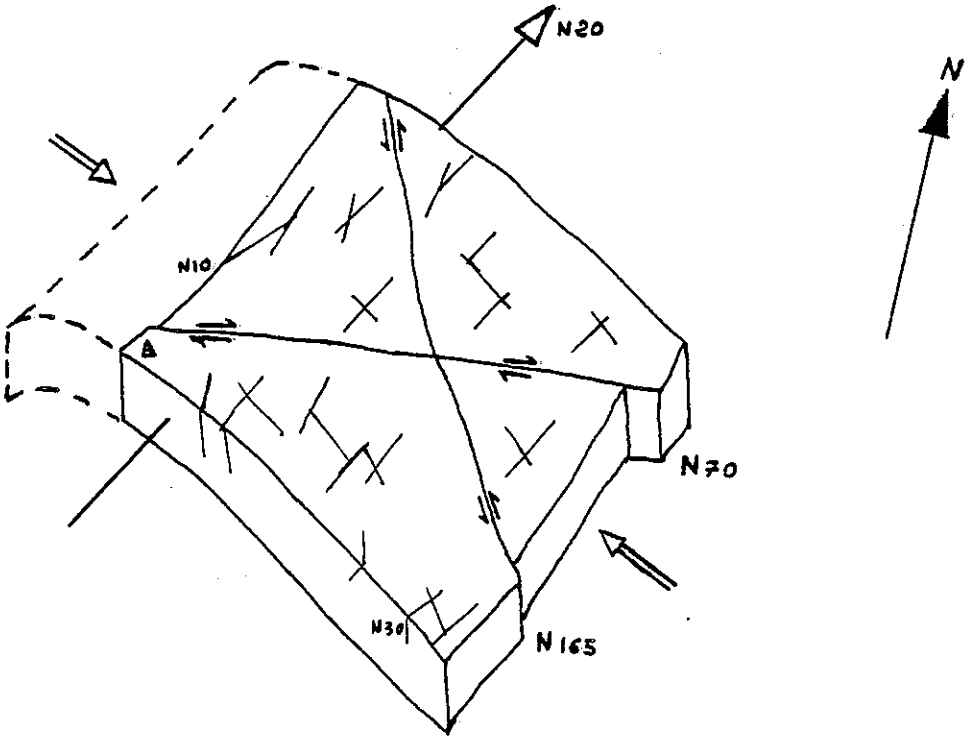
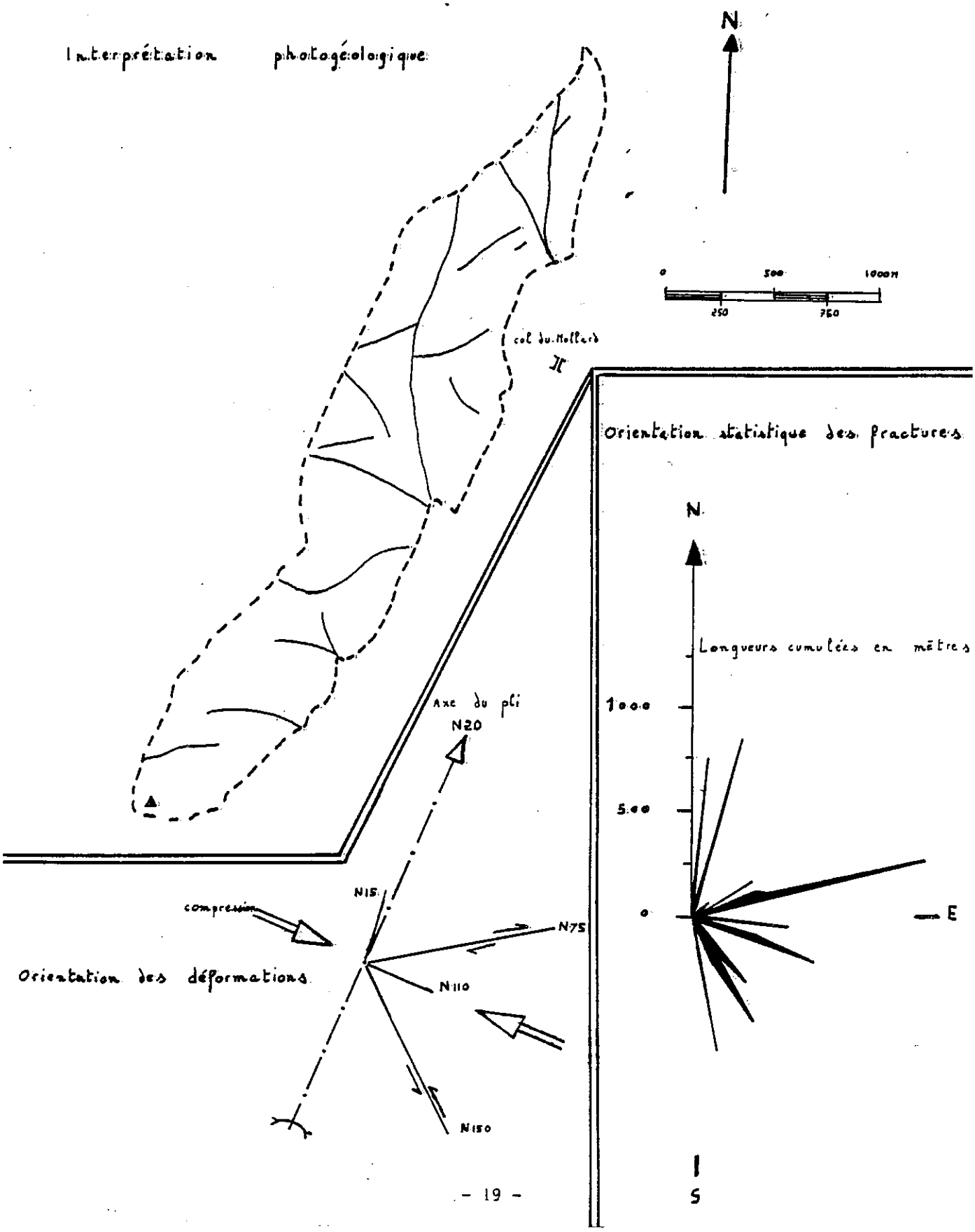




Schéma des déformations

# FRACTURATION DU MONT OUTHERAN FIG 5



# CHAPITRE III

## LES BASSINS VERSANTS ETUDIES

La zone étudiée peut se diviser en deux parties distinctes.

La première partie représente le quart occidental du terrain. Elle se divise elle-même en de multiples sous-bassins dont les eaux se jettent séparément dans le Guiers Vif. Ces bassins sont peu caractéristiques du fait de la variété et l'hétérogénéité des terrains qui les composent. Citons cependant les deux principaux bassins : celui du ruisseau du Gringalet qui draine la dépression de Corbel et celui de la source karstique de Poirier sec. L'origine de l'eau pour cette source sera étudiée dans le chapitre consacré aux traçages.

La seconde partie du terrain couvre les 3/4 de la superficie totale. Elle se situe en position centrale et orientale. Elle forme tout le bassin versant de la rive droite du ruisseau du Cozon. Deux "hauts" plateaux calcaires y sont bien individualisés. Il s'agit du mont Outheran d'une part, et de l'ensemble Roche-Veyrand, Roc de Gleisin d'autre part. Même au niveau de ces plateaux, des sous-bassins versants se distinguent. Les surfaces de ceux-ci deviennent alors extrêmement petites et les débits aux émergences faibles. La source de la Fracette en est un exemple. Son bassin versant se résume à Roche-Veyrand, soit environ la moitié de la surface du plateau Roche-Veyrand, Roc de Gleisin. Cette exsurgence est cependant bien représentative des circulations karstiques pouvant se développer sur ces plateaux calcaires. C'est pourquoi nous l'avons étudiée en détail.

Nous nous intéresserons ensuite au bassin versant global du ruisseau du Cozon à Saint Pierre d'Entremont. Comme nous l'avons vu, une partie importante des eaux du cours d'eau provient de la zone étudiée. Nous avons intégré cette zone dans l'étude de l'ensemble du bassin du Cozon.

### I. LE PLATEAU D'OUTHERAN.

Nous évoquerons brièvement celui-ci bien qu'il ne soit pas le siège de grandes sources karstiques. Le plateau se résume à une dalle structurale urgonienne, au pendage Est faible : une dizaine à une vingtaine de degrés. La structure s'ennoie très lentement vers le Nord. La répartition hypsométrique est la suivante :

| Tranche d'altitude - m - | Superficie - $km^2$ - | Pourcentage relatif |
|---|---|---|
| 1676 - 1600 | 0.50 | 37 % |
| 1600 - 1500 | 0.67 | 49 % |
| 1500 - 1400 | 0.19 | 14 % |

La surface totale est faible : 1.36 $km^2$. Les dénivelées et la pente moyenne aussi.

Le plateau présente la morphologie d'érosion superficielle en pays calcaire : lapiaz et dolines. La plupart de celles-ci se sont effondrées et obstruées. L'argile de décalcification donne un sol propice au développement de la végétation herbeuse. Celle-ci recouvre tout le plateau, rendant l'infiltration difficile. L'inventaire spéléologique montre qu'il y a très peu d'ouvertures pénétrables en profondeur. Plus de 60 gouffres ont été visités, aucun réseau n'a été découvert, aucune circulation souterraine observée. Tous les puits se bouchent dans les 20 premiers mètres. Les rares qui se prolongent butent contre les niveaux marneux de l'Hauterivien (exemple : le gouffre Mollard à la cote - 123m).

En résumé : peu d'eau disponible (petite surface réceptive, infiltration difficile) et pas d'axe de circulation privilégié (pente faible, pas de structure directrice, réseau souterrain peu développé). Tous ces éléments ne sont pas propices à l'existence d'un collecteur souterrain principal susceptible de drainer l'ensemble du massif.

Aussi, les sources, réparties au pied de la falaise urgonienne, ont-elles de petits débits. Elles sont cependant pérennes.

## II. LE BASSIN VERSANT DE LA FRACETTE : Roche-Veyrand.

Le plateau Roche Veyrand - Roc de Gleisin présente la même structure et morphologie qu'Outheran. C'est aussi une dalle structurale urgonienne, correspondant au flanc Est de l'anticlinal médian. L'altitude légèrement plus basse permet à la forêt de résineux de recouvrir tout le massif. L'inventaire des cavités souterraines est encore plus décevant : il n'y a pratiquement pas d'ouvertures pénétrables.

Pourtant deux éléments favorables ont permis la mise en place de circulation karstique : le pendage plus élevé (20 à 40 degrés Est) et la fracturation plus intense. Celle-ci joue le rôle de collecteur. La source de la Fracette est sur une de ces failles.

## II.1. Répartition hypsométrique :

| Tranche d'altitude (m) | Bassin versant géographique | | Bassin versant réel | |
|---|---|---|---|---|
| | Superficie ($Km^2$) | Pourcentage | Superficie (m) | Pourcentage ($Km^2$) |
| 710 - 800 | .06 | 4 | .07 | 3 |
| 800 - 900 | .10 | 7 | .23 | 10 |
| 900 - 1000 | .20 | 14 | .28 | 13 |
| 1000 - 1100 | .20 | 14 | .35 | 16 |
| 1100 - 1200 | .21 | 15 | .33 | 15 |
| 1200 - 1300 | .30 | 21 | .49 | 22 |
| 1300 - 1400 | .28 | 20 | .36 | 16 |
| 1400 - 1433 | .07 | 5 | .12 | 5 |
| Total | 1.42 | 100 | 2.23 | 100 |

Les surfaces ont été calculées par planimétrage à partir des cartes topographiques I.G.N. au 1/25000. L'incertitude est faible : inférieure à 10%.

Le bassin versant réel a été défini en tenant compte de la géologie (structure et pendage des couches) et des expériences de traçage.

La cote 710m correspond à l'altitude de l'emplacement du limnigraphe, la source se situant à 750m d'altitude.

La pente est forte mais assez régulière.

L'altitude médiane correspond à l'ordonnée 50% de la courbe hypsométrique.

L'altitude moyenne, plus représentative est donnée par la formule :

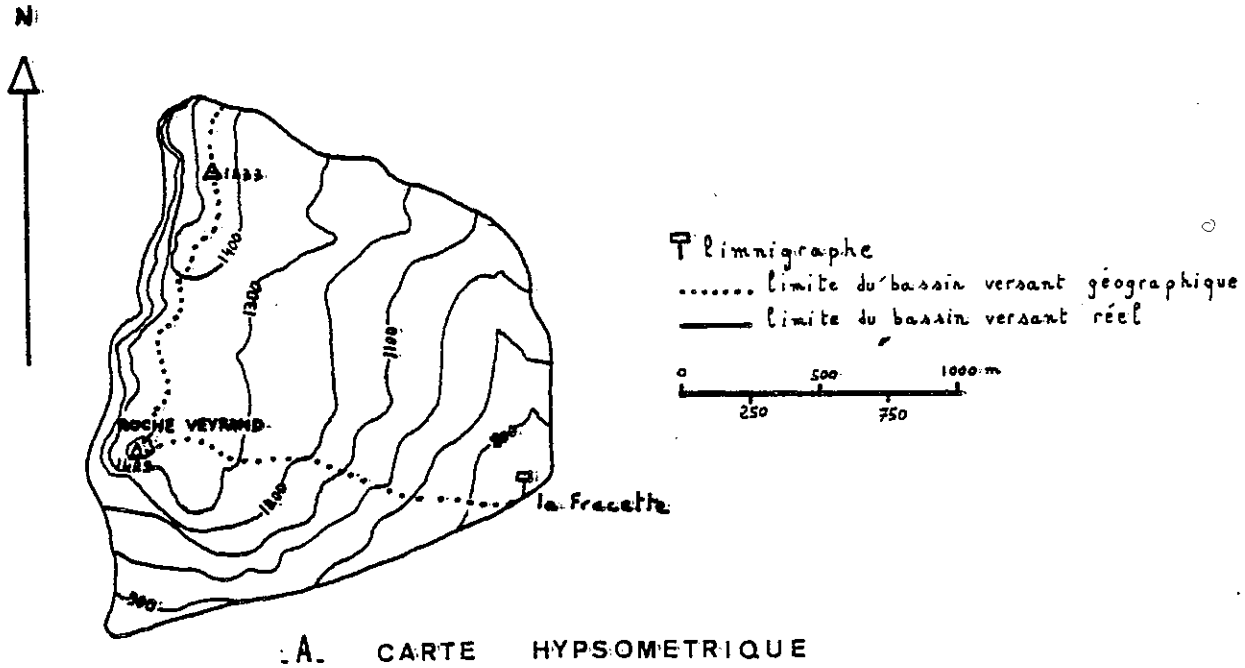
$$H = \frac{\sum_{i=1}^{n} s_i \, h_i}{S_T}$$

si : surface de chaque tranche d'altitude en $m^2$.
hi : altitude moyenne de la tranche d'altitude considérée.
ST : surface totale du bassin versant en $m^2$.

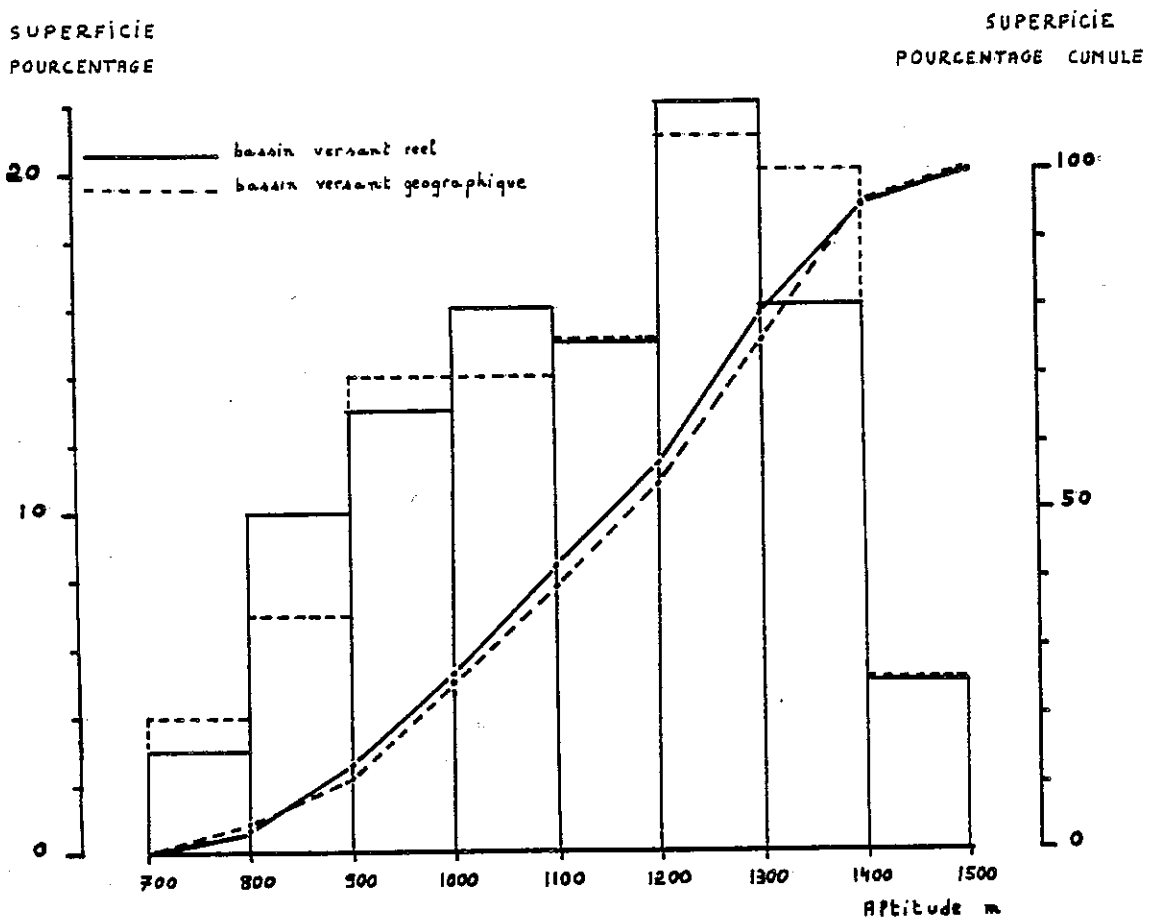
| Caractéristiques | B.V. géographique | B.V. réel |
|---|---|---|
| surface ($km^2$) | 1.42 | 2.23 |
| altitude médiane (m) | 1170 | 1155 |
| altitude moyenne (m) | 1150 | 1135 |

La surface du bassin versant réel est de 57% plus élevée que celle du bassin versant géographique. Ce gain a été obtenu en prenant en compte le rebord ouest de la falaise, et toute la partie méridionale du massif. Les altitudes y sont légèrement plus basses et naturellement l'altitude moyenne est un petit peu moins élevée.

BASSIN VERSANT DE LA FRACETTE FIG 6




A. CARTE HYPSOMETRIQUE




B. FREQUENCES ALTIMETRIQUES ET COURBES HYPSOMETRIQUES

### II.2. Indices morphométriques :

On a coutume d'utiliser, afin de comparer les bassins versants entre eux, différents indices.

#### a- *Indice de compacité ou indice de Gravelius.*

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} \quad \text{ou} \quad K = 0{,}28\ P.S^{-1/2}$$

P : périmètre du bassin versant en km ici $P_r = 5.84$

S : superficie du bassin versant en $km^2$ ici $S_r = 2.23$

d'où K = 1,10

K = 1,00 pour un cercle ; 1,12 pour un carré ; 1,51 pour un rectangle 5 fois plus long que large.

#### b- *Le rectangle équivalent.*

On cherche à définir un rectangle équivalent au bassin versant, en le caractérisant par L et l.

Avec pour la même surface et le même périmètre L.l = Surface du bassin et 2 (L + l) = Périmètre du bassin.

Dans le cas du bassin versant de la Fracette, une telle démarche est impossible, l'indice de compacité (K = 1.10) situant la forme géométrique équivalente entre le cercle et le carré (polygone régulier à n côtés ?).

Nous pouvons seulement dire qu'un carré d'arête comprise entre 1,46 km et 1,49 km simulerait assez bien notre bassin versant.

## III. LE BASSIN VERSANT DU COZON A SAINT PIERRE D'ENTREMONT.

Le Cozon prend sa source au pied du Mont Joigny, coule dans la vallée des Entremonts et se jette dans le Guiers à Saint Pierre. Il draine en rive droite une partie importante de notre terrain, et en rive gauche les pentes occidentales du Granier. Le bassin versant de la Fracette est un sous-bassin du Cozon (fig. n° 7).

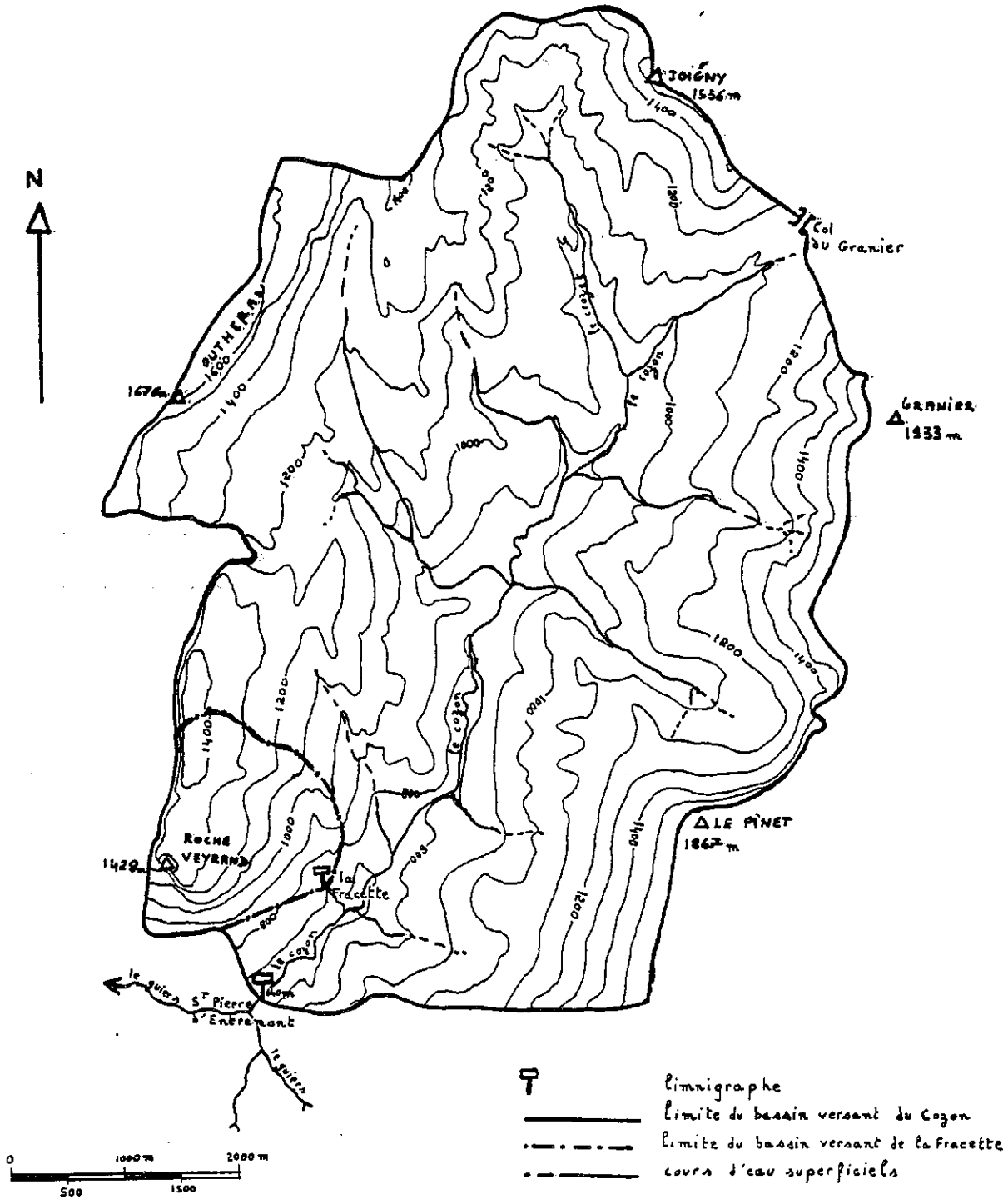
### III.1. Répartition hypsométrique :

Pour le calcul de la superficie du bassin versant réel, nous avons pris en compte le bassin réel de la Fracette. La falaise calcaire sommitale du Granier (Urgonien), par son pendage, rabat les eaux qu'elle reçoit vers l'Ouest, sur le Grésivaudan (cf. J.P. Bozonat). Nous avons donc retranché sa surface au bassin versant géographique. Cela entraîne la disparition des classes d'altitudes supérieures à 1600 mètres.

# BASSIN VERSANT DU COZON

CARTE HYPSOMETRIQUE ET
RESEAU HYDROGRAPHIQUE PRINCIPAL

FIG 7



| Tranche d'altitude (m) | Bassin versant géographique | | Bassin versant réel | |
|---|---|---|---|---|
| | Superficie ($km^2$) | Pourcentage | Superficie ($km^2$) | Pourcentage |
| 640 - 700 | .48 | 1.15 | .48 | 1.20 |
| 700 - 800 | 1.40 | 3.35 | 1.40 | 3.51 |
| 800 - 900 | 3.40 | 8.13 | 3.43 | 8.59 |
| 900 - 1000 | 5.20 | 12.44 | 5.25 | 13.15 |
| 1000 - 1100 | 7.15 | 17.11 | 7.21 | 18.06 |
| 1100 - 1200 | 7.73 | 18.49 | 7.75 | 19.41 |
| 1200 - 1300 | 6.55 | 15.67 | 6.70 | 16.78 |
| 1300 - 1400 | 4.30 | 10.29 | 4.40 | 11.02 |
| 1400 - 1500 | 2.18 | 5.22 | 2.10 | 5.26 |
| 1500 - 1600 | 1.55 | 3.71 | 1.21 | 3.03 |
| 1600 - 1700 | 1.08 | 2.58 | | |
| 1700 - 1800 | .53 | 1.27 | | |
| 1800 - 1900 | .25 | .60 | | |
| Total | 41.80 | | 39.93 | |

Les deux bassins sont relativement similaires. Le bassin versant réel est cependant emputé des tranches supérieures. Cela provoquera un abaissement de l'altitude moyenne.

| Caractéristiques | B.V. géographique | B.V. réel |
|---|---|---|
| Surface ($km^2$) | 41.80 | 39.93 |
| Altitude médiane (m) | 1145 | 1130 |
| Altitude moyenne (m) | 1155 | 1125 |

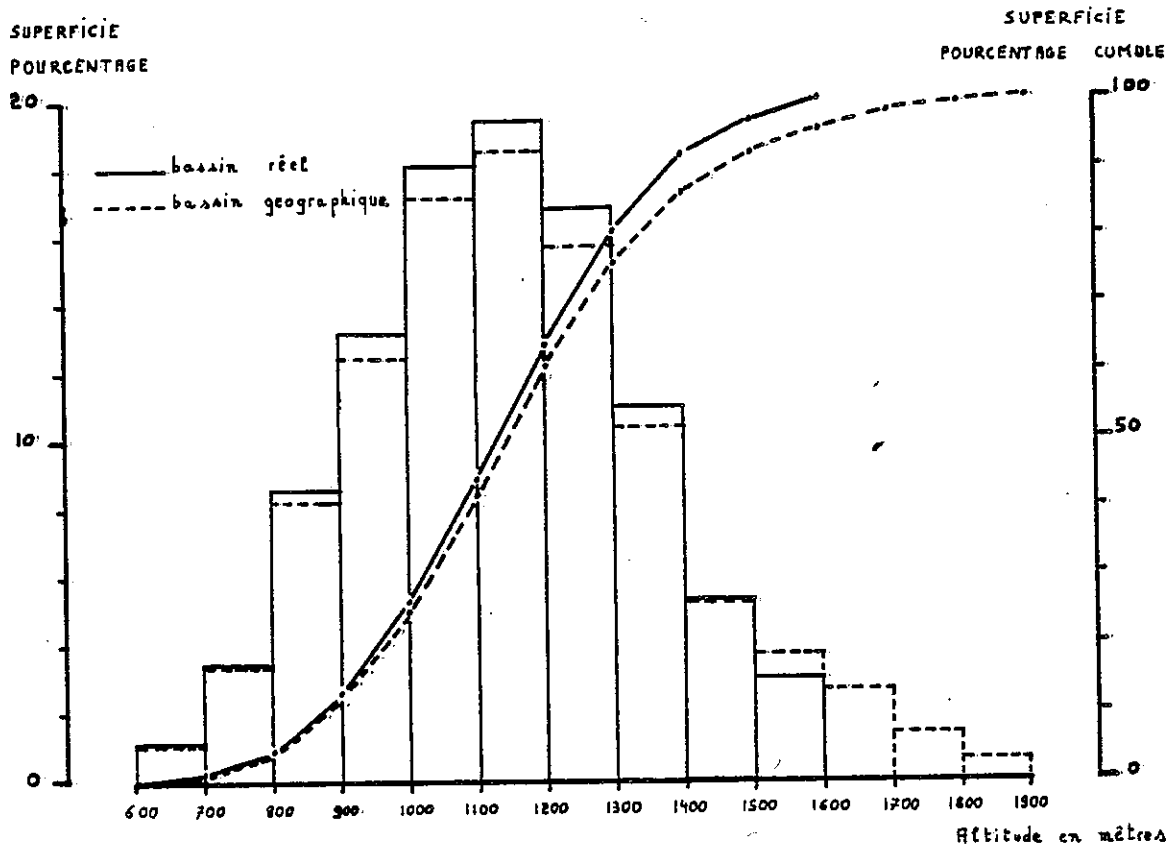
III.2. Indices morphométriques :

Pour le bassin versant réel.

*a- Indice de compacité.*

Avec le périmètre P = 30.13 km
et la surface S = 39.93 $km^2$ alors K = 1.34

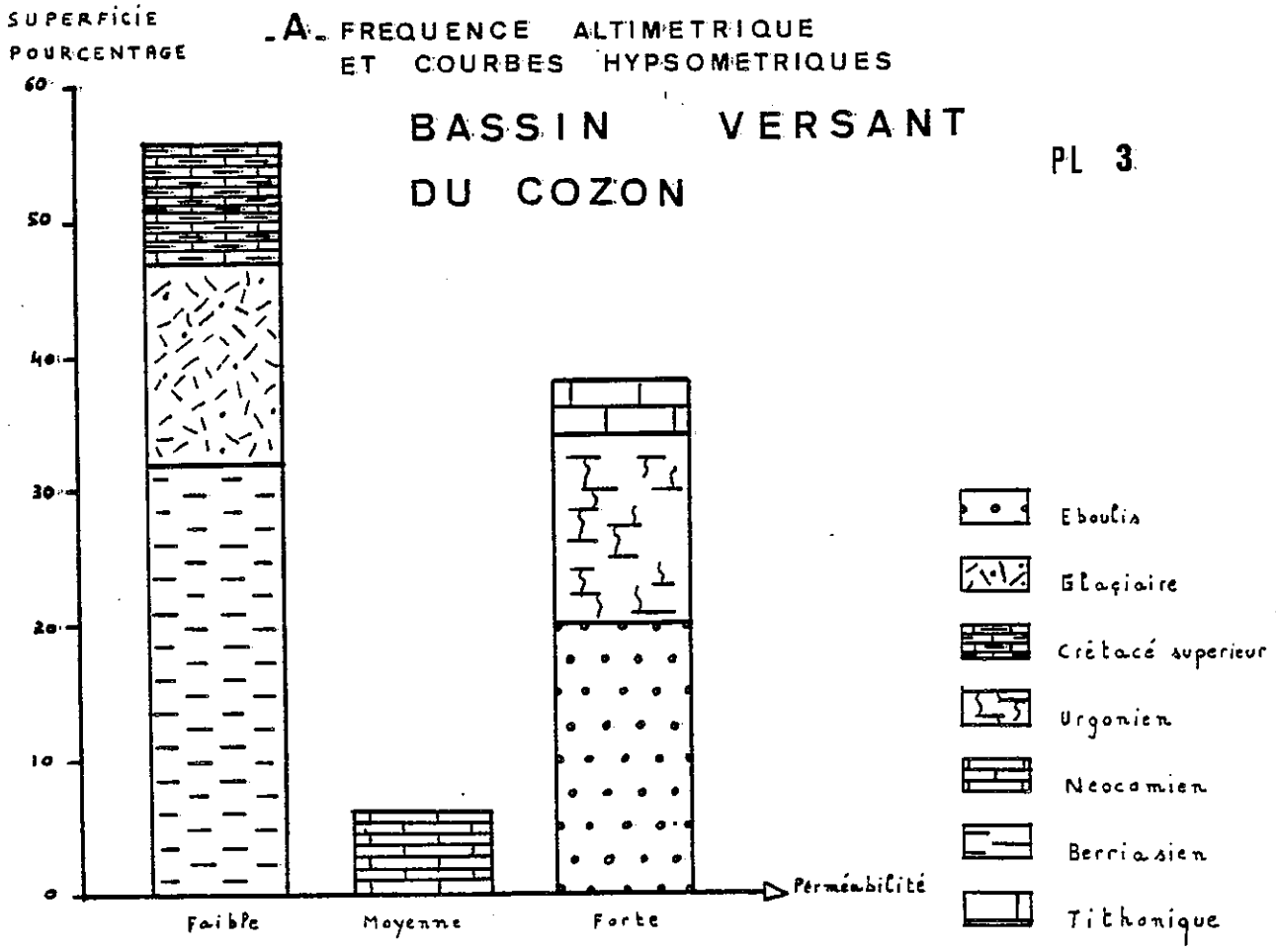
soit un rectangle équivalent, trois à quatre fois plus long que large.




_A_ FREQUENCE ALTIMETRIQUE
ET COURBES HYPSOMETRIQUES

# BASSIN VERSANT DU COZON

PL 3




_B_ REPARTITION DES TERRAINS

b- *Le rectangle équivalent.*

Il se calcule à partir de l'indice de compacité K et de la surface S exprimée en $km^2$.

Soit L = le grand côté du rectangle (km)
soit l = le petit côté du rectangle (km)

$$L = S^{1/2} \frac{K}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right]$$

L = 11,69 km et l = 3,42 km

c- *L'indice de pente Ip.*

Défini par M. Roche pour comparer les pentes de différents bassins :

$$I_p = L^{-1/2} \sum_{i=1}^{n} (fi\ di)^{1/2}$$

L = longueur du rectangle équivalent en km
fi = fraction de la surface totale pour chaque tranche d'altitude.
di = dénivelée de la tranche d'altitude correspondante.

$I_p = 8.60$

III.3. Répartition de la surface du bassin en fonction de la nature du sol (pl. 3).

Un bassin versant se caractérise aussi par la lithologie et la perméabilité des terrains qui affleurent. Nous aurons ainsi une idée du transfert des eaux de pluie, s'il y a stockage ou restitution immédiate des eaux par ruissellement.

| Etage Faciès | Lithologie | Perméabilité | Superficie $km^2$ | Pourcentage |
|---|---|---|---|---|
| Tithonique | calcaire en gros bancs. | forte | 1.58 | 4 |
| Berriasien | marnes et marno-calcaires. | faible | 12.81 | 32 |
| Néocomien | calcaire en petits bancs. | moyenne | 2.57 | 6 |
| Urgonien | calcaire en gros bancs. | forte | 5.40 | 14 |
| Crétacé sup. | calcaire argileux en plaquettes. | faible | 3.50 | 9 |
| Glaciaire | moraine argileuse. | faible | 5.95 | 15 |
| Eboulis | à gros blocs. | forte | 8.12 | 20 |

Les terrains peu perméables représentent 56% de la surface du bassin versant. L'essentiel des circulations sera donc superficiel. Les terrains susceptibles d'effectuer un stockage (calcaire urgonien et tithonique)

ne représentent que 18% de la surface. Il ne faut donc pas s'attendre à des phénomènes de réserve ou d'emmagasinage sur le bassin versant du Cozon.

## IV. CONCLUSION.

Le bassin versant karstique de Roche Veyrand - source de la Fracette ne s'étend que sur une superficie de 2,23 $km^2$ et à une altitude moyenne de 1135 mètres. Ces valeurs sont très faibles. Il est à ce titre bien différent des autres bassins de même type déjà étudiés en Chartreuse. Du fait de cette "géométrie" particulière, le volume d'eau disponible est faible. Il ne faut pas s'attendre à l'existence de réserves ou de stockages importants. L'hydrodynamique des écoulements sera influencée par la petite taille du bassin.

Le Cozon a un bassin versant d'une surface plus respectable : 39,93 $km^2$. Il ne concerne malheureusement que très peu les terrains calcaires et est composé essentiellement de terrains marneux. Ce n'est pas un bassin versant karstique.

# CHAPITRE IV

## ETUDE CLIMATOLOGIQUE

### I. LE RESEAU HYDROCLIMATOLOGIQUE.

#### I.1. Le réseau existant :

La Météorologie Nationale a bien voulu nous communiquer les résultats de ses stations installées dans la partie nord de la Chartreuse. Nous avons utilisé les relevés des stations suivantes :

| Situation | Altitude | Appareillage |
|---|---|---|
| Saint Laurent du Pont | 415m | Pluviomètre "Assosication" 400 $cm^2$ |
| Saint Pierre d'Entremont | 644m | Pluviomètre "Association" 400 $cm^2$ |
| Saint Pierre de Chartreuse "Le Couvent" | 945m | Pliviomètre "Association" 400 $cm^2$<br>Thermomètre MINI.<br>Thermomètre MAXI.<br>Planche à neige |

Il a été également utilisé, pour des calculs, les relevés des stations de la Météorologie Nationale pour

| Situation | Altitude | Appareillage |
|---|---|---|
| Challes-les-Eaux | 291m | Pluviomètre 400 $cm^2$<br>Thermomètre MINI.<br>Thermomètre MAXI. |
| Saint Hilaire du Touvet "Les Gaudes" | 970m | Thermographe<br>Thermomètre MINI.<br>Thermomètre MAXI. |

Nous avons également géré depuis juillet 1979 la station du col du Granier que Monsieur le Professeur L. Richard (Laboratoire de Biologie Végétale) a eu l'amabilité de nous confier.

| Situation | Altitude | Appareillage |
|---|---|---|
| Col du Granier | 1140m | Pluviographe à augets basculants 2000 $cm^2$<br>Thermo-hygrographe<br>Thermomètre MINI-MAXI<br>Thermosonde enregistreuse |

Toutes ces stations sont malheureusement situées aux limites ou à la périphérie de notre secteur d'étude.

### I.2. Le réseau complémentaire :

Nous avons été conduit à installer à l'intérieur et aussi en altitude des points de mesure des précipitations. Il s'agit de tubes totalisateurs en P.V.C. de 3 mètres de haut et de 470 $cm^2$ de surface réceptrice, placés à Outheran (1580m), au col du Mollard (1310m), à Corbel (880m). Un tube a été également implanté à la station météorologique du col du Granier en vue d'une comparaison des résultats. Malheureusement, celui-ci a été détruit au cours de l'étude.

Arbitrairement, les valeurs obtenues ont été majorées de 5% pour tenir compte de l'évaporation le long des parois et des pertes de réception des précipitations dues au vent à 3 mètres de hauteur par rapport au sol.

Les auteurs donnent de 7 à 10% de correction pour les tubes totalisateurs de 220 $cm^2$, donc plus petits.

## II. LES PRECIPITATIONS.

### II.1. Les données antérieures à 1980 :

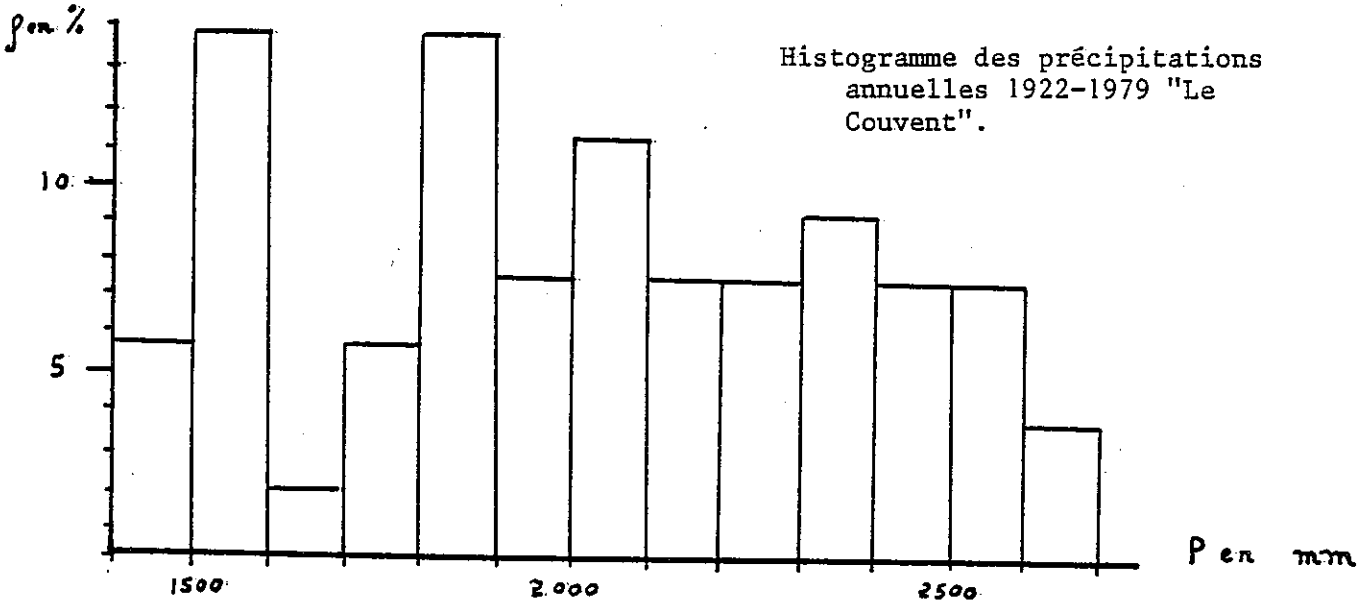
#### *a- Les précipitations annuelles.*

Nous disposons des relevés des précipitations au Couvent (alt. 945m) depuis 1922.

| | 192- | 193- | 194- | 195- | 196- | 197- | 198- |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | | 2475 | 2322 | 2032 | 2563 | 2332 | 2376 |
| 1 | | 2118 | | 2304 | 1982 | 1633 | |
| 2 | 2413 | 1749 | | 2408 | 1883 | 1560 | |
| 3 | 2325 | 1813 | | 1582 | 2273 | 1951 | |
| 4 | 1585 | 1869 | | 2505 | 1582 | 2053 | |
| 5 | 1895 | 2640 | 1725 | 1928 | 2490 | 1939 | |
| 6 | 1588 | 2113 | 2163 | 2082 | 2258 | 1487 | |
| 7 | 2057 | 2545 | 1728 | 1486 | 1822 | 2206 | |
| 8 | 2092 | 1596 | 2249 | 2338 | 2533 | 2023 | |
| 9 | 1573 | 2640 | 1471 | 1885 | 1844 | 2159 | |

en millimètres.

Nous avons établi le polygone de fréquence des modules pluviométriques par classe de 100mm pour cette période.




Histogramme des précipitations annuelles 1922-1979 "Le Couvent".

Celui-ci montre que la pluviométrie annuelle ne s'ordonne pas selon une loi statistique simple.

Nous disposons également des données pour Saint Pierre d'Entremont (alt. 644m) depuis 1961.

| | 196- | 197- | 198- |
|---|---|---|---|
| 0 | | 2069 | 2090 |
| 1 | 1873 | 1625 | |
| 2 | 1548 | 1301 | |
| 3 | 1882 | 1709 | |
| 4 | 1366 | 1989 | |
| 5 | 2351 | 1702 | |
| 6 | 2013 | 1234 | |
| 7 | 1738 | 2064 | |
| 8 | 2257 | 1783 | |
| 9 | 1654 | 2068 | |

La répartition des modules ne s'effectue pas, là non plus, selon une loi statistique simple. Nous ne donnerons donc pas, pour ces deux stations, de module moyen. Nous nous contenterons du rang de l'année étudiée (1980) par rapport aux précédentes.

Le coefficient de corrélation entre les deux stations est de r = .93.

b- *Les précipitations mensuelles moyennes.*

Comparons les valeurs obtenues pour ces deux stations sur 20 ans (1961-1980).

| Stations | Alt. m | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Année mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Le Couvent | 945 | 159 | 176 | 183 | 183 | 173 | 162 | 160 | 157 | 136 | 146 | 198 | 187 | 2020 |
| St. Pierre | 644 | 141 | 159 | 162 | 153 | 150 | 148 | 145 | 143 | 134 | 129 | 179 | 173 | 1816 |

Sur la planche 4 nous avons figuré ces répartitions moyennes des pluies au cours des différents mois et selon la saison. Il y a peu d'écart entre les différentes valeurs mensuelles moyennes sur 20 ans. Une analyse de variance entre ces différentes moyennes mensuelles montre que ces variations ne sont pas significatives.

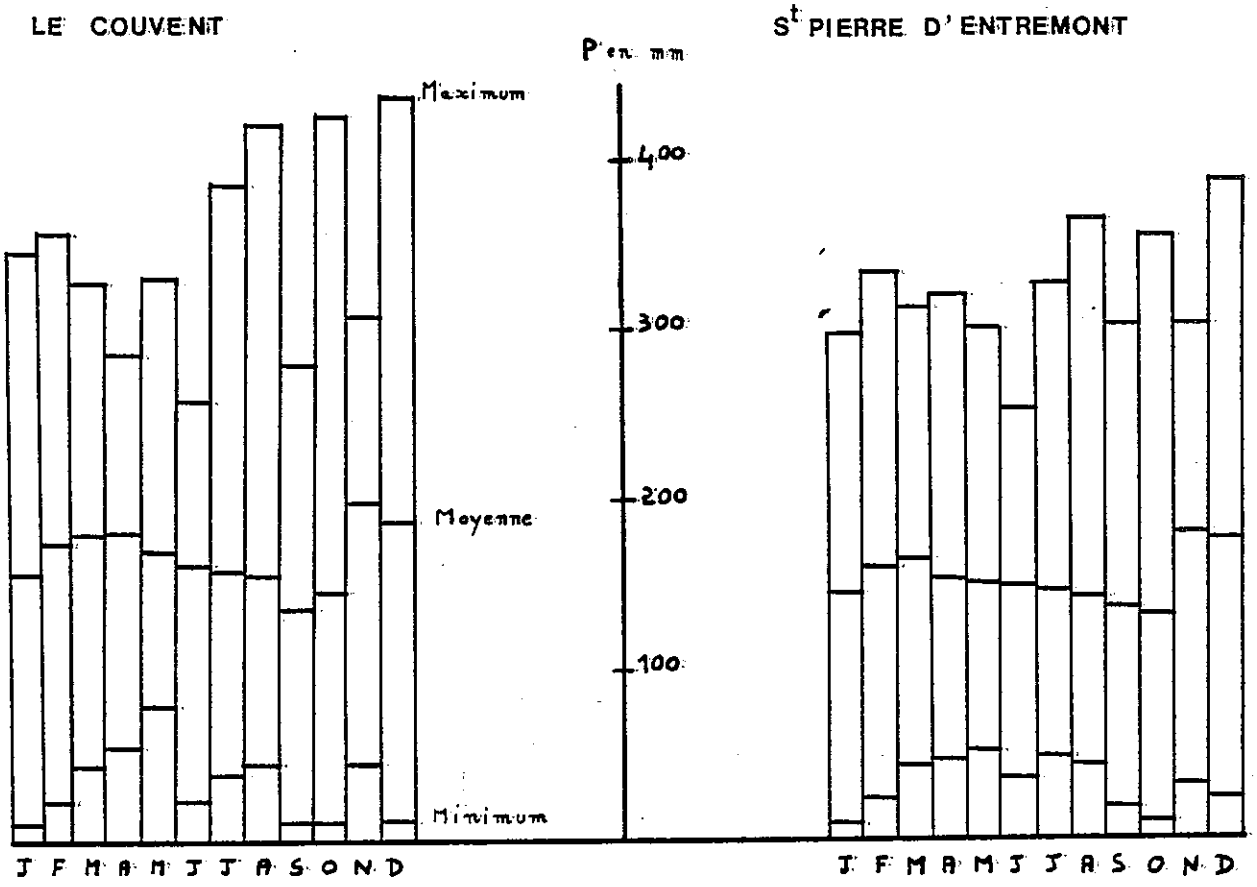
Par contre les écarts-type d'un même mois d'une année sur l'autre sont très élevés.

c- *Les répartitions moyennes saisonnières (1961-1980).*

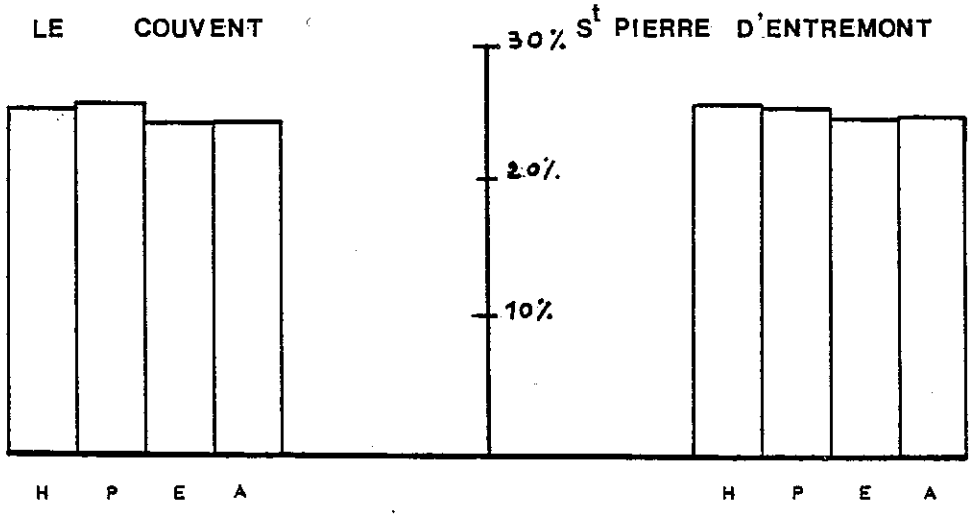
| Stations | Hiver | Printemps | Eté | Automne |
|---|---|---|---|---|
| Le Couvent | 522 soit 25.84% | 539 soit 26.68% | 479 soit 23.71% | 480 soit 23.76% |
| St Pierre | 473 soit 26.05% | 465 soit 25.68% | 436 soit 24.01% | 442 soit 24.34% |

## PRECIPITATIONS MENSUELLES (1961-80)

PL 4




## REPARTITION SAISONNIERE (1961-80)



L'hiver et le printemps sont plus arrosés que l'été et l'automne. Cependant, les différences ne sont pas très sensibles. Il semble hasardeux de définir un indice saisonnier.

Un exemple : Pour le couvent, celui-ci était sur la période 1961-1978 : P H E A.

Il devient P H A E pour la période 1961-1980.

Enfin, sur la période 1922-1974, nous avons E P H A.

Pour terminer la caractérisation des précipitations nous citerons les travaux de J.P. Bozonat (1980), portant sur la période 1961-1975, sur le Couvent. Nous les comparerons avec les valeurs de Saint Pierre.

. Nombre de jours moyens de précipitations.

| Stations | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Année |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Le Couvent | 16 | 15 | 17 | 16 | 18 | 16 | 12 | 14 | 12 | 11 | 16 | 15 | 177 |
| St Pierre | 10 | 10 | 10 | 11 | 13 | 12 | 9 | 10 | 9 | 7 | 11 | 10 | 121 |

C'est naturellement au Couvent qu'il pleut le plus souvent. Les indices saisonniers seront :

Le Couvent Hiver 26% ; Printemps 28,8% ; Eté 23,7% ; Automne 22% soit P H E A.

St Pierre Hiver 24,8% ; Printemps 28,1% ; Eté 25,6% ; Automne 22,3% soit P E H A.

Pour les deux stations, le Printemps est la saison où il pleut le plus souvent, et l'automne, la plus ensoleillée.

. Intensité des précipitations.

Elle se définit par un coefficient de fréquence :

$$\frac{\text{nombre de jours de précipitations}}{\text{nombre de jours dans le mois}}$$

| Stations | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Indice |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Le Couvent | .52 | .54 | .55 | .53 | .58 | .53 | .39 | .45 | .40 | .35 | .53 | .48 | P H E A |
| St Pierre | .32 | .36 | .32 | .37 | .42 | .40 | .29 | .32 | .30 | .23 | .37 | .32 | P E H A |

On utilise aussi le coefficient d'intensité

$$\frac{\text{précipitations mensuelles}}{\text{nombre de jours de précipitations dans le mois}}$$

| Stations | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Indice |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Le Couvent | 9.38 | 10.73 | 10.41 | 11.75 | 10.28 | 10.69 | 13.33 | 11.14 | 12.42 | 11.55 | 12.69 | 12.07 | A E P H |
| St Pierre | 13.30 | 14.20 | 15.50 | 14.55 | 11.92 | 12.33 | 16.44 | 14.40 | 16.56 | 16.43 | 17.27 | 16.6 | A E H P |

Pour les deux stations, bien que l'automne soit la saison la moins pluvieuse, c'est celle où l'intensité est la plus forte. Il y a alors un effet de compensation.

Ainsi l'automne ne se trouve pas déficitaire par rapport aux autres saisons où il pleut souvent moins fort.

### d- *Les précipitations solides.*

Sur la période 1961-1976 il a été mesuré en moyenne pour un an une hauteur cumulée de 449cm de neige au Couvent. Les mois neigeux s'étendent d'octobre à mai avec un maximum en février.

Le coefficient nivométrique annuel au Couvent est de 0,33 (rapport du nombre de jours de neige par rapport au nombre de jours de précipitations).

### e- *Gradients altimétriques annuels et mensuels.*

Rappelons que la corrélation entre la station du Couvent et celle de Saint Pierre est satisfaisante au niveau annuel (r = 0,93).

Ces stations subissent les mêmes variations saisonnières, le même climat, les indices climatiques sont à peu près similaires. Les variations saisonnières sont en phase d'une station à l'autre.

Nous pouvons donc définir un gradient altimétrique annuel mais aussi mensuel entre ces deux stations.

Gradients altimétriques mensuels et annuels des précipitations (1961-1980).

| | Relation H en m - P en mm | Gradient mm/100m |
|---|---|---|
| Janvier | P = .060 H + 102 | 6.0 |
| Février | P = .057 H + 122 | 5.7 |
| Mars | P = .070 H + 117 | 7.0 |
| Avril | P = .100 H + 89 | 10.0 |
| Mai | P = .076 H + 101 | 7.6 |
| Juin | P = .046 H + 118 | 4.6 |
| Juillet | P = .050 H + 113 | 5.0 |
| Août | P = .046 H + 113 | 4.6 |
| Septembre | P = .007 H + 129 | .7 |
| Octobre | P = .057 H + 92 | 5.7 |
| Novembre | P = .063 H + 138 | 6.3 |
| Décembre | P = .046 H + 144 | 4.6 |
| Année | P = .678 H + 1379 | 67.8 |

## II.2. Les précipitations de l'année 1980 et durant notre période d'étude :

### *a- Les précipitations annuelles.*

Pour l'année 1980 et pour la période d'étude allant de février 1980 à janvier 1981, nous pouvons dresser le tableau suivant :

Précipitations annuelles en mm.

| Stations | 1980 | Fév. 1980 - Janvier 1981 |
|---|---|---|
| Le Couvent | 2376 | 2485 |
| St Pierre | 2090 | 2150 |
| Col du Granier | 1774 | 1741 |

Ces valeurs placent pour la station du Couvent l'année 1980 au 11ème rang des années les plus pluvieuses sur les 55 années de mesure. Quand à notre période d'étude, elle se situerait au 8ème rang. Pour Saint Pierre d'Entremont, l'année 1980 ainsi que notre année d'étude se classent au 3ème rang des années pluvieuses sur les 20 dernières années.

Notre période d'étude est une année très pluvieuse, beaucoup plus que la moyenne. Elle est à ce titre un peu exceptionnelle.

La station du Col du Granier, située à 1140m, est largement déficitaire vis-à-vis de celle de Saint Pierre d'Entremont, pourtant placée à une altitude inférieure : 644m. L'année 1979 laisse apparaître le même phénomène :

Saint Pierre : 2068mm - Col du Granier : 1798mm.

. La station de Saint Thibaud de Couz.

La Météorologie nationale a géré de 1939 à 1951 une station à Saint Thibaud de Couz (altitude 520m), c'est-à-dire aux limites occidentales de notre terrain. En voici les valeurs :

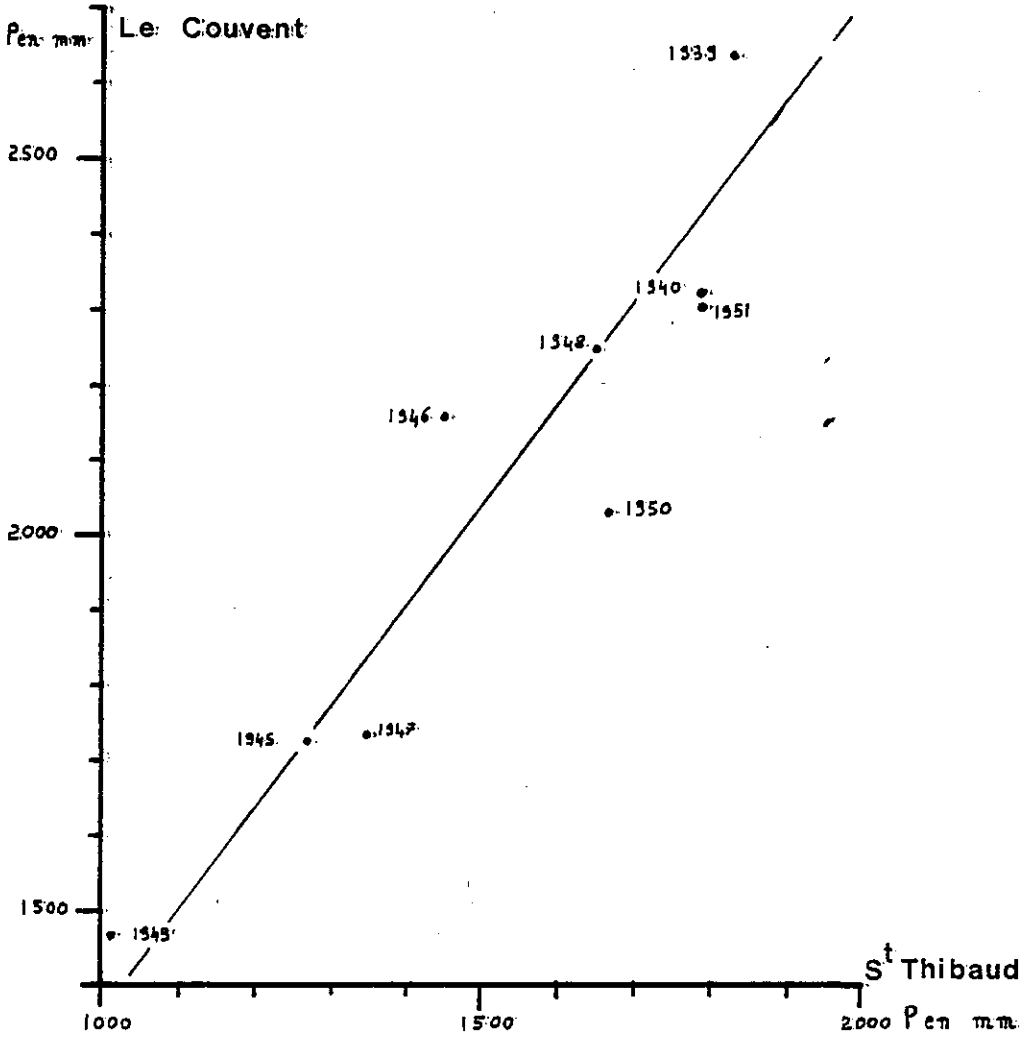
| Année | 1939 | 1940 | 1941 | 1942 | 1943 | 1944 | 1945 | 1946 | 1947 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P en mm | 1829 | 1791 | 1522 | 1127 | 1228 | 1677 | 1271 | 1449 | 1346 |

| Année | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 |
|---|---|---|---|---|
| P en mm | 1649 | 1012 | 1568 | 1786 |

Nous avons comparé ces valeurs avec celles obtenues au Couvent pour la même période. Comme le montre la planche n° 5, la corrélation est

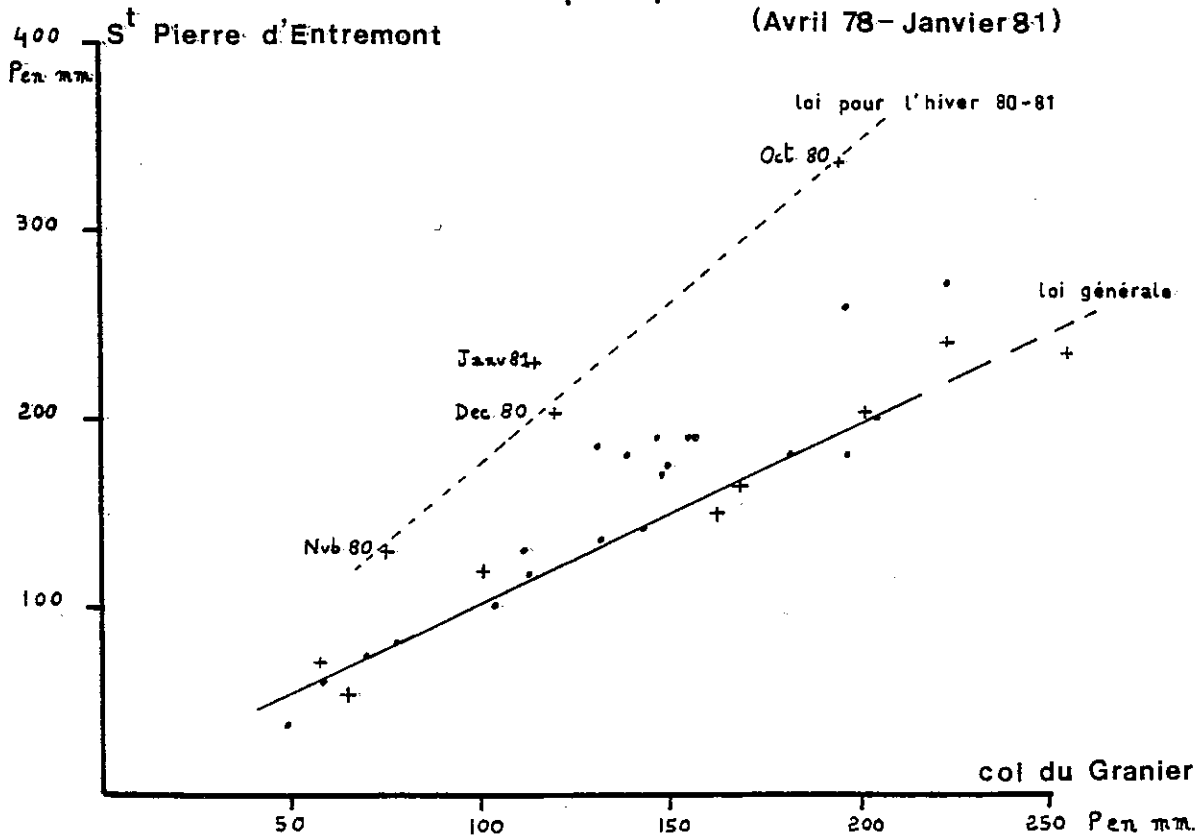
## CORRELATIONS sur les précipitations annuelles

PL 5




## CORRELATIONS sur les precipitations mensuelles

(Avril 78 – Janvier 81)



bonne : r = 0,97. Nous pouvons ainsi extrapoler par cette méthode les précipitations à Saint Thibaud à partir de celles du Couvent avec de bonnes probabilités.

L'équation de la droite de corrélation est :

$y = 11 + 0,73\ x$

avec x = précipitation au Couvent en mm
y = précipitation à Saint Thibaud en mm.

Soit pour l'année 1980 :
le Couvent P = 2376mm - Saint Thibaud P = 1746mm.

Pour notre période d'étude (F 1980 - J 1981)
Le Couvent P = 2485mm - Saint Thibaud P = 1826mm.

### b- *Les précipitations mensuelles.*

Voici les valeurs établies à partir des précipitations journalières (P en mm).

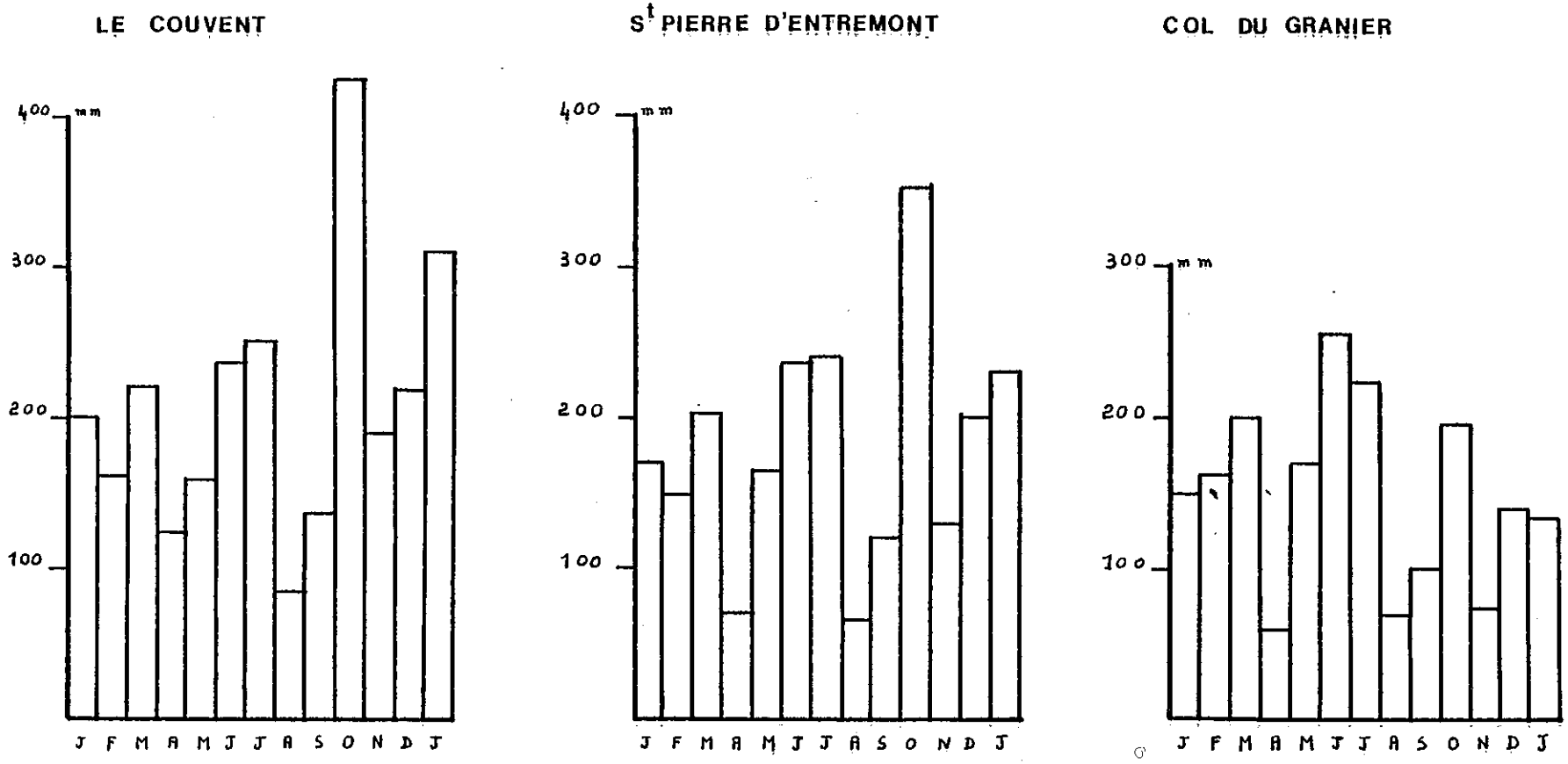
| | Le Couvent | Saint Pierre | Col du Granier |
|---|---|---|---|
| Janvier 1980 | 201 | 169 | 148 |
| Février | 160 | 150 | 163 |
| Mars | 221 | 203 | 202 |
| Avril | 124 | 70 | 58 |
| Mai | 157 | 163 | 169 |
| Juin | 235 | 236 | 255 |
| Juillet | 250 | 240 | 223 |
| Août | 83 | 55 | 65 |
| Septembre | 116 | 118 | 101 |
| Octobre | 424 | 353 | 195 |
| Novembre | 187 | 131 | 75 |
| Décembre | 218 | 202 | 120 |
| Janvier 1981 | 310 | 229 | 115 |

Ce tableau de valeurs correspond à la planche n° 6.

Les variations mensuelles entre les trois stations sont synchrones, elles subissent donc le même climat. La station du Granier ne se singularise que par un déficit global, dû à la topographie locale. Le col se trouve à l'abri des vents d'Ouest et du Nord-Ouest, et subit les précipitations avec une intensité moindre. Nous possédons les relevés des précipitations depuis avril 1978 au col du Granier. Une comparaison avec les relevés correspondants de Saint Pierre montre ce déficit régulier, avec cependant une aggravation brusque depuis octobre 1981. Planche n° 5. Nous sommes en droit de nous demander s'il n'y a pas eu depuis cette date un dérèglement de l'appareil enregistreur.

Pour toutes ces raisons, nous ne tiendrons pas compte de cette station pour l'établissement des gradients altimétriques de précipitations.

## PRECIPITATIONS MENSUELLES Janvier 1980–Janvier 1981 PL 6



Nous ne tenterons pas, non plus, de la relier aux autres points de mesure pour l'établissement de la carte pluviométrique par la méthode des isohyètes.

La station du Couvent se situe en dehors de notre terrain. Cependant, notre paragraphe consacré aux mesures effectuées ces 20 dernières années montre que les variations relatives d'un mois à l'autre sont similaires entre cette station et celle de Saint Pierre.

Les relevés du tube totalisateur installé à Corbel à une altitude intermédiaire corroborent ces faits. Ils permettent aussi de vérifier que les données du Couvent sont parfaitement utilisables en valeur absolue sur notre secteur.

| | Saint Pierre 644m | Corbel 880m | Le Couvent 945m |
|---|---|---|---|
| Oct.-Nov. 1979 | 331 mm | 360 mm | 369 mm |
| Déc. 1979 - Jan. 80 | 442 mm | 470 mm | 480 mm |
| Fév. 1980 | 150 mm | 160 mm | 160 mm |
| Mars 1980 | 203 mm | 220 mm | 221 mm |
| Avr. à Juil. 1980 | 709 mm | 750 mm | 766 mm |
| Août à Oct. 1980 | 526 mm | 600 mm | 623 mm |
| Nov. 1980 à Jan. 81 | 562 mm | 680 mm | 715 mm |

c- *Gradient annuel.*

Celui-ci tiendra compte des données fournies par les tubes totalisateurs installés depuis octobre 1979. Le point de mesure du Mont Outheran est inaccessible en hiver. Nous avons donc extrapolé sa valeur à partir de son comportement sur un cycle complet précédent allant d'un été à l'été suivant.

Le gradient a été calculé pour la zone Nord de notre terrain, puis pour la zone Sud, plus arrosée.

Zone Nord

| Station | Altitude | Oct. 1979 - Oct. 1980 | Fév. 1980 - Janv. 1981 |
|---|---|---|---|
| Saint Thibaud de Couz | 520m | 1924 mm | 1826 mm |
| Col du Mollard | 1310m | 2590 mm | 2700 mm |
| Outhéran | 1580m | 2820 mm | 3000*mm |
| Gradient moyen pour 100m | | 85mm/100m | 111mm/100m |

* valeur extrapolée.

Zone Sud

| Station | Altitude | Oct. 1979 - Oct. 1980 | Fév. 1980 - Janv. 1981 |
|---|---|---|---|
| Saint Pierre | 644m | 2361 mm | 2150 mm |
| Corbel | 880m | 2560 mm | 2410 mm |
| Le Couvent | 945m | 2619 mm | 2485 mm |
| Gradient moyen pour 100m | | 85mm/100m | 111mm/100m |

Le gradient altimétrique moyen des précipitations est donc pour notre période d'étude de 111mm/100m. Les équations précipitations-altitude peuvent s'énoncer ainsi :

Zone Nord : P = 1,11 H + 1248
Zone Sud : P = 1,11 H + 1434
P = précipitations annuelles en mm au point considéré.
H = altitude en m du point considéré.

### d- *Gradient mensuel.*

Le gradient mensuel de précipitation n'a pu être établi que pour la partie Sud de notre secteur d'étude. En voici les valeurs.

| Mois | Relation H en m - P en mm | Gradient mm/100m |
|---|---|---|
| Octobre 1979 | P = .020 H + 128 | 2.0 |
| Novembre | P = .106 H + 122 | 10.6 |
| Décembre | P = .020 H + 260 | 2.0 |
| Janvier 1980 | P = .106 H + 101 | 10.6 |
| Février | P = .033 H + 129 | 3.3 |
| Mars | P = .060 H + 164 | 6.0 |
| Avril | P = .179 H - 45 | 17.9 |
| Mai | P = - .020 H + 176 | - 2.0 |
| Juin | P = - .003 H + 238 | - .3 |
| Juillet | P = .033 H + 219 | 3.3 |
| Août | P = .093 H - 5 | 9.3 |
| Septembre | P = - .010 H + 125 | - 1.0 |
| Octobre | P = .236 H + 201 | 23.6 |
| Novembre | P = .186 H + 11 | 18.6 |
| Décembre | P = .053 H + 168 | 5.3 |
| Janvier 1981 | P = .269 H + 56 | 26.9 |

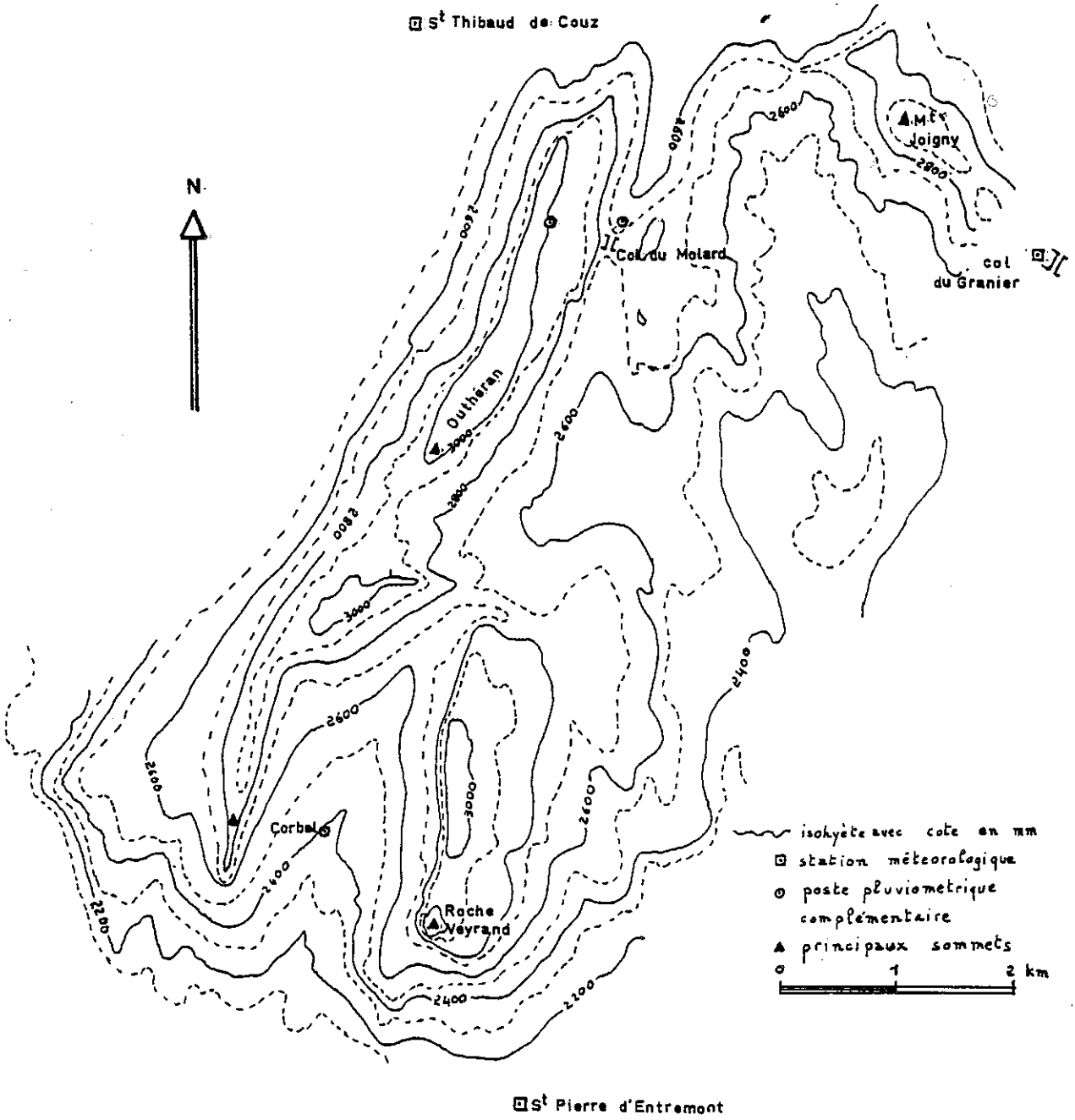
Les effets d'orages très locaux, ne concernant qu'une partie du relief, comme j'ai pu l'observer, sont peut-être à l'origine des gradients négatifs. Ces gradients négatifs n'ont heureusement jamais de valeurs absolues élevées.

### e- *Carte pluviométrique et conclusion.*

. L'aboutissement d'une étude des précipitations est l'établis-

FIG 8

# CARTE PLUVIOMETRIQUE (Fevrier 1980 - Janvier 1981)



sement d'une carte pluviométrique. Cette carte, construite par la méthode des isohyètes, se trouve à la figure n° 8.

Par manque de points de mesure, le passage de la zone Nord à la zone Sud, plus pluvieuse n'a pu être établi avec certitude.

. Pour la période d'étude, le gradient altimétrique moyen annuel est de 64% plus élevé que celui obtenu sur la période des 20 dernières années pour les mêmes stations de mesure. Ce fait est peut-être à relier avec la quantité des précipitations durant cette période d'étude. En tout cas il nous montre que la généralisation d'un gradient sur une période autre que celle où il a été établi serait une erreur.

. Les mesures sur les tubes totalisateurs n'ont pu être effectuées qu'avec une précision ne dépassant pas 10mm.

. Devant la difficulté d'estimer le volume des précipitations, nous adjoindrons à nos mesures un coefficient d'erreur relative de 10%.

. Par la méthode des gradients définis pour nos deux zones, nous pouvons estimer les précipitations sur nos bassins versants.

| | Altitude moyenne en m | Précipitations F.1980 - J.1981 |
|---|---|---|
| Secteur NW de la Chartreuse | 1087 | 2550mm |
| Bassin versant géographique du Cozon | 1155 | 2620mm |
| Bassin versant réel du Cozon | 1125 | 2590mm |
| Bassin versant géographique La Fracette | 1150 | 2710mm |
| Bassin versant réel La Fracette | 1135 | 2690mm |

## III. LES TEMPERATURES.

### III.1. Les données antérieures à 1980 :

*a- Le Couvent.*

Voici les résultats fournis par la Météorologie Nationale pour cette station :

Moyenne annuelle en °C.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1961 | 8.8 | 1966 | 7.8 | 1971 | 7.8 | 1976 | 8.0 |
| | | 1962 | 7.0 | 1967 | 8.0 | 1972 | 7.7 | 1977 | 8.0 |
| | | 1963 | 6.9 | 1968 | 7.7 | 1973 | 7.3 | 1978 | 7.3 |
| 1959 | 8.7 | 1964 | 8.1 | 1969 | 7.3 | 1974 | 7.5 | 1979 | 7.7 |
| 1960 | 7.7 | 1965 | 7.2 | 1970 | 7.3 | 1975 | 7.6 | 1980 | 6.7 |

Température moyenne : 7.6°C

Moyennes mensuelles sur cette période.

| J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .1 | 1.2 | 2.1 | 5.8 | 10.2 | 13.5 | 15.9 | 15.5 | 13.1 | 9.0 | 3.9 | .6 |

b- *Saint Thibaud de Couz.*

Cette station a fonctionné du 1er octobre 1938 au 16 juin 1947 à l'altitude 525m puis du 16 juin 1947 au 31 octobre 1952 à 500m d'altitude.

| 1939 | 1940 | 1941 | 1942 | 1943 | 1944 | 1945 | 1946 | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8.96 | 7.61 | 7.71 | 9.18 | 8.70 | 7.61 | 8.35 | 8.76 | 9.41 | 9.14 | 8.75 | 8.54 |

soit pour H = 520m une moyenne de 8.56°C.

Et nous aurons en moyenne mensuelle pour la même période (1939-1946, 1948-1951).

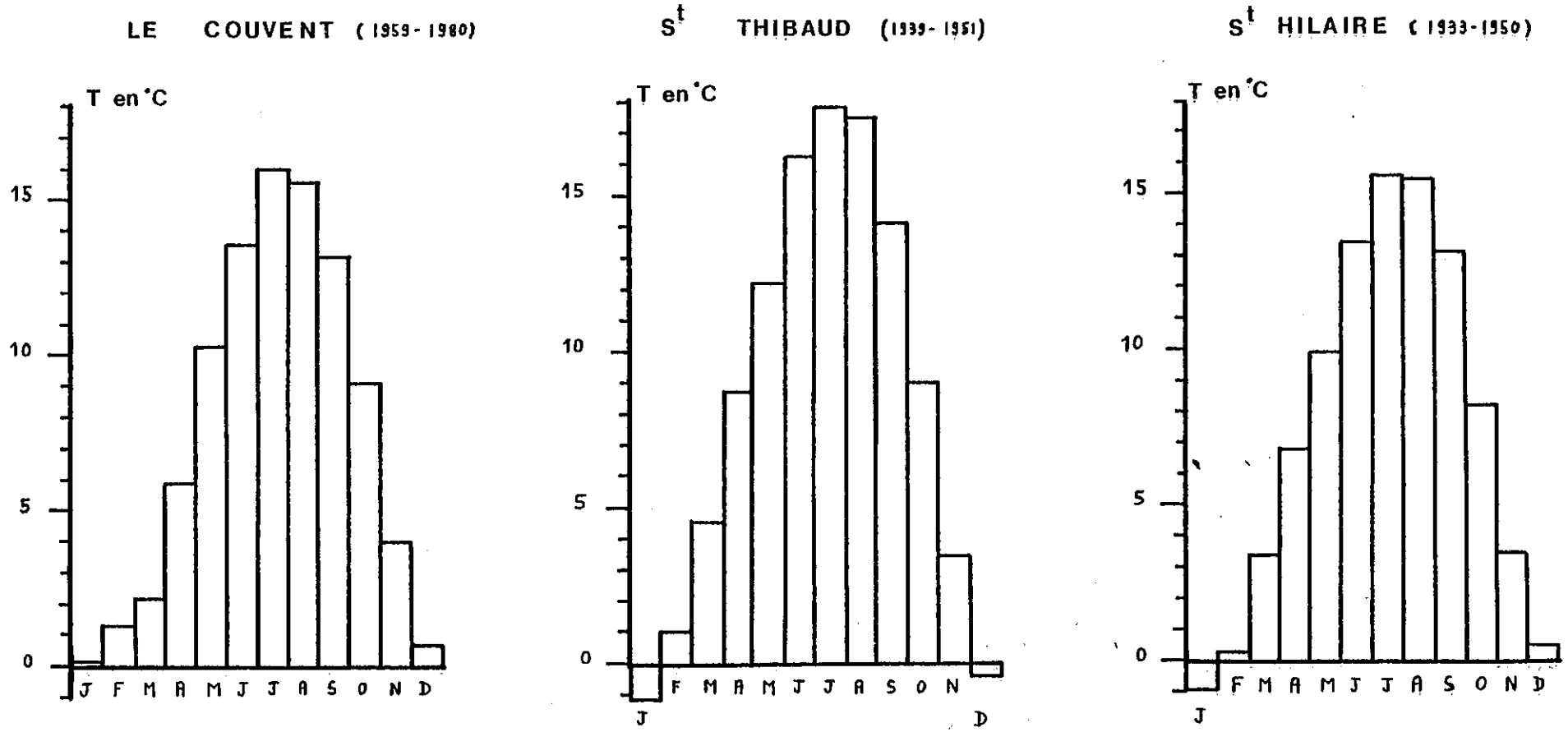
| J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -1.15 | .97 | 4.53 | 8.72 | 12.16 | 16.17 | 17.67 | 17.47 | 14.14 | 8.96 | 3.44 | -0.41 |

Comme nous le montre la planche n° 7, les variations entre les stations sont similaires, le mois de janvier est le plus froid, juillet le plus chaud pour les deux stations.

La station au Couvent semble subir un hiver moins rigoureux, et se trouve alors à des températures supérieures à celles de Saint Thibaud. Il y a durant les mois froids une inversion du gradient.

# TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES

PL 7



Grâce à une corrélation avec la station de Saint Hilaire du Touvet qui fonctionne depuis 1933, nous pourrons retrouver les températures à Saint Thibaud pour 1980 et notre année d'étude. Les relevés ont été effectués au Sanatorium de 1933 à 1962 (altitude : 1150m) puis par la Météorologie Nationale aux Gaudes depuis 1969 (altitude : 970m).

Voici les résultats pour la période étudiée.

| 1939 | 1940 | 1941 | 1942 | 1943 | 1944 | 1945 | 1946 | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.8 | 6.6 | 6.4 | 7.1 | 8.2 | 6.7 | 8.1 | 7.3 | 7.9 | 8.3 | 7.8 | 7.3 |

Soit pour une altitude de 1150m une moyenne de 7.4°C.
Les moyennes annuelles pour 1933-1950 sont celles-ci (cf. J.P. Bozonnat).

| J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| -0.9 | 0.3 | 3.4 | 6.8 | 9.9 | 13.4 | 15.6 | 15.5 | 13.1 | 8.2 | 3.5 | 0.5 |

pour une moyenne annuelle de 7.4°C.

Juillet est également le mois de plus chaud et janvier le plus froid. Le coefficient de corrélation entre Saint Thibaud et Saint Hilaire pour les données annuelles est de r = 0.89. La planche n° 8 nous donne la représentation graphique de ces corrélations. Pour les températures moyennes annuelles l'équation de la droite de corrélation est

$$y = 0.84\ x + 2.37$$

avec x = température moyenne annuelle à Saint Hilaire Sanatorium (1150m) ;
et y = température moyenne annuelle à Saint Thibaud (520m).

## III.2. L'année 1980 et notre période d'étude :

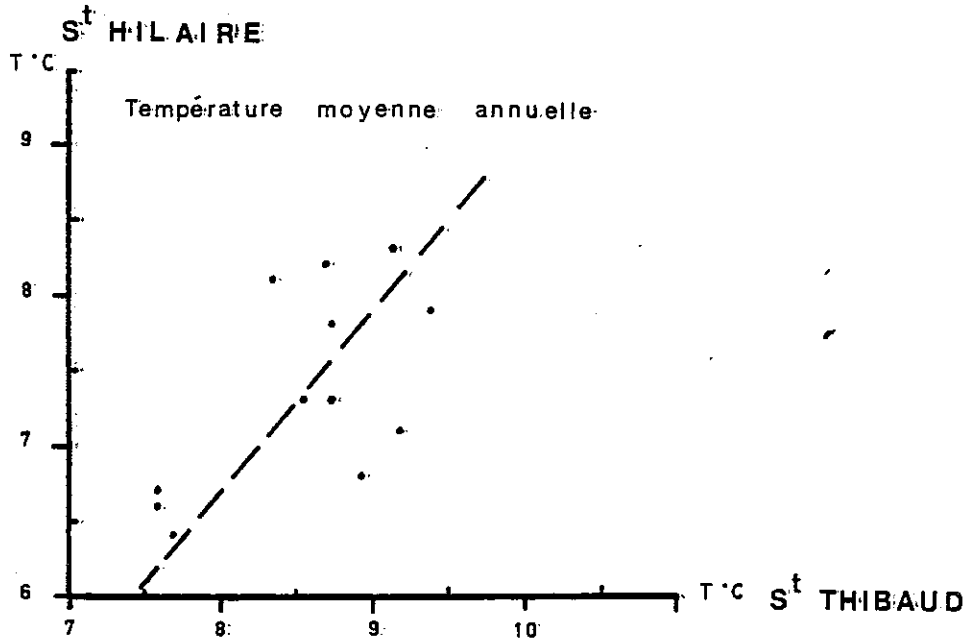
### *a- Les données annuelles.*

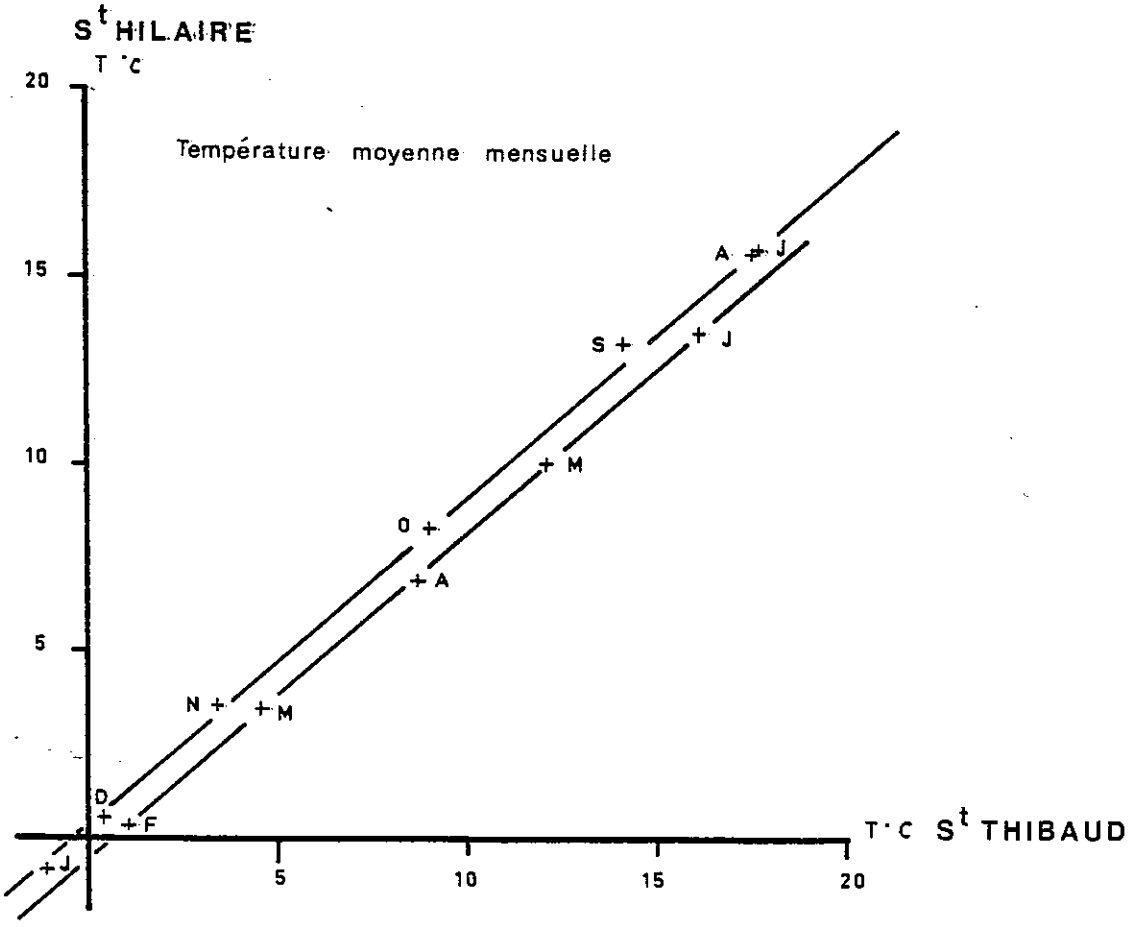
| Station | altitude (m) | 1980 | Fév.1980 - Janv.1981 |
|---|---|---|---|
| Col du Granier | 1140 | 5.3°C | 5.3°C |
| St Hilaire du Touvet | 970 | 7.4°C | 7.1°C |
| Le Couvent | 945 | 6.7°C | 6.6°C |
| Challes-les-Eaux | 291 | 9.5°C | 9.3°C |

L'année 1980 et encore plus notre année d'étude sont des années exceptionnellement froides.

# CORRELATION ENTRE LES STATIONS THERMOMETRIQUES DE S^T HILAIRE ET S^T THIBAUD

PL 8



Elles se classent premières pour les 22 années de mesures au Couvent.

Elles se classent troisièmes années les plus froides pour les 35 années de mesures à Challes-les-Eaux.

Elles se classent première et deuxième pour la station de Saint Hilaire-Sanatorium sur les 42 années de mesures effectuées (pour cette station afin de pouvoir comparer les valeurs, nous avons corrigé la température aux Gaudes par le gradient d'Angot arrondi au dixième de degré. Soit : - 0.5°C pour 100m).

La corrélation entre Saint Hilaire et Saint Thibaud permet de calculer les valeurs suivantes pour cette dernière.

T moyenne annuelle 1980 :
Saint Hilaire-Sanotorium : T= 6.5°C d'où Saint Thibaud : T= 7.8°C.

T moyenne annuelle (février 1980 - janvier 1981)
Saint Hilaire-Sanatorium : T= 6.2°C d'où Saint Thibaud : T= 7.6°C

. Gradient altimétrique annuel moyen.

Rappelons les données concernant notre terrain.

| Station | Altitude | Température Fév.1980-Janv.1981 |
|---|---|---|
| Col du Granier | 1140m | 5.3°C |
| Le Couvent | 945m | 6.6°C |
| Saint Thibaud | 520m | 7.6°C |

La régression linéaire température-altitude laisse apparaître un gradient altimétrique annuel moyen de -0.43°C/100m pour notre période d'étude. Il faut remarquer que la station du Couvent semble jouir d'une température élevée pour son altitude.

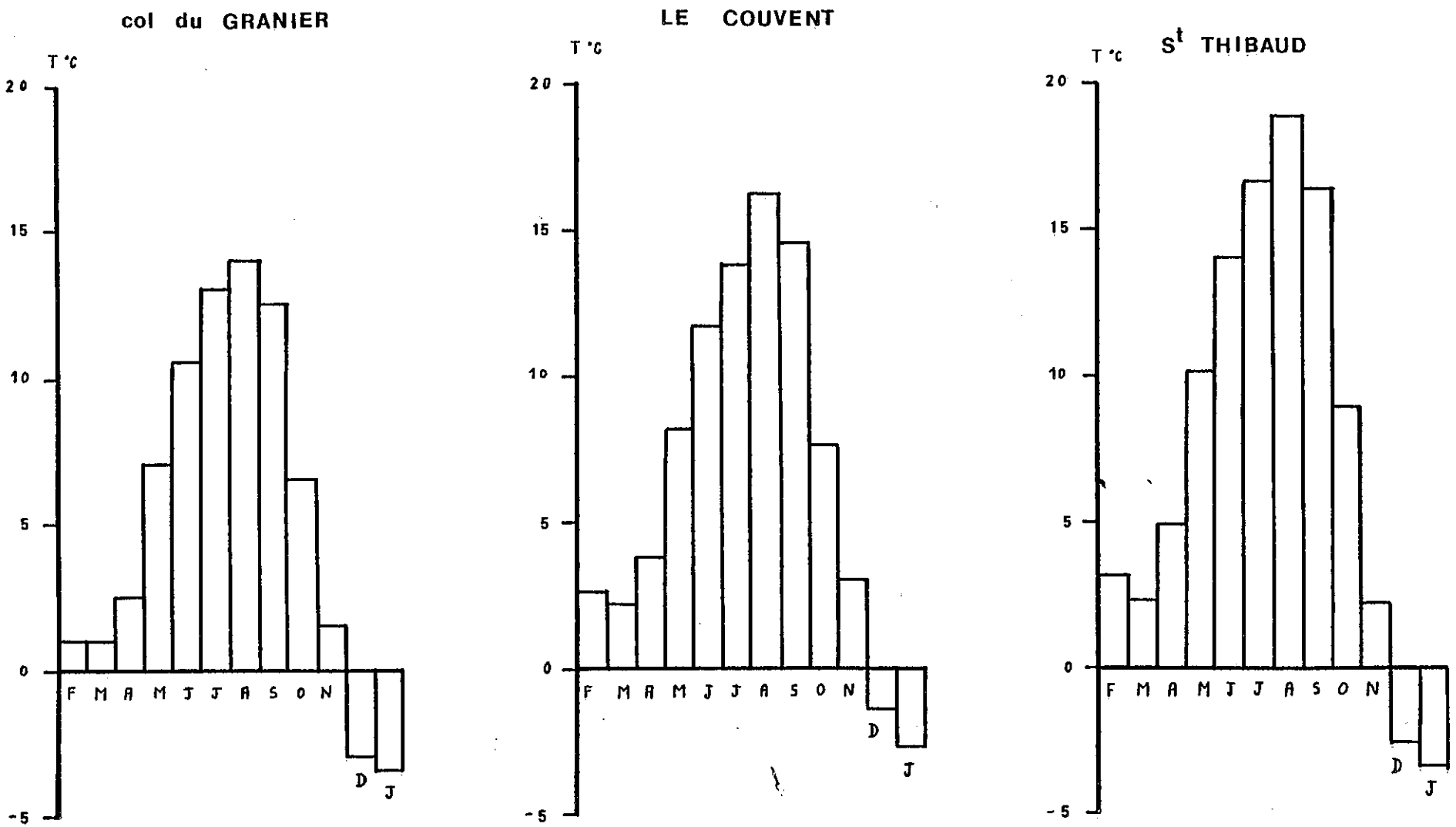
b- *Les données mensuelles.*

On peut dresser le tableau suivant :

| | Col du Granier | Le Couvent | Saint Thibaud * |
|---|---|---|---|
| Janvier 1980 | - 3.0 | - 1.3 | - 1.6 |
| Février | 1.0 | 2.6 | 3.2 |
| Mars | 1.0 | 2.2 | 2.3 |
| Avril | 2.5 | 3.8 | 4.9 |
| Mai | 7.0 | 8.2 | 10.1 |
| Juin | 10.5 | 11.7 | 14.0 |
| Juillet | 13.0 | 13.8 | 16.6 |
| Août | 14.0 | 16.2 | 18.8 |
| Septembre | 12.5 | 14.5 | 16.3 |
| Octobre | 6.5 | 7.6 | 8.9 |
| Novembre | 1.5 | 3.0 | 2.2 |
| Décembre | - 3.0 | - 1.4 | - 2.6 |
| Janvier 1981 | - 3.5 | - 2.7 | - 3.4 |

* Valeurs obtenues par corrélation avec Saint Hilaire du Touvet.

# TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES (F 1980-J 1981) PL 9



Tous les mois sont déficitaires par rapport aux moyennes sur les années précédentes à part février et septembre. Ainsi le refroidissement a été général sur toute l'année. Le Couvent a enregistré des valeurs négatives durant les mois d'hiver, malgré l'effet d'amortissement des températures extrêmes qui joue sur cette station.

A partir de ces trois stations nous pouvons calculer le gradient altimétrique mensuel moyen pour notre période d'étude.

| J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .44 | .44 | .28 | .44 | .52 | .57 | .55 | .84 | .69 | .42 | .23 | .20 | .08 |

pour 100 mètres.

c- *Conclusion.*

Rappelons que l'année 1981 et notre période d'étude ont été des années exceptionnellement froides.

Les températures au col du Granier, de par l'appareillage enregistreur, ne peuvent être données qu'avec une précision de 0.5°C. Nous garderons cette valeur comme erreur relative sur les températures.

En appliquant le gradient altimétrique annuel moyen (-0.43°C/100m), nous pouvons calculer la température annuelle sur nos bassins versants pour la période étudiée : F. 1980 - J. 1981.

| | Secteur NW de la Chartreuse | LE COZON | | LA FRACETTE | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | B.V. géographique | B.V. réel | B.V. géographique | B.V. réel |
| Altitude (m) | 1087 | 1155 | 1125 | 1150 | 1135 |
| Température (°C) | 5.5 | 5.2 | 5.4 | 5.3 | 5.3 |

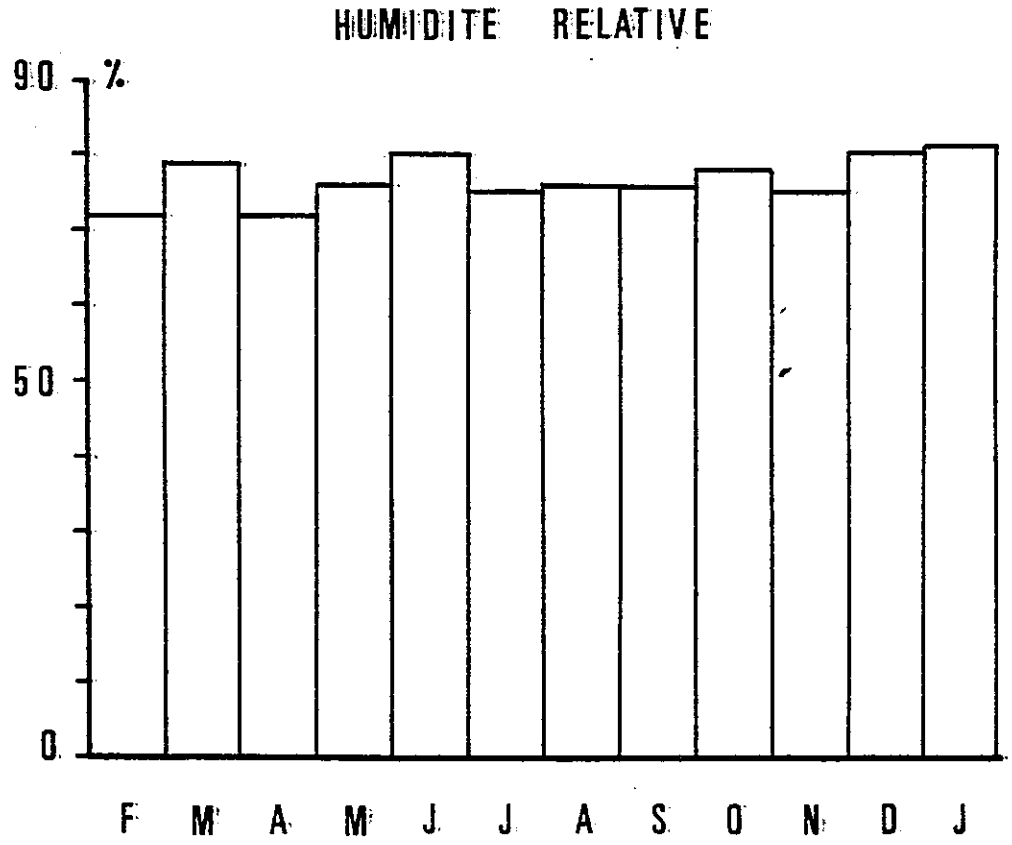
## IV. HYGROMETRIE.

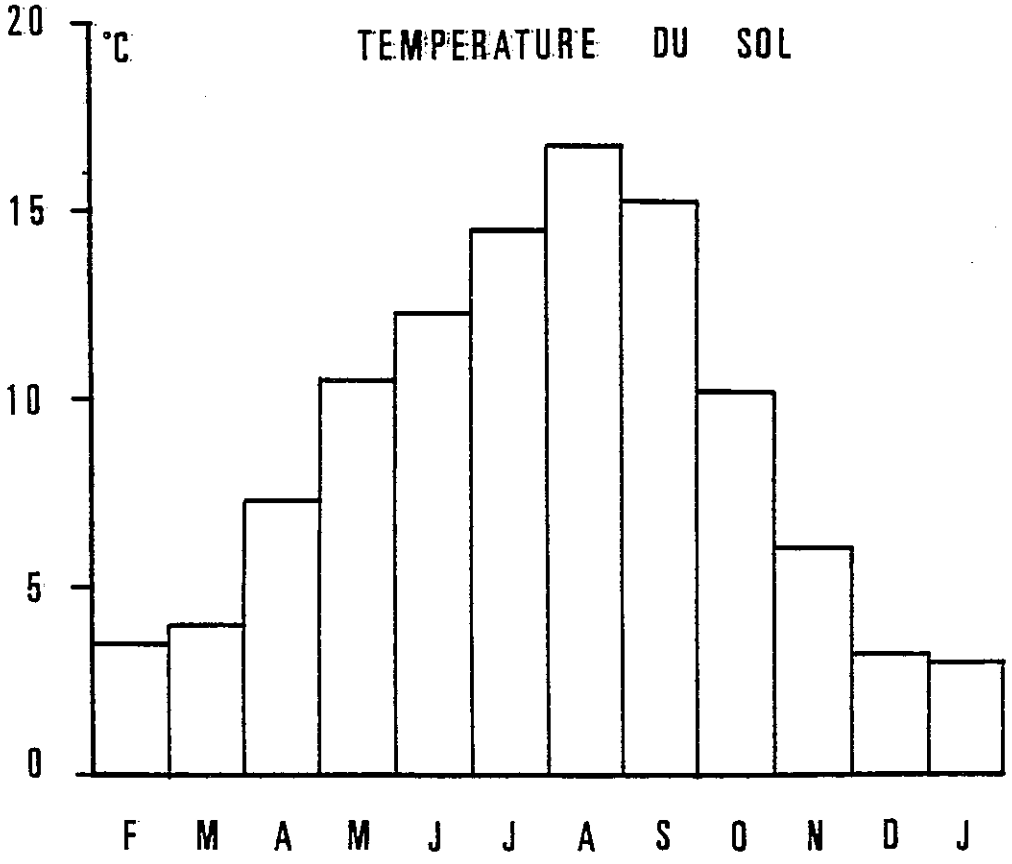
Les enregistrements de l'humidité relative au col du Granier ont permis d'établir les valeurs mensuelles, exprimées en % de saturation.

| F 1980 | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J 1981 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 72 | 79 | 72 | 76 | 80 | 75 | 76 | 76 | 78 | 75 | 80 | 81 |

# COL DU GRANIER (F1980-J1981)

PL 10



La station du col est très humide. Il est fréquent de trouver du brouillard à cette station, alors qu'il n'y en a pas ou plus dans le reste de notre terrain. Il ne faut donc pas généraliser ces valeurs qui sont trop élevées.

Les variations mensuelles ne sont pas significatives.

## V. LA TEMPERATURE DU SOL.

Voici, à un mètre de profondeur, la température du sol au col du Granier.

| F 1980 | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J 1981 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.5 | 4.0 | 7.25 | 10.5 | 12.25 | 14.5 | 16.75 | 15.25 | 10.25 | 6.0 | 3.25 | 3.0 |

Moyenne annuelle : 9.0°C

Les variations de température sont synchrones avec celles de l'air.

## VI. L'EVAPOTRANSPIRATION.

De nombreux auteurs ont tenté de quantifier l'évaporation ou l'évapotranspiration à partir d'un sol, ou d'un sol et de sa végétation.

Nous ne retiendrons que les trois formules qui semblent être les plus proches de la réalité, compte tenu des conditions climatiques régnant sur notre terrain.

Les calculs ont été directement effectués, après correction d'altitude, pour donner l'évapotranspiration sur nos différents bassins versants.

Nous avons également utilisé les mêmes formules pour la station du Couvent (Saint Pierre de Chartreuse) afin de replacer notre année d'étude par rapport aux années précédentes.

### VI.1. Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc :

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \qquad \text{avec } L = 300 + 25\,T + 0{,}05\,T^3$$

Soit E : évapotranspirtation en mm pour l'année considérée.
P : pluviométrie annuelle en mm.
T : température moyenne annuelle en °C.

| | SECTEUR NW DE LA CHARTREUSE | LE COZON | | LA FRACETTE | | LE COUVENT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B.V. géographique | B.V. réel | B.V. géographique | B.V. réel | F. 1980 J. 1981 | 1959-1978 |
| Altitude (m) | 1087 | 1155 | 1125 | 1150 | 1135 | 945 | 945 |
| Précipitation | 2550 | 2620 | 2590 | 2710 | 2690 | 2485 | 1992 |
| Température | 5.5 | 5.2 | 5.4 | 5.3 | 5.3 | 6.6 | 7.7 |
| Evapotranspiration | 440 (17%) | 432 (16%) | 437 (17%) | 435 (16%) | 435 (16%) | 472 (19%) | 502 (25%) |

Les pourcentages représentent les rapports entre l'évapotranspiration et les précipitations.

## VI.2. Evapotranspiration réelle ou le déficit d'écoulement selon la formule de Coutagne :

Pour des précipitations annuelles supérieures à 960mm on peut écrire :

$$D = P - \lambda P^2 \qquad \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14\ T}$$

D : déficit d'écoulement en m/an.
P : pluviométrie annuelle en m/an
T : température moyenne annuelle en °C.

Mais il faut que : $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$

Dans notre cas $P > \frac{1}{2\lambda}$. Coutagne propose alors une autre formule :

$D = 0{,}200 + 0{,}035\ T$

Nous pouvons dresser le tableau suivant :

| | SECTEUR NW DE LA CHARTREUSE | LE COZON | | LA FRACETTE | | LE COUVENT | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B.V. géographique | B.V. réel | B.V. géographique | B.V. réel | F. 1980 J. 1981 | 1959-1978 |
| Déficit d'écoulement (mm) | 393 (15%) | 382 (15%) | 389 (15%) | 386 (14%) | 386 (14%) | 431 (17%) | 469 (24%) |

## VI.3. Evapotranspiration potentielle selon la méthode de Thorntwhaite :

L'évapotranspiration est calculée dans ce cas mois par mois en fonction de la température.

$$ETP = 16 \left[10\ \frac{t}{I}\right]^a$$

ETP : évapotranspiration potentielle en mm pour le mois considéré.
t : température moyenne mensuelle en °C.
a : $0{,}49239 + 1792.10^{-5} I - 771.10^{-7} I^2 + 675.10^{-9} I^3$.
I : $\sum_{i=1}^{i=12} i \qquad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$

Les valeurs mensuelles de l'évapotranspiration ainsi calculées sont à corriger par un facteur K, tenant compte de la latitude.

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K | .79 | .81 | 1.02 | 1.13 | 1.29 | 1.31 | 1.32 | 1.22 | 1.04 | .94 | .79 | .74 |

Les valeurs ainsi corrigées sont celles portées dans le tableau suivant :

| | | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | J | ANNEE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Notre secteur d'étude | T°C | | 1.2 | 1.1 | 2.7 | 7.3 | 10.8 | 13.3 | 14.5 | 12.9 | 6.7 | 1.6 | -2.9 | -3.5 | (20%) 500 |
| | ETP | | 8 | 9 | 23 | 58 | 81 | 98 | 98 | 75 | 40 | 10 | - | - | |
| B.V. géographique du COZON | T°C | | 1.0 | 1.0 | 2.5 | 6.9 | 10.4 | 12.9 | 13.9 | 12.4 | 6.5 | 1.5 | -3.0 | -3.5 | (19%) 490 |
| | ETP | | 7 | 9 | 21 | 57 | 81 | 96 | 95 | 74 | 40 | 10 | - | - | |
| B.V. réel du COZON | T°C | | 1.1 | 1.0 | 2.6 | 7.2 | 10.7 | 13.2 | 14.2 | 12.7 | 6.6 | 1.5 | -3.0 | -3.5 | (19%) 501 |
| | ETP | | 8 | 9 | 21 | 58 | 83 | 99 | 98 | 76 | 40 | 9 | - | - | |
| B.V. géographique de la FRACETTE | T°C | | 1.0 | 1.0 | 2.5 | 7.0 | 10.5 | 13.0 | 14.0 | 12.5 | 6.5 | 1.5 | -3.0 | -3.5 | (18%) 497 |
| | ETP | | 7 | 9 | 21 | 58 | 82 | 98 | 97 | 75 | 40 | 10 | - | - | |
| B.V. réel de la FRACETTE | T°C | | 1.0 | 1.0 | 2.5 | 7.0 | 10.5 | 13.0 | 14.0 | 12.5 | 6.5 | 1.5 | -3.0 | -3.5 | (18%) 497 |
| | ETP | | 7 | 9 | 21 | 58 | 82 | 98 | 97 | 75 | 40 | 10 | - | - | |
| LE COUVENT F.1980 - J.1981 | T°C | | 2.6 | 2.2 | 3.8 | 8.2 | 11.7 | 13.8 | 16.2 | 14.5 | 7.6 | 3.0 | -1.4 | -2.7 | (22%) 547 |
| | ETP | | 13 | 15 | 26 | 60 | 84 | 98 | 105 | 81 | 41 | 24 | - | - | |
| LE COUVENT 1959 - 1978 | T°C | .2 | 1.1 | 3.0 | 6.0 | 10.2 | 13.5 | 16.0 | 15.5 | 13.1 | 9.1 | 4.0 | .6 | - | (29%) 571 |
| | ETP | 1 | 5 | 17 | 37 | 70 | 93 | 110 | 99 | 72 | 46 | 18 | 3.0 | - | |

Les valeurs ainsi obtenues sont celles de l'évapotranspiration potentielle, il est donc normal qu'elles soient légèrement supérieures aux valeurs issues des deux méthodes précédentes. Thornthwaite développe à partir de l'évapotranspiration potentielle un calcul pour obtenir l'évaporation réelle. Du fait des fortes précipitations, et donc de réserves en eaux abondantes et toujours disponibles, on aboutit à une évapotranspiration maximale, c'est-à-dire égale à l'évapotranspiration potentielle. Nos valeurs restent inchangées.

## VI.4. Conclusion sur l'évapotranspiration :

La période d'étude est caractérisée du point de vue climatique par une température exceptionnellement basse et des précipitations très fortes. Il en résulte une chute spectaculaire de la valeur de l'évapotranspiration exprimée en pourcentage.

On passe selon la méthode de 24 à 29% pour une année moyenne à 17 à 22% pour la période d'étude. Nous pouvons nous demander si ces valeurs extrêmement basses reflètent bien la réalité. Les conditions climatiques exceptionnelles sont peut être en dehors du domaine de validité de ces formules qui sont établies empiriquement à partir de moyennes de différentes valeurs.

La plupart des auteurs considèrent que la formule de Turc est la plus appropriée pour nos massifs subalpins occidentaux. C'est aussi notre

avis pour les années moyennes. Pour notre période d'étude, nous aurions suivant cette méthode une valeur de 16 à 17%, anormalement basse. Afin de limiter cet effet, nous prendrons les valeurs maximales calculées sur l'année d'étude, c'est-à-dire celles établies à partir de la formule de Thornthwaite (18 à 19%). Nous sommes confortés dans cette opinion par les travaux de J.P. Bozonnat (1980). A la suite d'une étude sur une case lysimétrique installée à la bordure Est de la Chartreuse, il écrit au sujet du déficit d'écoulement : *"Pour chaque cycle on peut trouver la méthode qui convient le mieux : Thornthwaite lorsque la pluviométrie est forte, Turc et Coutagne pour des années normales ou déficitaires"*.

Nous avons vu la difficulté pour quantifier l'évapotranspiration. Il est couramment admis un pourcentage d'erreur relative de 20%.

Le tableau ci-dessous nous donne les valeurs estimées de l'évapotranspiration pour la période février 1980 - janvier 1981.

| SECTEUR NW de la CHARTREUSE | B.V. du COZON | | B.V. de la FRACETTE | |
|---|---|---|---|---|
| | géographique | réel | géographique | réel |
| 500 ± 100 mm | 490 ± 98 mm | 501 ± 100 mm | 497 ± 99 mm | 497 ± 99 mm |

Enfin, un dernier élément n'a pas été abordé concernant l'évaporation, il s'agit d'un phénomène de sublimation. Durant la période enneigée, une certaine quantité de neige passe directement de l'état solide à l'état gazeux, sans passer par la fonte. Ce phénomène peut se produire à des températures inférieures à zéro degré Celsius.

Les formules de calcul de l'évapotranspiration utilisées précédemment sont des formules statistiques établies à partir de bilan sur des bassins versants rarement situés en montagne. La neige et sa sublimation n'ont qu'un effet négligeable sur leurs bilans. En Chartreuse, les précipitations abondantes donnent sur nos bassins versants situés en altitude un épais manteau neigeux. Le coefficient nivométrique annuel au Couvent est de 0,33 pour la période 1961-1976. Il est probablement légèrement plus élevé pour l'année d'étude (F. 1980 - J. 1981). Sur nos bassins versants de montagne, la sublimation à partir de la neige est un élément qu'il faut prendre en compte. Elle prend en tous cas une importance beaucoup plus grande que celle qu'elle pouvait avoir sur les bassins versants où les formules statistiques d'évapotranspiration ont été établies. La valeur de la sublimation est donc à ajouter à celle de l'évapotranspiration.

Par l'étude du bilan hivernal, J.P. Bozonat (1980) trouve pour les hauts plateaux orientaux de Chartreuse une valeur de l'ordre de 14% par rapport aux précipitations. B. Talour (1976) par la même méthode sur le bassin versant du Guiers Mort donne une valeur de 4% mais il opte finalement pour une sublimation équivalente à 7% des précipitations correspondantes. Fitzgérald donne 15mm mensuels pour la sublimation, mais pouvant aller jusqu'à 50mm par mois sous un vent de 2 m/s. Nous prendrons quand à nous une valeur moyenne correspondant à 10% des précipitations de cette période. Nous considérons que la couverture nivale est continue sur nos bassins versants de novembre à mars. On obtient les valeurs suivantes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Secteur NW de La Chartreuse | | P = 1140mm | Sublimation = 114mm |
| Bassin versant du Cozon | Géo. | P = 1178mm | Sublimation = 118mm |
| | Réel | P = 1170mm | Sublimation = 117mm |
| Bassin versant de la Fracette | Géo. | P = 1210mm | Sublimation = 121mm |
| | Réel | P = 1200mm | Sublimation = 120mm |

Il faut ajouter ces valeurs à celles de l'évapotranspiration. Nous avons alors comme valeurs définitives

| SECTEUR NW de la CHARTREUSE | B.V. du COZON | | B.V. de la FRACETTE | |
|---|---|---|---|---|
| | géographique | réel | géographique | réel |
| $E_T$= 614 ± 100mm | 608 ± 98mm | 618 ± 100mm | 618 ± 99mm | 617 ± 99mm |

## VII. CONCLUSION SUR L'ETUDE CLIMATIQUE.

- La Chartreuse est le massif subalpin occidental le plus arrosé, il reçoit de plein fouet les précipitations venues de l'Ouest.

- Notre période d'étude a été une année exceptionnelle : particulièrement froide et très pluvieuse.

- Le gradient altimétrique annuel de température : - 0.43°C/100m est faible mais dans l'ordre de grandeur des gradients de ce type observés dans les autres massifs subalpins : - 0.39°C/100m à - 0.69°C/100m selon les massifs et les périodes.

- Le gradient altimétrique annuel moyen de précipitation sur les 20 dernières années (+ 68mm/100m) est aussi dans la "fourchette" des autres massifs similaires : + 65mm/100m à 90mm/100m selon les massifs et les périodes.

Les conditions climatiques ont porté sur la période étudiée ce gradient à la valeur de 111mm/100m.

Le même phénomène a été observé par B. de Sartiges (1978) dans la région d'Evian durant le cycle juillet 1977 - juin 1978. Cette période très pluvieuse par rapport à la moyenne de la région a vu passer le gradient de 81mm/100m (moyenne sur 1963-1977) à 113mm/100m.

- Ces conditions climatiques ont eu aussi un effet sur l'évapotranspiration qui subit les températures anormalement basses. Il y a baisse de la quantité d'eau évapotranspirée, même en valeur absolue, alors que le stock, c'est-à-dire les précipitations ont augmenté. Paradoxe observé aussi par B. de Sartiges à la station d'Abondance.

| Station | Altitude | Année moyenne | Année à forte et faible T |
|---|---|---|---|
| Abondance | 1000m | 442mm (29%) | 440mm (24%) |
| Le Couvent | 945m | 502mm (25%) | 472mm (19%) |

Valeurs calculées par la méthode de Turc.

Le secteur NW de la Chartreuse a donc des caractéristiques comparables à celles des autres massifs subalpins. Seule, l'année étudiée, exceptionnelle, le singularise par rapport aux diverses études précédentes.

# DEUXIEME PARTIE

# HYDROGEOLOGIE

# CHAPITRE V

# LES TRACAGES

## I. INTRODUCTION ET METHODOLOGIE.

Les expériences de traçage permettent de préciser les limites des bassins versants et apportent des données sur les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères.

La partie NW du massif de la Chartreuse présente peu de points d'injection favorables à de telles expériences. Aucune perte et réinfiltration des ruissellements superficiels n'a été observée, et les ouvertures souterraines sont rares et toujours sèches.

Deux opérations de traçage ont cependant été entreprises. Nous avons utilisé un traceur fluorescent : l'URANINE. Ce produit n'est pas toxique, il est décelable à des concentrations très faibles : $10^{-11}$ (soit 0,01 mg/m$^3$ d'eau). Présenté sous forme de poudre, nous le diluons dans l'eau sur place. En voici les caractéristiques physico-chimiques :

Produit : Uranine (ou fluoresceïne sodique).
Formule : $C_{20}H_{10}O_5Na_2$
Poids moléculaire : 376
Forme ionique : anion
Solubilité dans l'eau : très bonne
Longueur d'onde d'absorption maximale : 490 nm
Longueur d'onde de fluorescence maximale : 514 nm
Sensibilité photo chimique : forte
Oxydation : sensible
Perte par rétention dans le milieu souterrain : très faible.

Le dépouillement des mesures a été effectué au Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Grenoble, qui nous a obligeamment prêté son matériel. L'appareil utilisé est un spectrofluorimètre Farrand Mark II. Réglé sur la longueur d'onde correspondant au produit recherché, il peut, par émission et absorption des radiations fluorescentes sur l'échantillon, détecter une concentration minimale de $10^{-10}$ kg/l.

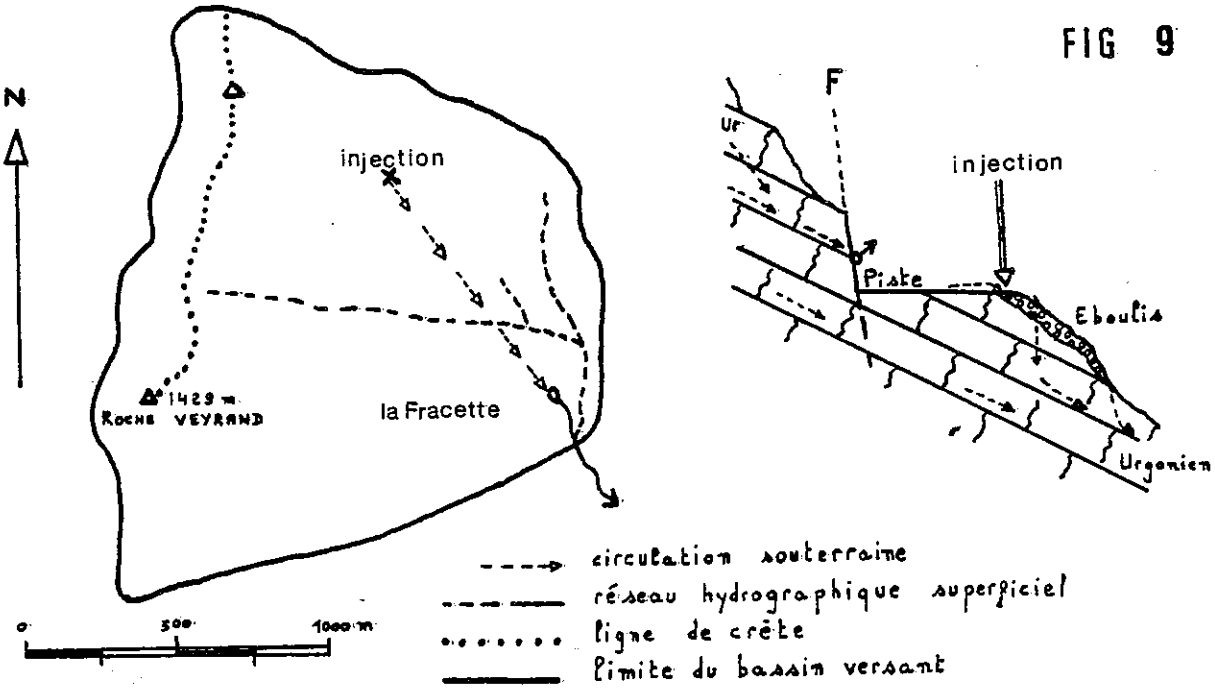
## II. LE TRACAGE DE ROCHE VEYRAND.

### II.1. Le but du traçage :

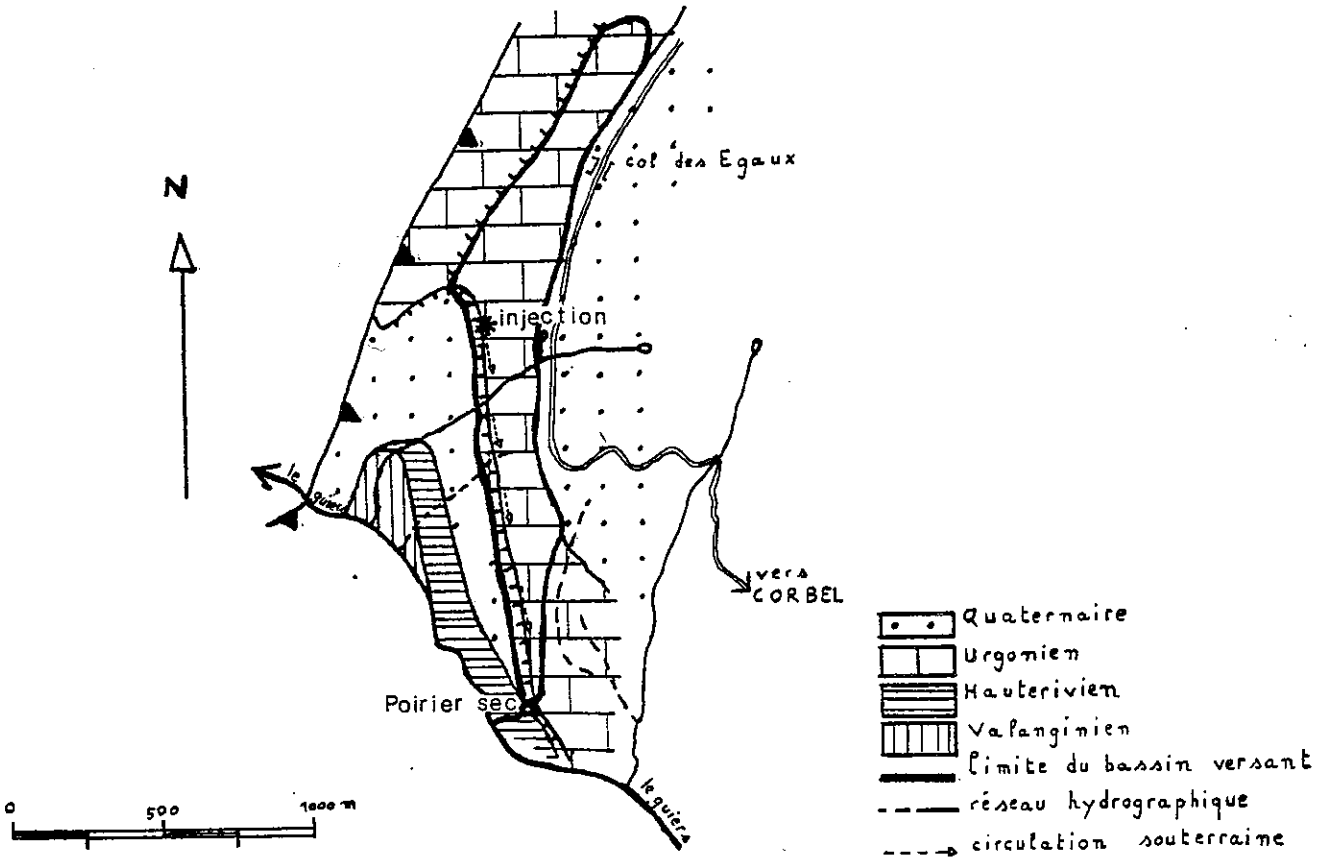
Un petit cours d'eau temporaire draine topographiquement le bassin versant de la source karstique de la Fracette. Ce réseau hydrographique

# PLANS DE SITUATION DES TRAÇAGES

FIG 9




_A_ SOURCE DE LA FRACETTE




_B_ SOURCE DE POIRIER SEC

superficiel ne récolte en fait qu'une partie infime des eaux disponibles. Celles-ci sont absorbées directement par le massif et circulent sous terre. C'est pourquoi le ruisseau est à sec à l'étiage, alors que la source est pérenne. Nous avons voulu montrer par un traçage qu'il en est de même en période de crue, alors que le ruisseau n'est pas à sec. Même dans ce cas, toute l'eau est piégée par infiltration vers la source de la Fracette.

### II.2. Mise en oeuvre du traçage :

Il fallait chercher un point du réseau superficiel où injecter, et qui, potentiellement, devrait s'écouler dans le ruisseau. Une piste traverse axialement le massif de Roche Veyrand. Elle passe juste au niveau d'une source, située dans le rocher à la faveur d'une petite faille. Une partie du débit est grossièrement captée, l'autre se réinfiltre directement en contrebas de la piste, dans les éboulis qui masquent le socle calcaire. Le lieu est idéal pour une coloration. Où s'écoulait cette eau ? Topographiquement, elle devrait rejoindre le ruisseau. Ne circulerait-elle pas, comme supposé, souterrainement jusqu'à l'exsurgence karstique de la Fracette ?

Le 20.05.1981, à 10 heures, 850 grammes de fluoresceïne ont été injectés au niveau des éboulis. Le débit, au niveau de l'infiltration, était de 1 l/mn. Nous avons protégé des rayons du soleil le point d'injection à l'aide de deux tôles.

### II.3. Les résultats :

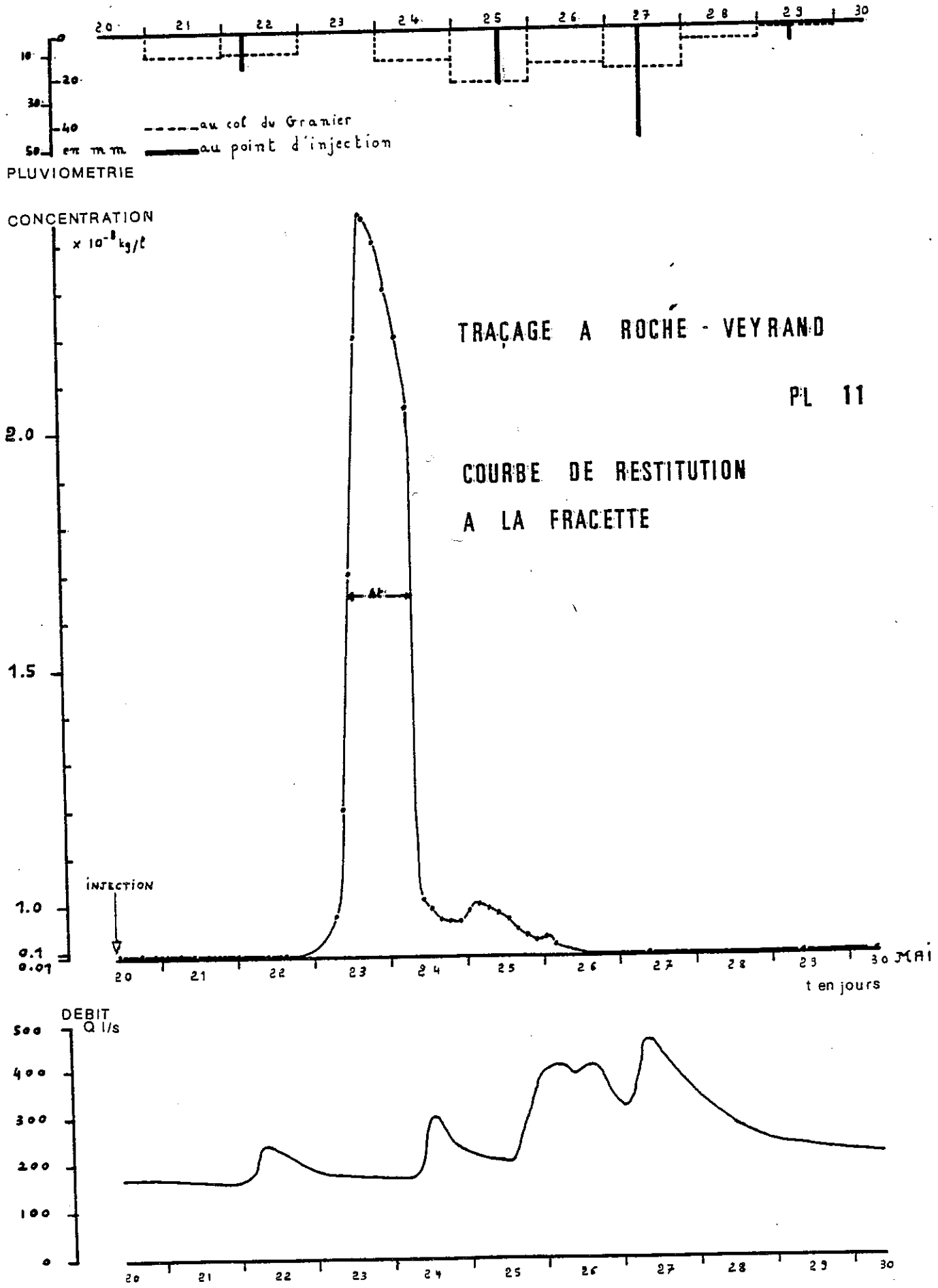
Coordonnées Lambert du point d'injection :
X = 875,150 Y = 354,200 Z = 1210m

Coordonnées Lambert du point de prélèvement :
X = 875,800 Y = 353,550 Z = 750m

Le cours d'eau, où nous avons régulièrement prélevé des échantillons, n'a présenté aucune trace de colorant. Il en est de même pour le ruisseau du Cucheron plus proche torrent situé en dehors du bassin versant. Seule la source de la Fracette a vu ressortir la fluoresceïne. Notre hypothèse est donc vérifiée.

La planche n° 11 nous donne la courbe de restitution à la source. En voici les résultats :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Distance entre le point d'injection et l'exutoire | | : | 1033m. |
| Gradient hydraulique | | : | 0.455 |
| Particules les plus rapides | temps d'arrivée | : | 65h |
| | vitesse | : | 16m/h |
| Particules moyennes | temps modale | : | 80h |
| | vitesse modale | : | 13m/h |
| Particules les plus lentes | temps d'arrivée | : | 146h |
| | vitesse | : | 7m/h |
| Taux de restitution | | : | 69% |


PLUVIOMETRIE
en mm
au col du Granier
au point d'injection
CONCENTRATION
x 10⁻⁸ kg/l
TRAÇAGE A ROCHE - VEYRAND
PL 11
COURBE DE RESTITUTION
A LA FRACETTE
INJECTION
Δt
t en jours
MAI
DEBIT
Q l/s

### II.4. Commentaire sur les renseignements hydrodynamiques fournis par la courbe de restitution :

Les vitesses sont lentes pour des circulations karstiques, surtout avec un tel gradient hydraulique. Cela serait dû au fait que nous n'avons pas pu injecter directement dans le réseau. Nos particules avaient d'abord à s'infiltrer à travers les éboulis, puis à pénétrer dans les bancs calcaires pour enfin rejoindre le collecteur principal. D'où un certain retard.

Malgré un temps de séjour prolongé, propice à la dispersion, nous avons un bon taux de restitution (69%) et un pic bien marqué et relativement resserré ($\Delta t$ = 20h). La courbe est donc bien celle d'une circulation de type karstique, avec seulement un décalage dans le temps. A l'intérieur du karst, les circulations semblent s'effectuer rapidement, dans un réseau largement ouvert, peut-être accompagnées de circulations latérales plus lentes (pic secondaire sur la courbe).

## III. LE TRACAGE DES EGAUX.

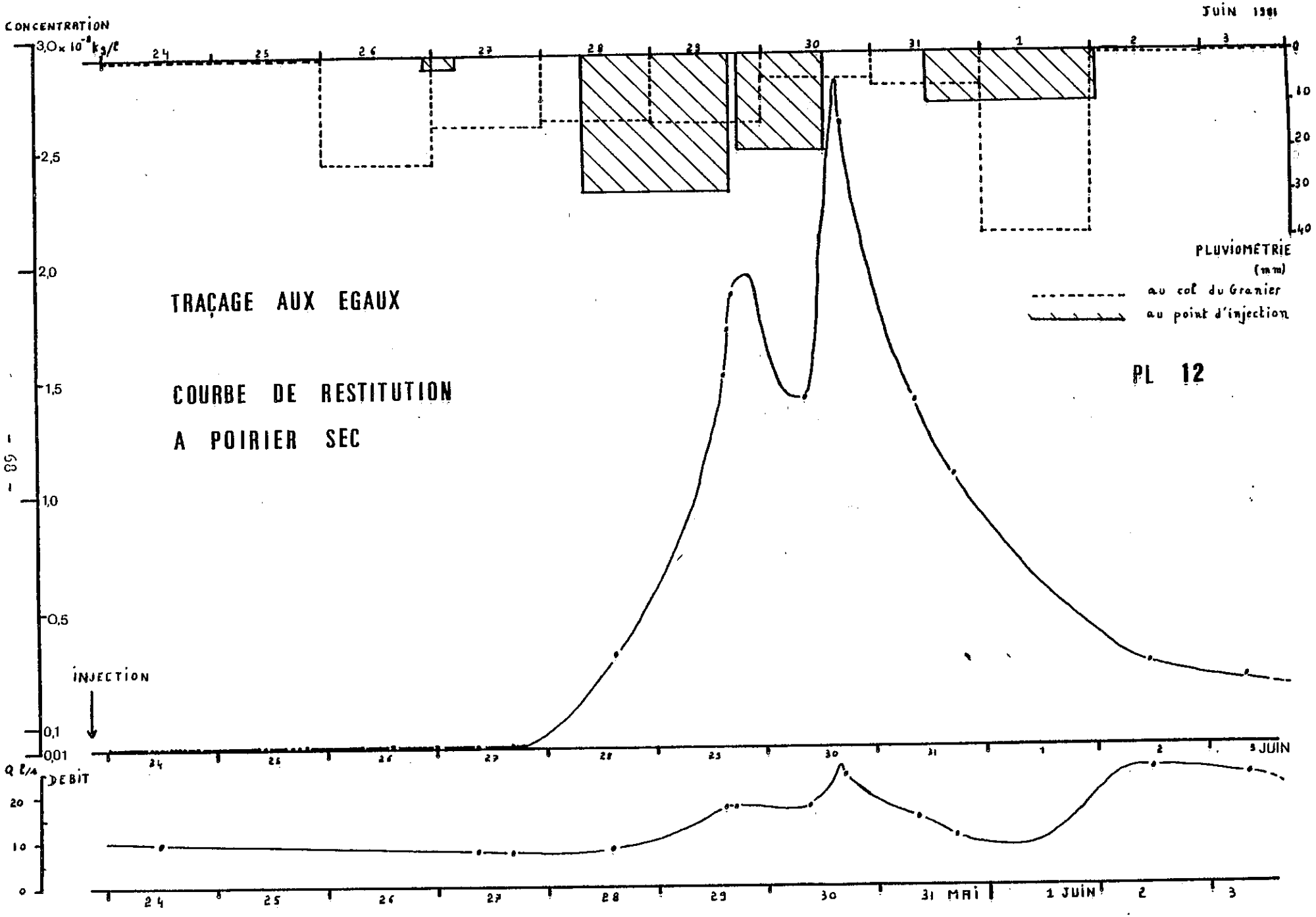
### III.1. Le but du traçage :

Ce traçage a été effectué afin de préciser l'extension d'un minuscule bassin versant karstique situé à l'extrémité occidentale de notre terrain. La barre calcaire urgonienne du col des Egaux plonge vers le Sud et traverse le Guiers Vif au niveau des gorges du Pas du Frou. Là, au pied de la falaise, au contact avec l'Hauterivien, émerge une petite source karstique dont les eaux se jetent 90 mètres plus bas dans le Guiers Vif, en rive droite. C'est la source de Poirier sec. L'enfoncement vers le Sud de la structure laisse supposer que les eaux sont rabattues, depuis le col des Egaux, sur cette source méridionale, et ce, indépendamment du réseau hydrographique superficiel qui recoupe transversalement la structure. Le traçage doit permettre de vérifier cette hypothèse.

### III.2. Mise en oeuvre du traçage :

L'injection a été faite directement dans le rocher, au niveau du hameau des Egaux. La seule ouverture convenable que nous ayons trouvée est une fissure verticale de 3 mètres de profondeur sur 40 centimètres d'ouverture. Cette fissure était malheureusement sèche. C'est ainsi que 770 litres d'eau ont été apportés à dos d'homme depuis une source proche (15mn de marche). Je renouvelle à cette occasion mes remerciements aux camarades qui n'ont pas hésité à venir m'aider.

L'injection de 500 grammes de fluoresceïne entraînée par ces 770 litres d'eau a pu alors avoir lieu le 23.05.1980 à 20h30.


JUIN 1981
CONCENTRATION
3,0 x 10⁻⁸ kg/ℓ
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
0,1
0,01
24
25
26
27
28
29
30
31
1
2
3
0
10
20
30
40
PLUVIOMETRIE
(mm)
au col du Granier
au point d'injection
TRAÇAGE AUX EGAUX
COURBE DE RESTITUTION
A POIRIER SEC
PL 12
INJECTION
3 JUIN
Q ℓ/s
DEBIT
20
10
0
31 MAI
1 JUIN

### III.3. Les résultats :

Point d'injection : les Egaux.
X = 871,463 Y = 354,588 Z = 950m

Point de sortie : source du Poirier sec
X = 871,650 Y = 353,275 Z = 550m

Le colorant est réapparu au bout de 4 jours à la source du Poirier sec. Les deux cours d'eau qui coulent directement depuis les Egaux sur le Guiers, en formant des cascades au passage de la falaise urgonienne n'ont présenté aucune trace du produit. La relation Les Egaux - Poirier sec est vérifiée. Elle permet d'estimer la surface du bassin versant à 0,4 $km^2$.

De la courbe de restitution à la source nous pouvons tirer les valeurs suivantes : (planche n° 12)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Distance entre le point d'injection et l'exutoire | | : | 1410m |
| Gradient hydraulique | | : | 0,284 |
| Particules les plus rapides | temps d'arrivée | : | 99h30' |
| | vitesse | : | 14m/h |
| Particules moyennes : | | | |
| premier pic | temps modale | : | 143h30' |
| | vitesse modale | : | 10m/h |
| deuxième pic | temps modale | : | 163h30' |
| | vitesse modale | : | 9m/h |
| Particules les plus lentes | temps d'arrivée | : | 252h |
| | vitesse | : | 6m/h |
| Taux de restitution | | : | 18% |

### III.4. Commentaires sur les renseignements hydrodynamiques fournis par la courbe de restitution :

Les courbes débit-concentration présentent une simultaneïté parfaite. D'où l'idée que s'il n'y avait pas eu les fortes précipitations des 28 au 30 mai, le traceur ne serait jamais ressorti à l'exsurgence. Jusqu'à ce que les pluies l'aient "lessivé" progressivement, le colorant restait piégé dans les premiers mètres de profondeur de la barre calcaire. Les 770 litres d'eau ont été insuffisants pour l'entraîner jusqu'au réseau dynamique. La forme de la courbe de concentration, très étalée, et le taux de restitution très faible nous renforce dans cette idée.

Deux épisodes pluvieux ont suffi pour rincer tout le terrain. La troisième crue, pourtant plus forte, n'a pas entraîné une augmentation de la concentration : il ne restait plus de traceur dans le réseau.

# CHAPITRE VI

## ETUDE DES DEBITS

Deux stations de mesure ont pu être installées sur notre terrain.

La première, implantée contre le pilier d'un pont, à la Fracette, PC 710m, enregistre les débits de l'exsurgence du même nom. Deux mètres en amont, un cours d'eau conflue avec les eaux venant de la source. Cependant, nous avons vu que ce ru est temporaire, il est notamment à sec pendant l'étiage. L'expérience de traçage a montré que les eaux se réinfiltraient pour ressortir à l'exsurgence. Le cours d'eau superficiel n'entre en action qu'en période de crue. Dans ce cas, son débit ne représente que 3 à 4% de celui de la source. Ce pourcentage est inférieur à la marge d'erreur sur les mesures. Tout le débit peut donc être attribué à la source, l'influence du cours d'eau est négligeable.

La deuxième station est installée à Saint Pierre d'Entremont, PC 640m, sur la rive gauche du ruisseau du Cozon. Elle enregistre ainsi le débit global du Cozon avant sa confluence avec le Guiers.

### I. MESURE DES DEBITS.

#### I.1. Le matériel utilisé :

Les deux limnigraphes installés sur notre terrain proviennent de matériel prêté par E.D.F. Il s'agit dans les deux cas d'enregistreurs de type E.O.B. Bar, réduction 1/5. L'autonomie du système d'horlogerie est de 10 jours maximum. Par l'intermédiaire d'un flotteur, la hauteur d'eau est ainsi enregistrée en continu. Il ne reste plus qu'à tarer l'échelle des hauteurs par des jaugeages ponctuels du débit.

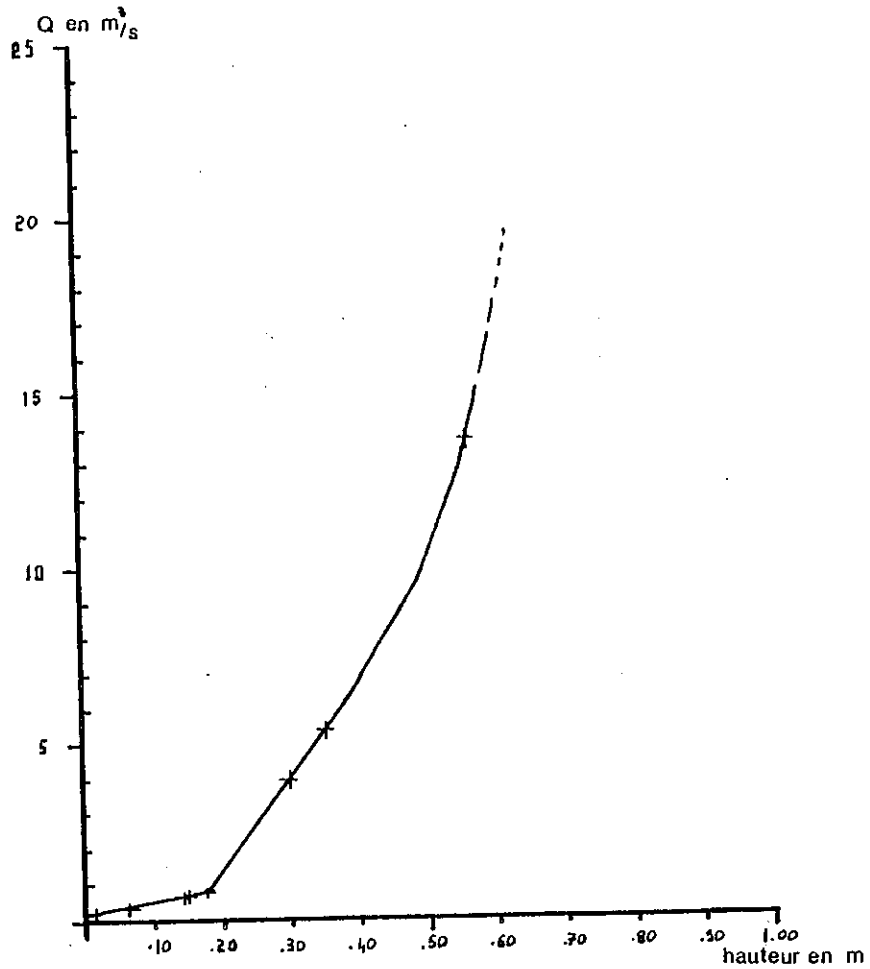
#### I.2. Les jaugeages :

*a- La Fracette.*

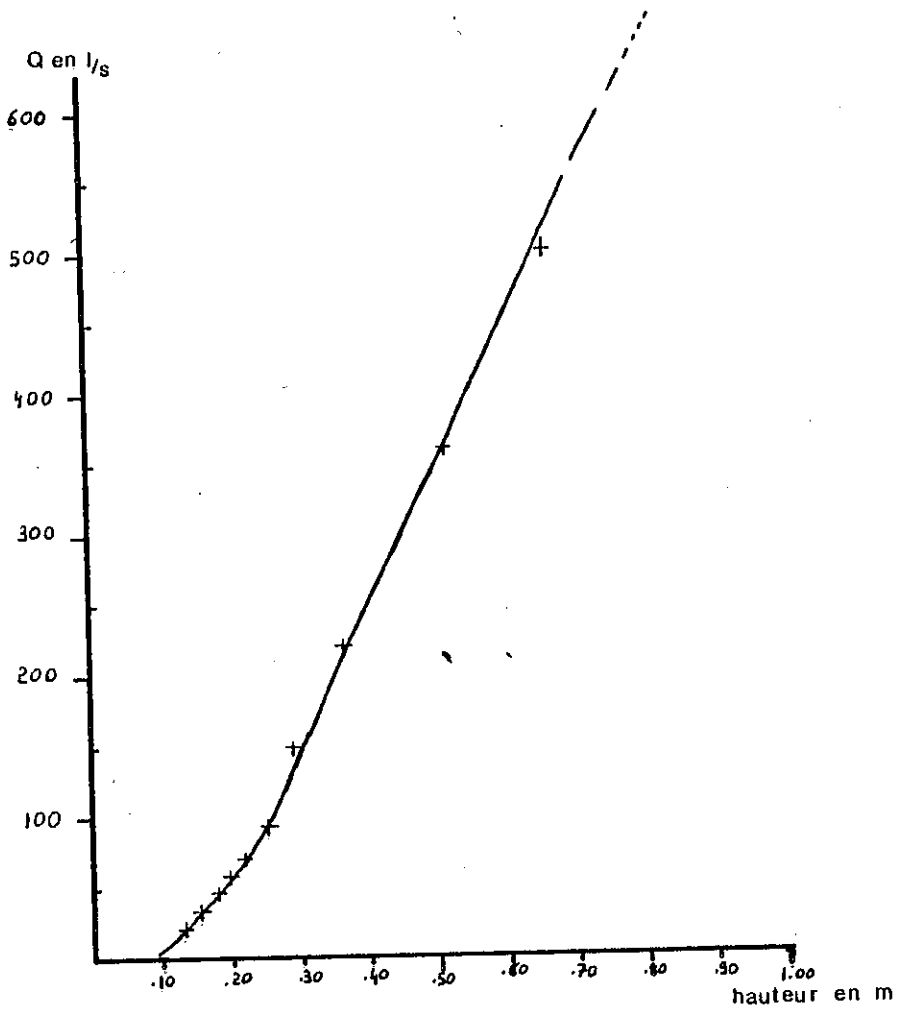
Ils ont été effectués à l'aide de capacités jaugées pour les débits inférieurs ou égaux à 30 l/s. Pour les débits supérieurs, nous avons utilisé la méthode chimique (bichromate de sodium) soit par injection à dé-

# COURBES DE TARAGE PL 13

le COZON à $S^t$ Pierre




source de LA FRACETTE



bit constant, soit par intégration. Grâce à un entretien régulier, la section n'a pas varié durant la période d'étude.

L'erreur relative sur les débits peut être estimée à 5%.

b- *Le Cozon.*

Le limnigraphe est situé dans une réserve de pêche très riche en truites. Ne pouvant pas utiliser la méthode chimique, les jaugeages ont été effectués au micro-moulinet ou au moulinet pour les débits supérieurs.

La section a varié deux fois de manière importante. L'erreur relative sur les débits ne peut être estimée inférieure à 10%.

## II. LES DEBITS A LA SOURCE DE LA FRACETTE.

### II.1. Les débits moyens journaliers :

La courbe de tarage et les relevés hebdomadaires de la station ont permis de calculer les débits moyens journaliers. Le calcul a été effectué par tranches de 6 heures en période de tarissement, par tranches de 1 heure pour les crues et les décrues.

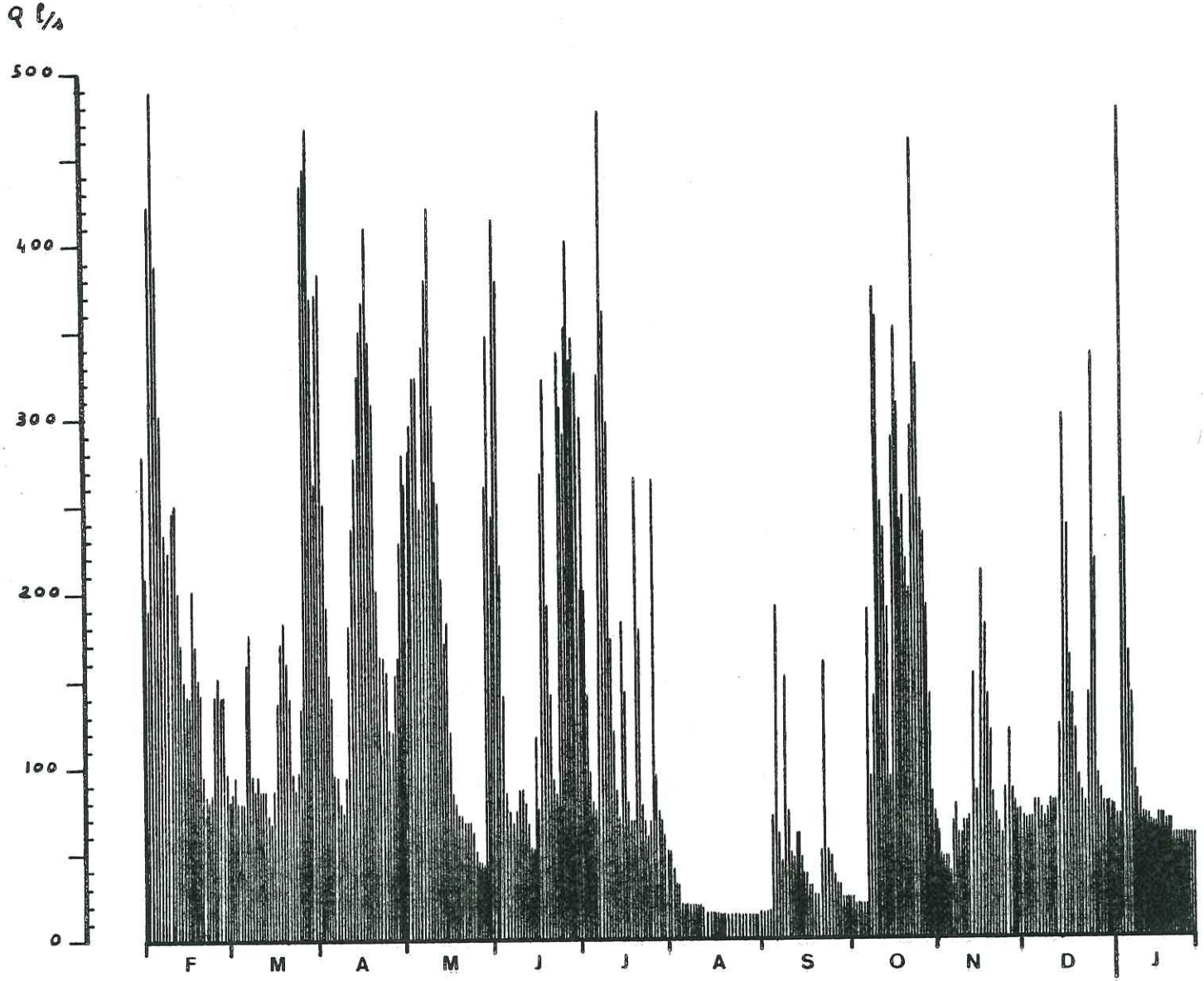
La planche n° 14 nous donne la représentation graphique de ces débits journaliers. Les montées en charge et décharge se font rapidement, traduisant le faible volume de l'aquifère. Les débits journaliers peuvent varier entre 13 l/s à l'étiage et 487 l/s en crue.

### II.2. Les débits moyens mensuels :

Ils ont été calculés à partir des débits moyens journaliers.

| | Q mensuel l/s | Q mensuel / Q annuel | Volume de la lame d'eau en $m^3$ | Hauteur de la lame d'eau en mm |
|---|---|---|---|---|
| Février 1980 | 196 | 1,42 | 491098 | 220 |
| Mars | 153 | 1,11 | 409795 | 184 |
| Avril | 214 | 1,55 | 554688 | 249 |
| Mai | 193 | 1,40 | 516931 | 232 |
| Juin | 195 | 1,41 | 505440 | 227 |
| Juillet | 155 | 1,12 | 415152 | 186 |
| Août | 20 | 0,14 | 53568 | 24 |
| Septembre | 50 | 0,36 | 129600 | 58 |
| Octobre | 190 | 1,38 | 508896 | 228 |
| Novembre | 83 | 0,60 | 215136 | 97 |
| Décembre | 112 | 0,81 | 299981 | 135 |
| Janvier 1981 | 90 | 0,65 | 241056 | 108 |

# LA FRACETTE DEBITS MOYENS JOURNALIERS (F 1980 - J 1981)



Il est intéressant de comparer les débits moyens mensuels avec les conditions climatiques régnant sur le bassin versant au même moment.

L'hiver, de décembre à mars est caractérisé par une période de stockage sous forme de neige. C'est l'étiage hivernal. Il est plus particulièrement marqué au mois de janvier alors que les précipitations ont été abondantes à cette époque.

Dès le début avril et en mai, la fonte entaîne de gros débits alors que ces deux mois ont été très déficitaires en précipitations (avril est le deuxième mois le moins pluvieux et il enregistre pourtant le plus gros débit de l'année).

Les débits élevés de juin et juillet sont à relier avec les pluies abondantes de cette époque.

Août et septembre sont les périodes d'étiage estival. Celui-ci très marqué, est en liaison avec les conditions climatiques sèches.

Le mois d'octobre a été exceptionnellement pluvieux. Les débits ont donc été élevés. Cependant les précipitations en octobre ont été plus de trois fois supérieures à celles d'avril alors que les débits relatifs sont similaires. Ceci nous montre bien l'effet important de la fonte des neiges au printemps.

## II.3. Les débits caractéristiques :

Année février 1980 - janvier 1981.

Module : 138 l/s
Surface du bassin versant : 2,23 $km^2$
Lame d'eau écoulée : 1952 mm
Débit spécifique : 61,9 $l/s/km^2$

Comparaison avec d'autres exsurgences karstiques dans la chaîne subalpine (bassin versant dans les calcaires urgoniens).

| | | |
|---|---|---|
| La Fracette | F1980-J1981 | 61,9 $l/s/km^2$ |
| Exsurgence du Pissieux (Bauges) | J1978-D1978 | 58,3 $l/s/km^2$ |
| Le Guiers Vif à Saint Même | 1978-1979 | 58,1 $l/s/km^2$ |
| Le Cernon (Chartreuse) | 1977-1978 | 57,1 $l/s/km^2$ |
| Le Cernon | 1978-1979 | 51,9 $l/s/km^2$ |
| Le Broyant (Vercors) | 1970-1974 | 34,0 $l/s/km^2$ |

Nos valeurs sont comparables à celles obtenues par nos prédécesseurs. Il faut tenir compte que nous sommes en Chartreuse (massif très arrosé) et que l'année d'étude a été une année très pluvieuse.

La courbe des débits journaliers classés nous permet de définir d'autres paramètres.

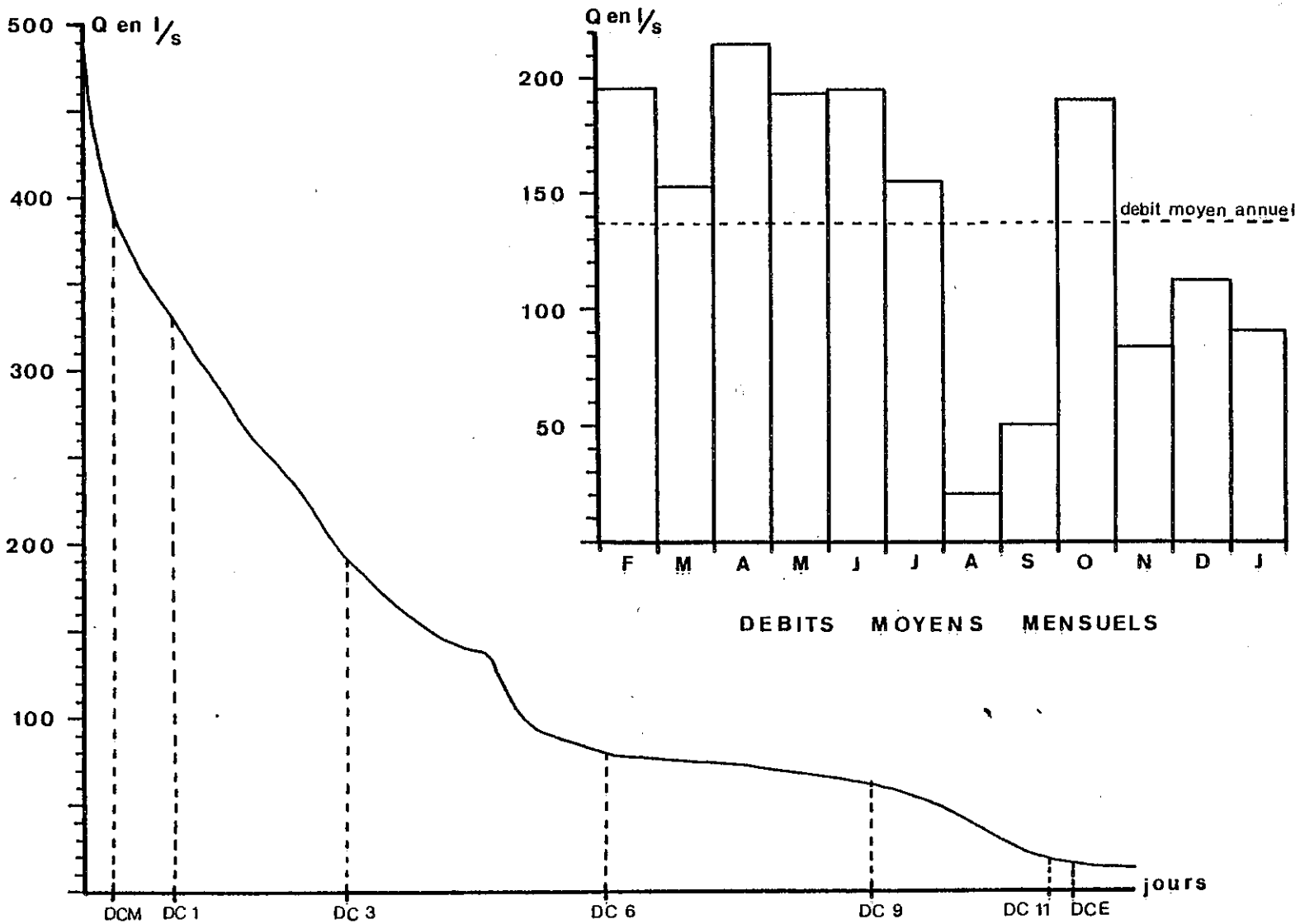
Le débit caractéristique maximum : débit dépassé 10 jours par an (DCM).

Le débit caractéristique moyen ou DC6 : débit dépassé 6 mois par an.

Le débit caractéristique d'étiage ou DCE : débit dépassé 355 jours par an.

# LA FRACETTE (F 1980 - J 1981)

PL 15




DEBITS MOYENS MENSUELS

COURBE DES DEBITS CLASSES

Enfin, les débits caractéristiques $DC_1$, $DC_3$, $DC_9$, $DC_{11}$, dépassés respectivement 1, 3, 9 et 11 mois par an.

| | $DC_M$ | $DC_1$ | $DC_3$ | $DC_6$ | $DC_9$ | $DC_{11}$ | DCE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q valeur absolue l/s | 393 | 330 | 193 | 80 | 60 | 16 | 14 |
| Q valeur spécifique $l/s/km^2$ | 176.2 | 148.0 | 86.6 | 35.9 | 26.9 | 7.2 | 6.3 |

## III. LES DEBITS DU COZON A SAINT PIERRE D'ENTREMONT.

### III.1. Les débits moyens journaliers :

Le débit moyen journalier minimum enregistré a été de 130 l/s, le maximum de 26 $m^3/s$.

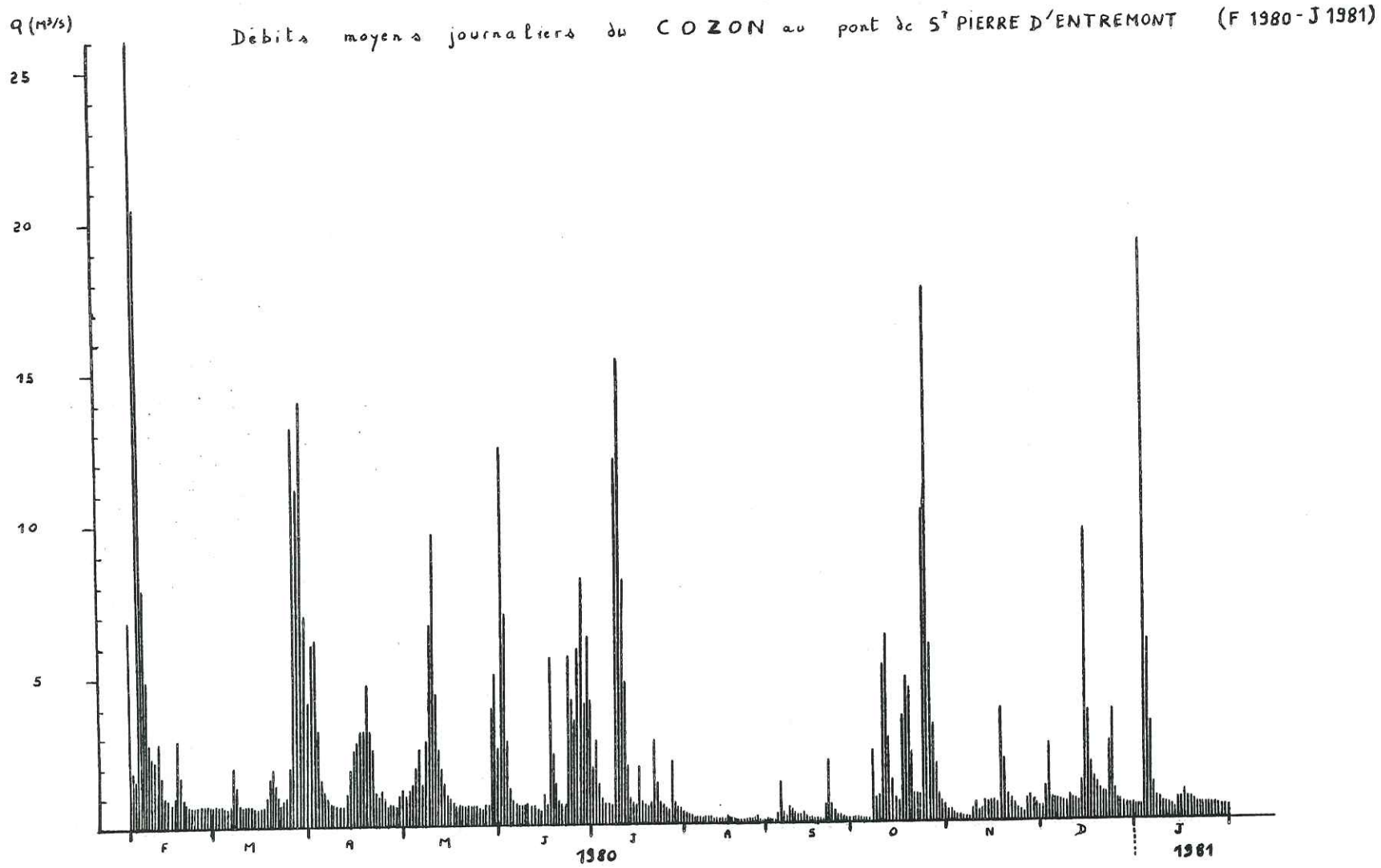
### III.2. Les débits moyens mensuels :

Voici les valeurs.

| | Q mensuel en $m^3/s$ | Q mensuel / Q annuel | Volume de la lame d'eau en $m^3$ | Hauteur de la lame d'eau en mm |
|---|---|---|---|---|
| Février 1980 | 3.375 | 1.90 | 8456400 | 212 |
| Mars | 2.405 | 1.35 | 6441552 | 161 |
| Avril | 1.907 | 1.07 | 4942944 | 124 |
| Mai | 1.949 | 1.09 | 5220202 | 131 |
| Juin | 2.885 | 1.62 | 7477920 | 187 |
| Juillet | 2.226 | 1.25 | 5962118 | 149 |
| Août | .205 | 0.12 | 549072 | 14 |
| Septembre | .367 | 0.21 | 951264 | 24 |
| Octobre | 2.604 | 1.46 | 6974554 | 175 |
| Novembre | .625 | 0.35 | 1620000 | 41 |
| Décembre | 1.394 | 0.78 | 3733690 | 94 |
| Janvier 1981 | 1.435 | 0.81 | 3843504 | 96 |

L'effet de la fonte se fait peu sentir et d'une manière diffuse. Le bassin versant est orienté plein Sud, toute petite pluie ou hausse de température entraînant des fontes momentanées. C'est ainsi que les débits de février et mars sont bien soutenus.

Contrairement à la Fracette où la fonte intervient en avril et mai, celle-ci est déjà terminée à cette époque sur le bassin versant du Cozon.


Q (M³/S)
Débits moyens journaliers du COZON au pont de S^T PIERRE D'ENTREMONT (F 1980 - J 1981)
25
20
15
10
5
F
M
A
M
J
J
A
S
O
N
D
J
1980
1981

Les débits d'été et d'automne suivent les conditions climatiques avec un étiage très marqué à la fin août. Le début de l'hiver est caractérisé par une reprise des stockages sous forme de neige (décembre et janvier).

Le régime du Cozon est donc pluvio-nival.

### III.3. Les débits caractéristiques :

Année d'étude : février 1980 - janvier 1981
Module : 1,781 $m^3/s$
Surface du bassin versant : 39,93 $km^2$
Lame d'eau écoulée : 1407 mm
Débit spécifique : 44,6 $l/s/km^2$

Comparons notre valeur avec d'autres cours d'eau superficiels des massifs subalpins.

Les surfaces des bassins versants sont celles du bassin versant réel.

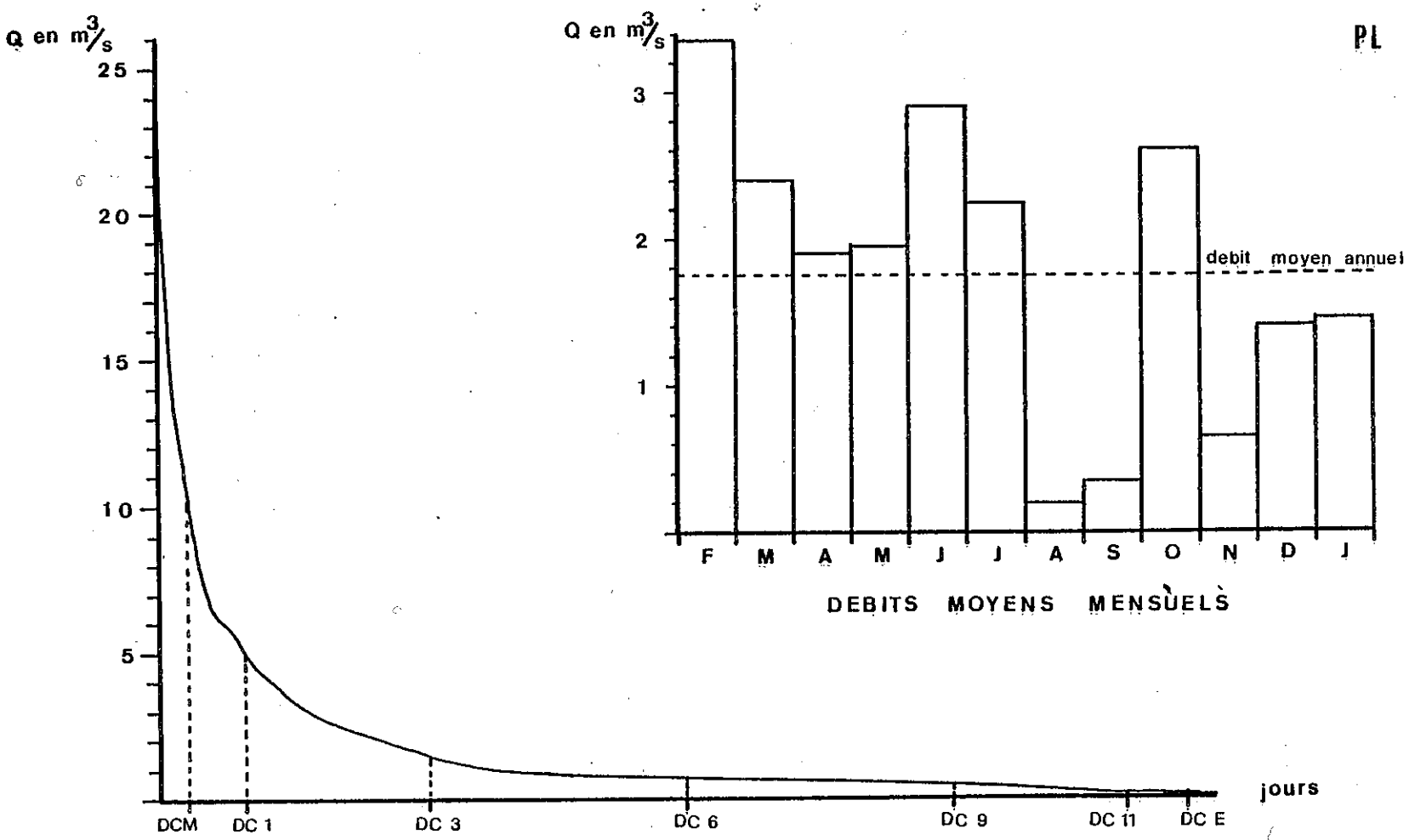
| Cours d'eau | Période de référence | Surface du bassin versant $km^2$ | Débit spécifique $l/s/km^2$ |
|---|---|---|---|
| Le Guiers Vif à Saint Christophe | 1977 | 112.5 | 44.8 |
| Le Cozon | F1980-J1981 | 39.9 | 44.6 |
| Le Nant d'Aillon au Cimeteret (Bauges) | 1978 | 37.4 | 44.1 |
| Le Guiers Vif à Saint Christophe | 1970-1974 | 112,5 | 39.7 |
| Le Guiers Mort à Saint Laurent | 1970-1974 | 101 | 39.1 |
| Hyères (Vallée de Couz) | 1972-1975 | 25 | 36.0 |
| Le Chéran à La Charnia (Bauges) | 1951-1975 | 230.4 | 33.4 |

Voici les autres débits caractéristiques calculés à partir de la courbe des débits classés.

| | DCM | $DC_1$ | $DC_3$ | $DC_6$ | $DC_9$ | $DC_{11}$ | DCE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q valeur absolue l/s | 10230 | 5000 | 1400 | 700 | 480 | 170 | 150 |
| Q valeur spécifique $l/s/km^2$ | 256.2 | 125.2 | 35.1 | 17.5 | 12.0 | 4.3 | 3.8 |

# LE COZON A ST PIERRE D'ENTREMONT (F 1980-J 1981)

PL 17




DEBITS MOYENS MENSUELS

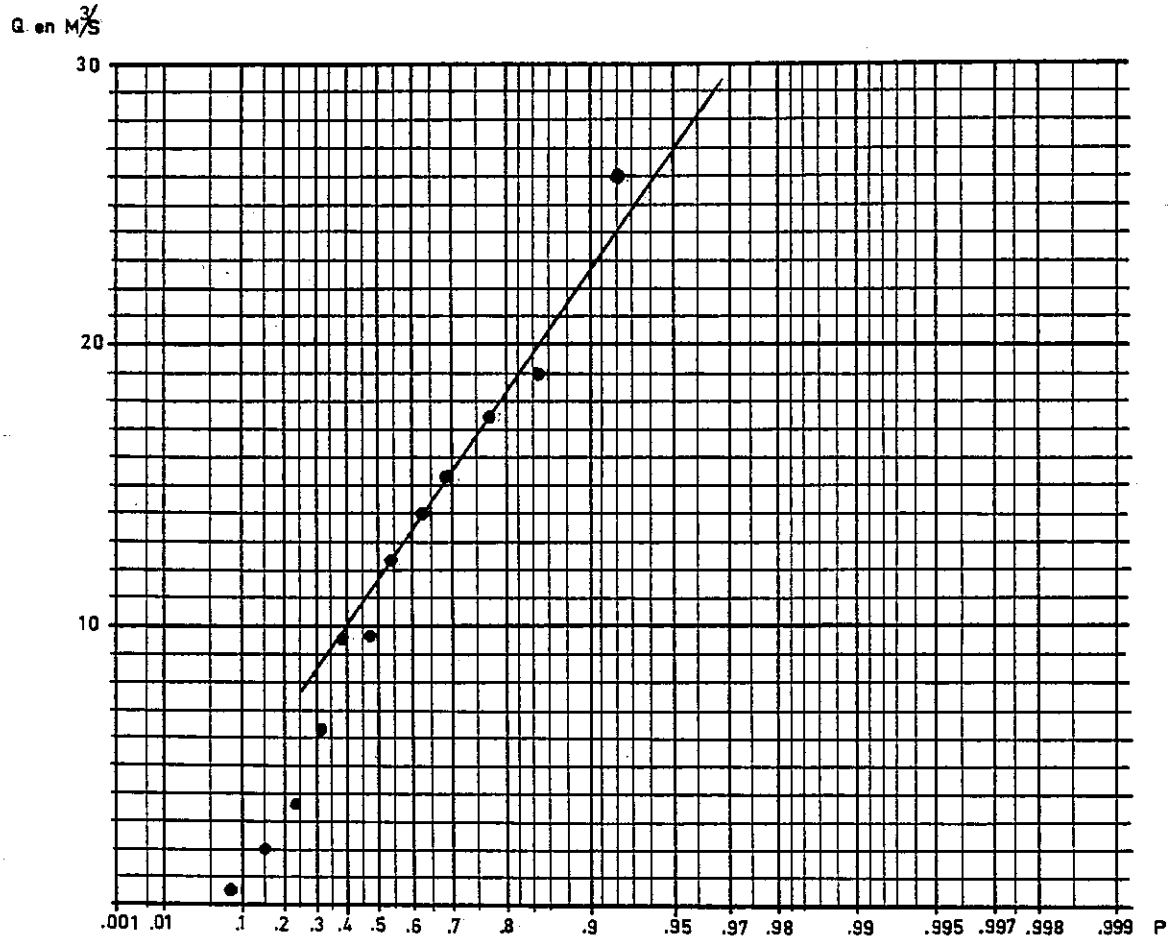
COURBE DES DEBITS CLASSES

### III.4. Etude statistique des crues mensuelles du Cozon à Saint Pierre :

Pour chaque mois de notre année d'étude, nous avons utilisé le plus gros débit moyen journalier. Ces valeurs, reportées sur un graphique adapté s'alignent en fonction de la loi F(x) de probabilité de non dépassement de Gumbel.

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-x_0)}} = \text{Proba } [X \leq x]$$

Planche n° 18 : Ajustement des crues mensuelles du Cozon selon la loi de Gumbel.



L'ajustement n'est correct qu'à partir d'un débit de 9,5 $m^3/s$. Les débits inférieurs correspondent au mois d'étiage où de véritables crues n'ont pas pu se développer.

La crue annuelle a une probabilité de non dépassement de 0,87, soit graphiquement Q = 21 $m^3/s$.

Le débit de crue dépassé deux fois par an (P = 0.73) est estimé à Q = 16 $m^3/s$.

# CHAPITRE VII

# LES BILANS HYDROLOGIQUES

## I. LES DIFFERENTS TERMES D'UN BILAN HYDROLOGIQUE.

En comparant la somme des apports en eau avec la somme des sorties en eau d'un même bassin versant et pour la même période on doit obtenir l'égalité suivante :

$$P + Q_A = Q_r + E_{TR} + Q_F + Q_c \pm \Delta W \pm \Delta S$$

$P$ : précipitations sur le bassin versant.
$Q_A$ : apports souterrains extérieurs au bassin versant.
$Q_r$ : ruissellements à l'exutoire.
$E_{TR}$ : évapotranspiration totale.
$Q_F$ : fuites souterraines du bassin.
$Q_c$ : débit prélevé par les captages (alimentation en eau potable).
$\Delta W$ : variation des réserves souterraines.
$\Delta S$ : variation des réserves superficielles, c'est-à-dire du stock de neige. Ces deux derniers termes peuvent être positifs ou négatifs.

Tous ces termes seront exprimés en mm d'eau, à partir de la surface supposée du bassin versant.

Il faut également tenir compte des erreurs relatives pour chacun des termes de l'égalité.

## II. LE BILAN ANNUEL A LA SOURCE DE LA FRACETTE.

### II.1. Les résultats obtenus :

Précédemment, nous avons défini le bassin versant géographique naturel et le bassin versant qualifié de "réel" qui tient compte de la structure géologique. Le bilan hydrologique nous permettra de préciser laquelle de ces deux notions reflète le mieux la réalité.

### a- *Variations des réserves souterraines.*

Dans le chapitre suivant consacré à l'hydrodynamique, nous verrons que l'étude des courbes de tarissement à partir de l'hydrogramme permet de calculer les réserves en eau à un instant donné. Ainsi, par la méthode de Maillet nous avons estimé le volume des réserves au début et à la fin du cycle hydrologique étudié.

Réserves au 1er février 1980 : W = 38278 $m^3$.
Réserves au 1er février 1981 : W ≃ 0 $m^3$.

On peut considérer les réserves souterraines en eau comme nulles au 1er février 1981. La courbe de tarissement à cette époque est plate et l'application numérique de la formule de Maillet indique un volume de réserve proche de zéro. Le calcul du volume d'eau écoulé depuis la dernière crue qui avait eu lieu du 4 au 11 janvier 1981 montre que les réserves constituées à cette occasion sont depuis longtemps épuisées au 1er février 1981.

Le bilan de la variation des réserves souterraines entre le début et la fin du cycle étudié est donc déficitaire :

$\Delta W$ = W 1er février 1981 - W 1er février 1980
$\Delta W = -\ 38278\ m^3$.

### b- *Variation des réserves superficielles.*

On considère que le stock neigeux se constitue à partir du mois de novembre. La fonte n'intervient qu'en avril.

Les précipitations sur le bassin versant réel de novembre 1979 à janvier 1980 ont été de 746mm, de novembre 1980 à janvier 1981 de 811mm. La variation du stock neigeux est de 65mm.

$\Delta S = 811 - 746 = +\ 65$mm.

Pour le bassin versant géographique, les valeurs sont les suivantes :

Précipitations de novembre 1979 à janvier 1980 : 752mm.
Précipitations de novembre 1980 à janvier 1981 : 817mm.

$\Delta S = 817 - 752 = +\ 65$mm.

### c- *Les autres termes du bilan.*

Les trop-pleins du captage et du réservoir de la Fracette sont déversés en amont du limnigraphe. Seule la quantité d'eau utilisée réellement par le hameau n'a pas été prise en compte dans la mesure du débit à la source. En fonction du nombre d'habitants, nous estimons le volume prélevé par le village à 6570 $m^3$. Soit 3mm pour le bassin versant "réel" et 5 mm pour le bassin versant géographique. D'où :

bassin versant réel $Q_c = +\ 3$mm
bassin versant géographique $Q_c = +\ 5$mm

Nous considérons le bassin versant comme bien isolé, sans apports ni fuites extérieurs :

$Q_A = Q_F = 0mm$.

Rappelons que la surface du bassin versant géographique est de 1,42 $km^2$, celle du bassin géologique réel de 2,23 $km^2$.

Le débit moyen annuel est de 138 l/s, ce qui donne pour le bassin versant géographique : $Q_r$ = 3065mm ; pour le bassin versant réel : $Q_r$ = 1952mm.

Le bilan est égal à la somme des volumes d'eau à l'entrée moins la somme des volumes d'eau à la sortie.

| 1er février 1980 - 31 janvier 1981 | Bassin versant géographique | Bassin versant réel |
|---|---|---|
| P | 2710 | 2690 |
| $Q_r$ | 3065 | 1952 |
| $ET_r$ | 618 | 617 |
| $\Delta S$ | 65 | 65 |
| $\Delta W$ | - 27 | - 17 |
| $Q_c$ | 5 | 3 |
| $\Sigma$ entrée - $\Sigma$ sortie | - 1006 mm | + 70 mm |

Le bassin versant géographique ne convient absolument pas. Le très fort excédent des débits à la sortie qu'il mettrait en jeu indique qu'il ne reflète pas la réalité. Le bassin versant géologique correspond beaucoup mieux à la réalité, peut-être sa surface est-elle très légèrement exagérée. En effet son bilan est déficitaire pour les sorties de 70mm soit environ 5 l/s.

Cette différence n'est pas significative, elle est inférieure à l'erreur sur l'estimation des débits. $\Delta Q$ = 5% soit 98mm.

On peut considérer le bilan comme équilibré.

## II.2. Estimation du coefficient d'infiltration :

C'est l'inverse du rapport entre les précipitations et le débit correspondant. Le déficit d'écoulement permet dans ce cas une estimation de l'évapotranspiration réelle sur le bassin versant.

Chiffres bruts : P = 2690mm Q = 1952mm

d'où coefficient d'infiltration $C = \frac{1952}{2690} = 0,73$

Valeurs corrigées tenant compte des variations des réserves :

$P = 2690mm$

$Q = Q_r + Q_c + \Delta S + \Delta W = 1952 + 65 - 17 = 2003$

d'où coefficient d'infiltration annuel $C = \frac{2003}{2690} = 0.74$

J.P. Bozonat donne pour les bassins versants karstiques qu'il a étudié en Chartreuse de 0.81 à 0.86 selon le cycle. Cependant, ces bassins sont à des altitudes moyennes de l'ordre de 1900m.

Nos chiffres donnent pour le cycle F1980-J1981 un déficit d'écoulement de 687mm soit 26% des précipitations. La valeur obtenue par les formules sur l'évapotranspiration et la sublimation est de 617mm soit 23% des précipitations. Ces deux chiffres sont comparables, et donc vraisemblablement proches de la réalité.

## III. BILAN DE QUELQUES AVERSES ESTIVALES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA FRACETTE.

### III.1. Episode pluvieux du 21 au 29 mai 1981 :

A l'occasion de l'expérience de traçage, un pluviomètre a pu être installé et relevé régulièrement au coeur du bassin versant, à la cote 1210m.

On assiste à une série d'épisodes orageux, dont l'effet est cumulatif. Les conditions sont maximales pour une bonne infiltration. La neige ne subsite plus que dans quelques puits et trous dans la partie sommitale du bassin versant.

Après correction d'altitude, les précipitations sur le bassin versant ont été du 21 au 29 mai de 88mm. Soit, pour une superficie de 2,23 $km^2$ P : 196240 $m^3$.

La crue correspondante à la Fracette s'est étalée du 21 mai au 1er juin, date à partir de laquelle on a retrouvé le débit initial. Le volume écoulé pendant la crue était de : $Q_r$ : 236304 $m^3$.

L'écoulement de base, correspondant au débit initial (160 l/s), a été pour cette même période :

0,160 $m^3/s$ x 86400s x 11 soit $Q_b$ : 152064 $m^3$.

Le volume d'eau écoulé à la suite des précipitations et de la crue a été de : 236304 - 152064 = 84240 $m^3$

Le déficit d'écoulement est égal à :

$D = P - (Q - Q_b) = 196240 - 84240$

soit $D = 112000m^3$ ou 50,2mm sur le bassin versant.

Le coefficient d'infiltration est égal à 0,43.

$C_1 = \frac{(Q-Q_b)}{P} = \frac{84240}{196240} : 0.43$

### III.2. Episode du 8 au 10 juillet 1980 :

L'estimation des précipitations a été effectuée à partir des relevés de Saint Pierre et du col du Granier.

Une forte perturbation a affecté le secteur de façon continue pendant les deux jours :

Précipitations : 126,8mm soit 281426m$^3$.
Ecoulement pendant la crue correspondante du 8 au 15 juillet 1981 : 164505 m$^3$.
Flot de base pendant cette période (Q initial = 72 l/s) :
0,072 m$^3$/s x 86400 x 8 soit 49766m$^3$
Volume d'eau écoulé à la suite des précipitations :
Q - Qb soit 114739m$^3$
Déficit d'écoulement : 281426 - 114739 = 166687m$^3$
correspondant à une tranche d'eau de 74,7mm.

Le coefficient d'infiltration Ci est égal à 0,41.

### III.3. Averse de la nuit du 22 au 23 septembre 1980 :

Les précipitations ont été peu intenses et ont duré un temps très court. Nous sommes à la fin de la sècheresse estivale, le sol et la végétation ont besoin de reconstituer leurs réserves. L'infiltration sera minimale.

Les précipitations ont été de 37mm soit 82510m$^3$.
Ecoulement pendant la crue correspondante du 22 au 25 septembre : soit 25657m$^3$.
Le flot de base pendant cette période était très faible, c'est l'époque de l'étiage : Q = 25 l/s.
0,025 x 86400 x 4 soit 8640m$^3$
Volume d'eau écoulé à la suite des précipitations :
Q - Qb soit 17017m$^3$
Déficit d'écoulement : P (Q-Qb) soit 65493m$^3$

Ce déficit représente une hauteur d'eau de 29,4mm.

Le coefficient d'infiltration Ci est égal à 0,21.

### III.4. Commentaire :

Le coefficient d'infiltration est très fluctuant, du simple au double suivant les conditions climatiques ainsi que l'état hydrique du sol. Les averses de courte durée ont un coefficient d'infiltration très faible. Les valeurs calculées sur les hauts plateaux orientaux de Chartreuse par J.P. Bozonat (1980) varient de la même manière : de 0,16 à 0,42.

## IV. APPROCHE DES BILANS MENSUELS A LA FONTE DES NEIGES POUR LE BASSIN VERSANT DE LA FRACETTE.

Afin de montrer l'influence de la fonte des neiges au printemps nous avons établi les bilans mois par mois. Les valeurs obtenues sont purement qualitatives, car nous n'avons pas tenu compte des variations des réserves.

| Mois considéré | P (mm) $\frac{\Delta P}{P} = 10\%$ | ETR $\frac{\Delta ETR}{ETR} = 20\%$ | Qr $\frac{\Delta Qr}{Qr} = 5\%$ | Qr - (P-E) Δ min | Δ max |
|---|---|---|---|---|---|
| Mars 1980 | 232 ± 23 | 9 ± 2 | 184 ± 9 | - 5 | - 73 |
| Avril 1980 | 158 ± 16 | 21 ± 4 | 249 ± 13 | + 79 | + 161 |
| Mai 1980 | 153 ± 15 | 58 ± 12 | 232 ± 12 | + 98 | + 176 |
| Juin 1980 | 235 ± 47 | 82 ± 16 | 227 ± 11 | 0 | + 148 |
| Juillet 1980 | 257 ± 26 | 98 ± 19 | 186 ± 9 | - 18 | + 81 |

En mars le stockage, globalement, s'effectue encore : le bilan des débits est déficitaire.

En avril, la fonte commence : le débit est excédentaire.

Maximum de la fonte en mai, puis l'effet de celle-ci s'amenuise en juin. Le mois de juillet n'est peut-être plus influencé par la fonte : le bilan est presque équilibré.

## V. BILAN ANNUEL DU COZON A SAINT PIERRE.

### V.1. Les résultats obtenus :

La période d'étude est la même que pour le bassin versant de la Fracette : du 1er février 1980 au 31 janvier 1981.

La surface du bassin versant est de 39,93 $km^2$.

L'étude de l'hydrogramme par la méthode de Maillet permet d'estimer les réserves souterraines au début et à la fin du cycle :

Au 1er février 1980 les réserves sont de 646122 $m^3$.

Au 1er février 1981 les réserves peuvent être considérées comme nulles. La variation des réserves est donc égal à - 646122 $m^3$ soit

$\Delta W = -$ 16mm.

La variation des réserves superficielles correspondant au stock neigeux peut-être estimé à + 63mm

$\Delta S = +$ 63mm.

Les prélèvements pour l'alimentation en eau potable existent, ils sont malheureusement impossibles à évaluer. Nous considérerons le bassin versant comme bien isolé, aucun apport ou fuite extérieurs n'ayant été observé sur le terrain. D'où :

$Q_F = Q_A = 0mm$.

Le débit moyen annuel du Cozon à Saint Pierre d'Entremont est de $1,781 m^3/s$ pour la période considérée.

$Q_r = 1407mm$

Nous pouvons dresser le bilan :

| F.1980 - J.1981 | Bassin versant du Cozon |
|---|---|
| P | 2590 |
| Qr | 1407 |
| $ET_r$ | 618 |
| $\Delta S$ | 63 |
| $\Delta W$ | - 16 |
| $\Sigma$ entrée - $\Sigma$ sortie | 518mm |

Le bilan n'est pas équilibré. La différence est significative, car supérieure à l'erreur relative sur les débits (10% de Qr = 141mm). Il apparaît un déficit de 518mm, ce qui représente un débit moyen annuel de 656 l/s. Cependant l'étude sur le terrain n'a pas montré de fuites, et l'estimation de la surface du bassin versant est correcte.

Le ruisseau du Cozon coule la plupart du temps sur les marno-calcaires imperméables du Berriasien inférieur, sauf entre Entremont-le-Vieux et Saint Pierre où il circule dans des gorges tithoniques pendant un peu plusd'un kilomètre. La seule possibilité de fuite du bassin versant se siturait à ce niveau.

Cependant, l'inventaire des sources montre que les calcaires tithoniques ne sont pas le siège de grosses circulations karstiques à cet endroit. La seule émergence existante est celle du Boucherin dont les débits maxima sont de l'ordre de 10 l/s. Les travaux entrepris à l'occasion de l'élargissement de la route ont mis le rocher à nu. Celui-ci présente une fracturation assez intense, mais jamais profonde et ouverte. Le rocher, compact, est incapable d'être à l'origine d'une infiltration de 656 l/s. Celles-ci provoquerait une baisse de 40% du débit du Cozon à ce niveau. Rien de tel n'a été observé.

Si infiltration il y a, ce qui n'est pas prouvé, cette fuite d'une partie des eaux du Cozon vers le Tithonique serait de toute manière minime et ne justifie pas le déficit du bilan hydrologique.

Une autre possibilité pour expliquer ce déficit serait qu'une partie du débit du ruisseau nous échappe au niveau du point de mesure, la

station limnimétrique, en circulant souterrainement sous forme de nappe alluviale. Cependant, cela n'est pas envisageable : il n'y a pas de terrains de couverture et le substratum est imperméable dans ce secteur.

Nous pouvons considérer le bassin versant comme bien isolé, sans fuite vers l'extérieur. Il faut donc conclure à l'erreur d'estimation d'un des termes du bilan.

Rappelons que le Cozon constitue la limite orientale de notre terrain. Aussi, toute la rive Est du cours d'eau , qui draine la moitié de la superficie totale du bassin versant se trouve décentrée. Le réseau météorologique concentré sur notre secteur d'étude n'a aucun point de mesure dans toute cette zone périphérique. Nous avons extrapolé les valeurs obtenues en rive ouest, valables sur notre terrain, à l'ensemble du bassin versant du Cozon. L'erreur se situe à ce niveau.

Le déséquilibre du bilan vient de la surestimation des précipitations. Il y a un phénomène d'égouttage d'Ouest en Est. Ceci, déjà signalé dans le chapitre sur le climat, entraîne qu'il pleut proportionnellement moins en rive Est. A ce phénomène, vient se surajouter l'important déficit des précipitations au niveau du col du Granier vis-à-vis du reste du terrain. Or cette zone déficitaire, qui fait partie du bassin versant du Cozon, n'a pas été prise en compte dans l'estimation des précipitations. La méthode du gradient altimétrique, valable pour tout le reste du bassin versant n'est pas applicable pour cette zone protégée des pluies.

D'après le bilan hydrologique, l'exagération des précipitations serait de l'ordre de 20%. Le calcul des valeurs extrêmes du bilan permettra de mieux quantifier cet excédent.

## V.2. Valeurs extrêmes du bilan hydrologique :

### *a- Vérification du déficit du bilan.*

Dans un premier temps, vérifions en appliquant les erreurs relatives sur les différents termes, si le bilan est bien déficitaire.

| | Déficit minimum | Déficit maximum |
|---|---|---|
| P | 2331 | 2849 |
| Qr | 1548 | 1266 |
| ETr | 742 | 494 |
| ΔS | 69 | 57 |
| ΔW | - 16 | - 16 |
| Σ entrée - Σ sortie | - 12 mm | 1048mm |

A la limite le bilan pourrait être considéré comme équilibré et même excédentaire : + 12mm soit 15,2 l/s. Cependant la limite supérieure

donne un bilan déficitaire de - 1048mm soit 1,327 $m^3/s$. La tendance est plutôt au déficit.

### b- *Estimation de l'erreur sur les précipitations.*

En prenant comme hypothèse que :

- le bilan est équilibré : Σ entrée = Σ sortie
- tous les termes autres que les précipitations sont exacts,

nous pouvons estimer les précipitations qui se sont abattues réellement sur le bassin versant.

| | Valeurs maximales | Valeurs minimales |
|---|---|---|
| Qr | 1548 | 1266 |
| $ET_r$ | 742 | 494 |
| ΔS | 69 | 57 |
| ΔW | - 16 | - 16 |
| Σ sortie = P estimée | 2343mm | 1801mm |
| P mesurée - P estimée | 247 | 789 |
| ΔP/P mesurée | 10% | 30% |

Nous pouvons donc conclure que les précipitations calculées par le bilan sur le bassin versant étaient pour le cycle F1980-J1981 de 2343mm au maximum et 1801mm au minimum. Soit une valeur moyenne de 2072mm.

La surestimation relative donnée par l'extrapolation des relevés météorologiques (P = 2590mm) était donc de 10% minimum et 30% maximum.

# CHAPITRE VIII

# HYDRODYNAMIQUE

## I. ETUDE DES COURBES DE TARISSEMENT.

Nous tenterons dans ce chapitre d'apprécier les caractéristiques hydrodynamiques des écoulements. L'étude se fait à partir des courbes de décrue et de tarissement, et ce, en régime non influencé.

### I.1. Utilisation de la méthode de Maillet :

Elle suppose un écoulement laminaire et une décroissance exponentielle des débits en fonction du temps $Q_t = Q_o.e^{-\alpha t}$

Où : $Q_t$ : débit à l'instant t en $m^3/s$
$Q_o$ : débit à l'instant $t_o$, début du tarissement en $m^3/s$
t : temps écoulé depuis le début du tarissement
$\alpha$ : coefficient de tarissement.

si t est exprimé en jours, $\alpha$ est alors en $j^{-1}$.

Pour une meilleure représentation graphique, la formule peut s'exprimer en fonction des logarithmes décimaux des débits.

$$\log Q_t = \log Q_o - 0{,}4343\ \alpha t$$

Le volume des réserves dynamiques $W_o$ à l'instant $t_o$ s'exprime ainsi :

$$W_o = \int_{t_o}^{\infty} Q_t \quad \delta t$$

et si Q en $m^3/s$ et t en jours, alors :

$$W_o = \frac{Q_o}{\alpha} \times 8640 \quad [m^3]$$

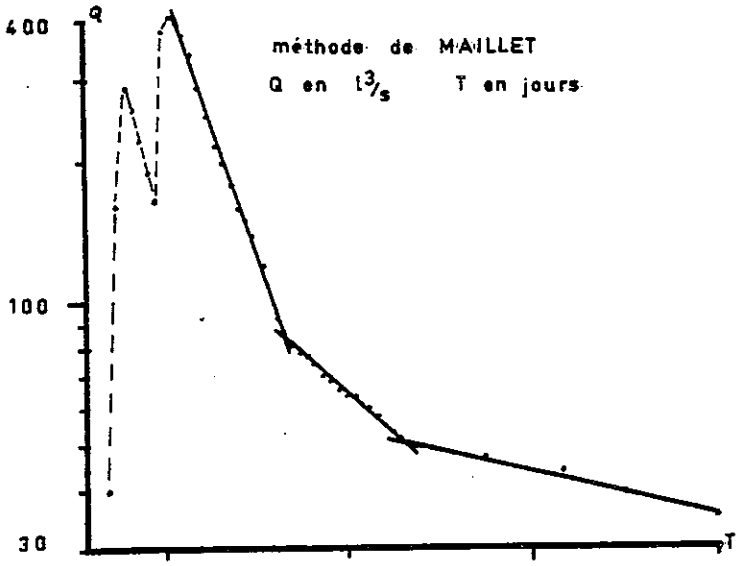
#### *a- L'exsurgence de la Fracette.*

En coordonnées semi-logarithmiques, les courbes des débits pendant la décrue et le tarissement présentent plusieurs segments de droite à pente $\alpha_i$ décroissante. Le dernier segment $\alpha_3$ correspond toujours au ta-

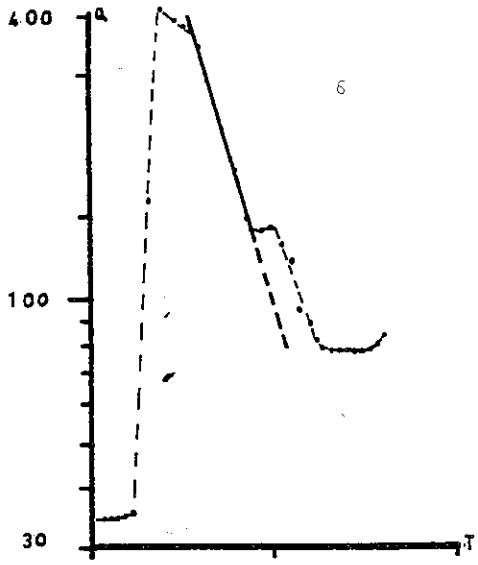
## COURBES DE TARISSEMENT

méthode de MAILLET

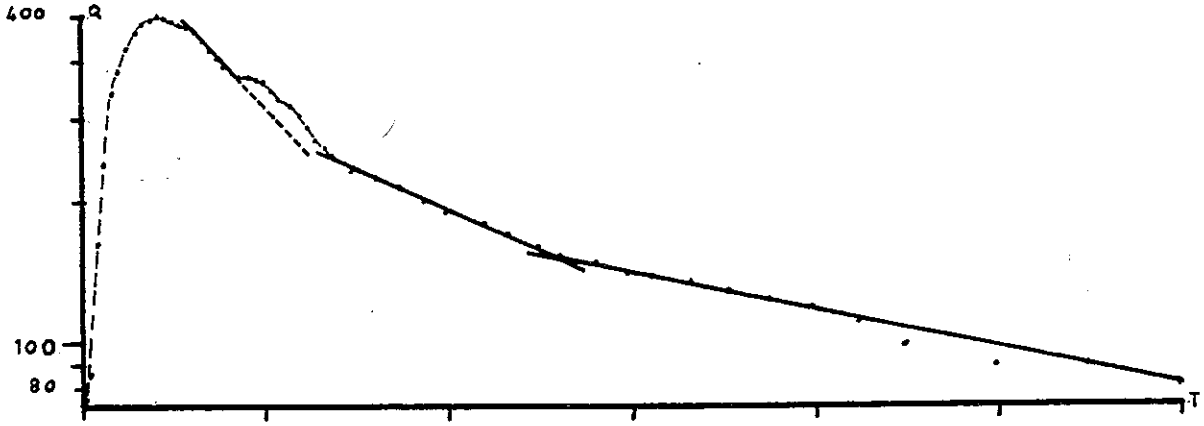
Q en $l^3/s$ T en jours



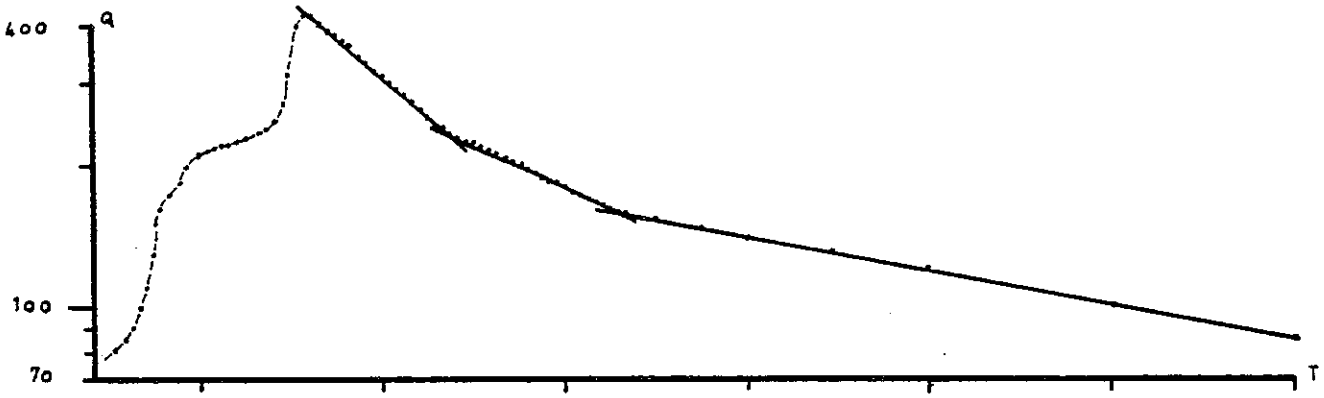

du 5 au 8 SEPTEMBRE 1980



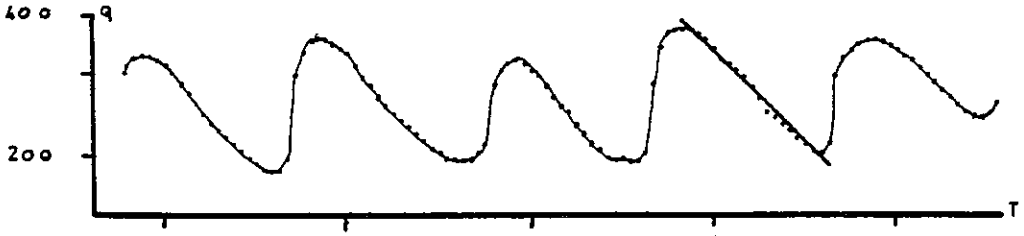

8 et 9 OCTOBRE 1980




du 4 au 9 JANVIER 1981




du 14 au 20 DECEMBRE 1980



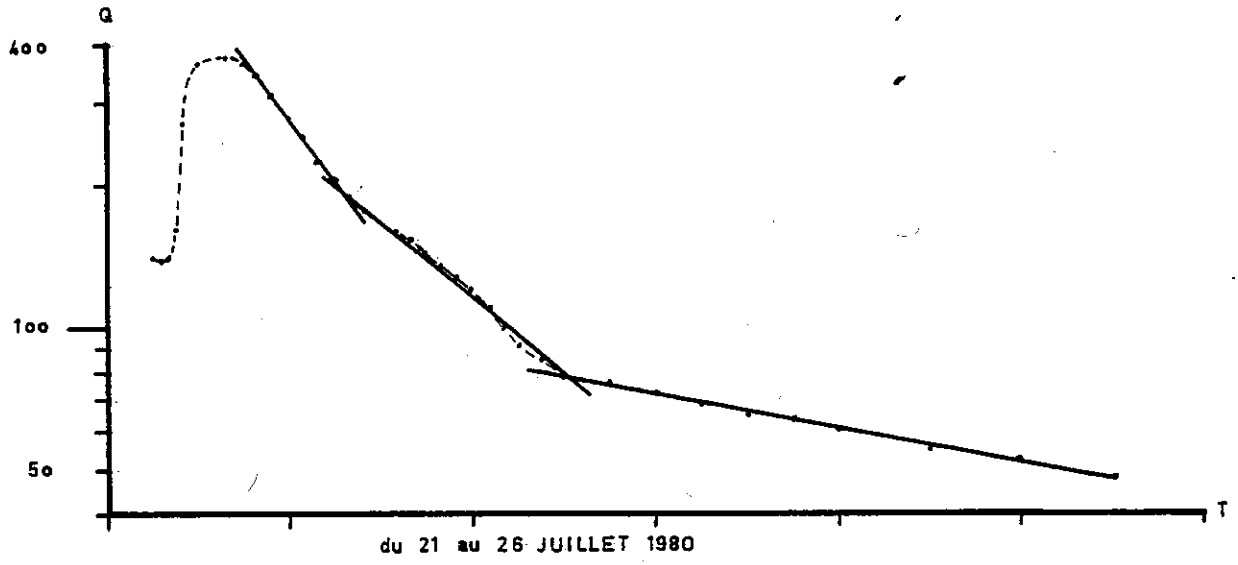

du 29 AVRIL au 4 MAI 1980 (crues de fonte des neiges)

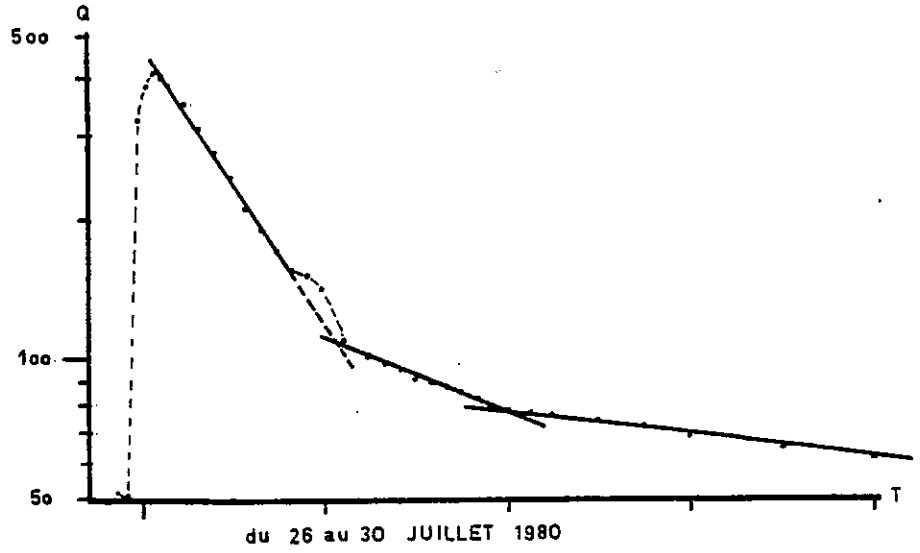
# LA FRACETTE

## COURBES DE TARISSEMENT

méthode de MAILLET

Q en l/s T en jours



rissement. Les volumes d'eau correspondant à chaque segment de droite auront pour expression :

$$V_i = \frac{1}{\alpha_i} (Q_i - Q_{i+1}) \times 86400 \quad [m^3]$$

Les résultats sont les suivants :

| Crue du | i | αi | Pi m³/s | Vi m³ |
|---|---|---|---|---|
| 2 au 3 mai 1980 | 1 | 0,86 | 0,368 | 16074 |
| 21 au 26 juillet 1980 | 1 | 1,20 | 0,342 | 11304 |
| | 2 | 0,58 | 0,185 | 15939 |
| | 3 | 0,16 | 0,078 | Wo= 42120 |
| 26 au 30 juillet 1980 | 1 | 1,29 | 0,400 | 19423 |
| | 2 | 0,39 | 0,110 | 7089 |
| | 3 | 0,13 | 0,078 | Wo= 51840 |
| 5 au 8 septembre 1980 | 1 | 2,70 | 0,400 | 10144 |
| | 2 | 0,76 | 0,083 | 3752 |
| | 3 | 0,22 | 0,050 | Wo= 19636 |
| 8 et 9 octobre 1980 | 1 | 3,07 | 0,370 | 8161 |
| 14 au 20 décembre 1980 | 1 | 0,80 | 0,420 | 20520 |
| | 2 | 0,40 | 0,230 | 15120 |
| | 3 | 0,17 | 0,160 | Wo= 81318 |
| 4 au 9 janvier 1981 | 1 | 0,95 | 0,462 | 19099 |
| | 2 | 0,41 | 0,252 | 20441 |
| | 3 | 0,17 | 0,155 | Wo= 78776 |

Dans un massif karstique, on peut considérer qu'à la décrue, les écoulements à travers les chenaux et fractures largement ouvertes, sont les plus rapides. Leur régime peut devenir turbulent. Au niveau de l'exutoire, leur effet sera prédominant au début de la décrue. Les premières parties des courbes (i = 1) en sont le reflet.

Puis, leur vidange étant très rapide ($\alpha_1 \geqslant 0,80$), le rôle des écoulements plus lents, à régime laminaire, à travers les chenaux et les conduits de moindre diamètre, se fait mieux sentir. C'est la deuxième partie des courbes. Les vitesses, et donc les coefficients de tarissements sont plus faibles : $\alpha_2$ de l'ordre de 0,39 à 0,58.

Bientôt, le débit de toutes ces circulations devient négligeable par rapport à celui des écoulements à travers les fissures et les joints plus fermés. Les circulations sont très lentes, la vidange sera longue : $\alpha_3$ varie de 0,13 à 0,22. C'est le tarissement, représenté par par troisième partie de la courbe.

Le volume des réserves ($W_o$) a été calculé à partir du coefficient de tarissement $\alpha_3$. Ce volume est très supérieur aux volumes concernés par les circulations des première et deuxième phases.

En période de grosses eaux, les réserves ($W_o$) sont élevées et les paliers de passage d'un type de vidange à un autre aussi :

Décembre 1980 : $W_o$ = 81318 $m^3$ soit 36,5mm $Q_1$ = 420 l/s $Q_2$ = 230 l/s $Q_3$ = 160 l/s.

L'étiage entraîne un abaissement de ces paramètres, même si la crue a atteint une intensité similaire ($Q_1$).

Septembre 1980 : $W_o$ = 19636 $m^3$ soit 8,8mm $Q_1$ = 400 l/s $Q_2$ = 83 l/s $Q_3$ = 50 l/s.

Ce sont donc les conditions hydrauliques initiales et non la crue elle-même qui commandent l'écoulement à la décrue et au tarissement. Quand les conditions hydrauliques sont similaires au départ, les paramètres hydrodynamiques présidant à l'écoulement seront comparables : comparer entre elles les deux crues de juillet, ou celle de décembre 1980 avec celle de janvier 1981.

Enfin, remarquons que l'assèchement des réserves à l'étiage entraîne une augmentation des différents coefficients de tarissement. Les $\alpha_1$, $\alpha_2$, $\alpha_3$ de septembre sont plus élevés que les valeurs correspondantes pour le reste de l'année.

La faiblesse de la superficie du bassin versant entraîne des volumes de réserve faibles et des coefficients de tarissement élevés.

b- *Le ruisseau du Cozon à Saint Pierre d'Entremont.*

Pour ce cours d'eau superficiel, nous nous sommes intéressés uniquement au tarissement. Voici les résultats.

| Crue du | $\alpha$ | $Q_o$ $m^3/s$ | $W_o$ $m^3$ |
|---|---|---|---|
| 16 au 23 février 1980 | 0,06 | 0,840 | 1209600 |
| 31 mars au 10 avril 1980 | 0,04 | 0,800 | 1728000 |
| 26 juillet au 3 août 1980 | 0,12 | 0,720 | 518400 |
| 22 septembre au 1 octobre 1980 | 0,10 | 0,250 | 216000 |
| 3 au 13 janvier 1981 | 0,12 | 0,780 | 561600 |

Le tarissement commence à partir d'un débit de l'ordre de 720 à 840 l/s. Les variations des réserves et des coefficients de tarissement suivent les conditions climatiques.

Printemps : beaucoup d'eau disponible : réserves élevées et coefficient de tarissement faible.

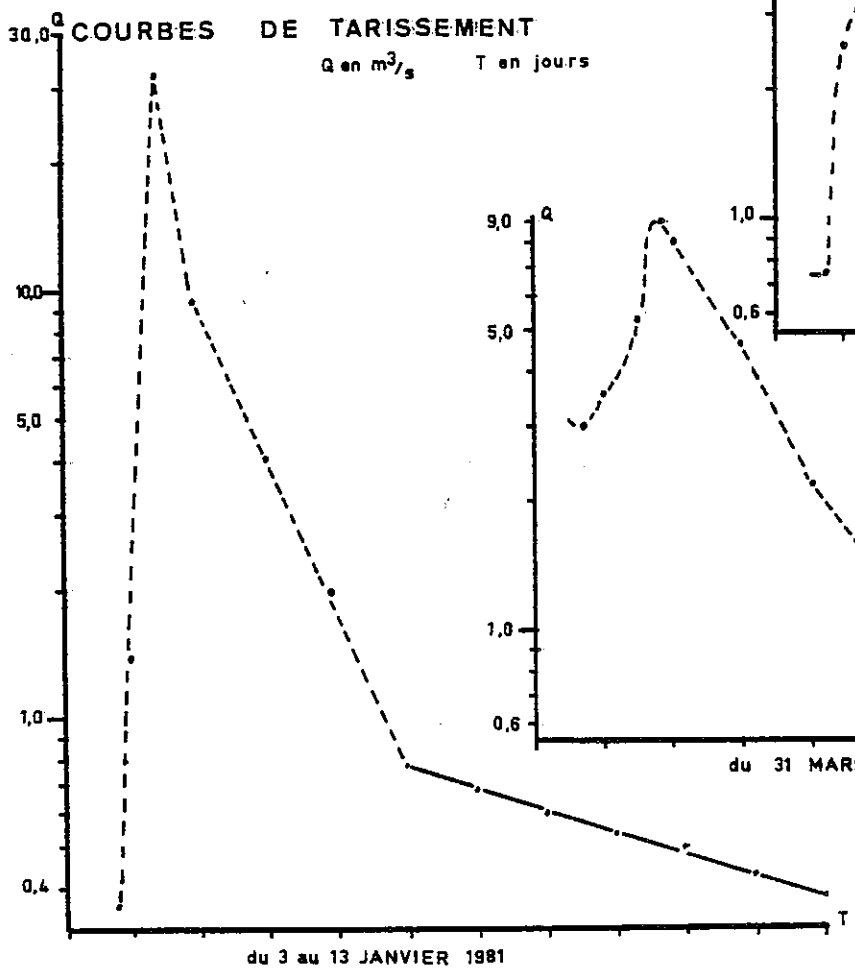
Etiage hivernal et surtout estival : peu d'eau disponible : réserves faibles et coefficient de tarissement élevé.

# LE COZON A S^T PIERRE

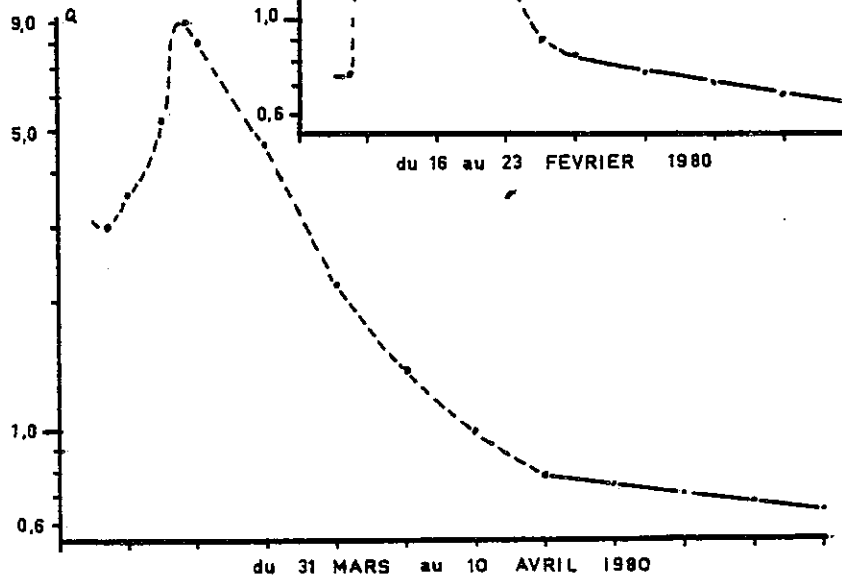
PL 20

## COURBES DE TARISSEMENT

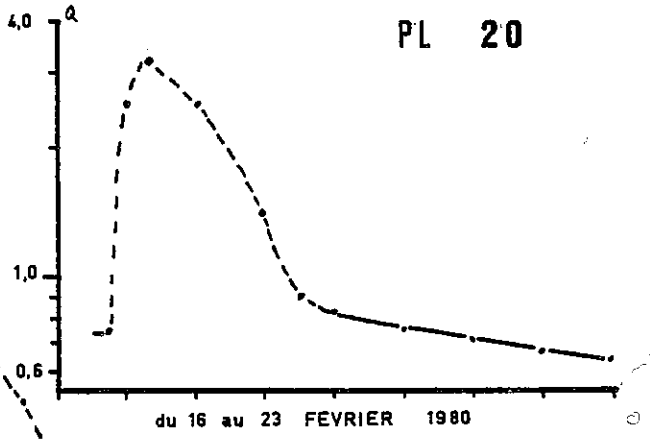
Q en $m^3/s$ T en jours



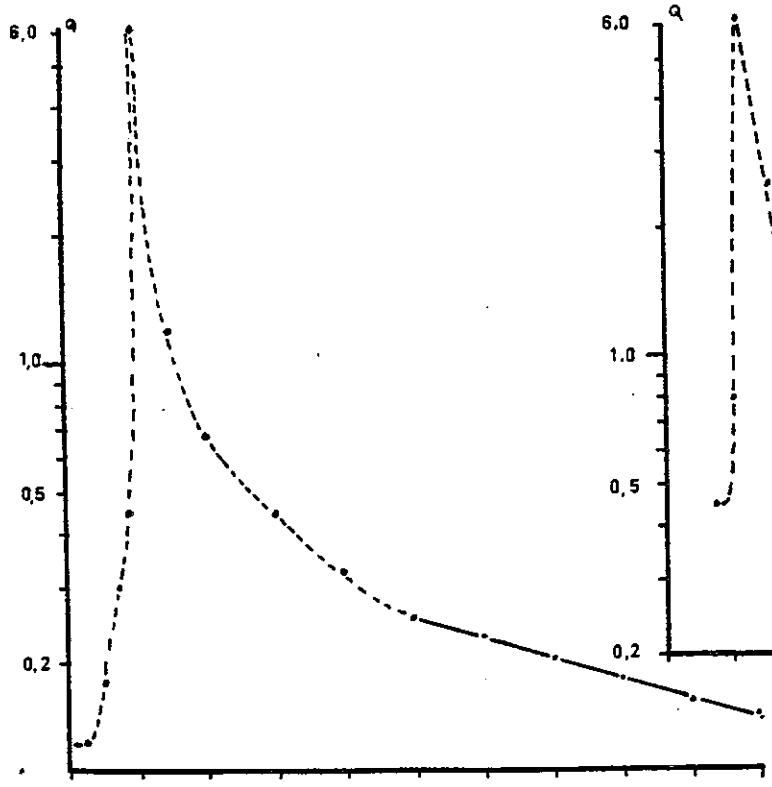

du 3 au 13 JANVIER 1981



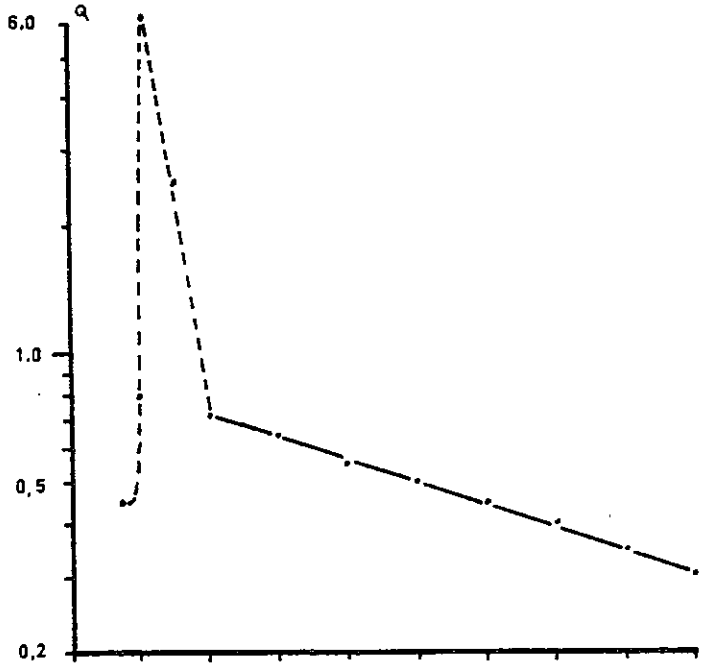

du 31 MARS au 10 AVRIL 1980




du 16 au 23 FEVRIER 1980




du 22 SEPTEMBRE au 1 OCTOBRE 1980




du 26 JUILLET au 3 AOUT 1980

## I.2. Etude de l'infiltration par la méthode de Mangin :

### *a- Principe.*

A. Mangin distingue deux zones au sein du karst :

. une zone non saturée, où s'effectue l'infiltration de débit q ;
. une zone saturée, alimentée par la zone précédente. Les réserves de cette zone noyée délivrent un débit $Q_r$

Pendant la décrue, l'infiltration se poursuit, la zone noyée est en régime influencé : $q > 0$

Le débit Q à l'exutoire est égal à : $Q = Q_r + q$

Pendant le tarissement, l'infiltration a cessé : $q = 0$.

Seules les eaux de réserve sont responsables du débit Q à l'exutoire : $Q = Q_r$.

Le débit $Q_r$ des eaux issues des réserves s'exprime classiquement par la formule de Maillet :

$$Q_r = Q_{ro}\, e^{-\alpha t}$$

Seule différence, $Q_{ro}$ est obtenu graphiquement par l'intersection du prolongement de la droite de tarissement avec l'abscisse $t_o$ de la pointe de crue.

La courbe des débits (q) de l'infiltration est obtenue en déduisant aux débits (Q) de tarissement à l'exutoire les débits correspondants ($Q_r$) relatifs aux eaux de réserve. La formule qui s'approche le mieux de cette courbe de l'infiltration (q) est du type homographique :

$$y = \frac{a\,x + b}{c\,x + d}$$

Il faut donc vérifier par la méthode de l'alignement si nos valeurs de l'infiltration suivent une telle loi. Cette loi, après changement de variable peut s'énoncer ainsi :

$$-\,y = \frac{t_i - t}{q} \qquad t \text{ en jours,} \quad q \text{ en } m^3/s$$

où $t_i$ est la durée globale de l'infiltration.

La loi d'infiltration a alors pour expression :

$$q = \frac{q_o - \eta t}{1 + \varepsilon t} \qquad \text{où}$$

. q est le débit de l'infiltration à un instant $t(t_o = 0 \leq t \leq t_i)$ q en $m^3/s$.

. $q_o$ est le débit de l'infiltration à l'instant $t_o$, pointe de crue
$q_o = Q_{to} - Q_{ro}$

. $\eta$ coefficient de durée ou de vitesse d'infiltration. Plus $\eta$ est grand, plus l'infiltration sera rapide

à $t = ti$ $\quad q = 0 = q_o - \eta ti$

d'où $\eta = \frac{q_o}{ti}$ (t exprimé en jours)

. $\varepsilon$ coefficient d'hétérogénéité d'écoulement. Il caractérise la concavité de la courbe d'infiltration. Un $\varepsilon$ grand traduit une vitesse d'infiltration rapide au début, puis ensuite plus lente. Si $\varepsilon$ tend vers 0, la vitesse d'infiltration est homogène et constante. $\varepsilon$ est déterminé par le calcul à partir des points présentant un bon alignement au moment de la varification de la loi homographique de l'infiltration.

L'équation générale de la courbe de décrue et de tarissement peut alors s'écrire :

$$Q = Q_{ro}\, e^{-\alpha t} + \frac{q_o - \eta t}{1 + \varepsilon t} \quad \text{en régime laminaire.}$$

Le volume de l'infiltration est exprimé par la formule :

$$Vi = \int_0^{t = \frac{q_o}{n}} q dt = \frac{2.30\eta(1+\frac{\varepsilon q_o}{\eta})\ \log\ (1+\frac{\varepsilon q_o}{\eta}) - \varepsilon q_o}{\varepsilon 2}$$

Rappelons que le volume dynamique des réserves est égal à :

$$W_o = \int_0^{\infty} Q_{ro}\, e^{-\alpha t} = \frac{Q_{ro}}{\alpha}$$

Ces valeurs $V_i$ et $W_o$ sont à multiplier par 86400 si t est exprimé en jours.

b- *Application à la source de La Fracette.*

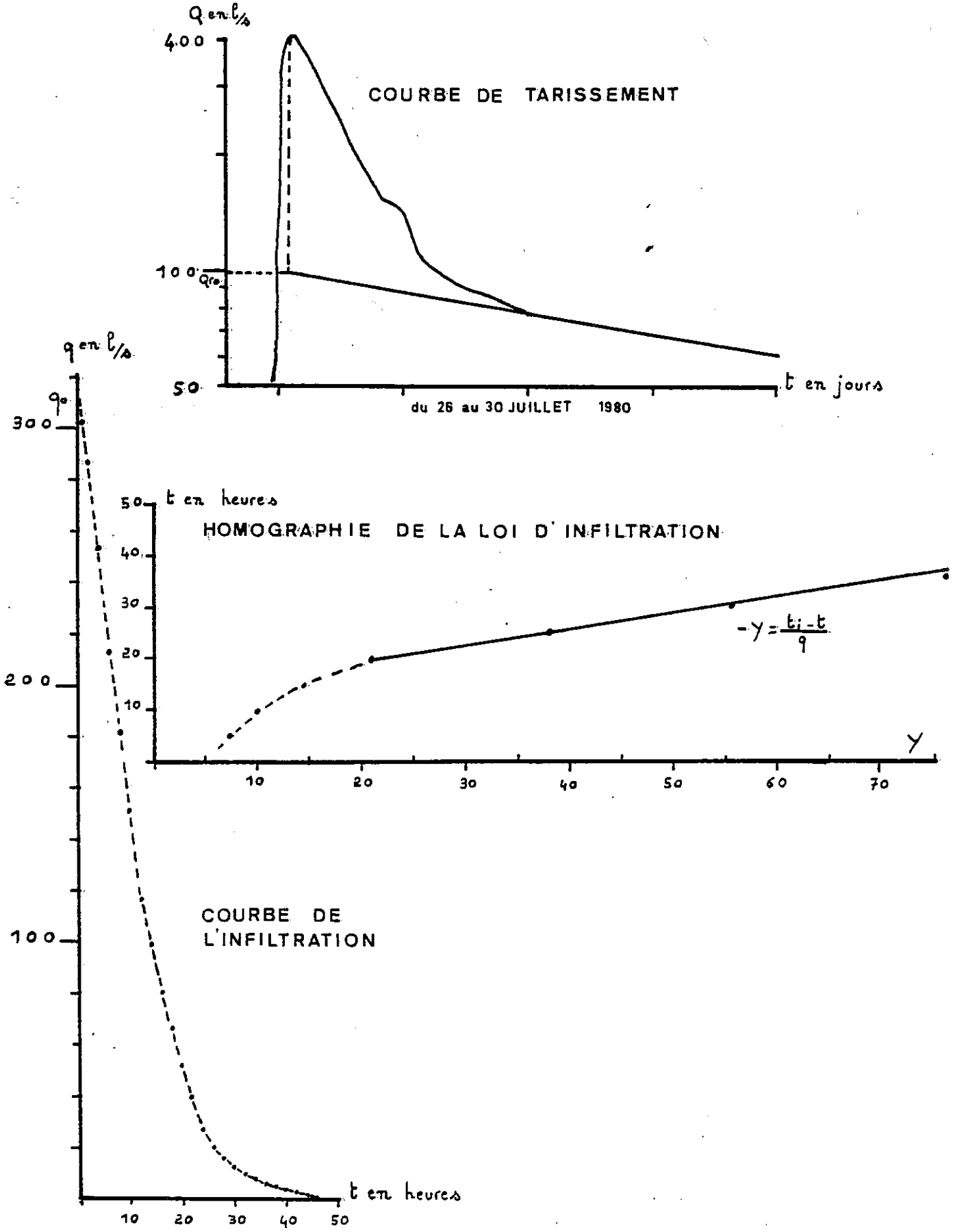
Il a été choisi trois épisodes correspondant à trois conditions hydrodynamiques initiales différentes.

. crue du 27.07.1980 (pl. 21) : débit soutenu de fin de printemps, début de l'été.

. crue du 6.09.1980 (pl. 22) : étiage d'été sévère.

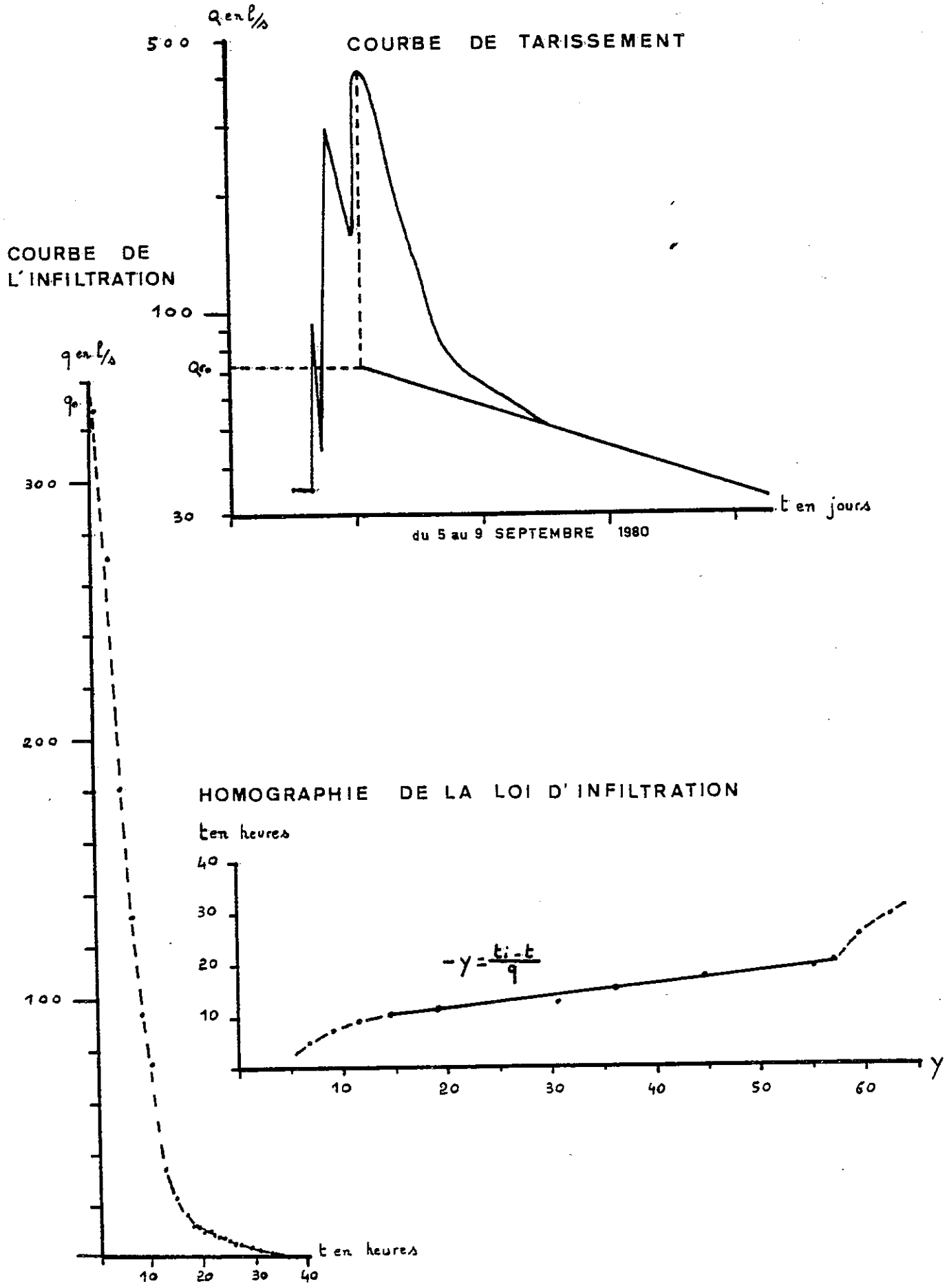
. crue du 15.12.1980 (pl. 23) : hautes eaux de fin d'automne, début de l'hiver.

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

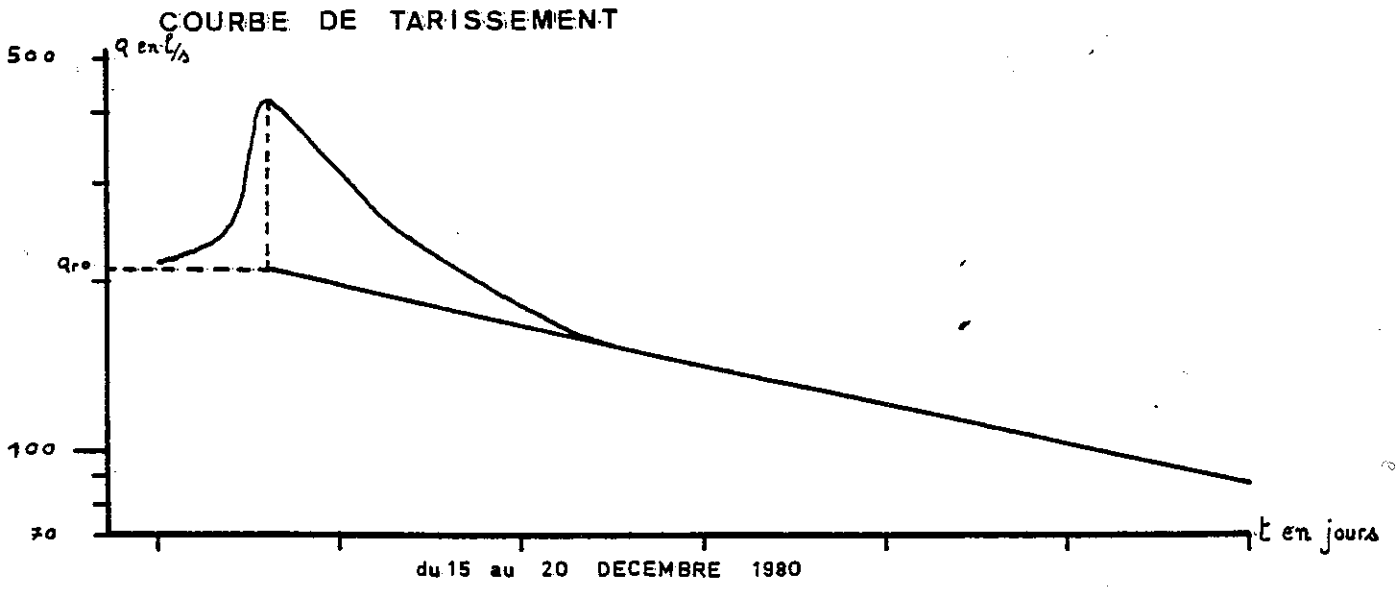

Q en l/s
400
100
Qro
50
COURBE DE TARISSEMENT
t en jours
du 26 au 30 JUILLET 1980
q en l/s
q0
300
200
100
t en heures
50
40
30
20
10
HOMOGRAPHIE DE LA LOI D'INFILTRATION
-y = (ti - t)/q
Y
10
20
30
40
50
60
70
COURBE DE
L'INFILTRATION
t en heures
10
20
30
40
50

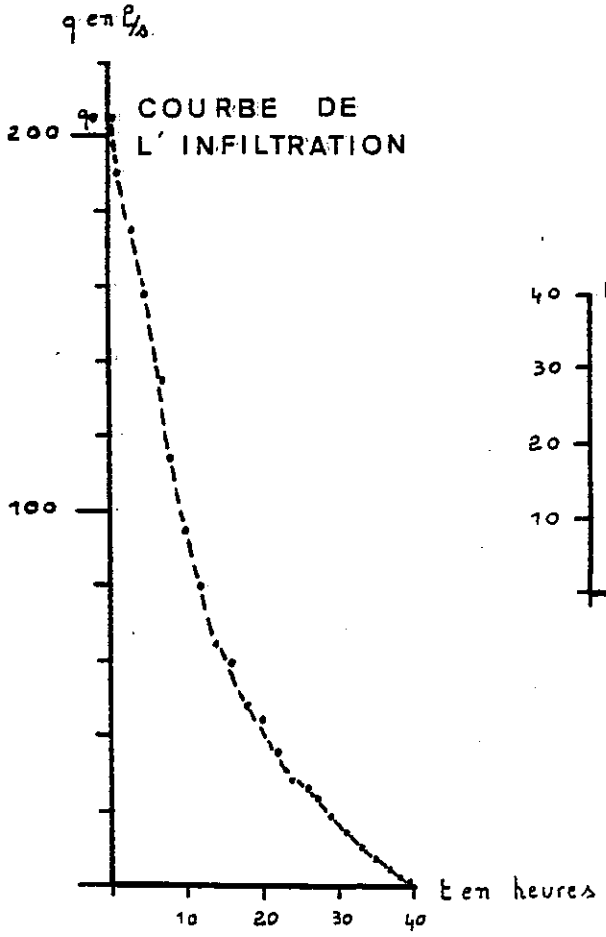
LA FRACETTE CRUE DU 6·09·80 méthode de MANGIN

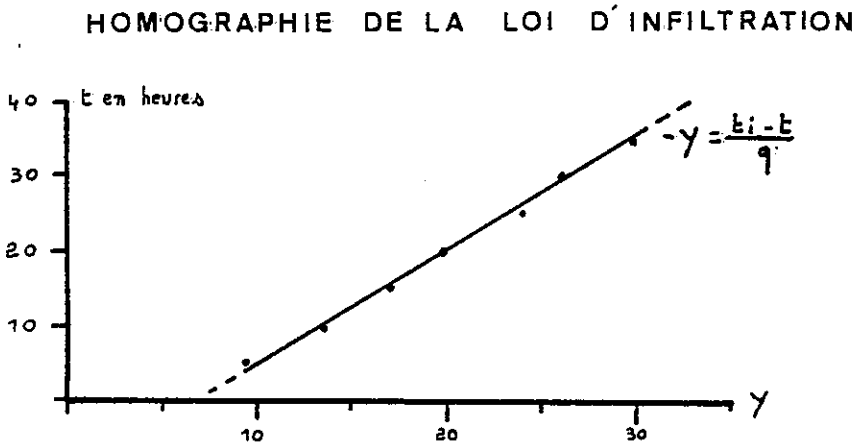
PL 22



LA FRACETTE CRUE DU 15-12-80 méthode de MANGIN PL 23



| Crue du | 27.07.1980 | 6.09.1980 | 15.12.1980 |
|---|---|---|---|
| $\alpha$ ($J^{-1}$) | 0,13 | 0,22 | 0,17 |
| $Q_{ro}$ (l/s) | 99 | 73 | 210 |
| $q_o$ l/s | 311 | 337 | 205 |
| ti heures | 46 | 35 | 40 |
| $\eta$ (t en jours) | 0,162 | 0,231 | 0,123 |
| $\varepsilon$ (t en jours) | 4,650 | 10,125 | 1,720 |
| $W_o$ $m^3$ | 65797 | 28669 | 106729 |
| $V_i$ formule $m^3$ | 8955 | 5584 | 8450 |
| $V_i$ planimétrage $m^3$ | 12960 | 8460 | 8640 |

Crue du 6.09.1980.

Situation hydraulique avant la crue : les réserves sont pratiquement nulles, le débit initial est alors très bas : de l'ordre de 35 l/s.

A la suite de la crue, les eaux infiltrées circulent très rapidement ($\eta$ élevé) et ressortent à l'exutoire sans rencontrer d'eaux de réserve susceptibles de les ralentir. Puis cette infiltration reconstitue peu à peu les réserves : $W_o$ de l'ordre $3.10^4$ $m^3$ et $Q_{ro}$ = 73 l/s. La formation de cette masse d'eau ralentit progressivement la vitesse de circulation des eaux infiltrées ($\varepsilon$ fort).

Crue du 27.07.1980.

Elle occupe une position intermédiaire entre les deux cas développés.

Crue du 15.12.1980.

Situation hydraulique avant la crue : les réserves sont élevées et donc le débit initial aussi : 220 l/s environ. A la suite de la crue, les eaux infiltrées sont ralenties dès le début de leur progression ($\eta$ faible) par le stock important des eaux de réserve existant déjà. L'inertie relative des eaux stockées lors des crues précédentes, et le mélange avec les eaux d'infiltration de la crue étudiée provoquent une régularisation des vitesses ($\varepsilon$ faible) au moment de la restitution de toutes ces eaux pendant la décrue.

Il faut aussi signaler, pour cette période, l'effet du couvert neigeux à la surface du massif. L'interception et le séjour dans la neige provoque, au départ, une régularisation de l'infiltration potentielle.

La figure n° 10 schématise le fonctionnement de l'infiltration pour les deux cas exposés. (figure page 106).

Il a été également calculé le volume de l'infiltration par planimétrage à partir de la courbe de l'infiltration $q = f(t)$. Quand le coefficient d'hétérogénéité $\varepsilon$ est fort, la différence est grande entre le volume d'infiltration calculé par la formule d'une part, par planimétrage d'autre part. Remarquons que la quantité d'eau infiltrée pendant la crue du 6.09.1980 est comparable à celle du 15.12.1980. Le comportement hydraulique a cependant été totalement différent.

## II. ETUDE STATISTIQUE DES DEBITS CLASSES (d'après A. Mangin).

### II.1. Application à la source de la Fracette :

Les débits moyens journaliers sont répartis en classes. A chaque classe est attribué le pourcentage de jours correspondant pour la période étudiée. La courbe, débits classés - pourcentages relatifs cumulés, se répartit, comme l'a montré A. Mangin, selon une loi logarithmique. Sur la planche n° 24, les débits ont été portés sur une échelle logarithmique. Les classes des débits ont été choisies avec un intervalle de 10 l/s pour les débits faibles, puis au-delà de 80 l/s les intervalles ont été portés à 20 l/s.

Les points se répartissent selon trois segments de droite à pente croissante. Rappelons que plus la pente est faible, plus la décroissance des débits est lente.

. Le premier segment de droite, à pente $\alpha_1$ faible, correspondant à des débits inférieurs à 45 l/s, se rapporte à l'étiage.

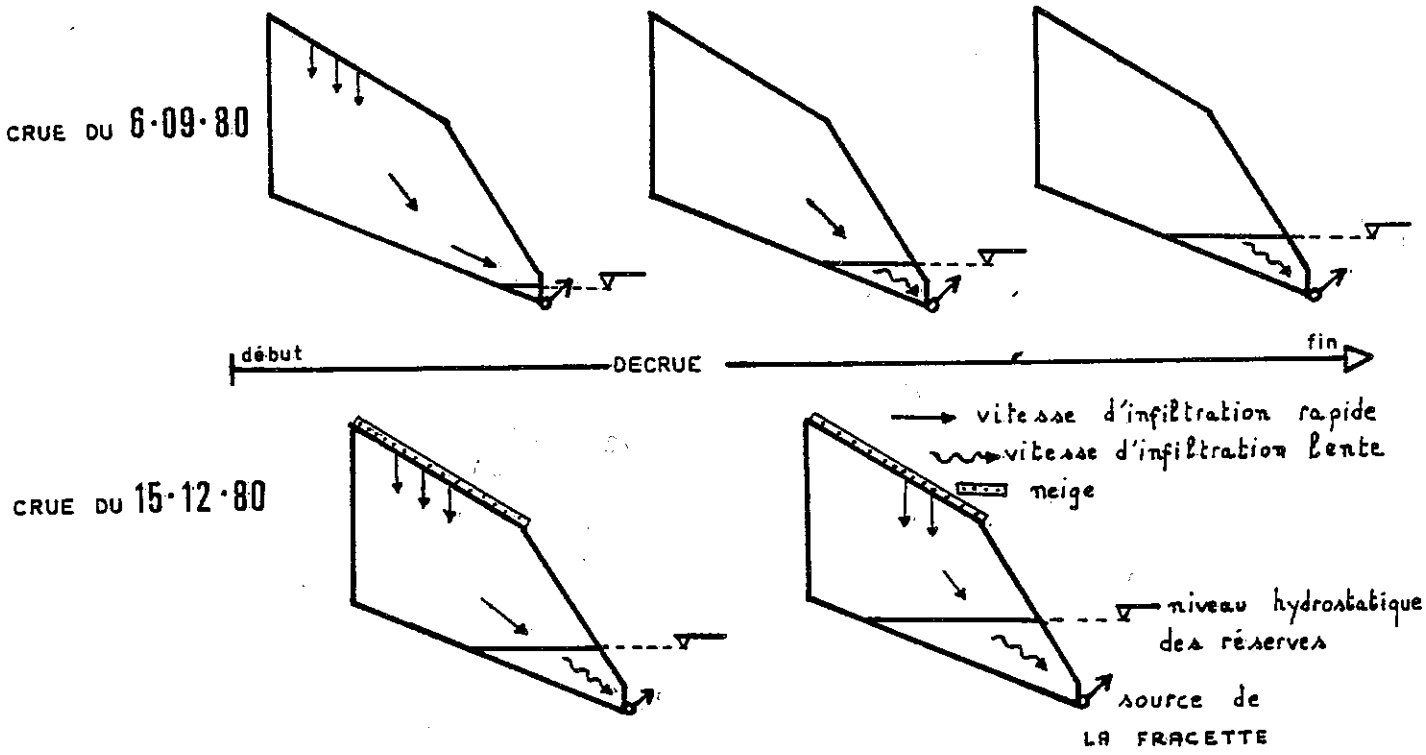
. Le deuxième segment, à pente $\alpha_2$ mieux marquée peut être attribué aux décrues. Les débits correspondants varient entre 45 l/s et 330 l/s.

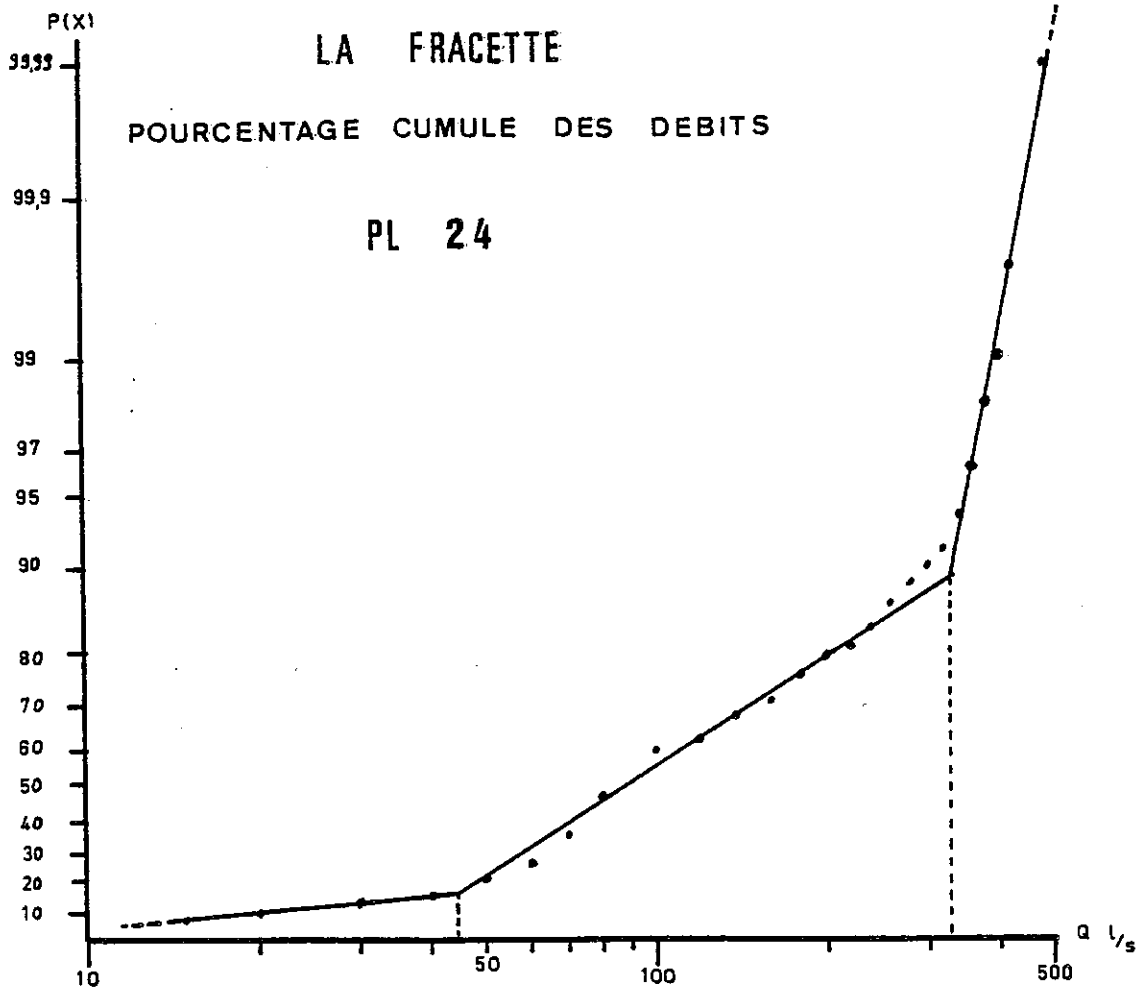
. Le dernier segment, avec des débits supérieurs à 330 l/s, a une pente $\alpha_3$ très forte. Il concerne les crues.

L'augmentation de la pente du dernier segment de droite correspondant aux forts débits peut être interprétée soit par l'existence d'un trop-plein, soit par la formation momentanée de réserves. L'étude géologique et celle du bilan ont montré que l'hypothèse d'un trop-plein n'est pas à prendre en compte.

L'étude des débits classés met donc en évidence un phénomène de stockage momentané quand le débit dépasse le seuil de 330 l/s. Le déstockage de ces réserves a lieu pendant la décrue $\alpha_2 < \alpha_3$ mais aussi pendant le tarissement : $\alpha_1 < \alpha_2$

LA FRACETTE SCHEMATISATION DE L'INFILTRATION FIG 10



## III. RELATION PRECIPITATION - DEBIT : VITESSE DE REACTION A L'EXUTOIRE.

Cette étude a été menée pour la source karstique de la Fracette. Nous avons cherché à définir le temps de transfert entre un épisode pluvieux sur le bassin versant et ses conséquences au niveau des débits à l'exutoire.

Le temps de référence pour un épisode pluvieux correspondra à l'instant où 50% des précipitations auront déjà été enregistrées. Le pas de temps au dépouillement du pluviogramme est d'une heure.

Pour caractériser l'hydrogramme pendant la crue, nous utiliserons le temps de remontée correspondant au temps écoulé entre la pointe de crue et le début de celle-ci.

Enfin, le temps de réponse des débits aux précipitations est le temps écoulé entre le temps de référence de celles-ci et le début de la crue.

Le plus proche pluviographe et thermographe est celui installé au col du Granier. Son emplacement n'est donc pas précisément sur le bassin versant. Il y a une certaine marge d'erreur, surtout pour les précipitations d'été. En effet, les orages locaux, de relief, ne concernant pas tout le terrain, sont fréquents à cette époque.

### III.1. Les crues de fonte des neiges :

L'hydrogramme du 28 avril au 4 mai 1980 (pl. n° 25) présente une série de petites crues répétitives, similaires, et toujours aux mêmes heures de la journée. Les précipitations ont été nulles pendant cette période. La régularité de ces crues, en phase avec les variations de température nous indique qu'il s'agit de crues de fonte des neiges.

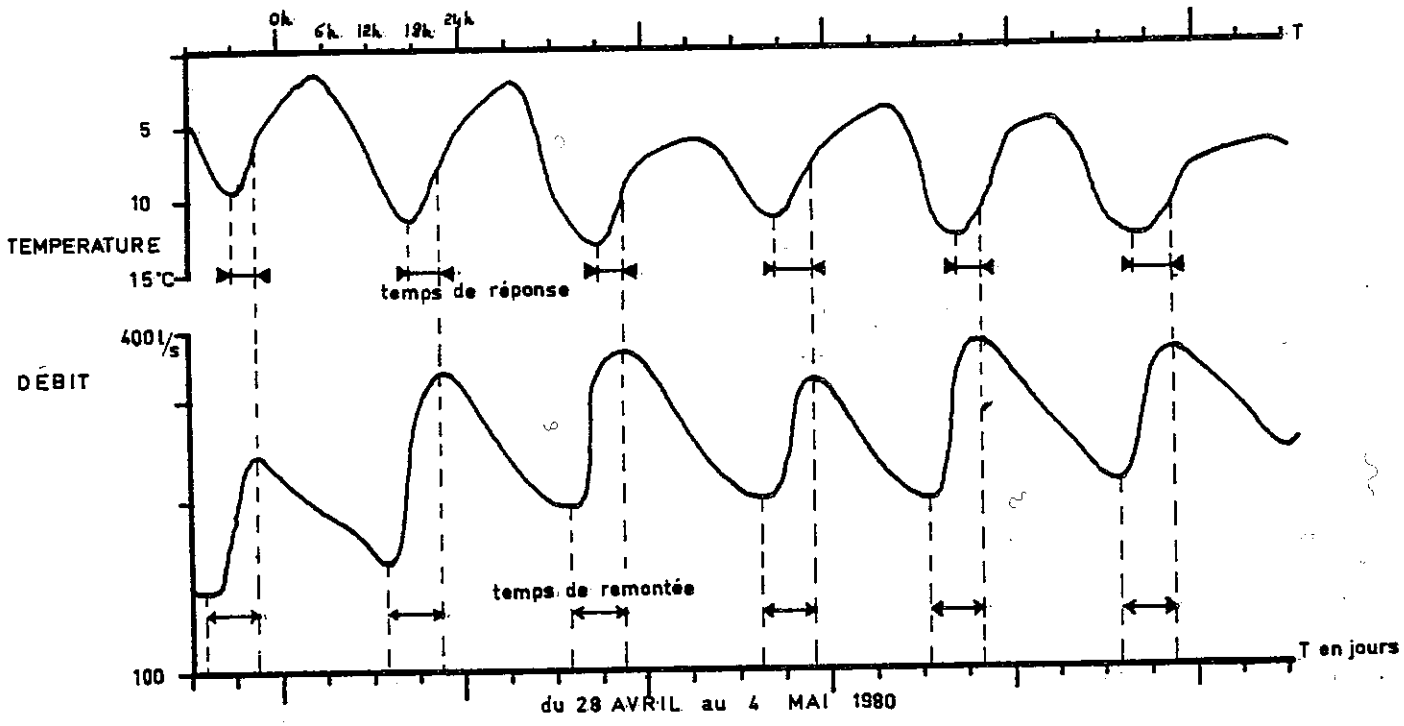
En supposant qu'au moment où la température est la plus élevée, la fonte soit aussi à son maximum, nous pouvons définir :
- le temps de réponse : varie entre 3 et 5 heures ;
- le temps de remontée est quand à lui constant : 7 heures.

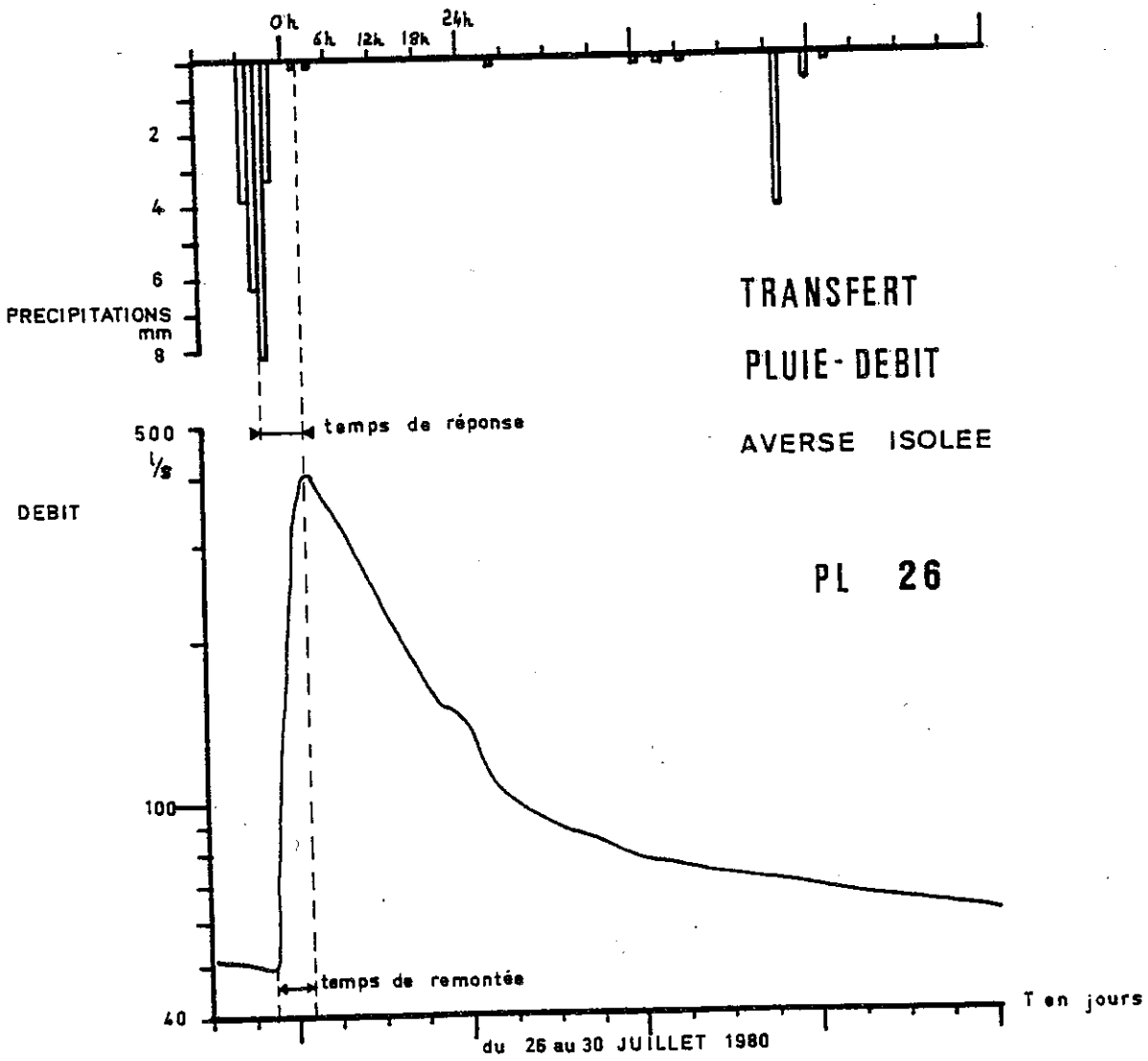
Dans notre hypothèse d'une concordance entre le maximum des températures et de la fonte, nous aurions alors un temps de réponse inférieur au temps de remontée. Ceci est tout à fait exceptionnel. Comme nous allons le voir, c'est toujours l'inverse qui se produit pour les crues dues aux pluies.

### III.2. Cas d'une averse isolée (pl. n° 26) :

L'averse du 26 juillet 1980 a été isolée, courte (4 heures), et de faible intensité : moyenne de 5,4 mm/h avec un maximum à 8,2 mm/h. Le temps de réponse pour les débits a été de 6 heures, le temps de remontée de 4 heures.

TRANSFERT FONTE DES NEIGES - DEBIT PL 25



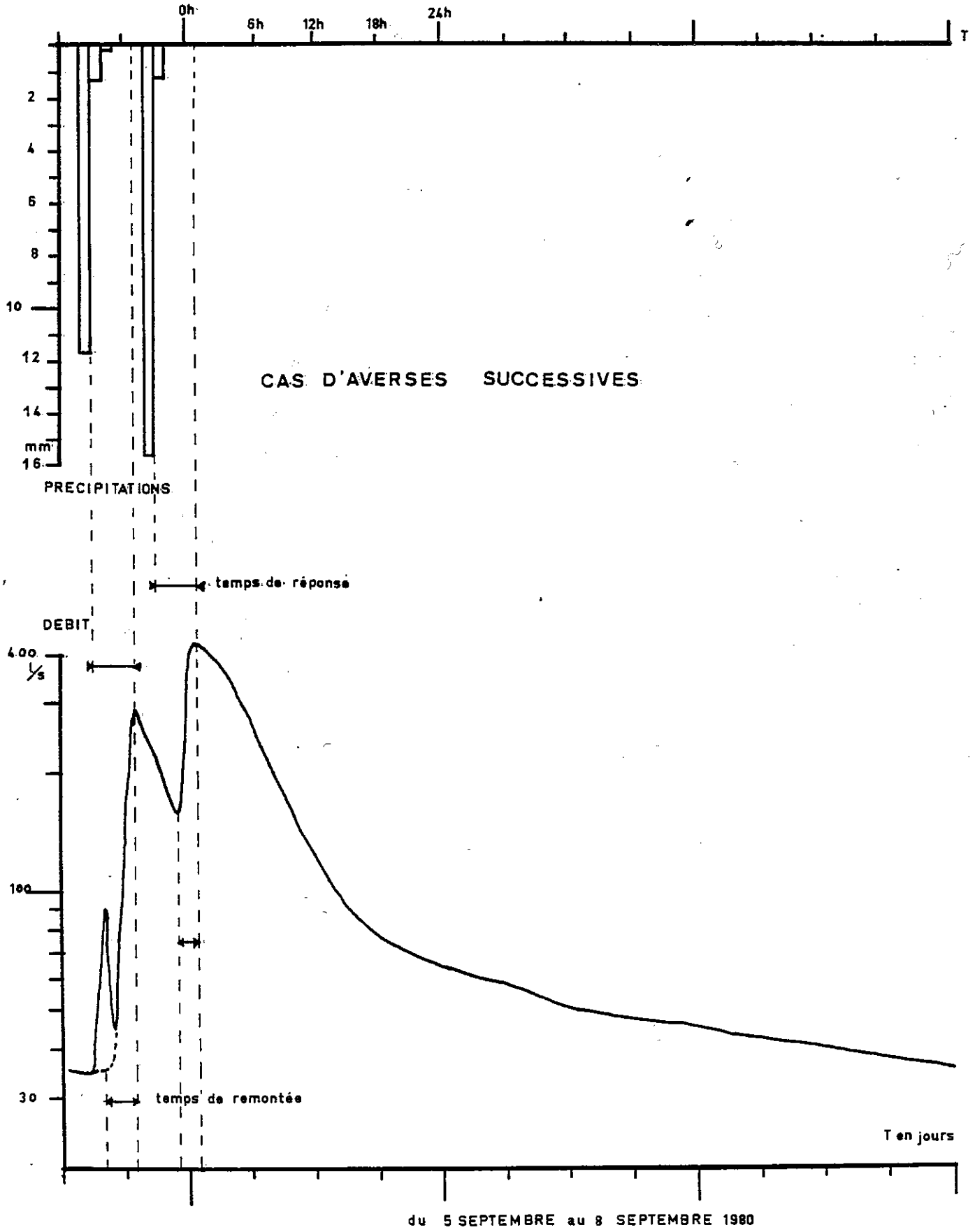




TRANSFERT

PLUIE - DEBIT

AVERSE ISOLEE

PL 26


0h
6h
12h
18h
24h
T
2
4
6
8
10
12
14
mm
16
PRECIPITATIONS
CAS D'AVERSES SUCCESSIVES
temps de réponse
DEBIT
400
l/s
100
30
temps de remontée
T en jours
du 5 SEPTEMBRE au 8 SEPTEMBRE 1980

Lors du tarissement, les 5mm de précipitation du 29 juillet n'ont pas engendré d'augmentation de débit. La réponse a été nulle. Compte-tenu des remarques préliminaires sur la relativité des mesures de précipitation nous nous garderons de conclure.

### III.3. Cas de deux averses successives (pl. n° 27).

En pleine période d'étiage, les précipitations du 5 septembre 1980 ont été les bienvenues pour reformer les réserves souterraines. Les précipitations ont pris la forme de deux averses très courtes (deux heures chacune), intenses (maximum de 11,7 mm/h pour la première et 15,6 mm/h pour la seconde), séparées par un intervalle de 4 heures. Ce laps de temps a été suffisant pour que la décrue s'amorce.

Premier épisode : temps de réponse : 4 heures
temps de remontée : 3 heures.

Second épisode : temps de réponse : 4 heures
temps de remontée : 2 heures.

### III.4. Conclusion :

Les temps de réponse et de remontée varient selon le type de précipitation et les conditions hydrologiques initiales. Cette méthode nécessite un appareillage météorologique centré impérativement sur le bassin versant. Ce n'était pas notre cas, d'où la difficulté d'interprétation. Le faible volume du massif karstique concerné entraîne des réponses très rapides à l'exutoire.

## IV. CONCLUSION GENERALE.

Toutes les différentes méthodes utilisées dans ce chapitre consacré à l'hydrodynamique des écoulements tendent vers la même conclusion :

La circulation des eaux est rapide et les réserves de l'aquifère sont très faibles.

Les temps de réponses aux précipitations sont brefs. L'infiltration et les décrues sont rapides. Le mélange entre les eaux de pluie et les eaux de réserves semble difficile, il n'est en tous cas pas immédiat. Les coefficients de tarissement sont élevés. Tous ces caractéristiques de l'écoulement des eaux, dont nous avons pu chiffrer la valeur, ne sont pas des constantes et varient en permanence selon les conditions climatiques du moment et l'état hydraulique initial du karst. Ce fait est également un argument prouvant le faible volume des réserves.

# TROISIEME PARTIE

# HYDROCHIMIE

# CHAPITRE IX

# HYDROCHIMIE

Les paramètres physico-chimiques d'une eau, leurs variations dans le temps, sont les révélateurs de la nature de l'aquifère et du mode de circulation dans celui-ci. Nous les juxtaposerons aux conditions géologiques à l'émergence.

## I. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES : METHODOLOGIE.

### I.1. Les paramètres physiques :

#### a- *Le débit.*

Les débits des sources ont été le plus généralement mesurés à l'aide d'une capacité jaugée. Pour les débits plus élevés, nous avons eu recours à la méthode de dilution chimique (à débit constant).

Il est communément admis une erreur inférieure à 10%.

#### b- *La température.*

La température de l'eau à l'émergence dépend de l'altitude et du volume des réserves de l'aquifère. Les mesures ont été effectuées avec un thermomètre à mercure gradué au 1/10 de degré centigrade.

#### c- *La résistivité.*

Elle permet de quantifier la résistance électrique de l'eau en fonction de la nature et de la quantité des sels minéraux dissous. Nous aurons donc une image de la minéralisation globale de cette eau.

Les mesures ont été effectuées en laboratoire avec une précision de 2%. Nous avons également utilisé sur le terrain, à titre de contrôle, un appareil portatif d'une précision de l'ordre de 100 Ω cm.

*d- Le PH.*

Le P.H. est le cologarithme de la concentration en ions $H^+$. Il a été mesuré en laboratoire avec une précision de 0,1 unité PH.

## I.2. Méthodes de détermination des paramètres chimiques :

Nous étudierons la concentration des éléments suivants :

cations : $Ca^{2+}$ ; $Mg^{2+}$ ; $Na^+$ ; $K^+$

anions : $HCO_3^-$ ; $Cl^-$ ; $SO_4^{2-}$ ; $NO_3^-$

et la silice $SiO_2$

Nous avons fait appel à trois méthodes différentes.

*a- La volumétrie.*

Elle a été utilisée pour le dosage des cations principaux (calcium et magnésium), de l'anion dominant : le bicarbonate ainsi que pour la mesure de l'anion chlorure.

La méthode consiste à faire complexer ou à neutraliser chaque sel minéraux étudié, à un Ph donné et avec un indicateur coloré spécifique. La précision est de l'ordre de 2%.

*b- La colorimétrie.*

Elle a permis le dosage des anions sulfates et nitrates ainsi que de la silice.

Les éléments dosés donnent, avec un réactif, une coloration dont la densité optique est fonction de la concentration. La précision est de l'ordre de 20%. Heureusement, les éléments ainsi mesurés ont une importance et une concentration très secondaires dans la chimie de l'eau (sulfates, nitrates, nitrites).

*c- La spectrophotométrie.*

Elle a été utilisée pour le dosage par absorption atomique des cations sodium et potassium.

Ces mesures ont été effectuées au Laboratoire d'Hydrobiologie de la Faculté de Pharmacie de Grenoble. Elles ont une précision de 2%.

## II. LA CHIMIE DES PRECIPITATIONS.

Les apports en éléments de la part des précipitations ne sont pas négligeables. Ils varient beaucoup. Nous nous contenterons de donner les résultats de quelques analyses effectuées à partir d'échantillons recueillis au pluviographe du col du Granier.

| Date | Résistivité Ω cm | $Ca^{2+}$ mg/l | $Mg^{2+}$ mg/l | $HCO_3^-$ mg/l | $SO_4^{2-}$ mg/l |
|---|---|---|---|---|---|
| 8.02.80 | 272 938 | 0,80 | 0,49 | 6,10 | 0,00 |
| 30.03.80 | 67 635 | 1,80 | 1,09 | 8,54 | 0,00 |
| 13.09.80 | 20 781 | 4,81 | 2,92 | 25,65 | 3,00 |
| 18.10.80 | 108 184 | 2,40 | 1,22 | 6,10 | 1,00 |
| 14.11.80 | 121 225 | 1,20 | - | 9,76 | 0,00 |

le 13.09.80 $NO_3^-$ : 0,34 mg/l $SiO_2$ : 0,15 mg/l

## III. L'ETUDE DES SOURCES.

Sur la figure n° 11, nous avons localisé les sources et les ruisseaux qui ont fait l'objet d'une étude suivie sur un cycle hydrologique.

Nous les diviserons en trois grands groupes :

. les sources du Berriasien ;
. les sources du Néocomien calcaire ;
. les sources de l'Urgonien.

Il faut également signaler la présence d'une source dans le Tithonique et une dans le Miocène.

### III.1. Caractères généraux des émergences :

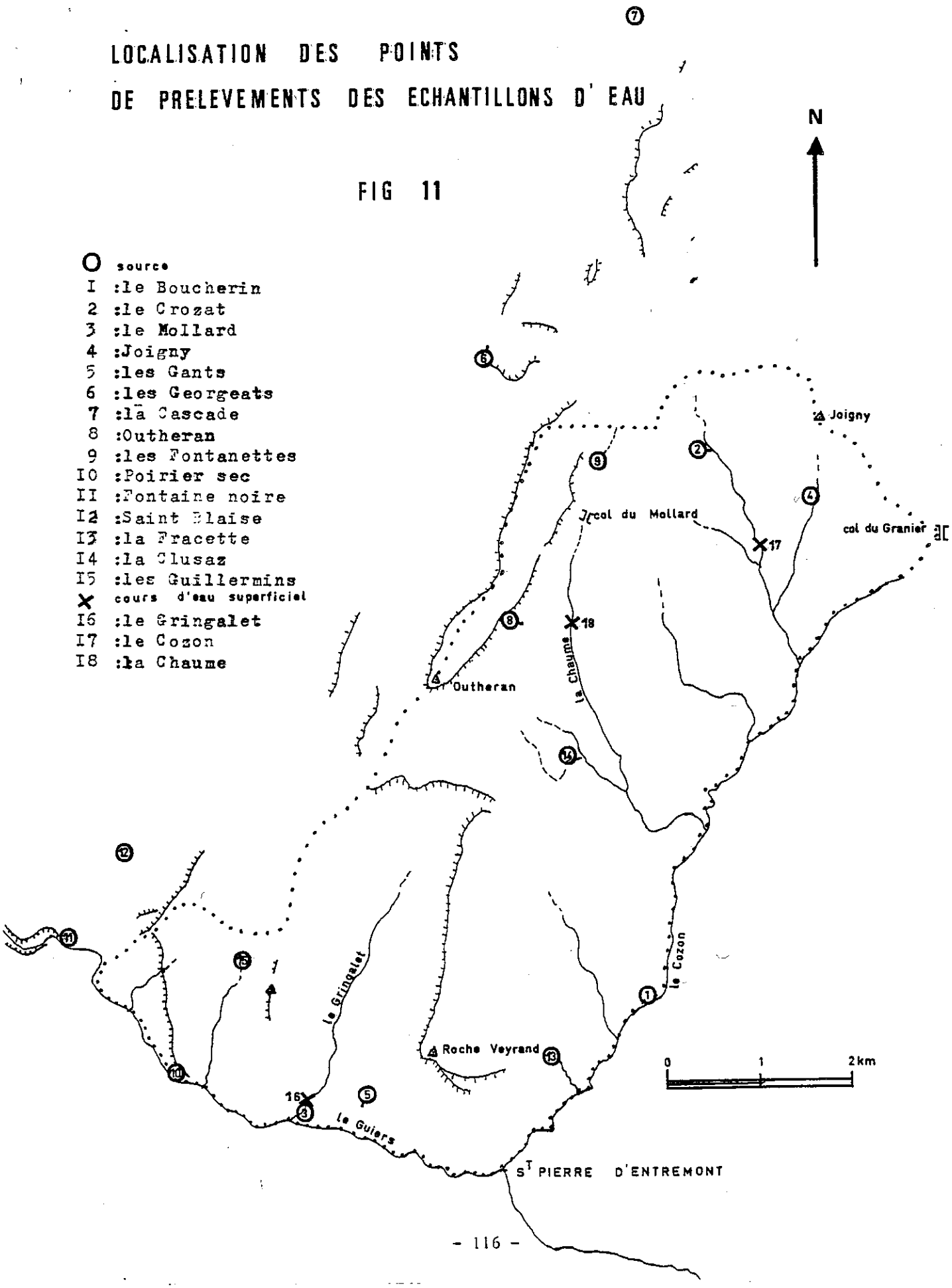
#### *a- Relation température-altitude.*

R. Michel (1960) a montré la concordance entre la température moyenne annuelle de l'air et la température des sources dans le département de l'Isère. Cette concordance est valable jusqu'à 1200m environ. Au-delà, la température des sources est supérieure à celle de l'air, la couverture nivale constituant un isolant thermique.

Sur la planche n° 28, on a représenté la droite définissant la température moyenne annuelle de l'air en fonction de l'altitude pour la région étudiée. Nous avons reporté également les températures moyennes des émergences et leurs domaines de variation.

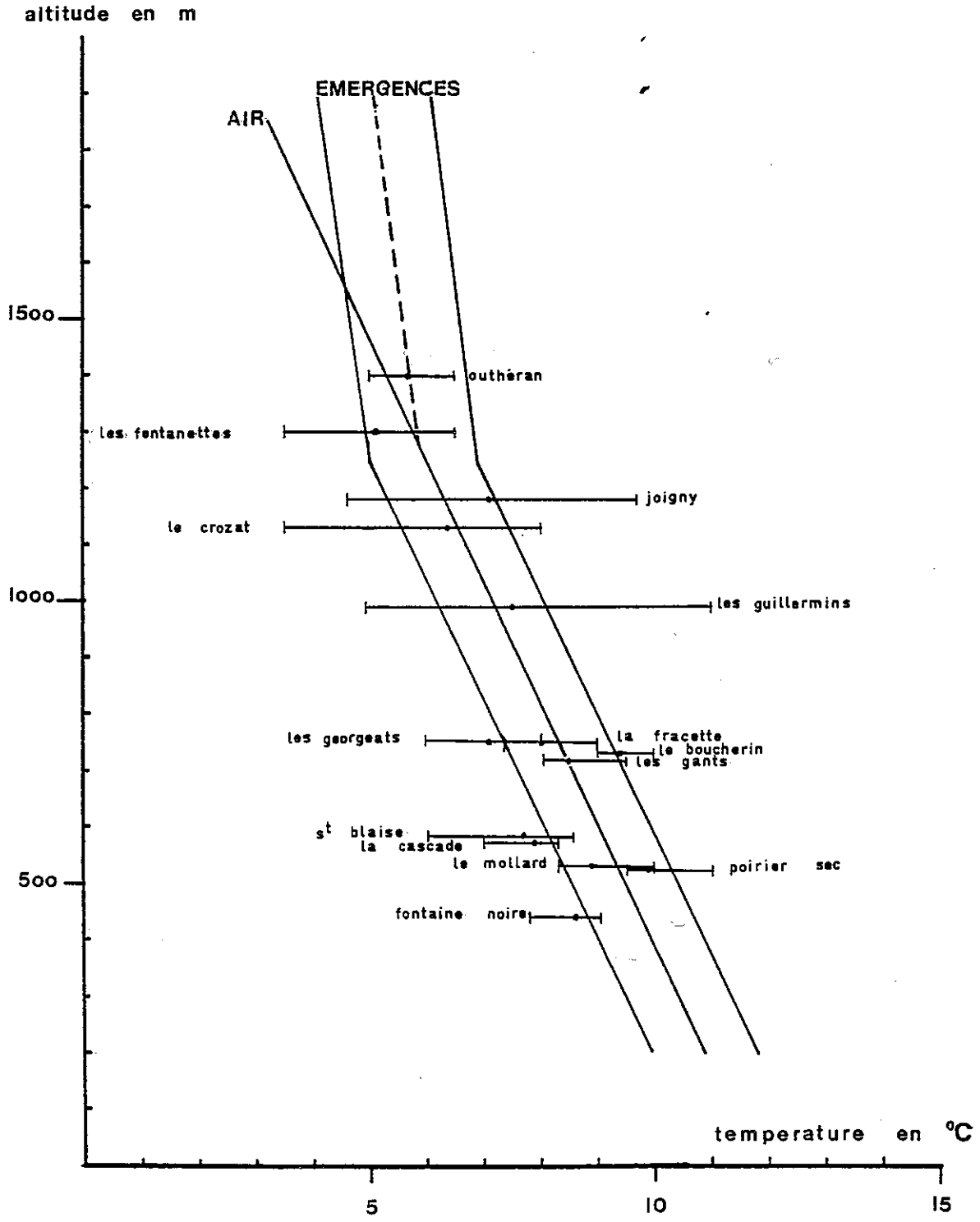
# LOCALISATION DES POINTS DE PRELEVEMENTS DES ECHANTILLONS D'EAU

FIG 11

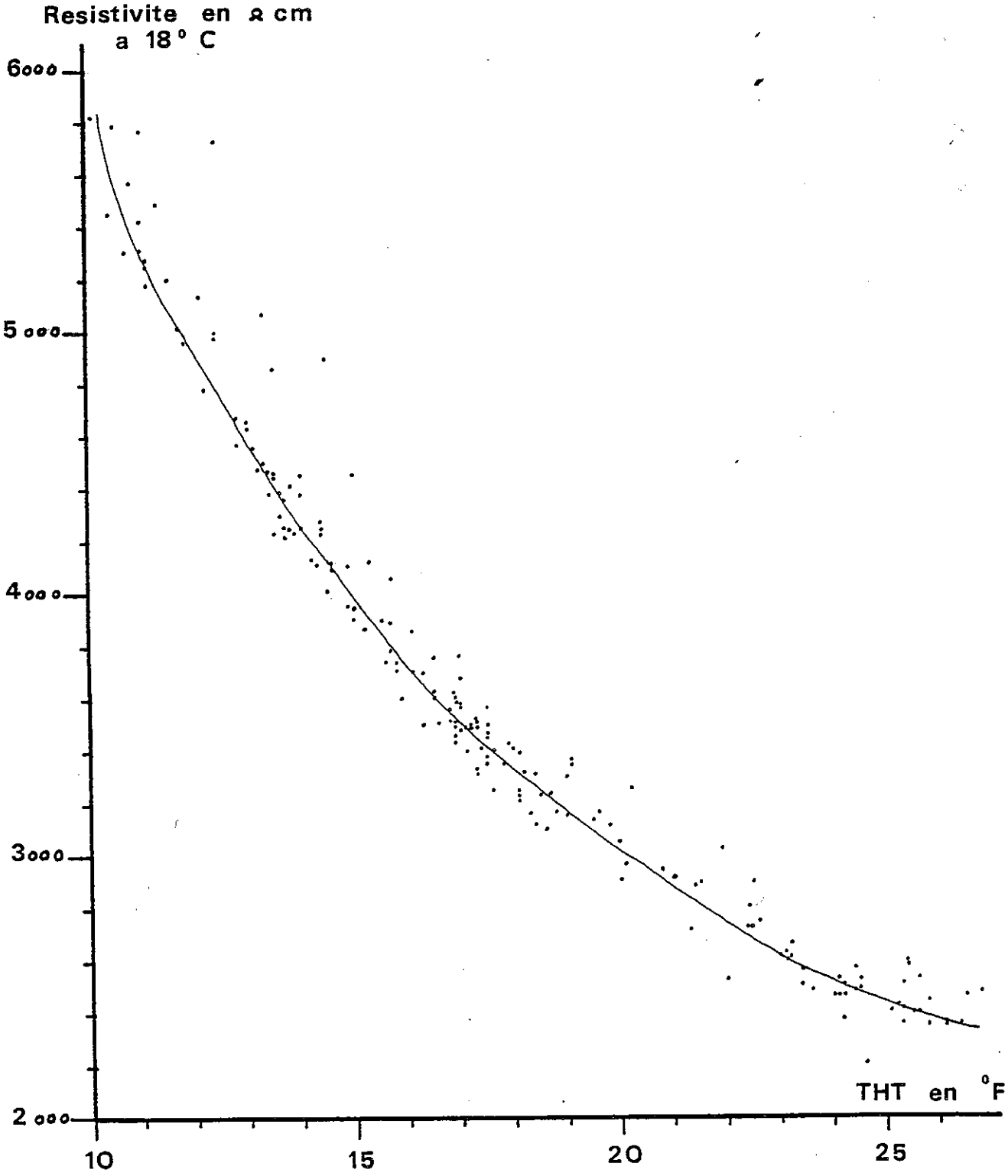


# RELATION TEMPERATURE - ALTITUDE DES PRINCIPALES EMERGENCES

PL 28



# RELATION RESISTIVITE – T.H.T.



*b- Relation titre hydrométrique total (THT) - résistivité.*

Les ions calcium et magnésium sont les deux cations principaux pour les eaux étudiées. Il est donc intéressant de relier la résistivité (mesure de la minéralisation totale) à la concentration en cations calciques et magnésiens, c'est-à-dire le T.H.T.

La courbe de la planche n°29 a été obtenue en reportant les résultats d'environ 190 analyses correspondant à l'étude de la chimie des eaux de notre terrain sur un cycle annuel.

Les variations de la minéralisation suivent, une loi du type $THT = a.\ R^{-\frac{1}{b}}$.

Les eaux étudiées étant essentiellement bicarbonatées calciques, la variation de la résistivité selon l'anion équilibrant, $HCO_3^-$, sera similaire.

## III.2. Les sources du Jurassique :

*a- La source du Boucherin ou du Pont du Lac.*

X = 876.8 Y = 354.2 (Lambert III) Z = 730m.

Le Jurassique affleure sur une très petite surface de notre terrain, par conséquent les sources sont peu nombreuses.

La seule présente, celle du Boucherin, est située au coeur d'un petit anticlinal de Malm, au front ouest de l'anticlinorium oriental. Le bassin versant doit correspondre aux affleurements des calcaires tithoniques de ce petit anticlinal qui se développe immédiatement au Nord de la source. Le captage est réalisé sur le flanc est, au niveau d'un interbanc, au bord de la route. Un trop-plein, situé quelques mètres au-dessus, entre en action quand le débit de la source atteint 7 l/s.

J.P. Bozonat s'était déjà intéressé à cette source. Voici les valeurs qu'il a observé pendant la période allant de août 1978 à mai 1979.

Composition chimique moyenne.

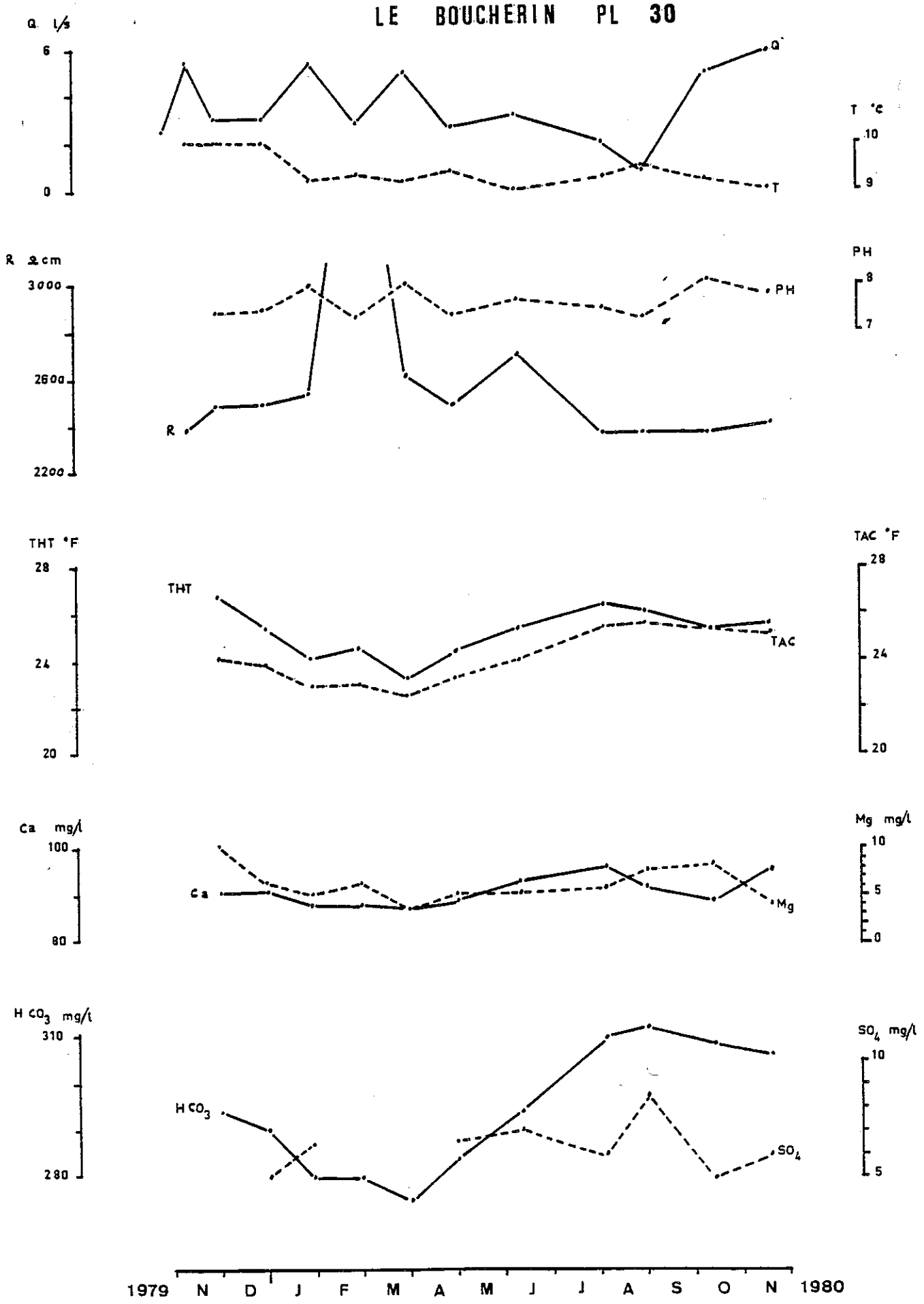
| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | $K^+$ | $HCO_3^-$ | $Cl^-$ | $SO_4^{2-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 87,00 | 4,03 | 1,74 | 0,70 | 273 | 1,04 | 7,4 |
| C en meq/l | 4,35 | 0,33 | 0,08 | 0,02 | 4,47 | 0,03 | 0,15 |

Résistivité à 18°C $\overline{X}$ = 2660 Ω cm
Température de l'eau $\overline{X}$ = 9,2°C

Voici les valeurs que nous avons obtenu sur un cycle hydrologique annuel allant de novembre 1979 à novembre 1980 (pl. n° 30).

Nous donnerons les valeurs moyennes, les résultats de chaque analyse peuvent être consultés en annexe.

# LE BOUCHERIN PL 30



Caractéristiques physiques :

| | moyenne | minima | maxima |
|---|---|---|---|
| Débit : Q en l/s | | .8 | 5,9 |
| Température en degré centigrades | 9,4 | 9,0 | 10,0 |
| Résistivité à 18°C en Ω cm | 2593 | 2361 | 3946 * |
| PH | 7,6 | 7,3 | 8,1 |

* Cette valeur est tout à fait exceptionnelle.

Caractéristiques chimiques :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $Cl^{-}$ | $SO_4^{2-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 90,87 | 6,15 | 3,87 | 1,2 | 294,13 | 0,19 | 6,0 |
| C en meq/l | 4,53 | 0,51 | 0,17 | 0,03 | 4,82 | 0,01 | 0,12 |

Silice : 4,92 mg/l
r Mg/r Ca = 0,11

Nitrates : 1,12 mg/l soit 0,02 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 40.17

Les températures varient peu. La moyenne est légèrement supérieure à celle de l'air pour cette altitude. Elle indique une circulation lente et profonde dans le rocher. Les circulations s'effectueraient à travers des fissures. Les variations du débit, peu élevées, renforcent cette hypothèse.

La minéralisation totale, après un plafond estival, chute progressivement pour passer à un minimum fin mars.

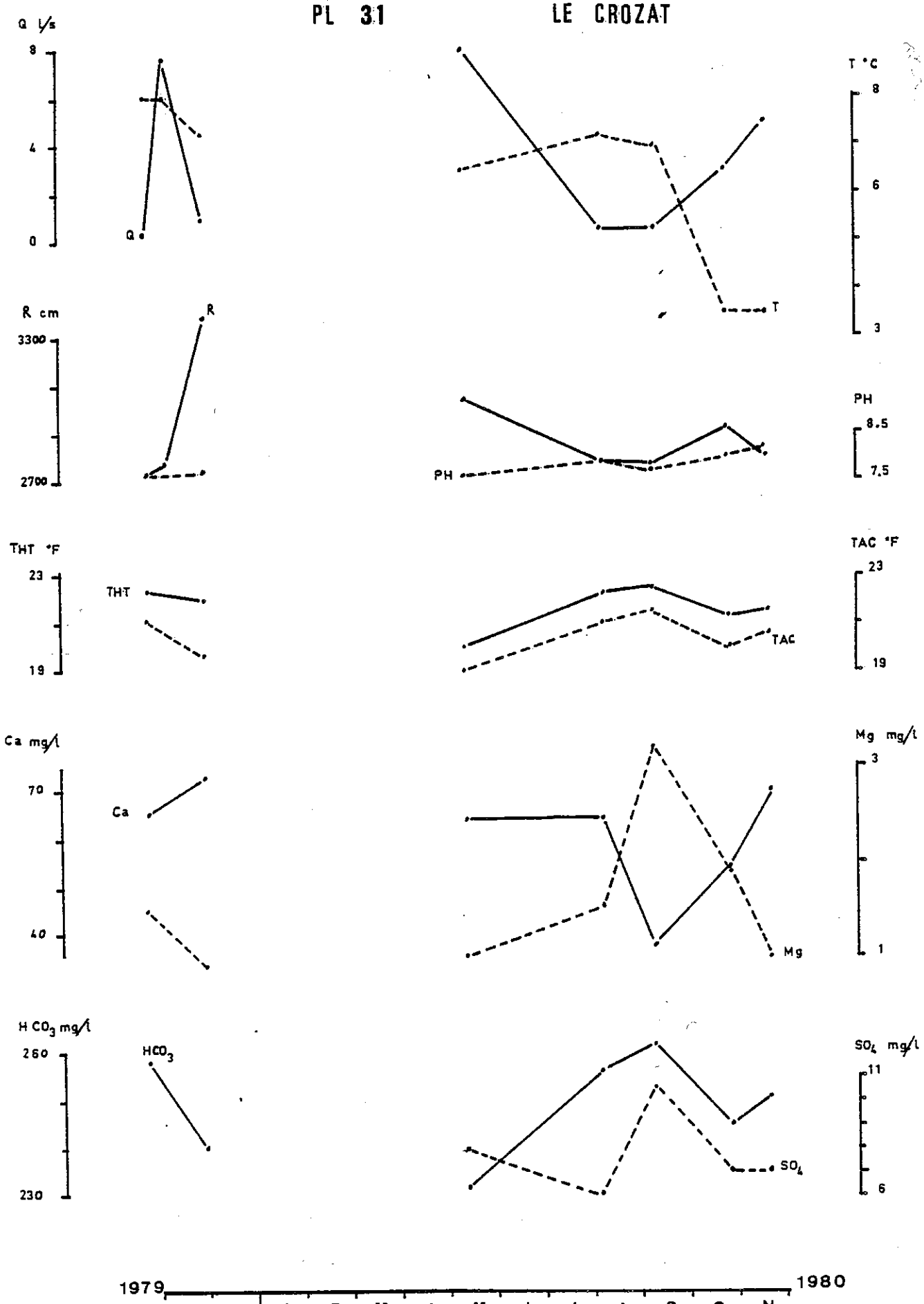
Le cation $Ca^{2+}$ et l'anion $HCO_3^{-}$ suivent cette évolution, confirmant ainsi leur rôle prépondérant dans la chimie de nos eaux.

Bien que le T.A.C. en soit déjà l'expression (car : T.A. = 0), nous avons répété les valeurs des concentrations en ions $HCO_3^{-}$ pour comparer leurs évolutions avec celles de l'autre anion dominant : $SO_4^{2-}$. Il a été fait de même pour les deux principaux cations : $Ca^{2+}$ et $Mg^{2+}$.

### III.3. Les sources du Berriasien inférieur et de ses terrains de couverture :

Ces terrains, formés de calcaires argileux et de marnes franches sont plutôt imperméables. Dans le secteur Nord-Est de notre étude, ils affleurent très largement et donnent même la ligne de crête septentrionale. Dans ces conditions, n'ayant pas d'autre aquifère possible, des circulations d'eau sont observables soit dans le Berriasien, soit en général, superficiellement au contact avec ses terrains de couverture.

# PL 31 LE CROZAT



*a- La source du Crozat.*

X = 877,050 Y = 60,612 (Lambert II) Z = 1130m.

Située au pied du cirque formé par les reliefs berriasiens de la Lentille et de la Drière, elle en récolte les eaux. Elle est à l'origine du ruisseau du Cozon qui draine toute la moitié Est de notre zone d'étude.

La source se situe au contact entre les bancs de calcaire argileux et les éboulis qui les recouvrent.

En présence d'un fort manteau neigeux, l'émergence est inaccessible. Ainsi la période hivernale n'a pu être étudiée.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 0,4 | 8,0 |
| T : °C | 6,4 | 3,5 | 8,0 |
| R : Ω cm | 2899 | 2732 | 3385 |
| PH: | 7,8 | 7,6 | 8,2 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 60,98 | 15,87 | 1,50 | 0,37 | 249,40 | 7,5 | 0,29 |
| C en meq/l | 3,04 | 1,31 | 0,07 | 0,01 | 4,09 | 0,16 | 0,01 |

Silice : 3,5 mg/l Nitrates $NO_3^{-}$ : 0,29 mg/l
r Mg/r Ca = 0,43 r $HCO_3$/r $SO_4$ : 25,26

Les fortes variations de débit et de température sont dues au caractère superficiel de la source.

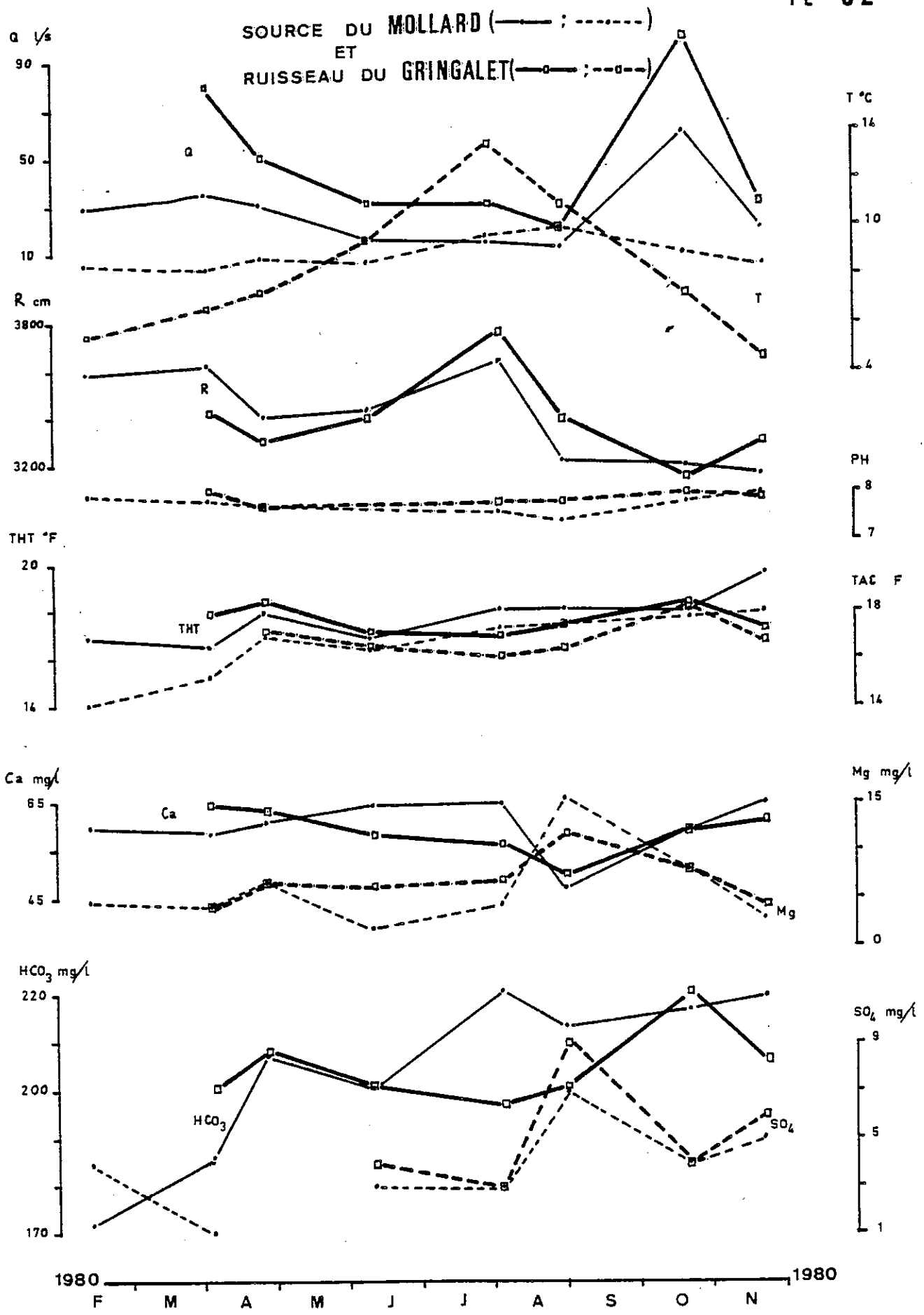
La concentration en magnésium est élevée, celui-ci évolue d'une manière exactement opposée au calcium. Ainsi, globalement, le T.H.T. ne subit pas de grosses variations alors que le calcium varie du simple au double et le magnésium du simple au triple.

*b- La source du Mollard.*

X = 872,975 Y = 352,750 (Lambert III) Z = 530m.

Cette source se situe en bordure méridionale de notre terrain, juste avant la confluence du ruisseau du Gringalet dans le Guiers Vif. Elle a deux émergences, une sur chaque rive du Gringalet. Nous avons suivi les variations de l'émergence située en rive gauche, celle-ci étant mieux individualisée du ruisseau. L'autre émergence est noyée en période de grosses eaux.

PL 32


SOURCE DU MOLLARD (—— ; ------)
ET
RUISSEAU DU GRINGALET (—o— ; --o--)
Q l/s
90
50
10
Q
T °C
14
10
4
T
R cm
3800
3200
R
PH
8
7
THT °F
20
14
THT
TAC F
18
14
Ca mg/l
65
45
Ca
Mg mg/l
15
0
Mg
HCO3 mg/l
220
200
170
HCO3
SO4 mg/l
9
5
1
SO4
1980
1980
F
M
A
M
J
J
A
S
O
N

Les analyses chimiques montrent qu'il n'y a pas de différence entre les deux points d'émergence.

Les sources se situent toutes deux dans les alluvions du Gringalet. Cependant, les marnes et les calcaires argileux du Berriasien affleurent sous celles-ci partout en amont.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 12,0 | 60,0 |
| T : °C | 8,9 | 8,3 | 10,0 |
| R : Ω cm | 3415 | 3169 | 3648 |
| PH : | 7,7 | 7,4 | 8,0 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 60,34 | 5,82 | 1,35 | .65 | 203,71 | 4,0 | .02 |
| C en meq/l | 3,01 | .48 | .06 | .02 | 3,34 | .08 | - |

Silice : 3,92 mg/l
r Mg/r Ca = .16

Nitrates : .38 mg/l soit .01 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 41,75.

L'origine et l'impluvium de cette source sont très difficile à cerner. Les émergences étant pratiquement dans le lit du Gringalet, nous avons pensé à une alimentation par le ruisseau. Aussi avons-nous suivi parallèlement l'évolution du cours d'eau.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 20,0 | 100,0 |
| T : °C | | 4,5 | 13,5 |
| R : Ω cm | 3402 | 3165 | 3774 |
| PH : | 7,9 | 7,7 | 8,0 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 59,09 | 7,02 | .99 | 1,2 | 203,31 | 5,0 | .03 |
| C en meq/l | 2,95 | .58 | .04 | .03 | 3,33 | .10 | - |

Silice : 4,32 mg/l
r Mg/r Ca = .20

Nitrates : 0,26 mg/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ : 33,33

Les compositions chimiques moyennes similaires semblent montrer une liaison entre les eaux du Gringalet et les sources du Mollard. Cependant :

. Nous avons remonté le lit du ruisseau sans jamais observer une infiltration d'eau. Celle-ci, pour alimenter un débit variant de 12 à 60 l/s, serait visible à l'oeil. Elle aboutirait, si elle existait, à réduire de près de 2/3 le débit du Gringalet.

. Rappelons que les calcaires argileux et les marnes du Berriasien sont peu propices à une telle infiltration.

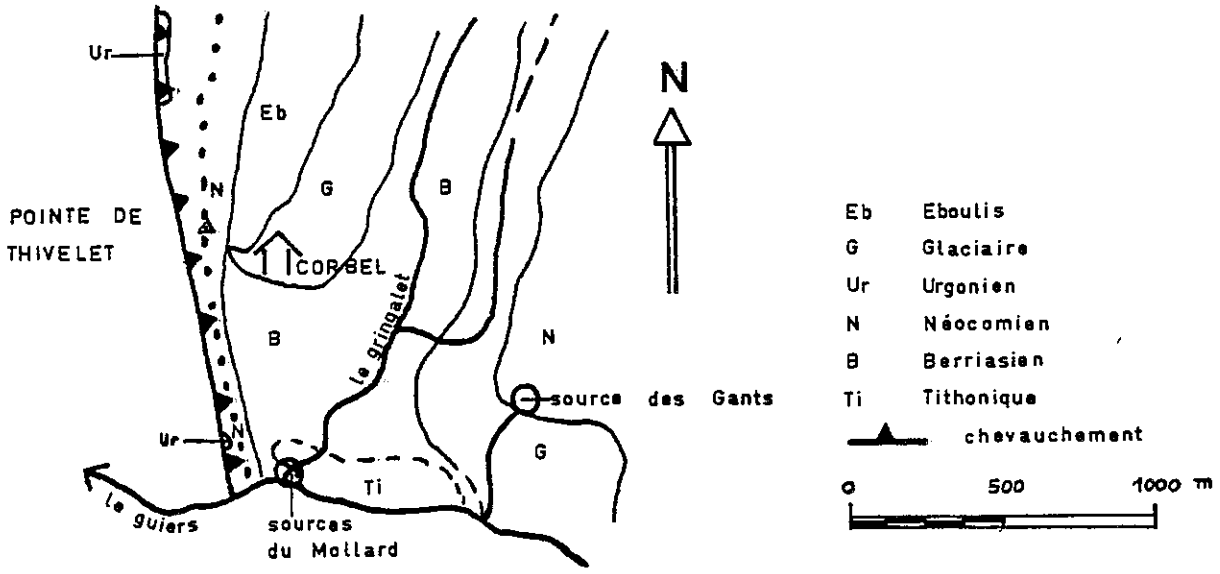
. Pour plus de sûreté, nous avons effectué une coloration à la fluoresceïne, sur le cours d'eau, qui n'a rien donné.

. Les variations de température à la source, relativement faibles et pas toujours en phase avec celles du ruisseau, nous indiquent que l'émergence est bien protégée.

. Les variations relatives de $HCO_3^-$, mais aussi du T.H.T. durant l'été et l'automne ne sont pas non plus concordantes entre les deux points de mesure.

Il s'agit donc bien d'une véritable source, indépendante du ruisseau. La chimie globale analogue est dûe au fait que les sources du Mollard ont comme aquifère les mêmes formations géologiques que le bassin versant du Gringalet, c'est-à-dire le Berriasien marno-calcaire.

Fig. 12. Situation géologique des sources du Mollard.



La température moyenne de la source (8,9°C), est froide pour cette altitude, situant ainsi l'impluvium à une altitude plus élevée. Les sources du Mollard semblent collecter les eaux du flanc est de la pointe de Thivelet et des prairies de Corbel.

### III.4. Les sources du Néocomien calcaire :

De nombreuses sources ont pu être observées dans ces niveaux calcaires jusqu'alors classiquement interprétés comme étant du Valanginien. La chimie des eaux ne laisse pas apparaître de grosses différences entre les niveaux de cet ensemble composé de la base au sommet par :

. les calcaires bicolores de notre formation 2 Berriasien moyen (cf. notre chapitre "les données géologiques") ;
. les calcaires cristallins de notre formation 3 Berriasien supérieur ;
. les calcaires du type Fontanil de la formation 4 Valanginien inférieur ;
. les calcaires bicolores à silex de la formation 5 Valanginien supérieur.

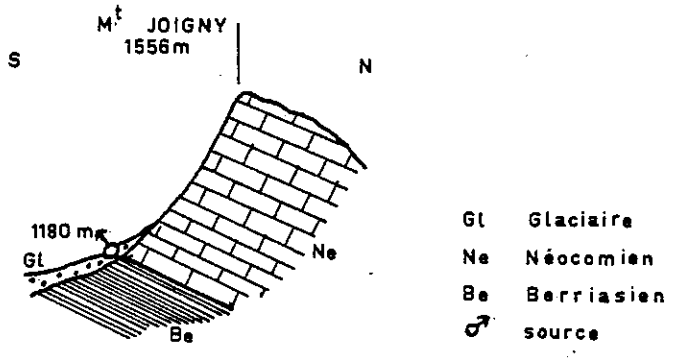
Pour l'hydrologie, nous parlerons globalement des calcaires du Néocomien.

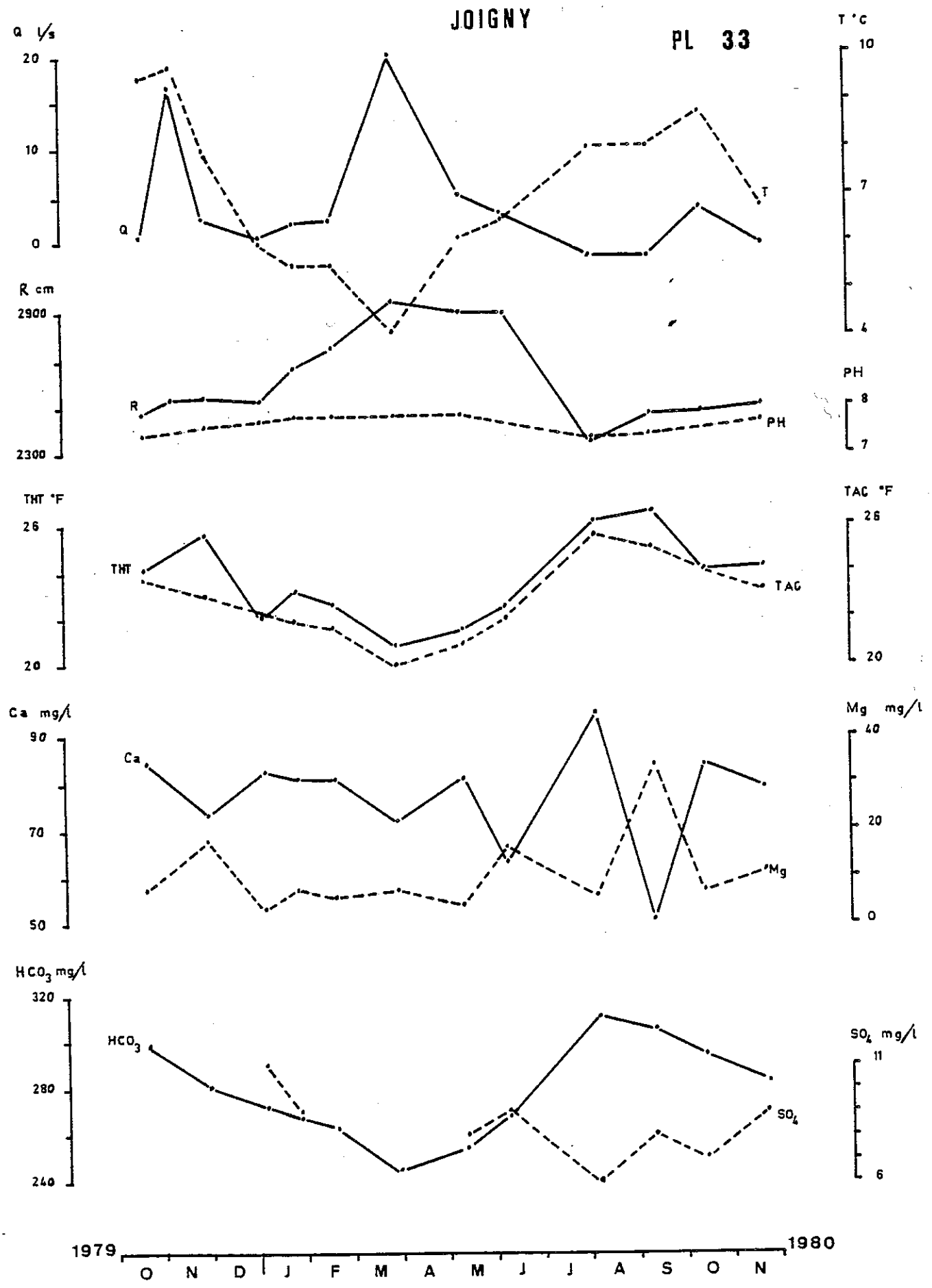
#### *a- La source des Granges de Joigny.*

X = 878,362 Y = 60,000 (Lambert II) Z = 1180m.

Il s'agit d'un petit captage, situé dans le hameau du même nom, au pied du Mont Joigny. Les eaux de précipitation, après infiltration sur ce relief du Néocomien ressortent au niveau de la source, placée au contact avec les marnes et les calcaires argileux plus imperméables du Berriasien inférieur.

Fig. 13. Coupe géologique au niveau de l'émergence.




JOIGNY
PL 33
Q l/s
20
10
0
Q
T °C
10
7
4
T
R cm
2900
2300
R
PH
8
7
PH
THT °F
26
20
THT
TAC °F
26
20
TAC
Ca mg/l
90
70
50
Ca
Mg mg/l
40
20
0
Mg
HCO3 mg/l
320
280
240
HCO3
SO4 mg/l
11
6
SO4
1979
1980
O N D J F M A M J J A S O N

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | .4 | 20,0 |
| T : °C | 7,1 | 4,6 | 9,7 |
| R : Ω cm | 2618 | 2351 | 2951 |
| PH : | 7,6 | 7,3 | 7,8 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 77,4 | 10,49 | 2,02 | .8 | 277,65 | 8,5 | .17 |
| C en meq/l | 3.86 | .86 | .09 | .02 | 4,55 | .18 | - |

Silice : 4,52 mg/l  Nitrates : .23 mg/l
r Mg/r Ca = .22  r $HCO_3$/r $SO_4$ = 25,28

Les fortes variations de température et de débit nous indiquent qu'il s'agit d'une source superficielle et que l'infiltration et la circulation dans les calcaires néocomiens sont peu importantes. La température moyenne annuelle est légèrement supérieure à celle de l'air pour cette altitude. Cela est dû à l'effet d'isolant thermique de la neige pendant les mois d'hiver.

La minéralisation totale suit les variations de la température de l'eau. Elle est à son maximum à la fin de l'été, puis diminue pour passer au minimum à la fin mars, au moment de la fonte des neiges.

b- *La source des Gants.*

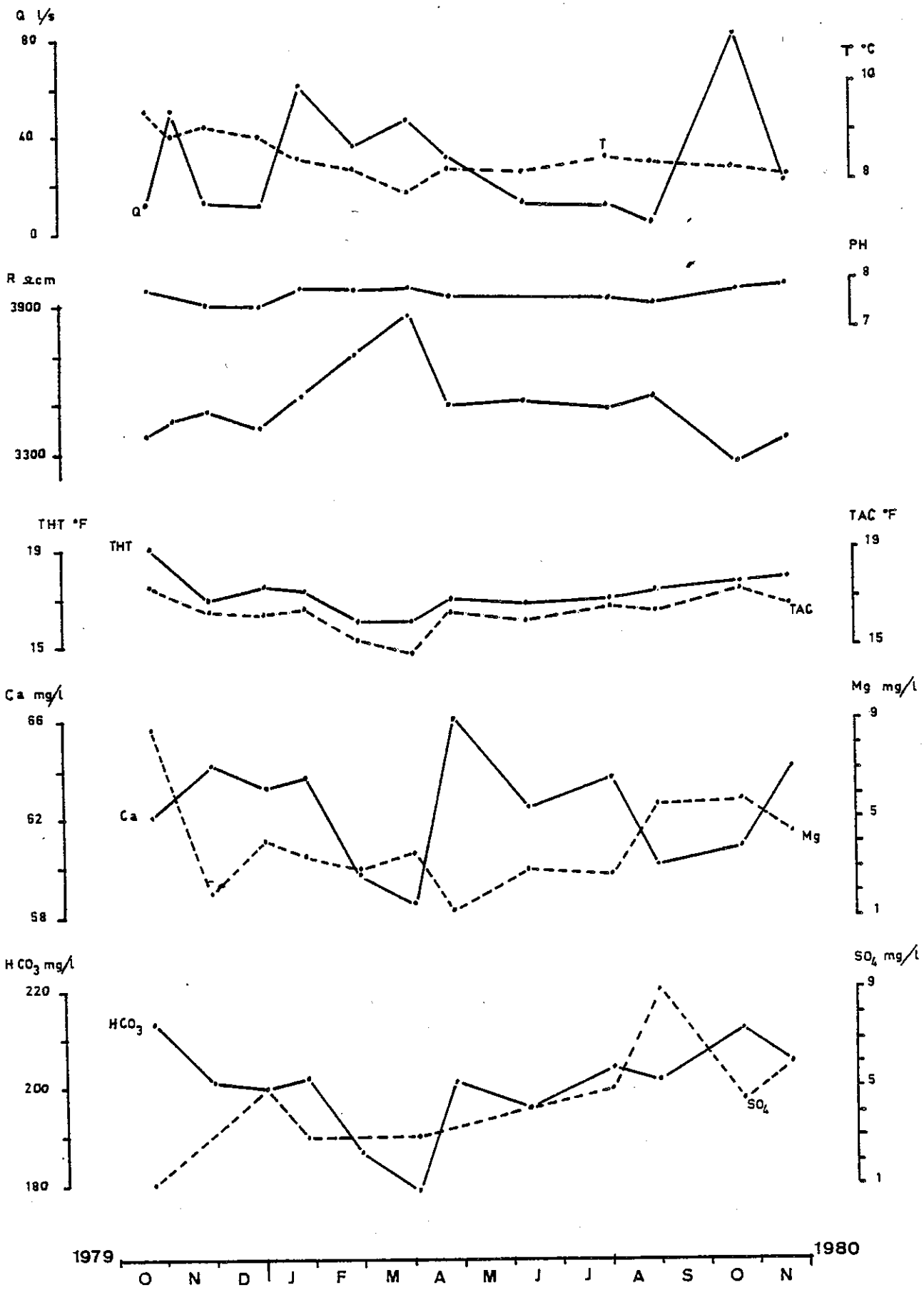
X = 873,537  Y = 353,012 (Lambert III)  Z = 720m.

Au pied du flanc occidental de Roche-Veyrand - Roc de Gleisin, la source alimente en eau potable le hameau des Gants. Elle draine la falaise dont les terrains néocomiens sont masqués par des éboulis.

L'émergence est dûe au contact avec les niveaux inférieurs imperméables du Berriasien et à la fracturation, intense sur toute cette zone de notre secteur.

L'eau sort par un griffon impénétrable. Au-dessus, un porche actif en crue, s'ouvre à la faveur d'une fracture annexe de direction N20, pendage 65 W. Le porche, visitable sur une dizaine de mètres de profondeur, joue le rôle de trop-plein quand la source atteint le débit d'une douzaine de litres/seconde.

LES GANTS PL 34



Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 3,0 | 80,0 |
| T : °C | 8,5 | 8,1 | 9,5 |
| R : Ω cm | 3487 | 3253 | 3861 |
| PH : | 7,7 | 7,5 | 7,9 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 62,43 | 3,95 | .92 | .4 | 200,28 | 4,5 | .36 |
| C en meq/l | 3,12 | .32 | .04 | .01 | 3,28 | .09 | .01 |

Silice : 4,42 mg/l
r MG/r Ca = .10

Nitrates : 46 mg/l soit 0,01 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 36,44

La température moyenne annuelle correspond à celle de l'air. La présence du porche atteste l'existence d'une karstification dans les calcaires. Contrairement à la source précédente qui avait une origine superficielle sur un substratum néocomien, il y a là une véritable infiltration et circulation dans les calcaires.

La température est stable, et les variations de débit et de composition chimique sont plus faibles. La composition chimique présente certains caractères qui la placent en position intermédiaire vis-à-vis des sources de l'Urgonien. Nous aborderons ce sujet plus loin.

c- *Les sources des Georgeats.*

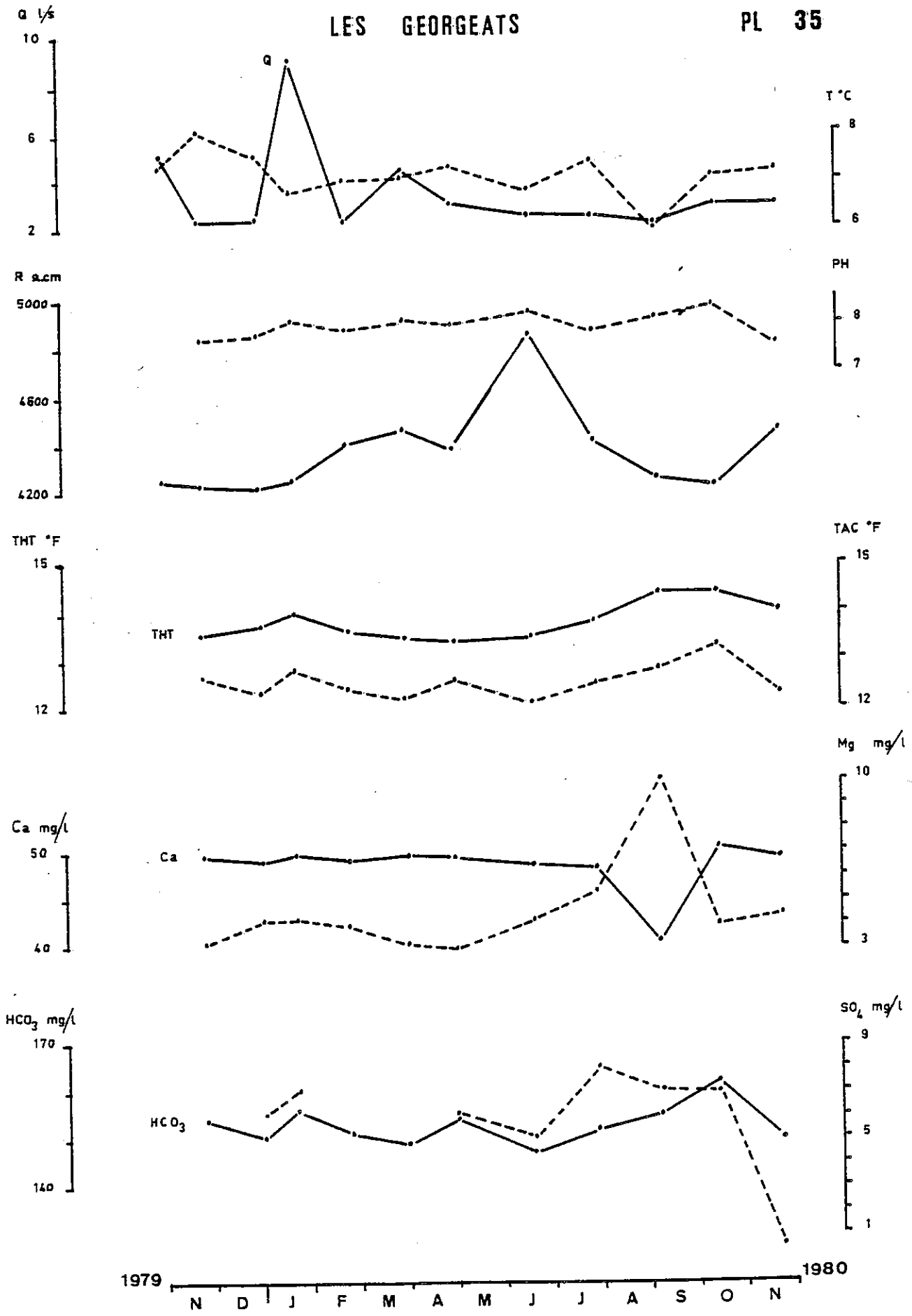
X = 874,650 Y = 61,487 (Lambert II) Z = 750m.

Bien que situées légèrement en dehors de notre terrain, nous avons étudié ces sources car :

- elles se situent dans le prolongement structural du massif d'Outhéran, et donc des circulations possibles des eaux ;
- elles donnent une bonne image de la chimie des eaux issues du Néocomien.

Immédiatement à l'Est de Saint Thibaud de Couz, les deux sources se présentent symétriquement par rapport au ruisseau de la Georgeat. Elles sont situées au pied de la falaise néocomienne. Celle-ci, subverticale représente la retombée ouest de l'anticlinal médian du massif de la Chartreuse.

Nous avons suivi l'émergence de la rive gauche, une étude comparative ponctuelle nous a montré que la minéralisation était identique pour les deux sources.


LES GEORGEATS
PL 35
Q l/s
10
6
2
Q
T °C
8
6
R Ω.cm
5000
4600
4200
PH
8
7
THT °F
15
12
THT
TAC °F
15
12
Ca mg/l
50
40
Ca
Mg mg/l
10
3
HCO3 mg/l
170
140
HCO3
SO4 mg/l
9
5
1
1979
1980
N D J F M A M J J A S O N

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 2,2 | 9,0 |
| T : °C | 7,1 | 6,0 | 8,0 |
| R : Ω cm | 4367 | 4224 | 4859 |
| PH : | 8,0 | 7,7 | 8,4 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 47,95 | 4,46 | .7 | .4 | 152,83 | 6,0 | .06 |
| C en meq/l | 2,39 | .37 | .03 | .01 | 2,50 | .12 | - |

Silice 3,22 mg/l
r Mg/r Ca = .15

Nitrates .32 mg/l soit .01 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 20.83

La température moyenne très faible pour cette altitude est dûe à la structure subverticale des bancs calcaires néocomiens. Ceux-ci affleurent jusqu'à 1000 mètres d'altitude et rabattent les eaux directement à la source, par simple gravité. La chimie des eaux, d'une grande stabilité, nous indique que la circulation se fait bien par infiltration dans le rocher, et non superficiellement.

d- *La source de la Cascade.*

X = 876,000 Y = 65,200 (Lambert II) Z = 570m

Cette source se trouve à la terminaison nord de l'anticlinal médian. La figure ci-après permet de situer l'emplacement de la source par rapport à cet anticlinal dont la charnière est formée par les calcaires du Néocomien. Nous avons également situé les sources des Georgeats qui drainent elles aussi une partie de cet anticlinal.

# LA CASCADE PL 36

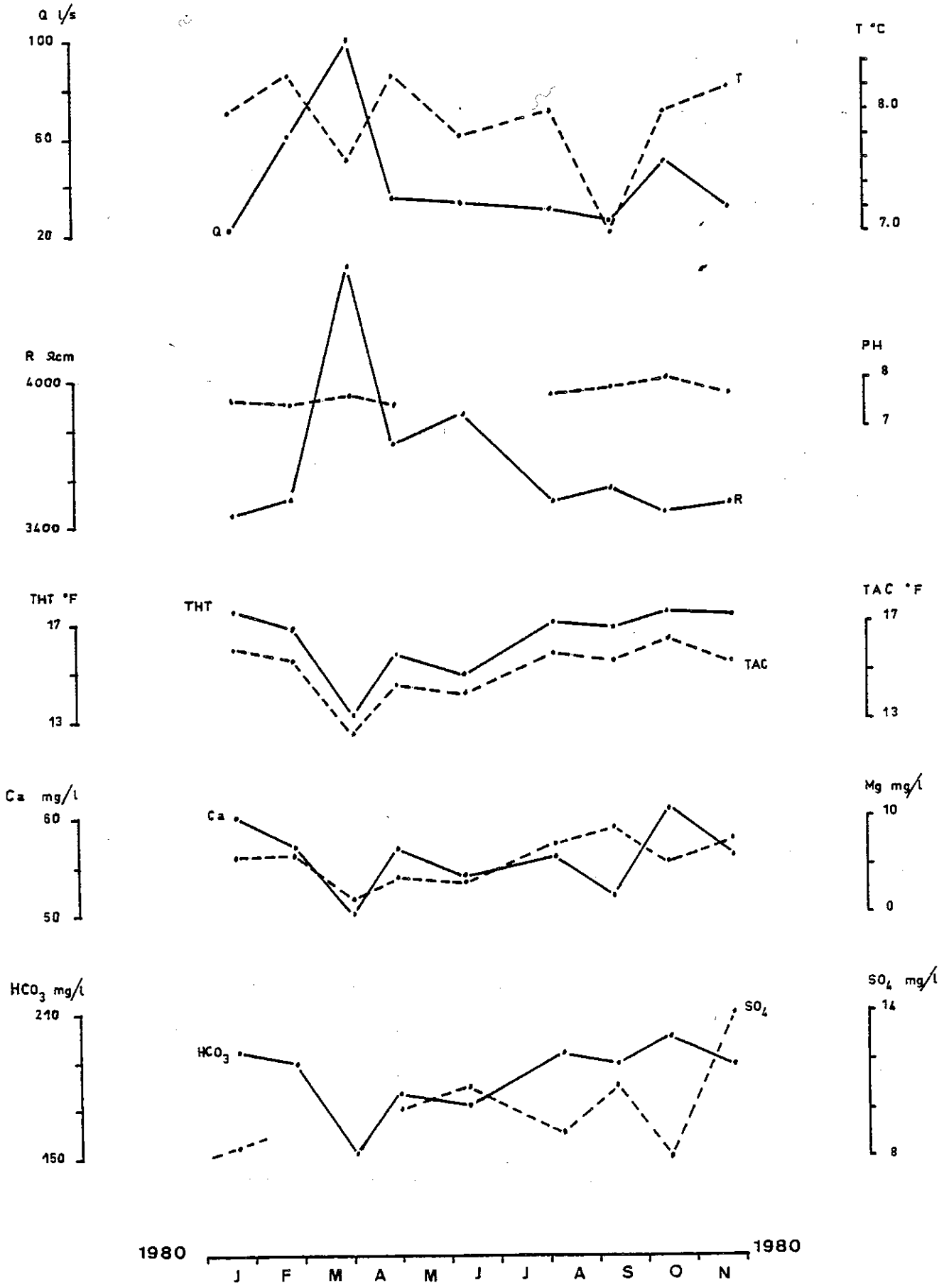
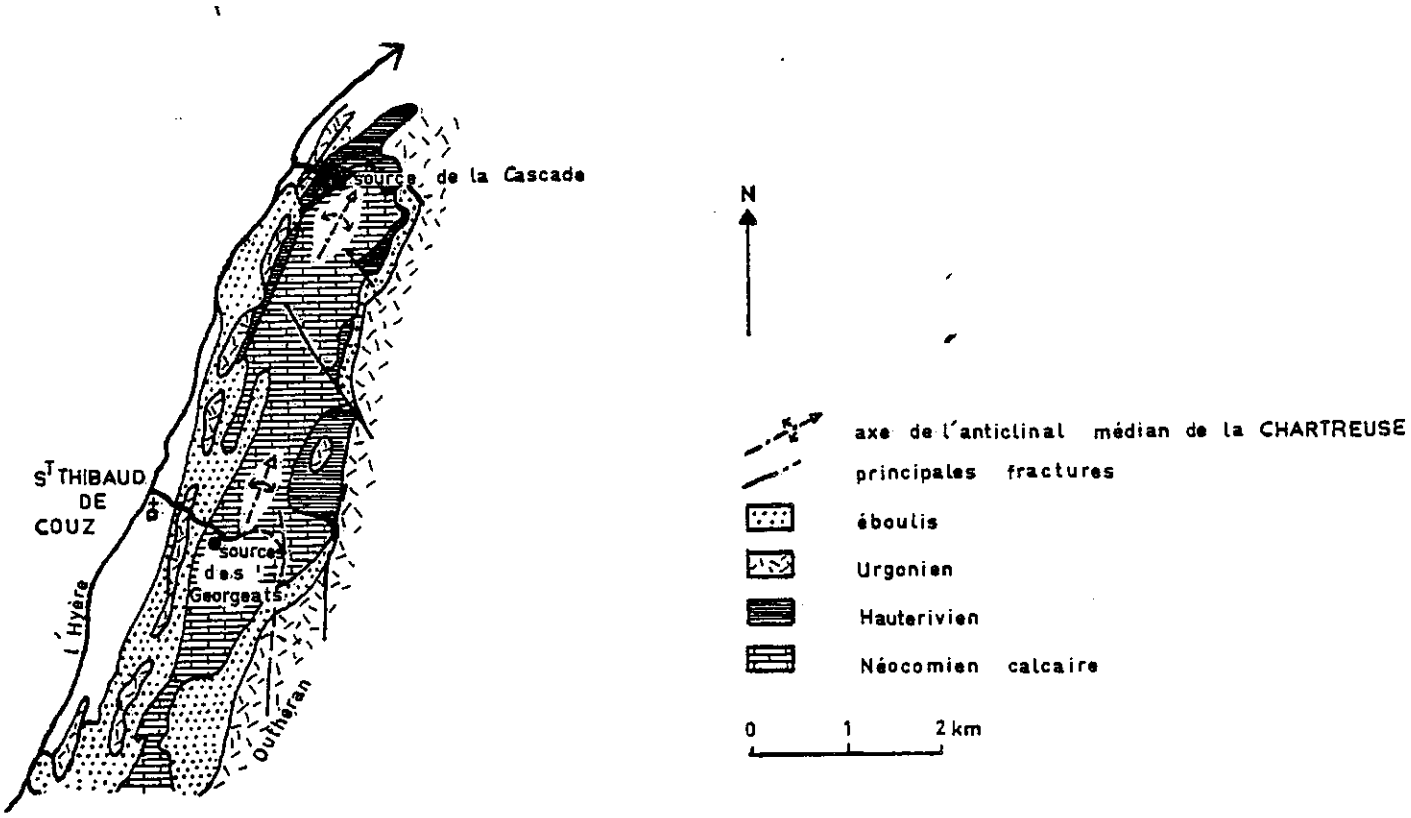


Fig. 14. Situation des sources de la Cascade et des Georgeats.




A la source de la Cascade, un important captage a été installé pour l'alimentation en eau potable de l'agglomération de la ville de Chambéry.

Les débits indiqués sont ceux mesurés au trop-plein de l'ouvrage d'art.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 22,0 | 100,0 |
| T : °C | 7,9 | 7,0 | 8,3 |
| R : Ω cm | 3672 | 3456 | 4477 |
| PH : | 7,7 | 7,5 | 8,0 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 55,93 | 5,75 | 0,99 | 0,4 | 183,95 | 10,0 | 0,19 |
| C en meq/l | 2,79 | 0,47 | 0,04 | 0,01 | 3,02 | 0,21 | 0,01 |

Silice 3,32 mg/l
r Mg/r Ca = 0,17

Nitrates 0,39 mg/l soit 0,01 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 14,38

La température, basse, place le bassin versant de la source à la cote moyenne de 850 mètres. Cela concorde avec la structure géologique, où affleurent à cette altitude les calcaires du Néocomien. Ceux-ci, de direction N15, s'ennoient au niveau de la source. Le drainage est facilité par le passage d'une faille N65, qui prend en biseau la structure. Le bassin versant serait de l'ordre de 3 $km^2$ (G. Nicoud).

Les variations de débit sont à l'image des conditions climatiques : étiage l'été et l'hiver, crue au printemps (fortes précipitations et fonte des neiges) et à l'automne (pluies abondantes).

Les variations de température ne suivent pas ces évolutions. Le mode de prélèvement, à la sortie du trop-plein en est la cause. Un léger échange thermique avec l'air ambiant a pu avoir lieu.

### III.5. Les sources de l'Urgonien :

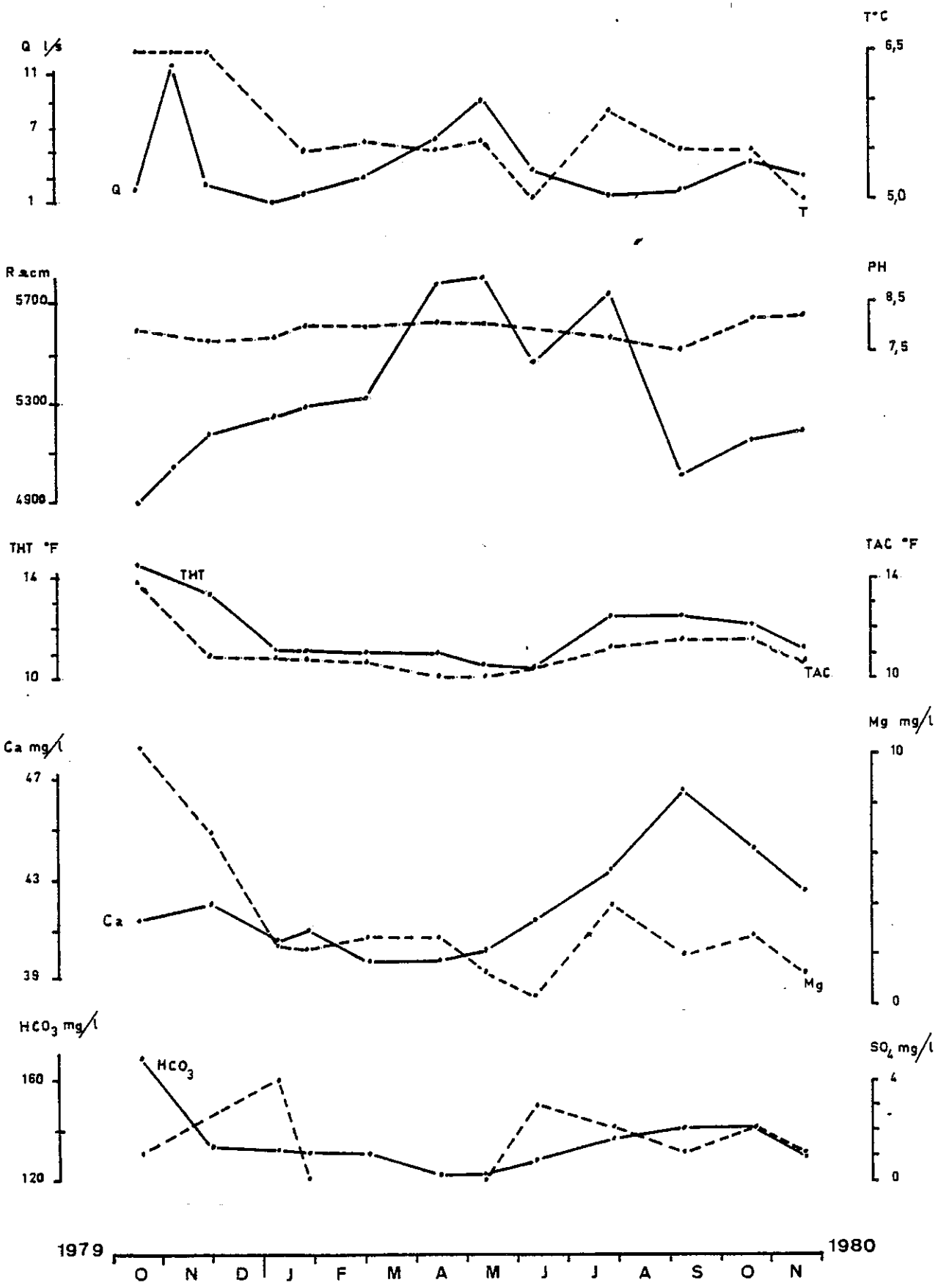
#### *a- La source d'Outhéran.*

X = 875,250 Y = 58,550 (Lambert II) Z = 1400m.

Le mont Outhéran présente l'aspect d'une dalle calcaire légèrement en pente vers l'Est. Le relief est formé par la masse inférieure urgonienne. La source d'Outhéran est située dans le talus au pied de la falaise, sans doute proche du contact avec l'Hauterivien. L'émergence est diffuse, elle est localisée au sein d'un arrachement argileux dans les terrains de recouvrement. Il faut cependant chercher l'origine de l'eau au niveau de la partie méridionale du plateau sommital du massif. La cote du bassin versant se trouve alors de l'ordre de 1600 mètres.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 1,0 | 12,0 |
| T : °C | 5,7 | 5,0 | 6,5 |
| R : Ω cm | 5308 | 4899 | 5790 |
| PH : | 7,9 | 7,5 | 8,2 |


Q l/s
11
7
1
Q
T°C
6,5
5,0
T
R µcm
5700
5300
4900
PH
8,5
7,5
THT °F
14
10
THT
TAC °F
14
10
TAC
Ca mg/l
47
43
39
Ca
Mg mg/l
10
0
Mg
HCO3 mg/l
160
120
HCO3
SO4 mg/l
4
0
1979
1980
O N D J F M A M J J A S O N

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 41,82 | 3,18 | 0,83 | .0 | 134,20 | 2,0 | 0,41 |
| C en meq/l | 2,09 | 0,26 | 0,04 | - | 2,20 | 0,04 | 0,01 |

Silice 1,77 mg/l
r Mg/r Ca = 0,12

Nitrates 0,49 mg/l soit 0,01 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 55,00

Malgré les conditions défavorables à l'émergence, la température et la composition chimique sont relativement stables. L'aquifère est donc protégé, l'origine de l'eau n'est pas superficielle mais bien plutôt dans les calcaires urgoniens.

La température moyenne, élevée pour l'altitude du bassin versant, est dûe à l'effet isolant de la neige pendant les mois d'hiver.

La baisse de la température et de la minéralisation de l'eau nous montre que le maximum de la fonte a lieu en mai et juin.

b- *La source des Fontanettes.*

X = 875,837 Y = 60,237 (Lambert II) Z = 1300m.

La source draine une partie plus septentrionale du plateau d'Outhéran. Elle donne naissance au ruisseau du Merderet qui s'écoule vers le Nord en direction de Chambéry. La source est placée juste au Nord du col du Mollard, dans la combe tapissée d'éboulis.

L'eau sort parmi les blocs écroulés à environ 150 mètres de la falaise urgonienne mais en période de crue, l'eau vient directement de la falaise à la faveur d'une fracture dans le rocher (cote 1340m).

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 0,1 | 16,7 |
| T : °C | 5,1 | 3,5 | 6,5 |
| R : Ω cm | 4798 | 4111 | 5569 |
| PH : | 7,8 | 7,5 | 8,2 |

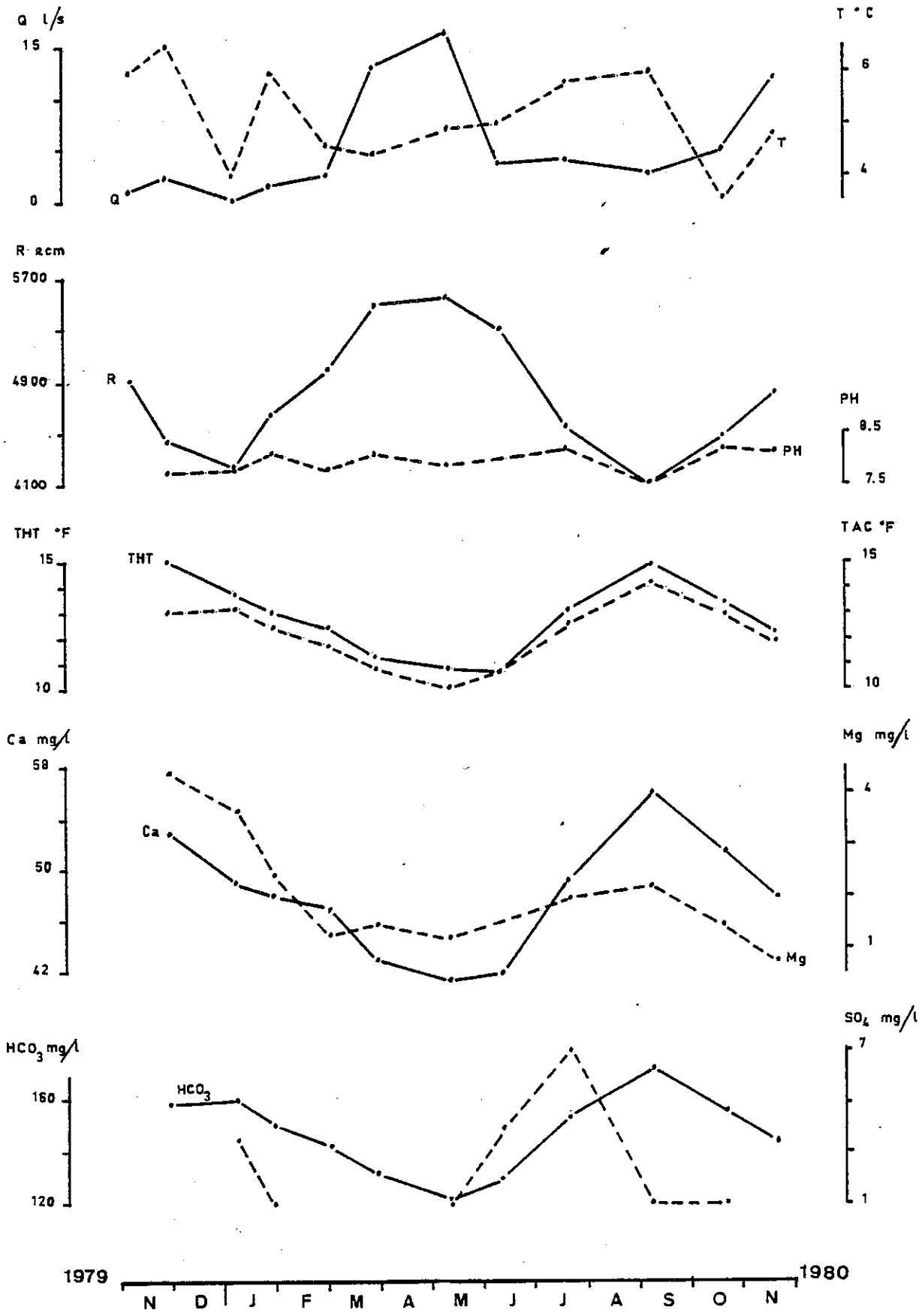
Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 48,01 | 1,92 | 0,87 | 0,1 | 147,84 | 2,5 | 0,16 |
| C en meq/l | 2,4 | .16 | 0,04 | - | 2,42 | 0,05 | - |

Silice 1,22 mg/l
r Mg/r Ca = 0,07

Nitrates 0,31 mg/l soit 0 meq/l
r HCO3/r SO4 = 48,40

# LES FONTANETTES PL 38



Les fortes variations de température indiquent que l'aquifère est mal protégé des variations superficielles. La circulation des eaux dans les éboulis en est la cause. Ceux-ci n'ont cependant pas modifié la composition chimique initiale qui reste celle d'une eau issue des calcaires urgoniens.

Les variations des différentes minéralisations (Ca, Mg, $HCO_3^-$) et aussi de la résistivité sont toutes remarquablement en phase. Elles coïncident avec le maximum de fonte des neiges en mai, et l'étiage estival de septembre.

c- *La source de Poirier sec.*

X = 871,650 Y = 353,275 (Lambert III) Z = 550m.

Nous avons vu dans le chapitre consacré aux expériences de traçage la situation de cette source et son bassin versant. L'émergence se situe juste à la base de la masse urgonienne inférieure, sous la forme d'un griffon impénétrable. Il s'agit là d'une véritable source karstique.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 6,3 | 48,0 |
| T : °C | 9,9 | 9,5 | 11,0 |
| R : Ω cm | 2589 | 2401 | 3102 |
| PH : | 7,6 | 7,35 | 7,95 |

Composition chimique :

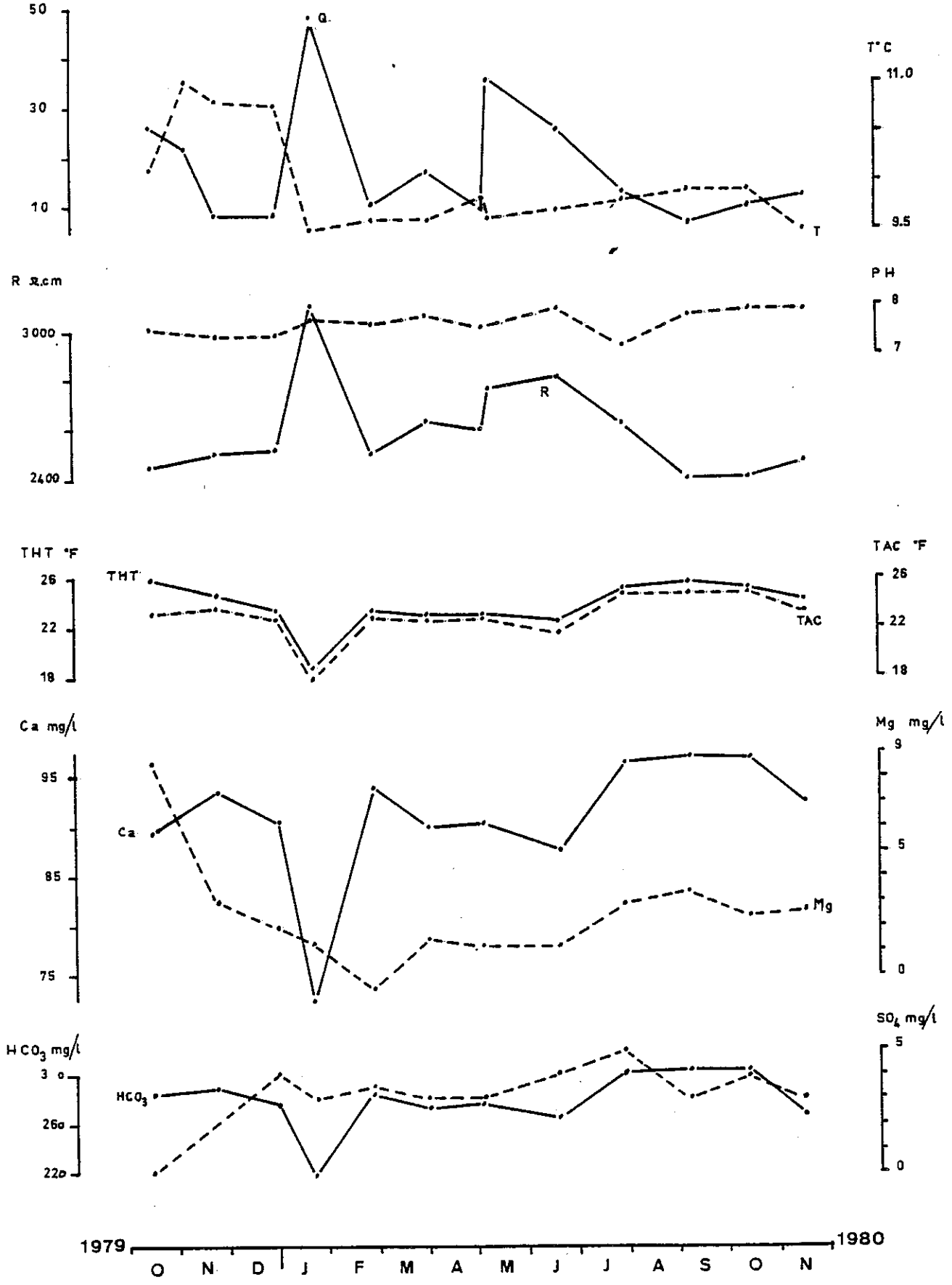
| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^+$ | $K^+$ | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 90,91 | 2,53 | 1,8 | 1,1 | 279,79 | 3,5 | 0,42 |
| C en meq/l | 4,54 | 0,21 | 0,08 | 0,03 | 4,59 | 0,07 | 0,01 |

Silice 4,8 mg/l
r Mg/ r Ca = 0,05

Nitrates 0,87 mg/l soit 0,01 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 65,57

Cette source est caractérisée par une température élevée, surtout en tenant compte de l'altitude moyenne du bassin versant qui est de l'ordre de 850 mètres. Il n'y a pas à cette altitude d'effet isolant par la neige, celle-ci ne se maintenant que très peu de temps. La seule explication que l'on puisse proposer est l'effet d'un gradient géothermique localement plus élevé dû à la proximité du chevauchement majeur qu'est la Faille de Voreppe.

Cette température relativement élevée de l'eau entraîne un accroissement de la dissolution des carbonates. D'où des valeurs élevées, de plus de 50% environ par rapport aux autres sources karstiques urgoniennes, pour les concentrations en ions $Ca^+$ et $HCO_3^-$. Les autres minéralisations ne


Q l/s
50
30
10
Q
T°C
11.0
9.5
T
R Ω.cm
3000
2400
R
PH
8
7
THT °F
26
22
18
THT
TAC
TAC °F
26
22
18
Ca mg/l
95
85
75
Ca
Mg mg/l
9
5
0
Mg
HCO3 mg/l
30
260
220
HCO3
SO4 mg/l
5
0
1979
1980
O N D J F M A M J J A S O N

sont pas affectées. En relation avec ce phénomène de dissolution des carbonates, le point d'émergence est souligné par un dépôt important de tuf : plusieurs mètres cubes.

### d- *La source de Fontaine Noire.*

X = 870,387 Y = 354,500 (Lambert III) Z = 430m.

Au-delà de la faille de Voreppe et donc dans la partie structuralement jurassienne du massif, se trouve la grosse exsurgence karstique de Fontaine Noire. La source est tout contre la berge droite du Guiers Vif, au pied de la falaise. Nous sommes à ce niveau dans la partie supérieure de la masse urgonienne inférieure. La source est captée. Une grotte située plus à l'ouest, à la cote 480m joue le rôle de trop-plein. Des traçages et le bilan hydrologique de l'Hyères (G. Nicoud) ont montré que le bassin versant s'étend jusqu'au col de Couz et le Mont Beauvoir.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 50,0 | 250,0 |
| T : °C | 8,6 | 7,75 | 9,0 |
| R : Ω cm | 3625 | 3350 | 4134 |
| PH : | 7,9 | 7,7 | 8,1 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 61,63 | 2,62 | 2,52 | 0,4 | 189,64 | 4,0 | 0,11 |
| C en meq/l | 3,08 | 0,22 | 0,11 | 0,01 | 3,11 | 0,08 | - |

Silice 1,82 mg/l
r Mg/r Ca = 0,07

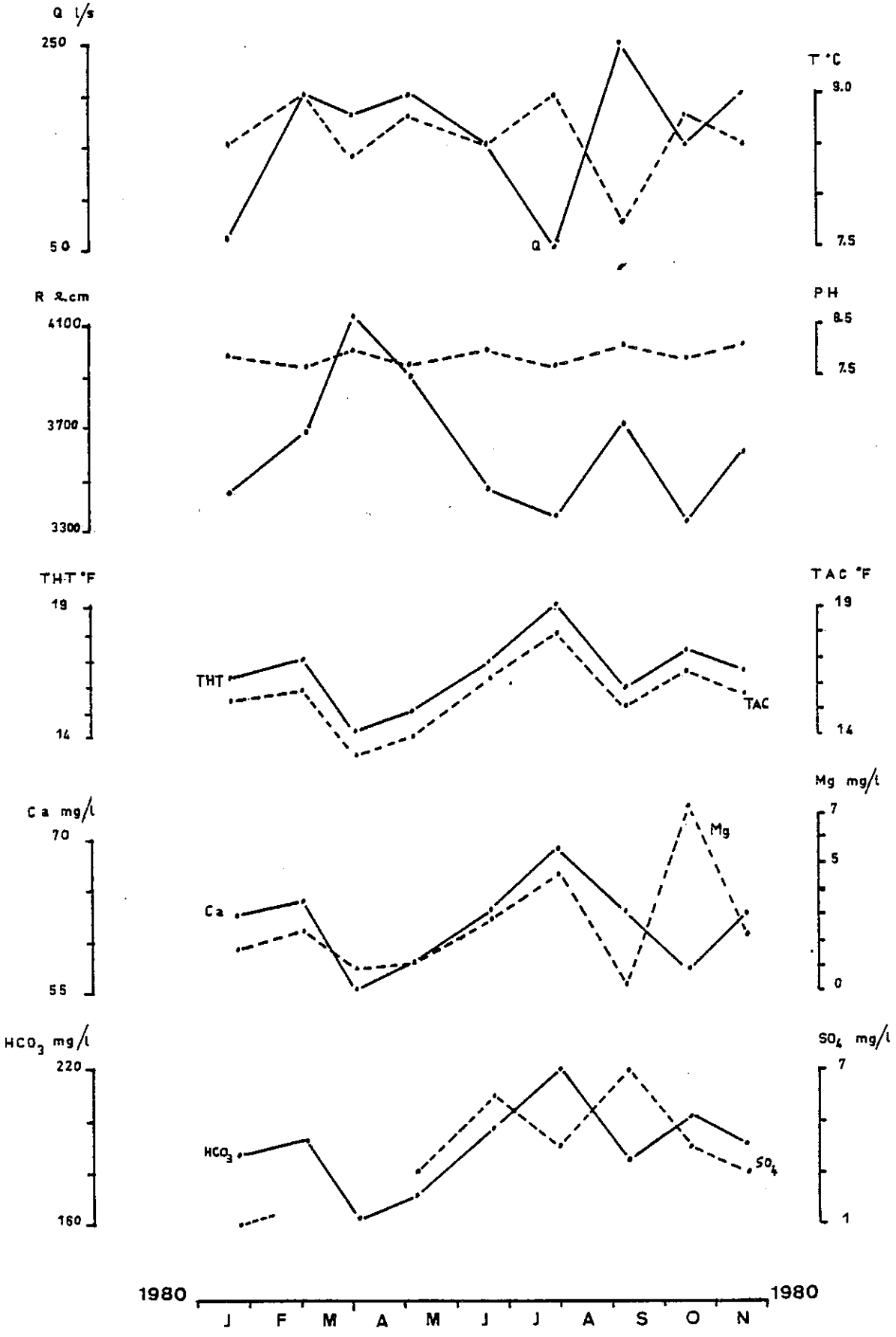
Nitrates 0,49 mg/l soit 0,01 meq/l
r $HCO_3$/ r$SO_4$ = 38,88

La température moyenne est basse, elle confirme l'existence du bassin versant à une altitude bien supérieure à celle de la source, de l'ordre de 850m.

La minéralisation est maximale pendant les étiages d'été et d'hiver, minimale pendant la fonte des neiges ou à la suite de pluies abondantes.

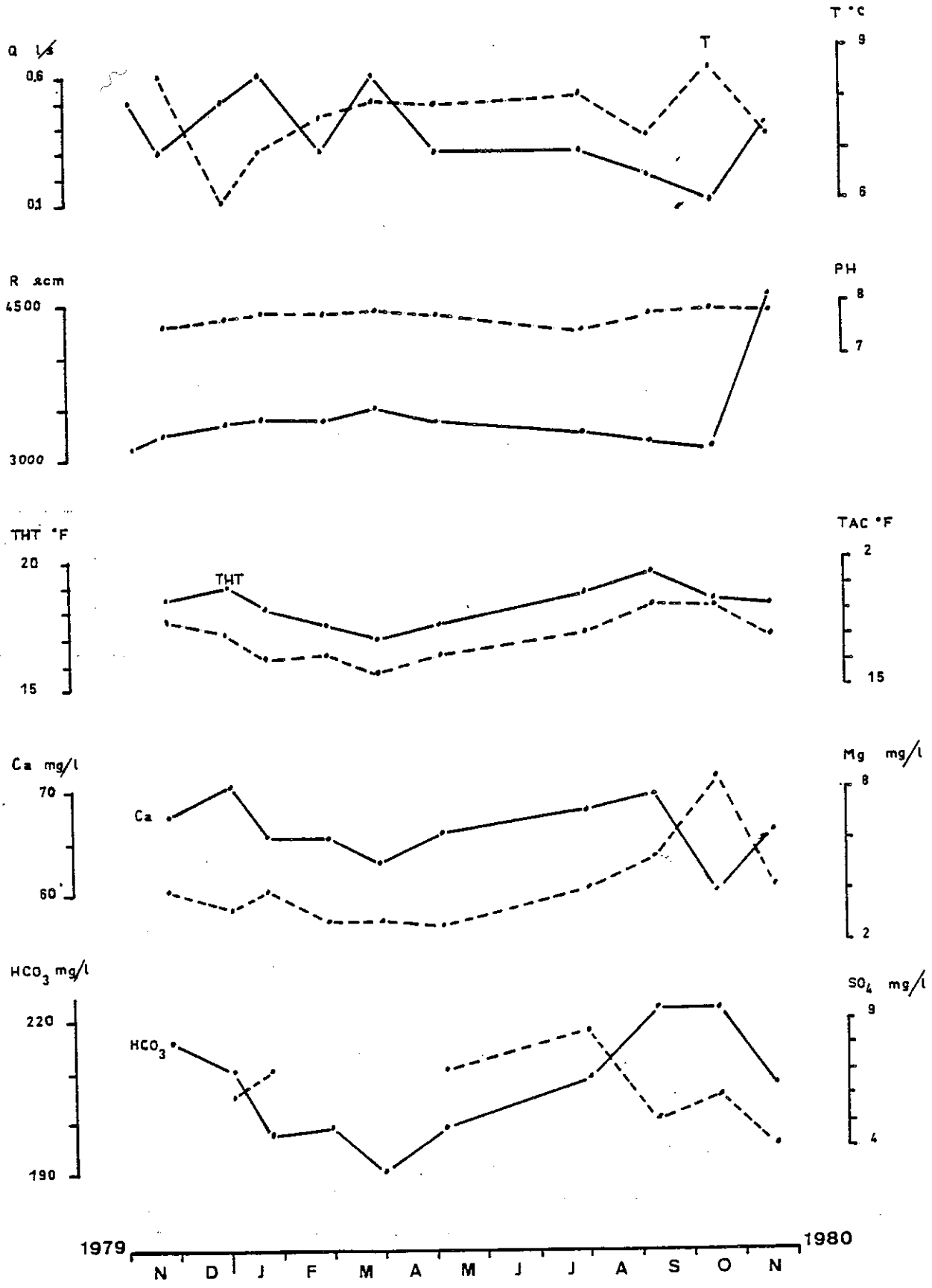
La composition chimique des eaux de cette source appartenant aux chaînons jurassiens ne diffère pas de celles des eaux issues de niveaux correspondants au sein du massif de la Chartreuse.

# FONTAINE NOIRE PL 40



PL 41

# S^T BLAISE



*e- Source de Saint Blaise.*

X = 871,00 Y = 355,687 (Lambert III) Z = 580m.

Cette petite source sans grand intérêt, également située dans la zone jurassienne, se trouve sur la route d'accès à l'exsurgence de Poirier sec. Aussi nous l'avons suivie régulièrement. Son minuscule bassin versant est formé par les petits bancs calcaires de la couche à Orbitoline de l'Urgonien. Un placage de molasse burdigalienne masque parfois ceux-ci à l'affleurement. L'eau sort à la faveur d'une petite fracture dans les bancs calcaires.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 0,1 | 0,6 |
| T : °C | 7,7 | 6,0 | 8,6 |
| R : Ω cm | 3395 | 3089 | 4533 |
| PH : | 7,8 | 7,6 | 7,9 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 66,09 | 4,23 | 1,54 | 0,5 | 207,16 | 6,0 | .10 |
| C en meq/l | 3,30 | 0,35 | 0,07 | 0,01 | 3,40 | .12 | - |

Silice 5,2 mg/l Nitrates 0,67 mg/l soit 0,01 meq/l
r Mg/r Ca = 0,11 r $HCO_3$/r $SO_4$ = 28,33

Malgré le faible volume de l'aquifère, les caractéristiques physico-chimiques ne subissent pas de variations trop grandes. L'aquifère est assez bien protégé.

Les températures anormalement basses sont dûes à la situation et à l'orientation du bassin versant. Celui-ci est très encaissé, il ne reçoit l'ensoleillement qu'épisodiquement, et seulement en été. Le brouillard est fréquent. La température de l'air est donc localement plus basse que sur le reste du terrain.

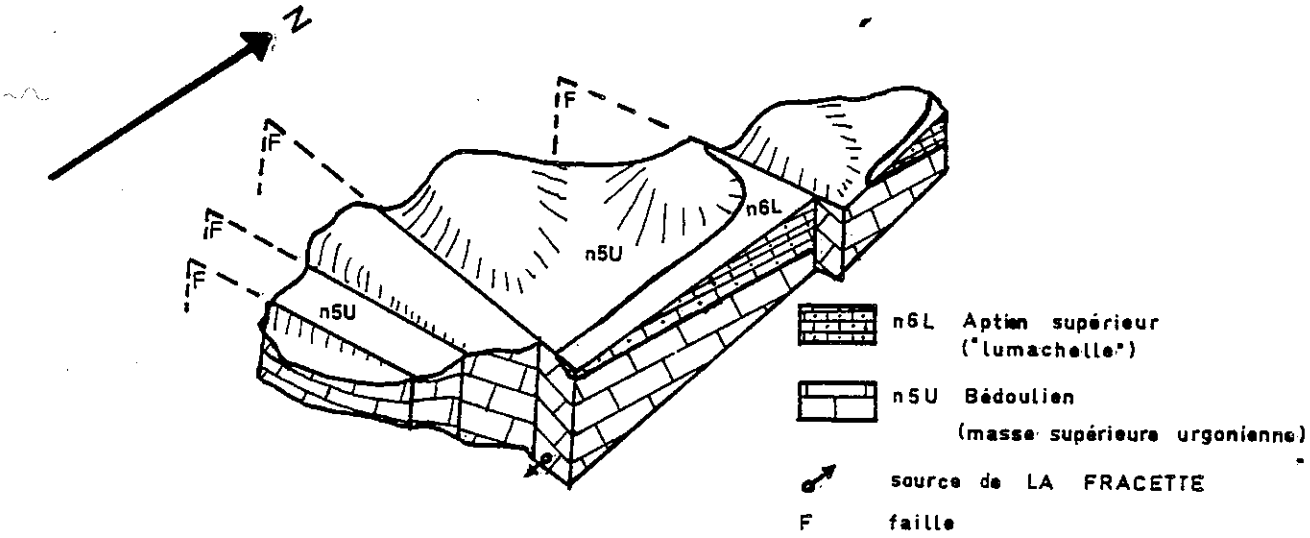
*f- Source de la Fracette.*

X = 875,800 Y = 353,550 (Lambert III) Z = 750m.

La source est l'exutoire d'un bassin versant composé essentiellement des calcaires de la barre supérieure urgonienne ainsi que de quelques niveaux de la lumachelle. La falaise calcaire est tronquée par une faille subverticale d'orientation WSW-NNE. Le pied de la falaise est couvert d'éboulis. Un captage est implanté dans les blocs. Les points d'émergence,

multiples, s'échelonnent dans cet éboulis selon le débit du moment. A même le rocher, on peut également observer des arrivées d'eau par des chenaux ouverts. La source est naturellement karstique.

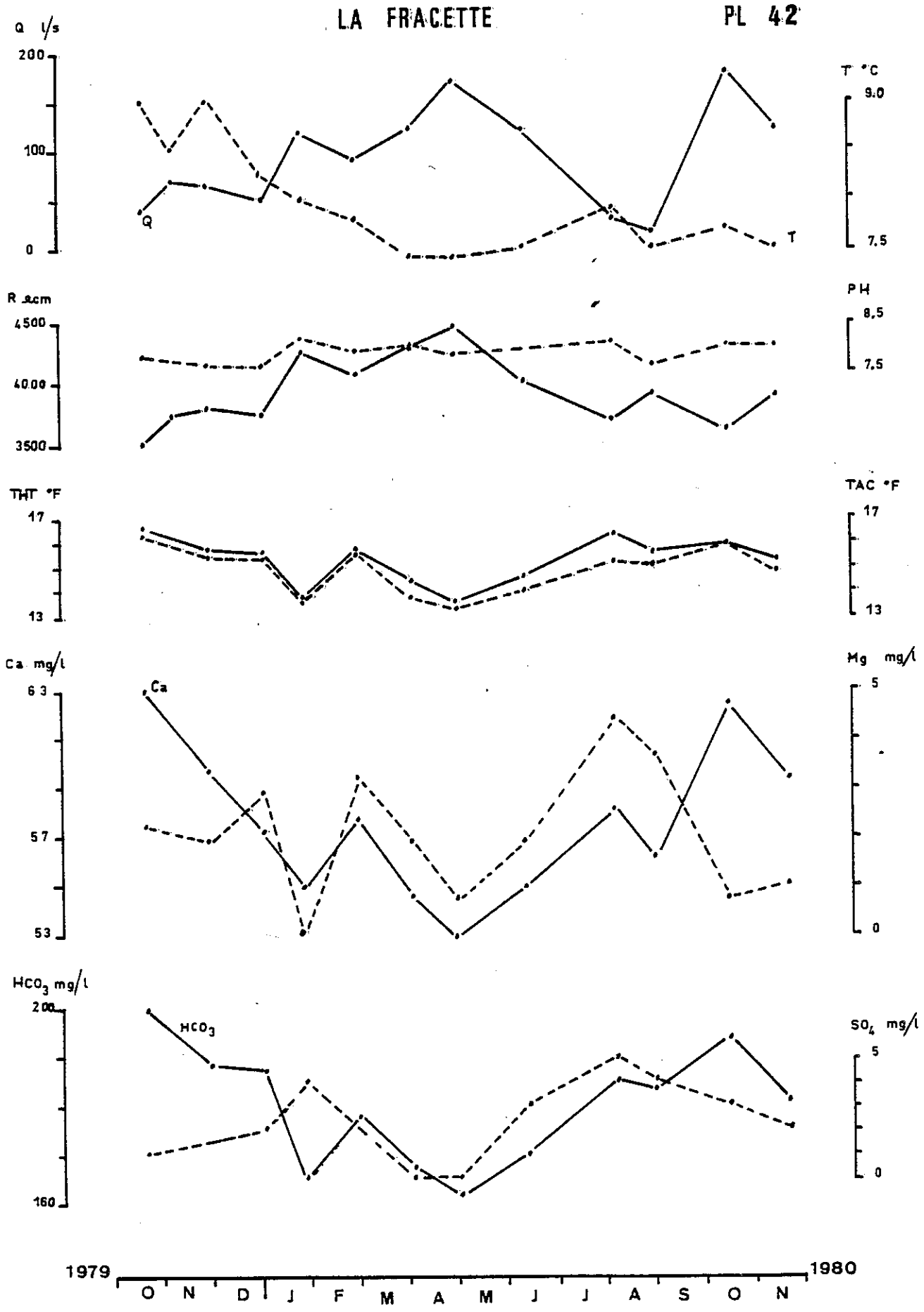
Fig. 15. Schéma de situation de la source de la Fracette.




. Variations des caractéristiques physico-chimiques pour un cycle annuel.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 15,0 | 180,0 |
| T : °C | 7,95 | 7,4 | 9,0 |
| R : Ω cm | 3918 | 3510 | 4453 |
| PH : | 7,9 | 7,6 | 8,2 |


LA FRACETTE
PL 42
Q l/s
200
100
0
Q
T
T °C
9.0
7.5
R Ωcm
4500
4000
3500
PH
8.5
7.5
THT °F
17
13
TAC °F
17
13
Ca mg/l
63
57
53
Ca
Mg mg/l
5
0
HCO3 mg/l
200
160
HCO3
SO4 mg/l
5
0
1979
1980
O N D J F M A M J J A S O N

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 57,58 | 2,05 | 1,23 | 0,02 | 179,79 | 2,5 | 0,43 |
| C en meq/l | 2,87 | 0,17 | 0,05 | - | 2,95 | 0,05 | 0,01 |

Silice : 2,77 mg/l
r Mg/r Ca = 0,06

Nitrates 0,40 mg/l soit 0,01 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 59,00

Là encore, la fonte des neiges en mai et l'étiage à la fin de l'été se font sentir au niveau de la minéralisation.

Le passage du mois de septembre, marqué par des débits très faibles, au mois d'octobre, au contraire caractérisé par des débits élevés, n'a pas entraîné de variations sensibles dans la composition chimique. Les variations et les réajustements des minéralisations semblent se faire progressivement

. Variations des caractéristiques physico-chimiques pendant une crue estivale.

Ces variations sont reportées sur la planche n° 43. Les valeurs exactes peuvent être consultées en annexe.

Nous nous sommes intéressés à la crue du 3 juillet 1981 qui a vu les débits passer de 45 l/s à 460 l/s.

Les variations des caractéristiques physiques et chimiques sont faibles, leurs amplitudes sont à la limite de la précision des mesures effectuées.

L'étude des concentrations des deux principaux cations $Ca^{2+}$ et $Mg^{2+}$ ainsi que de l'anion $HCO_3^{-}$ permet d'individualiser trois phases dans le transfert des eaux de pluies. Nous utiliserons également le rapport r $Mg^{++}$/r $Ca^{++}$ interprété par certains auteurs (Lepiller M., 1975), pour un aquifère donné, comme le témoin d'eaux à temps de séjour long ($Mg^{++}$ élevé proportionnellement à $Ca^{++}$) ou d'eaux à temps de séjour court ($Mg^{++}$ faible proportionnellement à $Ca^{++}$).

- Premier temps.

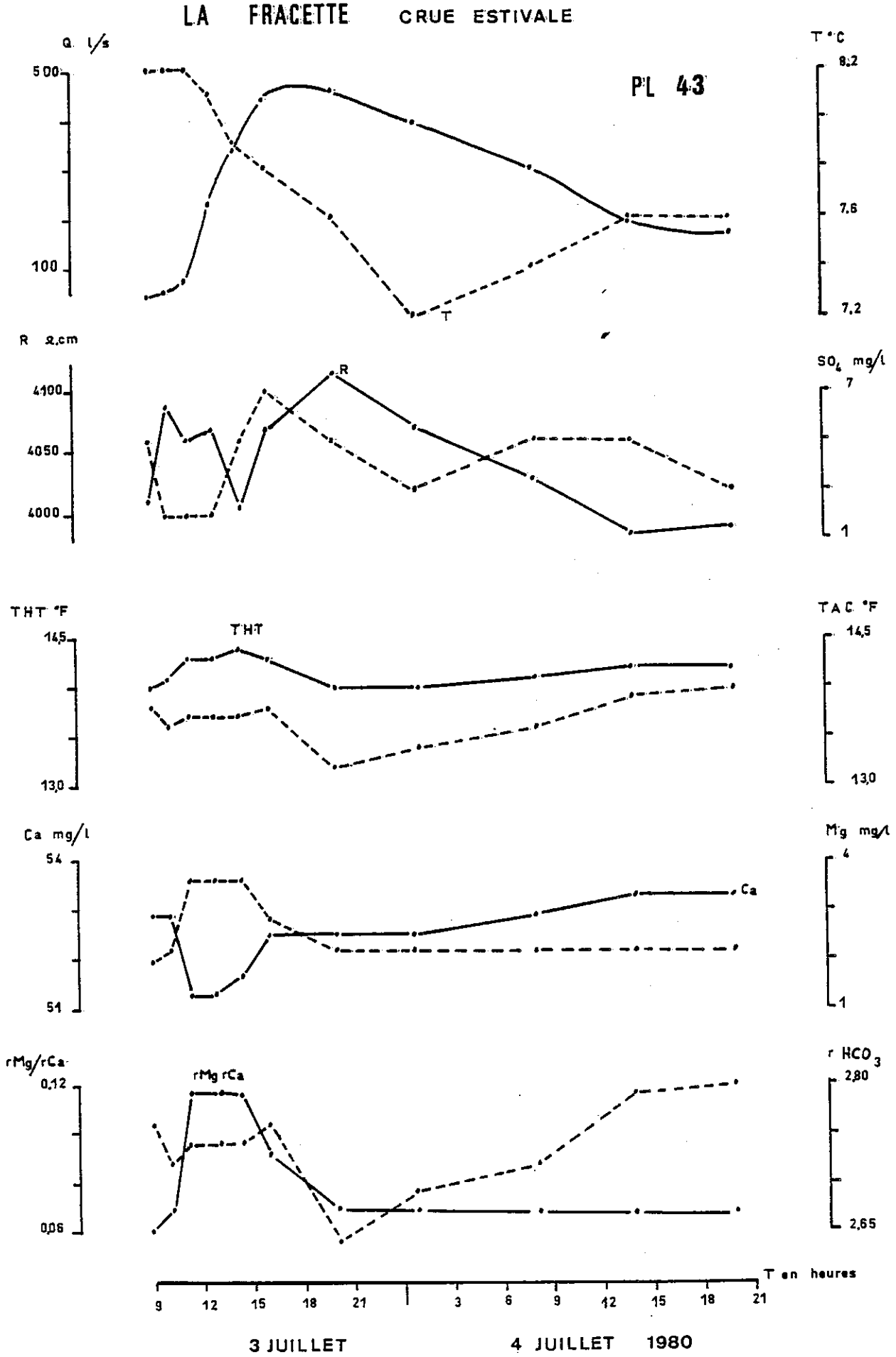
La crue débute vers 10 heures le 3 juillet 1981.

De 10 à 14 heures, arrivent à l'exutoire des eaux stockées depuis quelques temps :

Le T.A.C. est élevé et surtout le rapport r $Mg^{++}$/ r $Ca^{++}$ est très supérieur à la moyenne.

L'effet maximum se situe vers 14 heures.

Ces eaux de réserve sont poussées par les eaux de pluie qui s'infiltrent dans l'aquifère. Il n'y a donc pas de mélange, mais plutôt un phénomène de "piston-flow".


LA FRACETTE CRUE ESTIVALE
PL 43
Q l/s
500
100
T °C
8,2
7,6
7,2
T
R Ω.cm
4100
4050
4000
R
SO4 mg/l
7
1
THT °F
14,5
13,0
THT
TAC °F
14,5
13,0
Ca mg/l
54
51
Ca
Mg mg/l
4
1
rMg/rCa
0,12
0,06
rMg rCa
r HCO3
2,80
2,65
T en heures
9
12
15
18
21
3
6
9
12
15
18
21
3 JUILLET
4 JUILLET 1980

- Deuxième temps.

A partir de 14 heures, l'influence des eaux de pluie faiblement minéralisées se fait sentir : chute brutale des minéralisations. Les débits continuent d'augmenter, la part prise par les eaux de pluie va croissante.

- Troisième temps.

. A partir de 16 à 20 heures (on ne peut malheureusement pas préciser plus), toutes les eaux de réserve ont été chassées. Seules les eaux de précipitation sont à l'origine des débits.

. A partir de 20 heures s'amorce la décrue. Les eaux de pluie infiltrées circulent plus lentement et se minéralisent progressivement.

. La température réagit beaucoup plus lentement. Elle a un temps de retard assez marqué. Elle n'atteint son minimum que 7 heures après la pointe de crue. 4 jours après l'influence de la crue se fait encore sentir. Il n'aura fallu qu'une journée pour que la composition chimique retrouve les valeurs antérieures à la crue.

## III.6. Les sources du Crétacé supérieur :

### *a- Source de La Clusaz.*

X = 875,862 Y = 57,025 (Lambert II) Z = 1080m.

On trouve peu de sources dans les calcaires argileux du Campanien. La seule observable est celle qui donne naissance au ruisseau de la Clusaz, immédiatement au Sud du hameau Les Déserts d'Entremont. La source est superficielle et l'emplacement de l'émergence varie en permanence en fonction du débit. Nous avons seulement effectué un prélèvement, à l'étiage, moment où la minéralisation est maximale.

Prélèvement du 22.08.1981.

Caractéristiques physiques :

| | |
|---|---|
| Q : l/s | 0,1 |
| T : °C | 9,6 |
| PH : | 8,1 |

Quelques éléments de la composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $HCO_3^-$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^-$ |
|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 58,12 | 17,26 | 239,12 | 2,0 | - |
| C en meq/l | 2,90 | 1,42 | 3,92 | 0,04 | - |

r Mg/r Ca = 0,49 r $HCO_3$/r $SO_4$ = 98,0

La concentration en magnésium est très élevée, particulièrement vis-à-vis du calcium. Ainsi, la composition chimique de cette eau issue des terrains du Crétacé supérieur est très différente de celle des eaux provenant des calcaires urgoniens.

### III.7. Les sources du Miocène :

#### *a- La source des Guillermins.*

X = 872,337 Y = 354,362 (Lambert III) Z = 990m.

La molasse miocène tapisse le pied du flanc ouest de la pointe de Thivelet. Elle récolte les eaux de ruissellement. Au contact éboulis-molasse, les sources sont nombreuses. Les débits ne sont jamais importants, et les eaux superficielles. C'est le cas de la source des Guillermins.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 0,5 | 3,3 |
| T : °C | 7,5 | 4,9 | 11,0 |
| R : Ω cm | 2685 | 2410 | 3262 |
| PH : | 7,75 | 7,45 | 8,0 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 86,92 | 3,8 | 1,08 | 0,8 | 272,37 | 7,0 | 0,21 |
| C en meq/l | 4,34 | 0,31 | 0,05 | 0,02 | 4,46 | 0,15 | 0,01 |

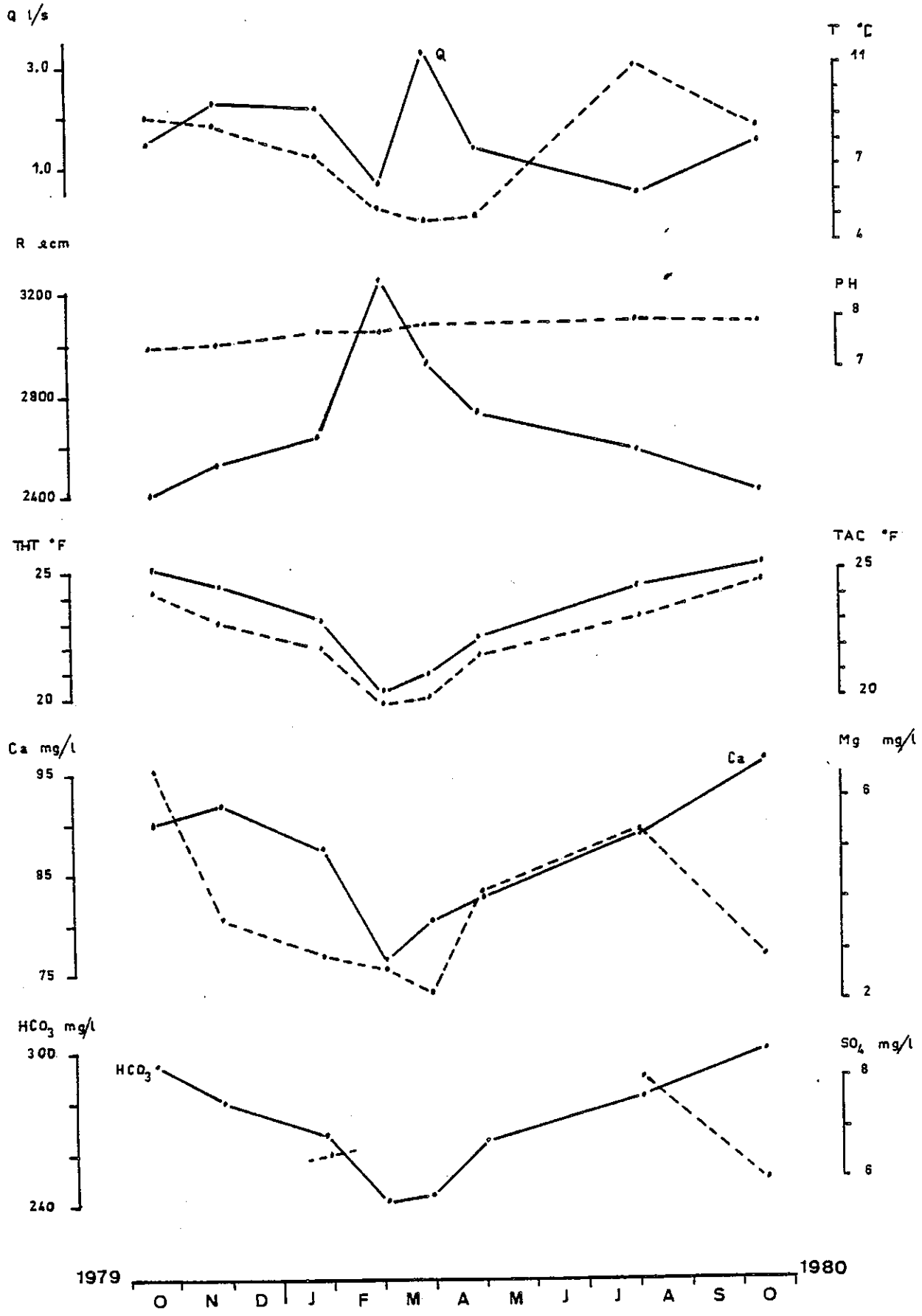
Nitrates 0,17 mg/l soit 0,00 meq/l

r Mg/r Ca = 0,07

r $HCO_3$/r $SO_4$ = 29,73

La forte variabilité de la température (du simple au double) atteste du caractère superficiel de la source. La fonte est à son maximum début mars.

# LES GUILLERMINS PL 44



## IV. ETUDE DE QUELQUES COURS D'EAU.

Nous avons également suivi les variations des compositions chimiques des eaux de quelques ruisseaux.

### IV.1. Ruisseaux à bassin versant essentiellement Berriasien :

#### *a- Le ruisseau du Gringalet.*

Le cas de ce cours d'eau a déjà été évoqué dans le paragraphe consacré à la source du Mollard.

#### *b- Le Cozon aux Minets.*

X = 877,737 Y = 59,525 (Lambert II) Z = 988m.

A 1250m en aval de la source du Crozat, mais dans des conditions d'accès beaucoup plus favorables, surtout en hiver, nous avons suivi le Cozon alors qu'il n'est qu'au tout début de son cours. Le bassin versant est formé uniquement par les marnes et les marno-calcaires du Berriasien.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 3,0 | 45,0 |
| T : °C | | 1,0 | 14,0 |
| R : Ω cm | 3101 | 2717 | 3999 |
| PH : | 8,0 | 7,6 | 8,25 |

Composition chimique :

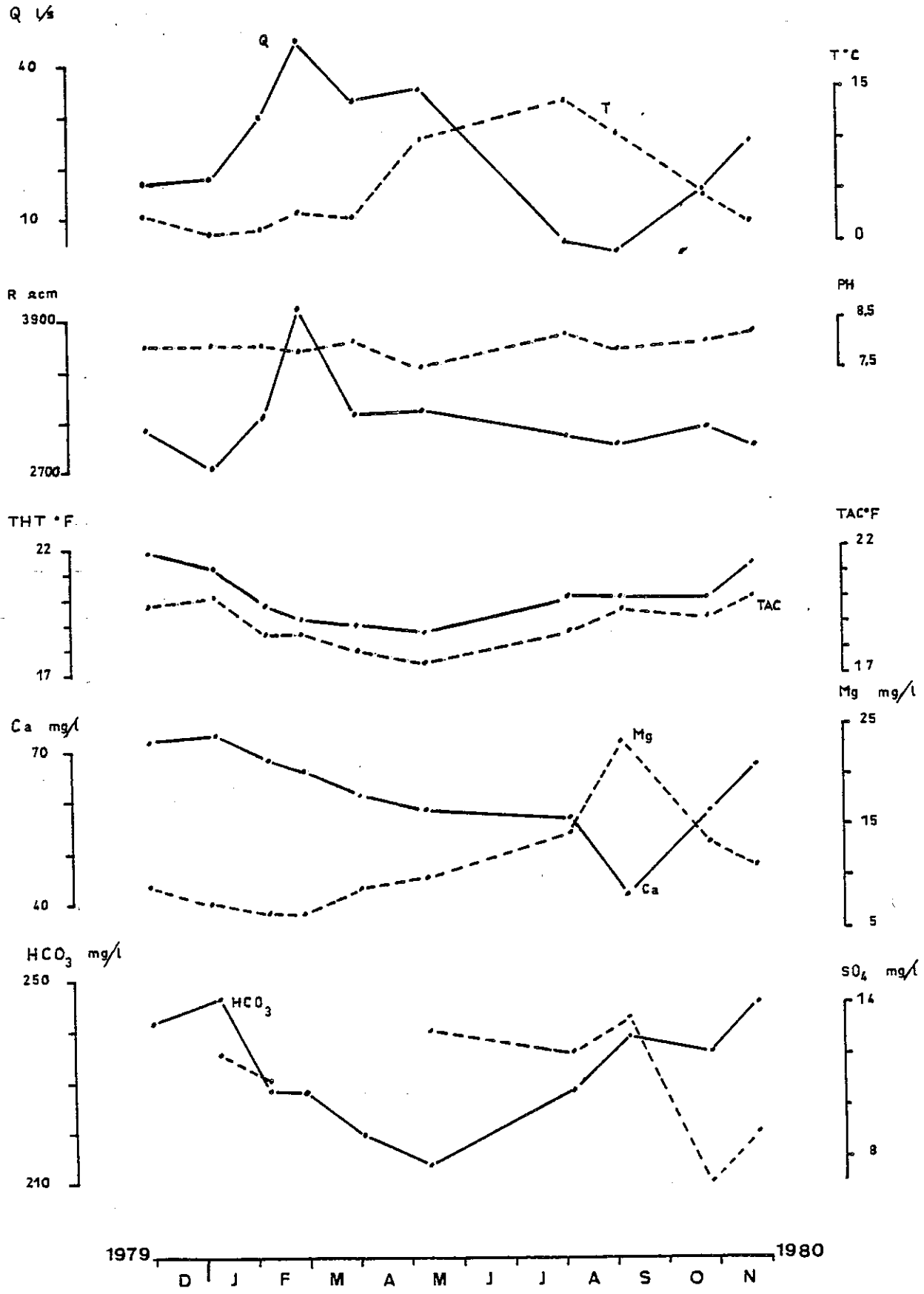
| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 62,41 | 11,13 | 2,6 | 0,8 | 232,53 | 11,0 | 0,01 |
| C en meq/l | 3,11 | 0,92 | 0,11 | 0,02 | 3,81 | 0,23 | - |

Silice 3,72 mg/l
r Mg/r Ca = 0,30

Nitrates 0,19 mg/l soit 0,0 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 16,57

La température est relativement stable pendant les mois hivernaux. Les minéralisations sont maximales pendant l'étiage d'été et d'hiver. Globalement, la composition chimique est du même ordre que celle de la source du Crozat, dont le bassin versant a la même composition lithologique.

# LE COZON (LES MINETS) PL 45



### IV.2. Ruisseau à bassin versant principalement Urgonien :

*a- Ruisseau de la Chaume.*

X = 875,587 Y = 58,787 (Lambert II) Z = 1231m.

Le ruisseau de La Chaume prend naissance au col du Mollard et s'écoule vers le Sud en direction du Désert d'Entremont. Il longe ainsi la dalle urgonienne du massif d'Outhéran dont il récolte les eaux par l'intermédiaire des éboulis de pied de falaise.

Caractéristiques physiques :

| | Moyenne | Minima | Maxima |
|---|---|---|---|
| Q : l/s | | 4,0 | 40,0 |
| T : °C | | 3,0 | 9,7 |
| R : Ω cm | 4658 | 4113 | 5415 |
| PH : | 7,95 | 7,6 | 8,2 |

Composition chimique :

| | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $Na^{+}$ | $K^{+}$ | $HCO_3^{-}$ | $SO_4^{2-}$ | $Cl^{-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C en mg/l | 49,42 | 1,82 | 0,96 | - | 154,83 | 1,5 | 0,06 |
| C en meq/l | 2,47 | 0,15 | 0,04 | - | 2,54 | 0,03 | - |

Silice 1,72 mg/l
r Mg/r Ca = 0,06

Nitrates 0,27 mg/l soit 0 meq/l
r $HCO_3$/r $SO_4$ = 84,67

La composition chimique moyenne présente les mêmes caractéristiques que celles des sources de la Fontanette et d'Outhéran. Ces sources drainent elles aussi ce massif urgonien.

## V. CONCLUSION A L'ETUDE HYDROCHIMIQUE DES SOURCES.

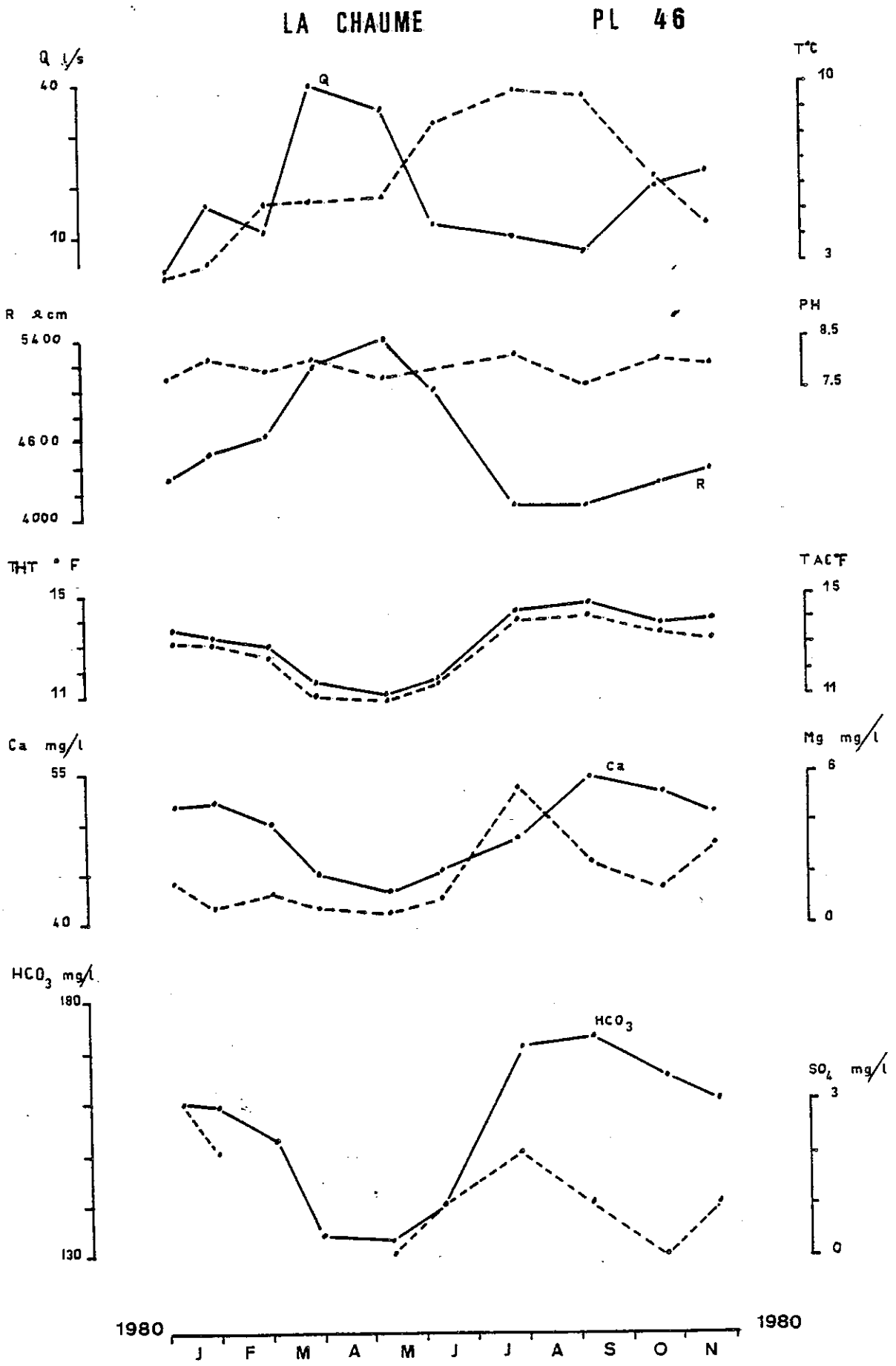
### V.1. Essai de classification :

Toutes nos eaux présentent le même faciès chimique. Elles sont bicarbonatées calciques.

r Ca > r Mg > r Na > r K

r $HCO_3$ ≫ r $SO_4$ > r Cl

# LA CHAUME PL 46



Les deux aquifères principaux, en ce qui concerne le nombre et le débit des sources, sont le Néocomien et l'Urgonien. La composition chimique globale des eaux ne permet pas de différencier ceux-ci.

Circulations liées au Tithonique : Résistivité R = 2600 Ωcm
Circulations liées au Berriasien : Résistivité Rε [2900-3400Ωcm]
Circulations liées au Néocomien : Résistivité Rε [2600-4400Ωcm]
Circulations liées à l'Urgonien : Résistivité Rε [2600-5300Ωcm]

Pour un même aquifère, la résistivité varie en fonction de la température de l'eau (planche n° 49). Plus l'altitude du bassin versant est élevée, plus la température de l'eau sera basse et plus la minéralisation sera faible quelque soit la nature de l'aquifère. Ce phénomène secondaire vient interférer avec la composition chimique potentielle dûe à la nature du terrain.

Par contre, les rapports relatifs entre les différents composants de la minéralisation restent plus stables. Nous nous intéresserons au rapport entre les deux principaux cations : $Ca^{2+}$ et $Mg^{2+}$ :

Circulations liées au Néocomien r Mg/r Ca ε [0,15-0,22]
Circulations liées à l'Urgonien r Mg/r Ca ε [0,05-0,12]

Par ce rapport r Mg/r Ca, nous pouvons mieux différencier ces deux principaux aquifères. J.P. Bozonat donne des valeurs comparables pour les sources qu'il a étudiées.

Circulations sur les éboulis néocomiens r Mg/r Ca ε [0,15-0,20]
Circulations liées à l'Urgonien r Mg/r Ca ε [0,09-0,12]

B. Talour donne quelques valeurs d'analyses chimiques sur les sources du massif du Grand Som :

Circulations liées à l'Urgonien r Mg/r Ca ε [0,04-0,11]

La comparaison entre les deux principaux anions, $HCO_3^-$ et $SO_4^{2-}$, est moins déterminante pour différencier les aquifères. Les limites entre les domaines de variation sont très proches.

Circulations liées au Néocomien r $HCO_3$/r $SO_4$ ε [14,38-25,28]
Circulations liées à l'Urgonien r $HCO_3$/r $SO_4$ ε [28,33-65,57]

La méthode utilisée (colorimétrie) pour mesurer la concentration en sulfate est peu précise : ±20%. Nous n'avons pas effectué systématiquement de mesures sur les sulfates au cours de l'année d'étude. Pour ces deux raisons, la valeur moyenne de la concentration en $SO_4^{2-}$ n'est pas très fiable. Pour les sources étudiées par J.P. Bozonat, nous pouvons calculer les valeurs suivantes :

Circulations liées au Néocomien r $HCO_3$/r $SO_4$ ε [16,18-23,5]
Circulations liées à l'Urgonien r $HCO_3$/r $SO_4$ ε [27,67 et 73,00]

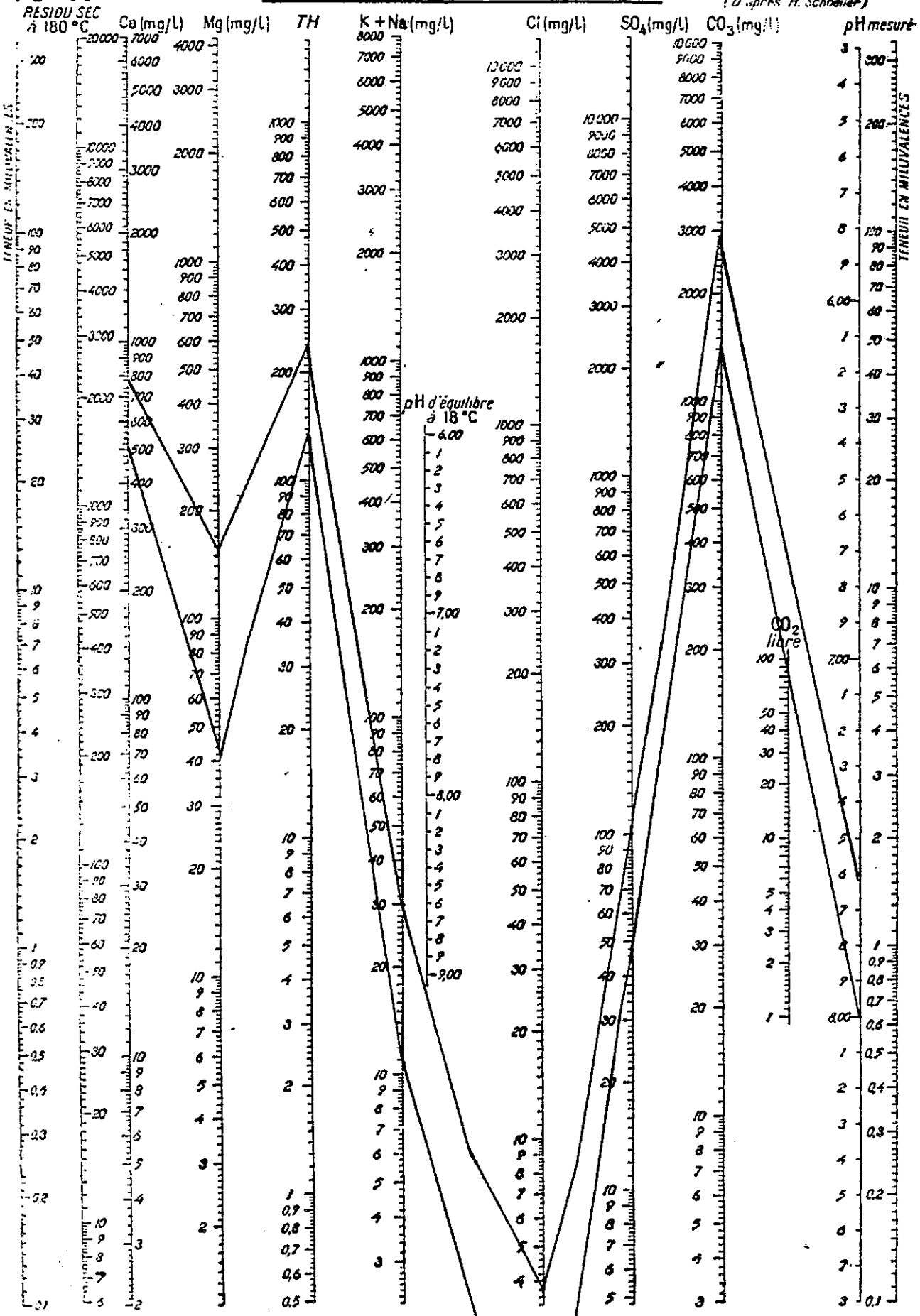
Les travaux de B. Talour nous permettent de calculer les valeurs suivantes :

Circulations liées à l'Urgonien r $HCO_3$/r $SO_4$ ε [29,00 et 36,50]

PL 47

# DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)




CIRCULATIONS LIEES AUX CALCAIRES NEOCOMIENS

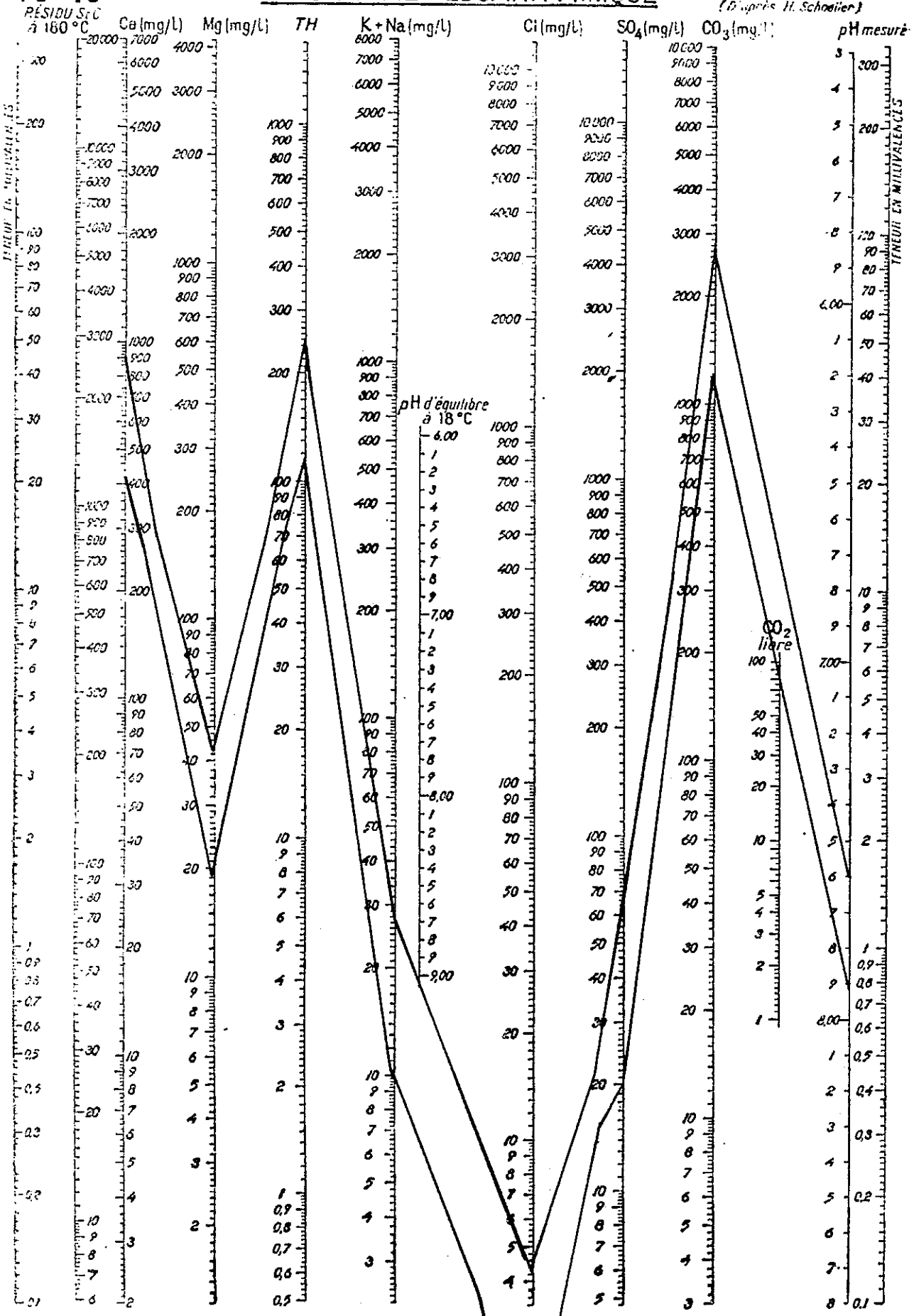
domaine de variation

$\bar{C}$ x 10

PL 48

# DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)




CIRCULATIONS LIEES AUX CALCAIRES URGONIENS

domaine de variation

$\bar{C}$ x 10

Tous ces chiffres montrent qu'il y a une certaine cohérence des minéralisations pour les eaux issues d'un aquifère de même lithologie en Chartreuse. Cependant, les valeurs utilisées sont celles de sources karstiques-types, au bassin versant bien protégé. Si l'émergence se situe dans des éboulis, ou s'il y a un léger placage ou contact avec un autre terrain, les valeurs ne coïncident plus parfaitement avec les domaines de variation énoncés.

Que ce soit pour la comparaison entre les cations ou entre les anions nous n'avons pas introduit les valeurs observées à la source des Gants qui présente des caractéristiques intermédiaires :

r Mg/r Ca = 0,10 r $HCO_3$/r $SO_4$ = 36,44

L'aquifère est néocomien et bien isolé des niveaux urgoniens. Cependant, la circulation des eaux s'effectue à travers un réseau ouvert, de type urgonien, avec chenaux et fissures non colmatées.

### V.2. Comparaison avec la chimie des cours d'eau superficiels :

Les ruisseaux que nous avons suivis ont des bassins versants soit du Berriasien, soit de l'Urgonien. Les rapports des concentrations pour les cations et les anions sont les suivants :

Cours d'eau à bassin versant Berriasien :
r Mg/r Ca = 0,20 ; 0,30 et r $HCO_3$/r $SO_4$ = 16,57 ; 33,33

Cours d'eau à bassin versant Urgonien :
r Mg/r Ca = 0,06 et r $HCO_3$/r $SO_4$ = 84,67.

Les valeurs concordent avec celles caractérisant les sources correspondantes.

### V.3. Synthèse :

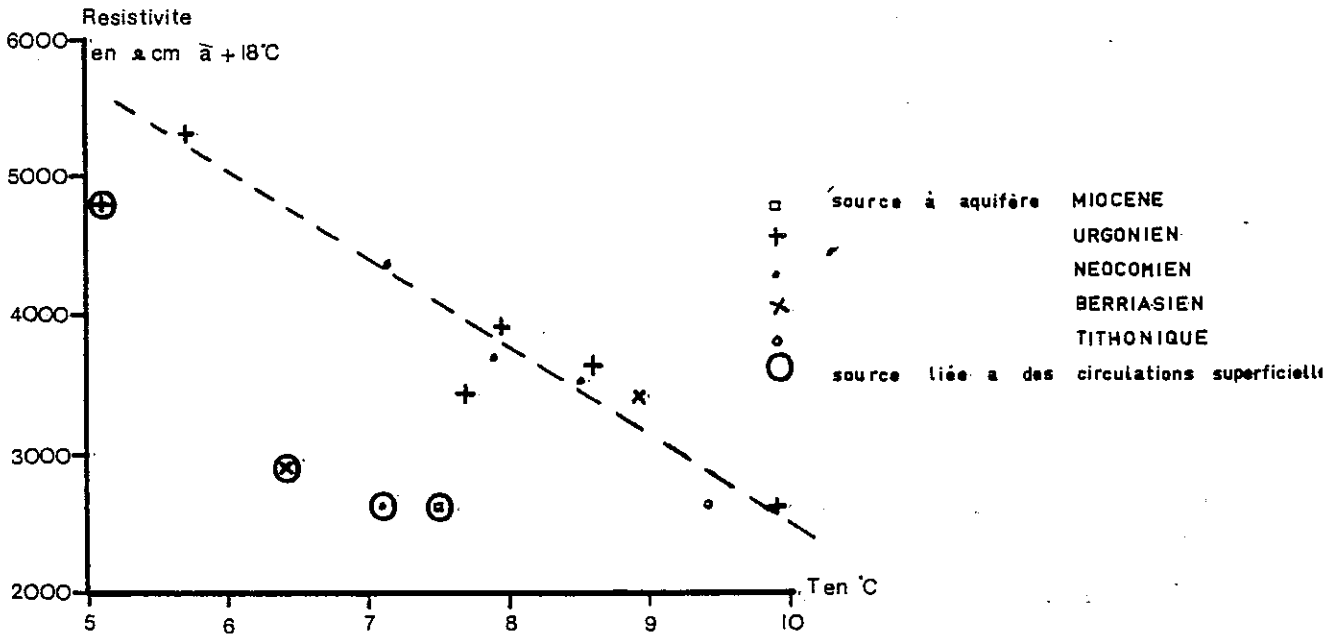
Nous avons intégré dans la planche n° 50 les valeurs des rapports de concentration des anions entre eux, en abscisse, et des cations entre eux, en ordonnée. Il a été ajouté à nos données les points correspondants aux différentes autres sources décrites en Chartreuse par J.P. Bozonat ou B. Talour. Pour comparer nous avons également joint les valeurs moyennes tirées des études effectuées sur des aquifères similaires dans le massif subalpin des Bauges. Soit :

. Pour le plateau du Mont Revard (Y. Lemordant, 1977)
circulations liées à l'Urgonien, moyenne sur 5 sources
r Mg/r Ca = 0,02 r $HCO_3$/r $SO_4$ = 100,00
circulations liées au Néocomien, moyenne sur 3 sources
r Mg/r Ca = 0,075 r $HCO_3$/r $SO_4$ = 24,10

. Pour le Sud-Est du massif des Bauges (G. Zamolo, 1980)
circulations liées à l'Urgonien, moyenne sur 7 sources
r Mg/r Ca = 0,11 r $HCO_3$/r $SO_4$ = 81,06

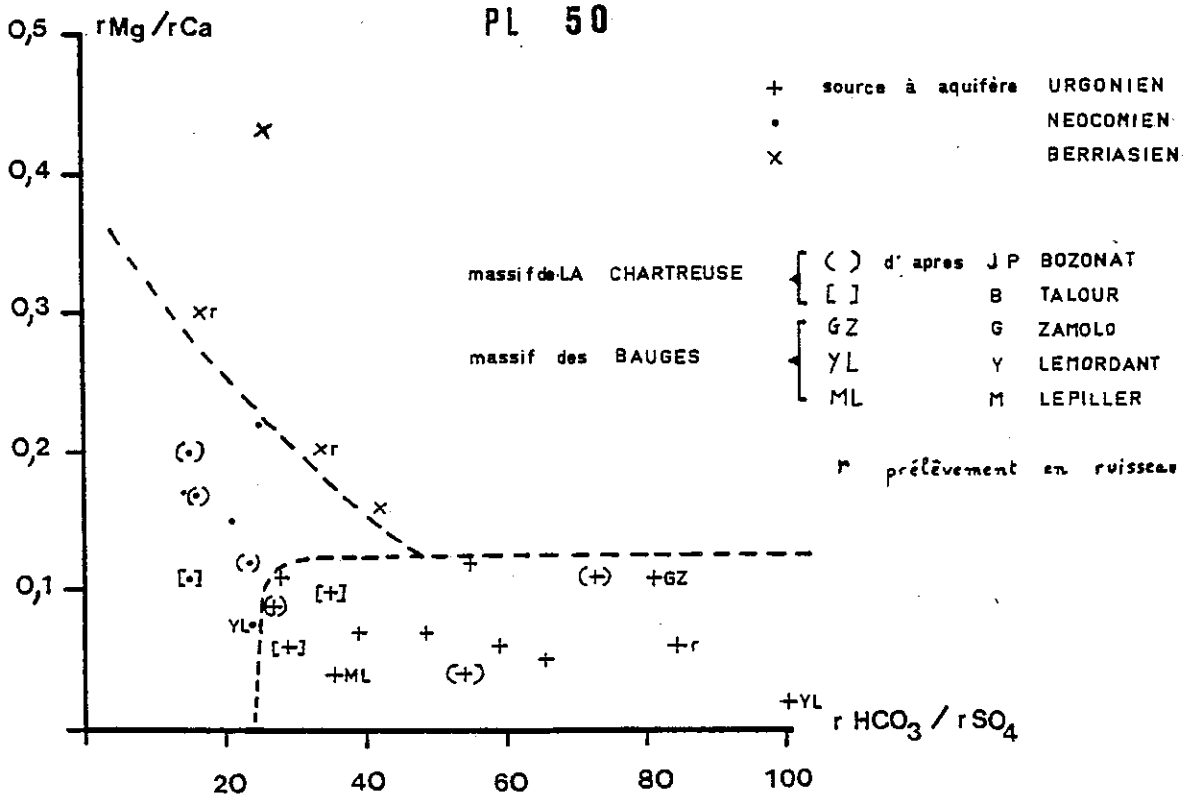
# RELATION TEMPERATURE RESISTIVITE

PL 49




# TYPE DE MINERALISATION EN FONCTION DE L'AQUIFERE

PL 50



. Pour le massif du Semnoz (M. Lepiller, 1980)
circulations liées à l'Urgonien, les sources de la Grotte de Bange

r Mg/r Ca = 0,04 r $HCO_3$/r $SO_4$ = 35,56

Commentaire :

La répartition des points n'est pas aléatoire. Chaque aquifère s'inscrit dans un domaine de variation :

| | | |
|---|---|---|
| Aquifère Urgonien | : r $HCO_3$/r $SO_4$ | moyen à élevé |
| | r Mg/r Ca | très faible |
| Aquifère Néocomien | : r $HCO_3$/r $SO_4$ | très faible |
| | r Mg/r Ca | moyen |
| Aquifère Berriasien | : r $HCO_3$/r $SO_4$ | très faible à moyen |
| | r Mg/r Ca | moyen à élevé |

Il y a une augmentation progressive de la concentration en magnésium des eaux de l'Urgonien au Néocomien jusqu'au Berriasien. La calcimétrie n'a pas montré de variation dans la composition chimique de la roche : pas de dolomie quelque soit le niveau. L'origine serait à rechercher dans l'augmentation du pourcentage d'insolubles et dans le mode de circulation de l'eau.

. L'Urgonien est généralement caractérisé par un karst ouvert, avec des chenaux et des fractures. La circulation des eaux est très rapide.
Pourcentage d'insoluble : de 1 à 5% environ.

. Le Néocomien est lui aussi karstique. Mais les circulations sont plus lentes, à travers des fissures et des conduits plus étroits.
Pourcentage d'insoluble : de 5 à 10% environ.

. Le Berriasien est quand à lui le moins favorable à la circulation de l'eau. Plus de karst dans cet aquifère peu perméable.
Pourcentage d'insoluble : supérieur ou égal à 10%.

Plus la circulation de l'eau est difficile et donc lente, plus la concentration relative en magnésium augmente. Nous retrouvons là, le cas de figure développé dans le paragraphe consacré à l'étude de la variation de la composition chimique lors d'une crue à la source de la Fracette. Plus le temps de séjour dans l'aquifère calcaire est long, plus le pourcentage relatif de concentration en ions magnésiens par rapport aux ions calcium augmente. Cela confirme, pour le type de minéralisation que peut acquérir une eau, l'importance du temps de transit dans l'aquifère.

Aussi le rapport r Mg/r Ca apparaît comme un bon témoin de la lithologie de l'aquifère et peut aider à la détermination de celui-ci. A l'inverse, il est possible à partir de la teneur en magnésium de se faire une idée du temps de séjour de l'eau dans les terrains prouvés, et donc de se faire une idée du mode et de la vitesse de circulation des eaux entre la zone d'infiltration et les points d'émergence.

L'étude du rapport de concentration entre les deux principaux anions nous apporte moins d'informations. Toutefois, les valeurs plus élevées des concentrations relatives en sulfates pour les eaux issues des terrains du Néocomien calcaire sont à relier avec la présence d'éléments pyriteux dans celui-ci. De telles pyrites sont absentes dans l'Urgonien.

# QUATRIEME PARTIE

## CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE.

La lithologie du secteur NW de la Chartreuse ne diffère pas de celle des autres secteurs précédemment étudiés dans le massif subalpin de Chartreuse. Chez nous, la série commence au Jurassique supérieur, mais ce sont les terrains du Crétacé inférieur qui occupent la plus grande surface. L'Urgonien, de part sa lithologie est le niveau le plus suceptible d'abriter une karstification.

Alors que d'intéressant réseaux se sont développés sur les autres dalles urgoniennes du massif, la karstification n'a jamais atteint dans le secteur NW de la Chartreuse une ampleur suffisante. Cela semble du à la faiblesse des surfaces concernées. Les plissements et la fracturation ont divisé les bassins versants potentiels en une multitude de minuscules sous-bassins versants. Les directions des contraintes ont été les mêmes que dans le reste du massif, mais la fracturation s'est développée beaucoup moins profondément dans le rocher et les fractures sont peu ouvertes. Tous ces éléments ne sont pas propices à l'existence de gros collecteurs souterrains.

La petite taille des bassins versants et la très faible extension du réseau souterrain sont les caractéristiques singulières de la géomorphologie karstique du secteur NW de la Chartreuse par rapport au reste du massif.

De plus, les altitudes sont moins élevées que sur les autres hauts-plateaux de Chartreuse. La végétation est encore abondante à ces niveaux. En interceptant une partie des précipitations et en protégeant le rocher, son action n'est pas propice à la karstification. Le seul bassin versant karstique étudié, celui de la source de la Fracette n'a qu'une surface de 2,23 $km^2$ et une altitude moyenne de 1135m.

Les précipitations durant la période d'étude, février 1980 - janvier 1981, ont été particulièrement abondantes : 2690mm sur le bassin versant de la Fracette. Le cycle étudié se classe au troisième rang des années pluvieuses sur les 20 années de mesure à Saint Pierre d'Entremont. Peut-être corrélativement, le gradient altimétrique moyen est passé de + 68mm/100m, moyenne des 20 dernières années à + 111mm/100m pour notre année d'étude.

Simultanément, les températures ont été exceptionnellement basses : + 5,3°C sur les bassins versants. A la station du Couvent, la valeur correspondante est la plus faible sur les 22 années de mesure. Le gradient altimétrique moyen est modéré : - 0,43°C/100m.

Les conditions climatiques exceptionnelles se sont répercutées sur l'évapotranspiration. La valeur de celle-ci est faible : 18 à 19% des précipitations. Pour la station du Couvent, elle marque une chute de 6 à 7 points par rapport à une année moyenne. Le bilan hydrologique et le coefficient d'infiltration annuel calculés pour le bassin versant de la Fracette confirme à post-priori que la formule de Thorntwhaite était la plus proche de la réalité pour le calcul de l'évapotranspiration sur le cycle étudié.

Les traçages ont été décevants, bien qu'ils aient permis de vérifier les relations entre le bassin versant supposé et l'exutoire. Mais les courbes de restitution ne nous ont apporté que peu de renseignements sur le mode de circulation de l'eau à l'intérieur du karst. Il ne semble pas qu'une campagne de traçage plus importante puisse apporter d'éléments nouveaux.

Les conditions hydroclimatiques sont à l'origine des valeurs très élevées des débits spécifiques. Celui de la source de la Fracette est de 61,9 $l/s/km^2$, celui du ruisseau du Cozon à Saint Pierre d'Entremont atteint 44,6 $l/s/km^2$. Le régime est pluvio-nival.

Le bilan pour la source de la Fracette est équilibré. Celui du Cozon, déficitaire, permet de mettre en évidence une surestimation d'environ 20% des précipitations pour ce bassin versant.

Le coefficient annuel d'infiltration pour la Fracette est de 0,74. En période estivale, d'une averse à l'autre, le coefficient d'infiltration varie du simple au double selon le type de précipitation et les conditions hydrodynamiques du moment : de 0,21 à 0,43. Ces valeurs sont à rapprocher de celles calculées par J.P. Bozonat (1980) sur les hauts plateaux orientaux de Chartreuse situés à des altitudes supérieures. Le coefficient annuel varie pour ces plateaux de 0,81 à 0,86 selon les cycles. En période estivale il a trouvé pour le coefficient d'infiltration selon les pluies des valeurs comprises entre 0,16 à 0,42.

La très grande variation selon le type de précipitation du coefficient d'infiltration en été semble donc un fait généralisé sur les plateaux calcaires de Chartreuse.

L'étude des courbes de tarissement, quel que soit le modèle utilisé (relations entre les circulations de chenaux et de fissures, ou relations entre zone noyée et zone non saturée), montre que les réserves sont très faibles. Les caractéristiques hydrodynamiques de l'écoulement dépendent des conditions hydrologiques du moment et sont extrêmement variables.

Ce dernier trait, favorisé sur notre terrain par la petite taille des bassins versants, est caractéristique des karsts subalpins.

L'examen des variations de la composition chimique de l'eau pendant une crue atteste également du faible volume des réserves. Lors d'une crue, le mélange entre les eaux de réserves et les eaux en cours d'infiltration semble mauvais, au moins en début de crue. Le même phénomène a été observé sur d'autres sources karstiques du massif subalpin des Bauges.

L'inventaire succinct des sources nous montre que les terrains du Néocomien mais surtout ceux de l'Urgonien sont les principaux aquifères. L'hydrochimie a permis de mieux caractériser les eaux en fonction des terrains traversés. Il semble y avoir une bonne concordance entre la lithologie de l'aquifère et la composition chimique des eaux ayant circulé dans celui-ci. L'utilisation du rapport r Mg/r Ca est à ce titre bien intéressant. Cette méthode semble pouvoir être utilisée dans d'autres secteurs géographiques, particulièrement pour les massifs subalpins.

Nous avons vu que les plateaux calcaires du NW de la Chartreuse se singularisent par leurs découpages en de multiples et minuscules sous-bassins versants. Leurs morphologies et leurs structures particulières par rapport au reste du massif ne sont pas favorables à des circulations karstiques. Cependant, on s'aperçoit, tout en tenant compte de la petite taille des bassins, que ceux-ci se comportent comme les autres plateaux calcaires de Chartreuse ou des Bauges. Les caractéristiques hydrodynamiques de l'écoulement souterrain suivent les mêmes lois et les minéralisations acquises par les eaux ainsi que leurs variations sont comparables.

# BIBLIOGRAPHIE

AL-ANBAR N (1979) - Infiltration et écoulement en milieu karstique. Etude statistique des données climatologiques et hydrologiques du bassin versant du Furon, Vercors. *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

AMINOT A. (1974) - Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. Les analyses chimiques en hydrogéologie karstique. *Annales de Spéléologie, tome 29.4, p. 461-483.*

ANDRE H., AUDINET M., MAZERAN G. et RICHER C. (1976) - Hydrométrie pratique des cours d'eau. Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France. *Eyrolles Editeur, Paris.*

ARMAND C. et DELAQUAIZE B. (1977) - Analyse physico-chimique des eaux. *Mémento pratique, Laboratoire d'Hydrogéologie, Institut Dolomieu, Grenoble.*

BAKALOWICZ M. (1975) - Variations de la conductivité d'une eau en fonction de la température et précision des mesures. *Annales de Spéléologie, tome 30, fasc. 1, p. 3.*

BAKALOWICZ M. (1979) - Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et la karstification. *Thèse de Doctorat, Paris VI.*

BARBIER J.L. (1972) - Etude hydrogéologique de la haute vallée de la Vernaison et de ses bordures. *Thèse 3ème cycle, Grenoble.*

BARBIER R. (1960) - Le rôle des paléokarsts dans la formation des réseaux karstiques actuels et leurs répercussions sur l'hydrogéologie de ces régions. *Compte-rendu de la Société Géologique de France, 7 mars 1960, n° 5, p. 59.*

BARFETY J.C. et GIDON M. (1969) - Carte géologique Montmélian 1/50000, BRGM.

BERKALOFF E. (1967) - Limite de validité des formules courantes de tarissement du débit. *Chronique d'hydrogéologie; BRGM, n° 10, p. 31-41.*

BOIS Ph (1977) - Hydrologie générale. *Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble, Institut National Polytechnique de Grenoble.*

BONHOMME J.L. (1972) - Etude hydrogéologique et hydrodynamique du karst des calcaires sénoniens. Dévoluy (26). *Thèse d'Ingénieur-Géologue, Centre National des Arts et Métiers, Paris.*

BOZONAT J.P. (1980) - Infiltration et circulation des eaux dans les calcaires fissurés. Hydrogéologie et bilan hydrique du secteur septentrional du massif de la Chartreuse. *Thèse Doctorat 3ème cycle.*

BUFFET G. (1973) - Analyse statistique multivariable. *Institut Dolomieu, Série Documentation D, n° 24.*

CASTANY G. (1967) - Introduction à l'étude des courbes de tarissement. *Chronique d'Hydrogéologie, BRGM, n° 10, p. 23-30.*

CASTANY G. (1967) - Traité pratique des eaux souterraines. *Edition Dunod, Paris.*

CASTANY G. et MARGAT J. (1977) - Dictionnaire français d'hydrogéologie. *BRGM Orléans.*

COLLOQUE SUR L'HYDROGEOLOGIE KARSTIQUE DU MASSIF DU VERCORS (1968) - Travaux du Laboratoire de Géologie, Grenoble. *Mémoire n° 8, tome 1,2. 16 novembre 1968.*

COLLOQUE (2ème) D'HYDROLOGIE EN PAYS CALCAIRE (1976) Besançon- Neuchatel, le 7-10 octobre. Annales Scientifiques de l'Université de Besançon. *3ème série, Géologie, fascicule 25, 435p., 1976.*

COMPAGNIE FRANCAISE D'ETUDES GEOTECHNIQUES (1979) - Projet de camping à côte Barrier. Reconnaissance hydrogéologique du site. *Inédit, 16 p.*

CONSTANTINIDIS D. (1978) - Hydrodynamique d'un système aquifère hétérogène. Hydrogéologie de la Thessalie Orientale. *Thèse Docteur es Sciences.*

DELAQUAIZE B. (1979) - Etude géologique, hydrogéologique et limnologique dans une région de moyenne montagne : le bassin versant des lacs de Laffrey et de Pétichet (Isère). *Thèse 3ème cycle, Grenoble.*

DE SARTIGES B. (1978) - Infiltration des eaux et relations entre aquifères profonds et superficiels. Hydrogéologie du Plateau de Thollon de la Montagne de Mémise et de la vallée de l'Ugine. *Thèse 3ème cycle, Grenoble.*

DROGUE C. (1971) - Coefficient d'infiltration ou infiltration efficace sur les roches calcaires. Actes du Colloque d'Hydrologie en pays calcaire. Besançon. *Annales scientifiques, Université de Besançon, p. 121.*

DROGUE C. (1972) - Analyse statistique des hydrogrammes de décrues des sources karstiques. *Journal of Hydrology, 15, p. 49-68.*

DROGUE C. et GUILBOT A. (1977) - Représentativité d'un bassin témoin en hydrogéologie karstique : application à la modélisation des écoulements souterrains d'un aquifère de grande extension. *Journal of Hydrology, 32, p. 57-70.*

FOURNEAUX J.C. et SARROT-REYNAULD J. (1977) - Déficit d'écoulement et évapotranspiration dans les Alpes du Nord. *Comptes-rendus du 102ème Congrès National des Sociétés Savantes, fascicule 2.*

FRANCISS F.O. (1970) - Contribution à l'étude du mouvement de l'eau à travers les milieux fissurés. *Thèse de Docteur-Ingénieur, Grenoble.*

GIDON M. (1964) - Nouvelles contributions à l'étude du massif de la Grande Chartreuse et de ses relations avec les régions avoisinantes. *Travaux du Laboratoire de Géologie de Grenoble, n° 40, p. 187-205.*

GIDON M. (1964) - Vues nouvelles sur la géologie de la Chartreuse Septentrionale et de l'extrémité sud des Bauges. *Annales du Centre d'Enseignement Supérieur de Chambéry, n° 2, p. 7-25.*

GIDON M. (1966) - Sur la tectonique de l'élément chartreux oriental au Sud-Est de Saint Pierre de Chartreuse. *Travaux du Laboratoire de Géologie de Grenoble, Tome 42, p. 117-125.*

GIGNOUX M. et MORET L. (1952) - Géologie dauphinoise (2ème édition), *Masson, Paris.*

GRILLOT J.C. (1979) - Structure des systèmes aquifères en milieu fissuré. Contribution méthologique à cette connaissance. *Thèse Doctorat d'Etat, Montpellier.*

GROUPE ULYSSE SPELEO (1975) - Inventaire spéléologique du massif de la Cochette, Savoie, *Saint Priest.*

GUILBOT A. (1975) - Modélisation des écoulements d'un aquifère karstique (Liaison pluie-débit). Application aux bassins de Saugras et du Lez. *Thèse 3ème cycle, Montpellier.*

HAUBERT M. (1975) - Bilan hydrochimique d'un bassin versant de moyenne montagne : la Dranse de Bellevaux (Haute-Savoie). *Thèse de 3ème cycle, Paris.*

KARST HYDROLOGY AND WATER RESOURCES (1976) - Proceedings of the US Yusgoslavian. *Symposium Dubrovnik, 2-7-75, Water Resources Publications.*

KIRALY L. (1969) - Anisotropie et hétérogeneïté de la perméabilité dans les calcaires fissurés. *Eclogae Géol. Helv., 62/2, p. 613-619.*

KIRALY L. (1969) - Statislical analysis of fractures (orientation and density). *Géol. Rundschau, volume 59, tome 1, p. 125-151.*

KIRALY L. et SIMEONI G.P. (1971) - Structure géologique et orientation des cavités karstiques : la grotte de "Chez le Brandt" (Jura neuchatelois). *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles, tome 94, p. 91-98.*

KIRALY L., MATHEY B. et TRIPET J.P. (1971) - Fissuration et orientation des cavités souterraines, région de la grotte de Millandre (Jura tabulaire). *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles, tome 94, p. 99-114.*

LEMORDANT Y. (1977) - Infiltration et transfert des eaux souterraines en pays karstique. Le plateau du Mont Revard (Savoie). *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

LEPILLER M. (1980) - Contribution de l'hydrochimie à la connaissance du comportement hydrogéologique des massifs calcaires. Etude de quelques systèmes karstiques du massif du Semnoz et de la région d'Annecy (Savoie, Haute-Savoie, France). *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

LETOURNEUR J. et MICHEL R. (1971) - Géologie du Génie Civil. *Collection U, Librairie Armand et Collin.*

LUPARINI V. (1975) - Etude hydrogéologique du massif du Dévoluy (Haute-Alpes). *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

MANGIN A. (1970) - Contribution à l'étude des aquifères karstiques à partir de l'analyse des courbes de décrue et de tarissement. *Annales de Spéléologie, tome 25, fascicule 3, p. 581-609.*

MANGIN A. (1971) - Etude des débits classés d'exutoires karstiques portant sur un cycle hydrologique. *Annales de Spéléologie, tome 26, fascicule 2, p. 283-329.*

MANGIN A. (1974-1975) - Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Annales de Spéléologie, tome 29, fascicule 3 (1974), p. 283-332 ; tome 29, fascicule 4 (1974), p. 495-601 et tome 30, fascicule 1 (1975), p. 21-124.*

MASSONAT G. (1981) - Hydrogéologie en milieu fissuré et thermalisme. Etude du massif de Bramefarine et du Nord du massif d'Allevard. La source hermominérale d'Allevard (Isère, France). *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

MATHEY B. et SIMEONI G.P. (1971) - Estimation de la perméabilité en terrains calcaires par essais d'injection d'eau. Actes du Colloque d'Hydrogéologie en pays calcaire. *Besançon, p. 165-175.*

METEOROLOGIE NATIONALE. Données climatiques dans les départements de l'Isère et de la Savoie.

MICHEL R. (1960) - Contribution à l'étude de la température des sources dans le département de l'Isère. *Travaux du Laboratoire de Géologie de Grenoble, tome 36, p. 115-131.*

MIJATOVIC B. (1974) - Détermination de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement par la courbe de tarissement dans les aquifères karstiques. Association Internationale des Hydrogéologues. *Congrès de Montpellier, p. 225.*

MUGNIER C. (1965) - Les karstifications antépliocènes et plioquaternaires dans les Bauges, la Chartreuse septentrionale et les chaînons jurassiens voisins (Savoie, Haute-Savoie, Isère). *Annales de Spéléologie, tome 20, fascicule 1 et 2, p. 15 et p. 167.*

NICOUD G. (1973) - Hydrogéologie de la Haute Vallée du Chéran, massif des Bauges (Savoie). *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

NICOUD G. (1978) - Hydrogéologie de la Vallée de Couz (Savoie). *Annales du Centre Universitaire de Savoie, t. 3, p. 1-35.*

OLIVE P. (1976) - Le système $CO_2/H_2O/Ca\ CO_3$. Mémento pratique. *Centre de Recherche de Géologie, Thonon, n° 178.*

PAPPINI G. (1976) - Hydrogéologie du bassin versant du Haut-Gelon (Savoie). *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

REMENIERAS G. (1976) - L'hydrologie de l'ingénieur, 2ème édition, revue et augmentée. *Edition Eyrolles, Paris.*

ROBERT J.P. (1976) - Les décrochements : fracturations et mouvements de blocs associés. Exemples des massifs subalpins dauphinois. *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

RODIER J. (1966) - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. *Edition Dunod, Paris.*

SANTOS NARVAEZ J.M. (1980) - Contribution à l'étude géologique des chaînons externes nord-occidentaux du massif de Chartreuse (Savoie). *Thèse de 3ème cycle, Paris VI.*

SARROT-REYNAULD J. (1962) - Hydrogéologie karstique dans le massif du Vercors. *Mémoires du Congrès de l'Association Internationale des Hydrogéologues. Athènes, p. 321-329.*

SARROT-REYNAULD J. et FOURNEAUX J.C. (1976) - Comparaison des types de circulation dans les massifs karstiques des chaînes subalpines françaises à partir des études hydrogéologiques et des traçages récents. *2ème colloque d'hydrologie en pays calcaire, Besançon, fascicule 25, 3ème série, p. 369-379.*

SCHOELLER H. (1962) - Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. *Edition Masson, Paris.*

SCHOELLER H. (1967) - Hydrodynamique dans le karst (écoulement et emmagasinement). Chronique d'Hydrogéologie, *BRGM, n° 10, p. 7-21, Orléans.*

SCHOELLER H. (1980) - Influence du climat, de la température sur la teneur en $HCO_3^-$ et $H_2\ CO_3$ des eaux souterraines. *Journal of Hydrology, n° 46, p. 365-376.*

SPELEO-CLUB DE SAVOIE - Grottes de Savoie, M.J.C., Chambéry.

TALOUR B. (1975) - Inventaire spéléologique du massif de la Chartreuse. *Publication du Comité départemental de Spéléologie de l'Isère.*

TALOUR B. (1976) - Hydrogéologie karstique du massif du Grand Som (Chartreuse, Isère). *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

VIAL R. (1976) - Etude géologique et hydrogéologique de la région Thonon-Douvaine (Haute-Savoie). *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

ZAMOLO G. (1980) - Régime des eaux souterraines dans les massifs calcaires. Hydrogéologie du secteur Sud-Est du massif des Bauges (Savoie). Bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon. *Thèse de 3ème cycle, Grenoble.*

## LISTE DES PLANCHES


| Planches N° | Titre | Pages |
|---|---|---|
| 1 | Nord-Ouest de la Chartreuse. Colonne stratigraphique synthétique ..... | 10 |
| 2 | Fracturation du massif de Roche Veyrand ..... | 18 |
| 3 | Bassin versant du Cozon ..... | 28 |
| 4 | Précipitations mensuelles (1961-1980) ..... Répartition saisonnière (1961-1980) | 35 |
| 5 | Corrélations sur les précipitations annuelles et mensuelles ..... | 39 |
| 6 | Précipitations mensuelles (Janvier 1980 - Janvier 1981) ..... | 41 |
| 7 | Températures moyennes mensuelles ..... | 47 |
| 8 | Corrélations entre les stations thermométriques de Saint Hilaire et Saint Thibaud ..... | 49 |
| 9 | Températures moyennes mensuelles (Février 1980-Janvier 1981) ..... | 51 |
| 10 | Col du Granier, humidité relative, température du sol ..... | 53 |
| 11 | Traçage à Roche-Veyrand, courbe de restitution à la Fracette ..... | 66 |
| 12 | Traçage aux Egaux, courbe de restitution à Poirier sec ..... | 68 |
| 13 | Courbes de tarage, le Cozon à Saint Pierre, source de la Fracette ..... | 72 |
| 14 | La Fracette, débits moyens journaliers (F1980-J1981) ..... | 74 |
| 15 | La Fracette (F1980-J1981), débits moyens mensuels, courbe des débits classés ..... | 76 |
| 16 | Débits moyens journaliers du Cozon au pont de Saint Pierre d'Entremont (F1980-J1981) ..... | 78 |
| 17 | Le Cozon à Saint Pierre d'Entremont (F1980-J1981), débits moyens mensuels, courbes des débits classés ..... | 80 |
| 18 | Ajustement des crues mensuelles du Cozon selon la loi de Gumbel ..... | 81 |
| 19 | La Fracette, courbes de tarissement, méthode de Maillet ..... | 94-95 |
| 20 | Le Cozon à Saint Pierre, courbes de tarissement | 98 |
| 21 | La Fracette, crue du 27.07.80, méthode de Mangin ..... | 101 |

| | | |
|---|---|---|
| 22 | La Fracette, crue du 6.09.80, méthode de Mangin. | 102 |
| 23 | La Fracette, crue du 15.12.80, méthode de Mangin | 103 |
| 24 | La Fracette, pourcentage cumulé des débits ..... | 106 |
| 25 | Transfert fonte des neiges - débit ..... | 108 |
| 26 | Transfert pluie-débit, averse isolée ..... | 108 |
| 27 | Transfert pluie-débit, cas d'averses successives | 109 |
| 28 | Relation température-altitude des principales émergences ..... | 117 |
| 29 | Relation résistivité - THT ..... | 118 |
| 30 | Le Boucherin ..... | 120 |
| 31 | Le Crozat ..... | 122 |
| 32 | Source du Mollard et Ruisseau du Gringalet ..... | 124 |
| 33 | Joigny ..... | 128 |
| 34 | Les Gants ..... | 130 |
| 35 | Les Georgeats ..... | 132 |
| 36 | La Cascade ..... | 134 |
| 37 | Outhéran ..... | 136 |
| 38 | Les Fontanettes ..... | 139 |
| 39 | Poirier sec ..... | 141 |
| 40 | Fontaine Noire ..... | 143 |
| 41 | Saint Blaise ..... | 144 |
| 42 | La Fracette ..... | 147 |
| 43 | La Fracette crue estivale ..... | 149 |
| 44 | Les Guillermins ..... | 152 |
| 45 | Le Cozon (Les Minets) ..... | 154 |
| 46 | La Chaume ..... | 156 |
| 47 | Circulations liées aux calcaires néocomiens, diagramme logarithmique ..... | 158 |
| 48 | Circulations liées aux calcaires urgoniens, diagramme logarithmique ..... | 159 |
| 49 | Relation température-résistivité ..... | 161 |
| 50 | Type de minéralisation en fonction de l'aquifère | 161 |

## LISTE DES FIGURES


| Figure n° | Titre | Pages |
|---|---|---|
| 1 | Situation géographique ..... | 2 |
| 2 | Carte structurale ..... | 12 |
| 3 | Coupes seriées de la bordure nord-occidentale de Chartreuse ..... | 14-15 |
| 4 | Fracturation du massif de Roche Veyrand ..... | 17 |
| 5 | Fracturation du Mont Outhéran ..... | 19 |
| 6 | Bassin versant de la Fracette ..... | 24 |
| 7 | Bassin versant du Cozon ..... | 26 |
| 8 | Carte pluviométrique (février 1980-janvier 1981). | 44 |
| 9 | Plan de situation des traçages ..... | 64 |
| 10 | La Fracette, schématisation de l'infiltration ... | 106 |
| 11 | Localisation des points de prélèvements des échantillons d'eau ..... | 116 |
| 12 | Situation géologique des sources du Mollard ..... | 126 |
| 13 | Coupe géologique au niveau de l'émergence de Joigny ..... | 127 |
| 14 | Situation des sources de la Cascade et des Georgeats ..... | 135 |
| 15 | Schéma de la situation de la source de la Fracette ..... | 146 |

# ANNEXES

. ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DES SOURCES.

. ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DES RUISSEAUX.

## LES SOURCES

| Source et date | Q l/s | T °C | R à 18°C Ωcm | pH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/l | $Mg^{++}$ mg/l | $Na^{+}$ mg/l | $K^{+}$ mg/l | $HCO_3^{-}$ mg/l | $Cl^{-}$ mg/l | $SO_4^{2-}$ mg/l | $NO_3^{-}$ mg/l | $Si\ O_2$ mg/l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE BOUCHERIN N° 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23.10.79 | 2,5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.11.79 | 5,4 | 10,0 | 2380 | | | | | | | | | | | | |
| 30.11.79 | 3,0 | 10,0 | 2485 | 7,4 | 26,8 | 24,1 | 90,58 | 10,21 | | | 294,02 | 0,34 | | | |
| 3.01.80 | 3,0 | 10,0 | 2487 | 7,5 | 25,4 | 23,8 | 91,38 | 6,32 | 3,8 | 1,2 | 290,36 | 0,04 | 5,0 | 0,34 | |
| 27.01.80 | 5,4 | 9,2 | 2535 | 8,0 | 24,1 | 22,9 | 88,18 | 5,11 | | | 279,38 | | 6,5 | 0,44 | |
| 28.02.80 | 2,8 | 9,3 | 3946 | 7,3 | 24,6 | 23,0 | 88,18 | 6,32 | | | 280,60 | | | | |
| 4.04.80 | 5,0 | 9,2 | 2611 | 8,0 | 23,2 | 22,5 | 86,97 | 3,65 | | | 274,50 | | | | |
| 2.05.80 | 2,7 | 9,4 | 2488 | 7,35 | 24,4 | 23,3 | 89,38 | 5,11 | | | 284,26 | | | | |
| 10.06.80 | 3,2 | 9,0 | 2694 | 7,7 | 25,4 | 24,0 | 92,93 | 5,35 | 12,0 | 1,3 | 294,02 | | 6,5 | | |
| 6.08.80 | 2,0 | 9,3 | 2364 | 7,5 | 26,4 | 25,4 | 96,19 | 5,83 | | | 309,88 | 0,19 | 6,0 | 0,34 | |
| 1.09.80 | 0,8 | 9,5 | 2363 | 7,3 | 26,1 | 25,6 | 92,18 | 7,54 | 1,55 | 1,1 | 312,32 | | 8,5 | 3,34 | 4,92 |
| 14.10.80 | 5,0 | 9,2 | 2361 | 8,1 | 25,3 | 25,3 | 87,78 | 8,27 | 1,0 | 1,4 | 308,66 | | 5,0 | | |
| 20.11.80 | 5,9 | 9,0 | 2406 | 7,8 | 25,5 | 25,2 | 95,79 | 3,89 | 1,0 | 1,2 | 307,44 | | 6,0 | | |
| LE CROZAT N° 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23.10.79 | 0,4 | 8,0 | 2732 | 7,6 | 22,4 | 21,2 | 64,93 | 15,07 | | | 258,64 | 0,41 | | | |
| 8.11.79 | 7,7 | 8,0 | 2766 | | | | | | | | | | | | |
| 29.11.79 | 1,0 | 7,25 | 3385 | 7,7 | 22,0 | 19,7 | 73,35 | 8,99 | | | 240,34 | 0,26 | | | |
| 12.05.80 | 8,0 | 6,5 | 3038 | 7,6 | 20,1 | 19,0 | 63,73 | 10,21 | | | 231,80 | | 8,0 | | |
| 6.08.80 | 0,5 | 7,2 | 2777 | 7,9 | 22,3 | 21,0 | 63,73 | 15,56 | | | 256,20 | 0,19 | 6,0 | 0,34 | |
| 8.09.80 | 0,5 | 7,0 | 2765 | 7,7 | 22,5 | 21,5 | 37,27 | 32,09 | 3,10 | — | 262,30 | | 10,5 | 0,24 | 3,5 |
| 28.10.80 | 3,0 | 3,5 | 2929 | 7,95 | 21,3 | 20,1 | 53,71 | 19,20 | 0,65 | 0,5 | 245,22 | | 7,0 | | |
| 20.11.80 | 5,0 | 3,5 | 2796 | 8,2 | 21,6 | 20,6 | 70,14 | 9,97 | 0,75 | 0,6 | 251,32 | | 7,0 | | |

| Source et date | Q l/s | T °C | R à 18°C Ωcm | pH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/l | $Mg^{++}$ mg/l | $Na^{+}$ mg/l | $K^{+}$ mg/l | $HCO_3^{-}$ mg/l | $Cl^{-}$ mg/l | $SO_4^{2-}$ mg/l | $NO_3^{-}$ mg/l | $Si\ O_2$ mg/l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE MOLLARD n° 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14.02.80 | 30,0 | 8,6 | 3586 | 7,9 | 16,9 | 14,1 | 59,72 | 4,86 | 2,3 | 0,6 | 172,02 | 0,07 | 4,0 | 0,49 | |
| 4.04.80 | 35,0 | 8,3 | 3627 | 7,85 | 16,5 | 15,3 | 58,92 | 4,38 | | | 186,66 | — | 1,0 | 0,44 | |
| 28.04.80 | 30,0 | 8,8 | 3411 | 7,7 | 18,0 | 17,0 | 60,92 | 6,81 | | | 207,40 | | | | |
| 11.06.80 | 15,0 | 8,5 | 3436 | | 16,9 | 16,4 | 64,53 | 1,94 | 1,25 | 0,6 | 200,80 | | 3,0 | | |
| 4.08.80 | 15,0 | 9,7 | 3648 | 7,6 | 18,1 | 17,3 | 64,93 | 4,62 | 1,55 | 1,1 | 221,06 | — | 3,0 | 0,24 | |
| 1.09.80 | 12,0 | 10,0 | 3228 | 7,4 | 18,1 | 17,5 | 46,89 | 15,56 | 1,40 | 0,9 | 213,50 | | 7,0 | 0,34 | 3,92 |
| 21.10.80 | 60,0 | 9,0 | 3212 | 7,8 | 18,1 | 17,8 | 59,32 | 8,02 | 0,70 | — | 217,16 | | 4,0 | | |
| 23.11.80 | 20,0 | 8,5 | 3169 | 8,0 | 19,6 | 18,0 | 65,33 | 3,30 | 0,90 | 0,7 | 219,60 | | 5,0 | | |
| LE MOLLARD source rive droite | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28.04.80 | 8,0 | 8,7 | 3434 | | | | | | | | | | | | |
| 11.06.80 | 4,0 | 8,5 | 3523 | | 16,8 | 16,0 | 62,52 | 2,92 | | | 195,20 | | | | |
| 4.08.80 | 5,0 | 9,8 | 3300 | 7,55 | 18,5 | 17,4 | 60,92 | 8,02 | | | 212,28 | 0,04 | 4,0 | 0,24 | |
| JOIGNY N° 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23.10.79 | 0,7 | 9,5 | 2470 | 7,4 | 24,1 | 23,7 | 84,57 | 7,29 | | | 289,14 | 0,45 | | | |
| 8.11.79 | 16,7 | 9,75 | 2530 | | | | | | | | | | | | |
| 30.11.79 | 2,7 | 8,0 | 2540 | 7,6 | 25,6 | 23,0 | 73,35 | 17,75 | | | 280,60 | 0,15 | | | |
| 6.01.80 | 0,4 | 6,0 | 2526 | 7,7 | 22,0 | 22,2 | 83,37 | 2,92 | 3,6 | 1,4 | 270,84 | 0,07 | 11,0 | 0,26 | |
| 29.01.80 | 2,0 | 5,5 | 2666 | 7,8 | 23,2 | 21,9 | 80,96 | 7,29 | | | 267,18 | | 9,0 | 0,19 | |
| 21.02.80 | 2,3 | 5,5 | 2748 | 7,8 | 22,6 | 21,6 | 80,96 | 5,83 | | | 263,52 | | | | |
| 30.03.80 | 20,0 | 4,6 | 2951 | 7,8 | 20,8 | 20,0 | 71,74 | 7,05 | | | 244,00 | | | | |
| 12.05.80 | 5,0 | 6,1 | 2897 | 7,8 | 21,5 | 20,9 | 81,19 | 3,89 | | | 254,98 | | 8,0 | | |
| 10.06.80 | 3,0 | 6,5 | 2899 | | 22,5 | 22,0 | 63,33 | 16,29 | | | 268,40 | | 9,0 | | |
| 6.08.80 | 1,0 | 8,0 | 2351 | 7,3 | 26,1 | 25,5 | 94,99 | 5,83 | 2,4 | 0,8 | 311,10 | — | 6,0 | 0,14 | |
| 12.09.80 | 1,0 | 8,0 | 2468 | 7,4 | 26,5 | 25,0 | 50,50 | 33,79 | 1,65 | 0,7 | 305,0 | | 8,0 | 0,34 | 4,52 |
| 14.10.80 | 6,0 | 8,7 | 2470 | 7,8 | 24,0 | 24,1 | 84,17 | 7,29 | 1,05 | 0,4 | 294,02 | | 7,0 | | |
| 23.11.80 | 1,9 | 6,7 | 2514 | 7,7 | 24,2 | 23,2 | 79,36 | 10,70 | 1,4 | 0,5 | 283,04 | | 9,0 | | |

| Source et date | Q l/s | T °C | R à 18°C Ωcm | pH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/l | $Mg^{++}$ mg/l | $Na^{+}$ mg/l | $K^{+}$ mg/l | $HCO_3^{-}$ mg/l | $Cl^{-}$ mg/l | $SO_4^{2-}$ mg/l | $NO_3^{-}$ mg/l | $Si\ O_2$ mg/l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LES GANTS N° 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23.10.79 | 12,0 | 9,5 | 3368 | 7,85 | 19,1 | 17,5 | 62,12 | 8,75 | | | 213,5 | 1,65 | 1,0 | 1,5 | |
| 9.11.79 | 50,0 | 9,0 | 3428 | | | | | | | | | | | | |
| 30.11.79 | 12,0 | 9,2 | 3466 | 7,5 | 17,0 | 16,5 | 64,21 | 1,94 | | | 201,3 | 0,07 | | | |
| 3.01.80 | 11,0 | 9,0 | 3400 | 7,5 | 17,5 | 16,4 | 63,33 | 4,13 | 1,55 | 0,7 | 200,08 | 0,04 | 5,0 | 0,24 | |
| 27.01.80 | 60,0 | 8,5 | 3530 | 7,85 | 17,3 | 16,6 | 63,73 | 3,40 | | | 202,52 | 0,26 | 3,0 | 0,24 | |
| 28.02.80 | 35,0 | 8,3 | 3698 | 7,8 | 16,1 | 15,3 | 59,72 | 2,92 | | | 186,66 | | | | |
| 4.04.80 | 45,0 | 7,8 | 3861 | 7,85 | 16,1 | 14,7 | 58,52 | 3,65 | | | 179,34 | 0,11 | 3,0 | 0,39 | |
| 28.04.80 | 30,0 | 8,3 | 3481 | 7,7 | 17,0 | 16,5 | 66,13 | 1,22 | | | 201,30 | | | | |
| 11.06.80 | 12,5 | 8,2 | 3499 | | 16,8 | 16,1 | 62,52 | 2,92 | | | 196,42 | | | | |
| 4.08.80 | 10,0 | 8,5 | 3472 | 7,6 | 17,0 | 16,7 | 63,73 | 2,67 | 0,85 | 0,6 | 203,74 | 0,04 | 5,0 | 0,14 | |
| 1.09.80 | 3,0 | 8,4 | 3523 | 7,5 | 17,3 | 16,5 | 60,12 | 5,59 | 0,75 | — | 201,30 | | 9,0 | 0,24 | 4,42 |
| 21.10.80 | 80,0 | 8,3 | 3253 | 7,8 | 17,6 | 17,4 | 60,92 | 5,83 | 0,75 | 0,1 | 212,28 | | 4,5 | | |
| 23.11.80 | 20,0 | 8,1 | 3354 | 7,9 | 17,8 | 16,8 | 64,13 | 4,38 | 0,70 | 0,6 | 204,96 | | 6,0 | | |
| LES GEORGEATS N° 6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4.11.79 | 5,0 | 7,25 | 4251 | | | | | | | | | | | | |
| 27.11.79 | 2,3 | 8,0 | 4234 | 7,7 | 13,5 | 12,6 | 48,90 | 3,16 | | | 153,72 | | | | |
| 4.01.80 | 2,4 | 7,5 | 4224 | 7,8 | 13,7 | 12,3 | 48,10 | 4,13 | 1,20 | 0,2 | 150,06 | | | | |
| 25.01.80 | 9,0 | 6,75 | 4252 | 8,1 | 14,0 | 12,8 | 49,30 | 4,13 | | | 156,16 | | | | |
| 26.02.80 | 2,3 | 7,0 | 4393 | 7,9 | 13,6 | 12,4 | 48,10 | 3,89 | | | 151,28 | | | | |
| 2.04.80 | 4,4 | 7,1 | 4464 | 8,1 | 13,5 | 12,2 | 48,90 | 3,16 | | | 148,84 | | | | |
| 2.05.80 | 3,0 | 7,3 | 4375 | 8,0 | 13,4 | 12,6 | 48,90 | 2,92 | | | 153,72 | | 6,0 | | |
| 21.06.80 | 2,5 | 6,8 | 4859 | 8,3 | 13,5 | 12,1 | 47,29 | 4,13 | 0,6 | 0,5 | 147,62 | | 5,0 | | |
| 1.08.80 | 2,5 | 7,4 | 4412 | 7,9 | 13,8 | 12,5 | 46,49 | 5,35 | | | 152,50 | 0,04 | 8,0 | 0,24 | |
| 10.09.80 | 2,2 | 6,0 | 4250 | 8,15 | 14,4 | 12,7 | 41,28 | 9,97 | 0,55 | 0,5 | 154,94 | | 7,0 | 0,34 | 3,22 |
| 14.10.80 | 3,0 | 7,1 | 4228 | 8,4 | 14,4 | 13,3 | 51,30 | 3,89 | 0,5 | 0,4 | 162,26 | | 7,0 | | |
| 24.11.80 | 3,0 | 7,2 | 4459 | 7,6 | 14,0 | 12,3 | 48,90 | 4,38 | 0,6 | 0,6 | 150,06 | | 0,5 | | |

| Source et date | Q 1/s | T °C | R à 18°C Ωcm | pH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/1 | $Mg^{++}$ mg/1 | $Na^{+}$ mg/1 | $K^{+}$ mg/1 | $HCO_3^{-}$ mg/1 | $Cl^{-}$ mg/1 | $SO_4^{2-}$ mg/1 | $NO_3^{-}$ mg/1 | $SiO_2$ mg/1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LA CASCADE N° 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21.01.80 | 22,0 | 8,0 | 3456 | 7,6 | 17,5 | 16,0 | 60,12 | 6,08 | 1,80 | 0,5 | 195,20 | 0,45 | 8,5 | 0,34 | |
| 26.02.80 | 60,0 | 8,3 | 3515 | 7,5 | 16,8 | 15,5 | 56,91 | 6,32 | | | 189,10 | 0,04 | | | |
| 3.04.80 | 100,0 | 7,6 | 4477 | 7,7 | 13,2 | 12,5 | 50,10 | 1,70 | | | 152,50 | | | | |
| 1.05.80 | 35,0 | 8,3 | 3735 | 7,5 | 15,8 | 14,5 | 56,91 | 3,89 | | | 176,90 | | 10,0 | | |
| 12.06.80 | 33,0 | 7,8 | 3857 | | 14,9 | 14,1 | 54,11 | 3,40 | 1,40 | — | 172,02 | | 11,0 | | |
| 8.08.80 | 30,0 | 8,0 | 3493 | 7,7 | 17,1 | 15,8 | 56,10 | 7,54 | | | 192,76 | 0,07 | 9,0 | 0,29 | |
| 12.09.80 | 25,0 | 7,0 | 3557 | 7,8 | 16,8 | 15,5 | 52,10 | 9,24 | 0,55 | 0,5 | 189,10 | | 11,0 | 0,54 | 3,32 |
| 15.10.80 | 50,0 | 8,0 | 3464 | 8,0 | 17,5 | 16,4 | 60,92 | 5,59 | 0,6 | 0,5 | 200,08 | | 8,0 | | |
| 24.11.80 | 30,0 | 8,2 | 3493 | 7,7 | 17,3 | 15,4 | 56,11 | 8,02 | 0,6 | 0,6 | 187,88 | | 14,0 | | |
| OUTHERAN N° 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19.10.79 | 2,2 | 6,5 | 4899 | 7,95 | 14,5 | 13,8 | 41,28 | 10,21 | | | 168,36 | 1,50 | 1,0 | 1,50 | |
| 8.11.79 | 12,0 | 6,5 | 5044 | | | | | | | | | | | | |
| 29.11.79 | 2,5 | 6,5 | 5170 | 7,7 | 13,3 | 10,9 | 42,08 | 6,81 | | | 132,98 | 0,26 | | | |
| 8.01.80 | 1,0 | | 5244 | 7,8 | 11,1 | 10,8 | 40,48 | 2,43 | 1,3 | — | 131,76 | 0,15 | 4,0 | 0,42 | |
| 29.01.80 | 1,6 | 5,5 | 5275 | 8,0 | 11,1 | 10,7 | 40,88 | 2,19 | 1,95 | — | 130,54 | 0,07 | — | 0,14 | |
| 4.03.80 | 3,0 | 5,6 | 5309 | 8,0 | 11,0 | 10,6 | 39,68 | 2,67 | | | 129,32 | | | | |
| 14.04.80 | 6,1 | 5,5 | 5772 | 8,1 | 11,0 | 10,0 | 39,68 | 2,67 | | | 122,00 | | | | |
| 12.05.80 | 9,0 | 5,6 | 5790 | 8,0 | 10,5 | 10,0 | 40,08 | 1,22 | | | 122,00 | | — | | |
| 11.06.80 | 3,3 | 5,0 | 5451 | | 10,4 | 10,4 | 41,28 | 0,24 | | | 126,88 | | 3,0 | | |
| 29.07.80 | 1,25 | 5,8 | 5727 | 7,75 | 12,4 | 11,2 | 43,29 | 3,89 | 0,55 | 0,5 | 136,64 | 0,06 | 2,0 | 0,14 | |
| 8.09.80 | 1,5 | 5,5 | 4994 | 7,5 | 12,4 | 11,5 | 46,49 | 1,94 | 0,45 | — | 140,30 | | 1,0 | 0,24 | 1,77 |
| 21.10.80 | 4,0 | 5,5 | 5143 | 8,15 | 12,1 | 11,5 | 44,09 | 2,67 | 0,35 | — | 140,30 | | 2,0 | | |
| 20.11.80 | 2,9 | 5,0 | 5181 | 8,2 | 11,1 | 10,6 | 42,48 | 1,22 | 0,35 | — | 129,32 | | 1,0 | | |

| Source et date | Q 1/s | T °C | R à 18°C Ωcm | pH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/l | $Mg^{++}$ mg/l | $Na^{+}$ mg/l | $K^{+}$ mg/l | $HCO_3^{-}$ mg/l | $Cl^{-}$ mg/l | $SO_4^{2-}$ mg/l | $NO_3^{-}$ mg/l | $Si\ O_2$ mg/l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LES FONTANETTES N° 9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.11.79 | 1,0 | 6,0 | 4926 | | | | | | | | | | | | |
| 29.11.79 | 2,3 | 6,5 | 4463 | 7,75 | 15,0 | 13,0 | 52,91 | 4,38 | | | 158,60 | 0,17 | | | |
| 8.01.80 | 0,1 | 4,0 | 4264 | 7,8 | 13,7 | 13,2 | 48,90 | 3,65 | 1,75 | 0,1 | 161,04 | 0,22 | | | |
| 29.01.80 | 1,7 | 6,0 | 4657 | 8,1 | 13,0 | 12,4 | 48,10 | 2,43 | | | 151,28 | 0,26 | 3,5 | 0,37 | |
| 4.03.80 | 2,5 | 4,6 | 4979 | 7,8 | 12,4 | 11,7 | 47,10 | 1,22 | | | 142,74 | | 1,0 | 0,29 | |
| 1.04.80 | 13,0 | 4,4 | 5486 | 8,1 | 11,3 | 10,8 | 42,89 | 1,46 | | | 131,76 | | | | |
| 11.05.80 | 16,7 | 4,9 | 5569 | 7,85 | 10,8 | 10,0 | 41,68 | 1,22 | | | 122,00 | | 1,0 | | |
| 11.06.80 | 3,3 | 5,0 | 5303 | | 10,7 | 10,7 | 42,08 | 0,49 | | | 130,54 | | 4,0 | | |
| 23.07.80 | 3,9 | 5,8 | 4561 | 8,2 | 13,1 | 12,6 | 49,30 | 1,94 | 0,9 | 0,4 | 153,72 | — | 7,0 | 0,24 | |
| 8.09.80 | 2,5 | 6,0 | 4111 | 7,5 | 14,9 | 14,2 | 56,11 | 2,19 | 0,65 | 0,1 | 173,24 | | 1,0 | 0,34 | 1,22 |
| 21.10.80 | 5,0 | 3,5 | 4472 | 8,2 | 13,4 | 12,9 | 51,30 | 1,46 | 0,55 | — | 157,38 | | 1,0 | | |
| 20.11.80 | 12,0 | 4,8 | 4783 | 8,1 | 12,2 | 11,8 | 47,79 | 0,73 | 0,50 | — | 143,96 | | | | |
| POIRIER SEC N° 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19.10.79 | 26,0 | 10,1 | 2449 | 7,5 | 25,8 | 23,2 | 89,38 | 8,51 | | | 283,04 | 2,39 | — | 2,38 | |
| 9.11.79 | 21,4 | 11,0 | | | | | | | | | | | | | |
| 27.11.79 | 8,3 | 10,8 | 2493 | 7,35 | 24,5 | 23,6 | 93,39 | 2,92 | | | 287,92 | 0,17 | | | |
| 4.01.80 | 8,3 | 10,75 | 2514 | 7,4 | 23,4 | 22,7 | 90,58 | 1,94 | 3,0 | — | 276,94 | — | 4,0 | 0,58 | |
| 25.01.80 | 48,0 | 9,5 | 3102 | 7,7 | 18,6 | 17,8 | 72,54 | 1,22 | | | 217,16 | 0,15 | 3,0 | 0,79 | |
| 29.02.80 | 10,0 | 9,6 | 2490 | 7,6 | 23,6 | 23,3 | 93,79 | 0,49 | | | 284,26 | 0,19 | 3,5 | 0,24 | |
| 2.04.80 | 16,7 | 9,6 | 2625 | 7,8 | 23,0 | 22,4 | 89,78 | 1,46 | | | 273,28 | — | 3,0 | 0,64 | |
| 6.05.80 | 9,1 | 9,8 | 2606 | 7,55 | 23,1 | 22,7 | 90,58 | 1,22 | | | 276,94 | | 3,0 | | |
| 10.05.80 | 35,0 | 9,6 | 2762 | | | | | | | | | | | | |
| 21.06.80 | 25,0 | 9,7 | 2810 | 7,95 | 22,4 | 21,6 | 87,78 | 1,22 | 2,0 | — | 263,52 | | 4,0 | | |
| 1.08.80 | 12,5 | 9,8 | 2518 | 7,2 | 25,3 | 24,7 | 96,59 | 2,92 | | | 301,34 | 0,07 | 5,0 | 0,74 | |
| 10.09.80 | 6,3 | 9,9 | 2401 | 7,8 | 25,6 | 24,8 | 96,99 | 3,4 | 1,5 | 2,6 | 302,56 | | 3,0 | 0,74 | 4,8 |
| 16.10.80 | 10,0 | 9,9 | 2414 | 7,9 | 25,2 | 24,9 | 96,99 | 2,43 | 1,2 | 1,6 | 303,78 | | 4,0 | | |
| 17.11.80 | 12,0 | 9,5 | 2467 | 7,9 | 24,2 | 23,5 | 92,58 | 2,67 | 1,4 | 1,3 | 286,70 | | 3,0 | | |

| Source et date | Q l/s | T °C | R à 18°C Ω cm | pH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/l | $Mg^{++}$ mg/l | $Na^{+}$ mg/l | $K^{+}$ mg/l | $HCO_3^{-}$ mg/l | $Cl^{-}$ mg/l | $SO_4^{2-}$ mg/l | $NO_3^{-}$ mg/l | $Si\ O_2$ mg/l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FONTAINE NOIRE N° 11 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23.01.80 | 60,0 | 8,5 | 3450 | 7,9 | 16,3 | 15,4 | 62,52 | 1,70 | 7,0 | 0,6 | 187,88 | 0,11 | 1,0 | 0,44 | |
| 2.03.80 | 200,0 | 9,0 | 3683 | 7,7 | 17,0 | 15,8 | 64,13 | 2,43 | | | 192,76 | | | | |
| 3.04.80 | 180,0 | 8,4 | 4134 | 8,0 | 14,2 | 13,3 | 55,31 | 0,97 | | | 162,26 | | | | |
| 6.05.80 | 200,0 | 8,8 | 3905 | 7,7 | 15,0 | 14,0 | 58,12 | 1,22 | | | 170,80 | | 3,0 | | |
| 21.06.80 | 150,0 | 8,5 | 3460 | 8,05 | 16,9 | 16,2 | 62,93 | 2,92 | 2,55 | 0,4 | 197,64 | | 6,0 | | |
| 1.08.80 | 50,0 | 9,0 | 3351 | 7,7 | 19,1 | 18,0 | 68,94 | 4,62 | | | 219,60 | 0,11 | 4,0 | 0,49 | |
| 10.09.80 | 250,0 | 7,75 | 3711 | 8,1 | 15,8 | 15,1 | 62,93 | 0,24 | 0,9 | 0,2 | 184,22 | | 7,0 | 0,54 | 1,82 |
| 16.10.80 | 150,0 | 8,8 | 3328 | 7,85 | 17,3 | 16,5 | 57,31 | 7,29 | 0,95 | 0,4 | 201,30 | | 4,0 | | |
| 17.11.80 | 200,0 | 8,5 | 3601 | 8,1 | 16,5 | 15,6 | 62,52 | 2,19 | 1,2 | 0,4 | 190,32 | | 3,0 | | |
| SAINT BLAISE N° 12 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9.11.79 | 0,5 | 8,0 | 3089 | | | | | | | | | | | | |
| 27.11.79 | 0,3 | 8,5 | 3230 | 7,6 | 18,5 | 17,7 | 67,33 | 4,13 | | | 215,94 | 0,07 | | | |
| 4.01.80 | 0,5 | 6,0 | 3352 | 7,75 | 19,0 | 17,2 | 70,54 | 3,40 | 2,3 | 0,6 | 209,84 | 0,11 | 6,0 | 0,74 | |
| 25.01.80 | 0,6 | 7,0 | 3393 | 7,85 | 18,1 | 16,2 | 65,73 | 4,13 | | | 197,64 | | 7,0 | 0,54 | |
| 2.03.80 | 0,3 | 7,7 | 3376 | 7,85 | 17,5 | 16,3 | 65,33 | 2,92 | | | 198,86 | | | | |
| 2.04.80 | 0,6 | 8,0 | 3509 | 7,9 | 16,9 | 15,6 | 62,93 | 2,92 | | | 190,32 | | | | |
| 6.05.80 | 0,3 | 7,9 | 3363 | 7,8 | 17,5 | 16,3 | 65,73 | 2,67 | 2,35 | 0,7 | 198,86 | | 7,0 | | |
| 1.08.80 | 0,3 | 8,1 | 3237 | 7,5 | 18,7 | 17,1 | 68,14 | 4,13 | | | 208,62 | 0,11 | 8,5 | 7,74 | |
| 10.09.80 | 0,2 | 7,3 | 3143 | 7,8 | 19,5 | 18,2 | 69,34 | 5,35 | 1,05 | – | 222,04 | | 5,0 | 0,64 | 5,2 |
| 16.10.80 | 0,1 | 8,6 | 3121 | 7,9 | 18,4 | 18,2 | 59,72 | 8,51 | 1,00 | 0,6 | 222,04 | | 6,0 | | |
| 17.11.80 | 0,4 | 7,3 | 4533 | 7,85 | 18,2 | 17,0 | 66,13 | 4,13 | 1,00 | 0,5 | 207,40 | | 4,0 | | |

| Source et date | Q 1/s | T °C | R à 18°C Ωcm | pH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/1 | $Mg^{++}$ mg/1 | $Na^{+}$ mg/1 | $K^{+}$ mg/1 | $HCO_3^{-}$ mg/1 | $Cl^{-}$ mg/1 | $SO_4^{2-}$ mg/1 | $NO_3^{-}$ mg/1 | $Si\ O_2$ mg/1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LA FRACETTE | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° 13 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23.10.79 | 40,0 | 9,0 | 3510 | 7,8 | 16,6 | 16,3 | 62,93 | 2,19 | | | 198,86 | 1,72 | 1,0 | 0,84 | |
| 9.11.79 | 70,0 | 8,5 | 3744 | | | | | | | | | | | | |
| 30.11.79 | 65,0 | 9,0 | 3791 | 7,65 | 15,7 | 15,4 | 59,72 | 1,94 | | | 187,88 | 0,26 | | | |
| 3.01.80 | 48,0 | 8,25 | 3743 | 7,6 | 15,6 | 15,3 | 57,22 | 2,92 | 1,55 | - | 186,66 | 0,04 | 2,0 | 0,32 | |
| 27.01.80 | 120,0 | 8,0 | 4260 | 8,2 | 13,7 | 13,5 | 54,91 | - | | | 164,70 | | 4,0 | 0,54 | |
| 28.02.80 | 90,0 | 7,8 | 4064 | 7,9 | 15,7 | 14,6 | 57,72 | 3,16 | | | 178,12 | | | | |
| 4.04.80 | 120,0 | 7,4 | 4282 | 8,0 | 14,4 | 13,7 | 54,51 | 1,94 | | | 167,14 | 0,11 | - | 0,24 | |
| 2.05.80 | 170,0 | 7,4 | 4453 | 7,8 | 13,5 | 13,2 | 52,91 | 0,73 | | | 161,04 | | - | | |
| 11.06.80 | 120,0 | 7,5 | 4005 | | 14,5 | 14,0 | 54,91 | 1,94 | 2,6 | - | 170,08 | | 3,0 | | |
| 6.08.80 | 30,0 | 7,9 | 3699 | 8,1 | 16,3 | 15,2 | 58,12 | 4,38 | | | 185,44 | - | 5,0 | 0,14 | |
| 1.09.80 | 15,0 | 7,5 | 3906 | 7,6 | 15,5 | 15,0 | 56,11 | 3,65 | 0,65 | 0,4 | 183,00 | | 4,0 | 0,34 | 2,77 |
| 14.10.80 | 180,0 | 7,7 | 3601 | 8,0 | 15,9 | 15,9 | 62,52 | 0,73 | 0,6 | 0,4 | 193,98 | | 3,0 | | |
| 20.11.80 | 120,0 | 7,5 | 3871 | 8,0 | 15,2 | 14,8 | 59,32 | 0,97 | 0,75 | - | 180,56 | | 2,0 | | |
| crue estivale | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.07.81 9h | 45,0 | 8,2 | 4010 | | 14,0 | 13,8 | 52,91 | 1,94 | | | 168,36 | | | | |
| 10h | 50,0 | 8,2 | 4087 | | 14,1 | 13,6 | 52,91 | 2,19 | | | 164,70 | | | | |
| 11h | 70,0 | 8,2 | 4060 | | 14,3 | 13,7 | 51,30 | 3,65 | | | 167,14 | | | | |
| 13h | 230,0 | 8,1 | 4069 | | 14,3 | 13,7 | 51,30 | 3,65 | | | 167,14 | | | | |
| 14h10 | 340,0 | 7,9 | 4004 | | 14,4 | 13,7 | 51,70 | 3,65 | | | 167,14 | | | | |
| 16h15 | 440,0 | 7,8 | 4069 | | 14,3 | 13,8 | 52,50 | 2,92 | | | 168,36 | | | | |
| 20h10 | 460,0 | 7,5 | 4115 | | 14,0 | 13,2 | 52,50 | 2,19 | | | 161,04 | | | | |
| 4.07.81 0h45 | 390,0 | 7,2 | 4069 | | 14,0 | 13,4 | 52,50 | 2,19 | | | 163,48 | | | | |
| 8h | 300,0 | 7,4 | 4031 | | 14,1 | 13,6 | 52,91 | 2,19 | | | 165,92 | | | | |
| 14h | 240,0 | 7,6 | 3984 | | 14,2 | 13,9 | 53,31 | 2,19 | | | 169,58 | | | | |
| 20h | 220,0 | 7,6 | 3988 | | 14,2 | 14,0 | 53,50 | 2,19 | | | 170,80 | | | | |

| Source et date | Q l/s | T °C | R à 18°C Ωcm | pH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/l | $Mg^{++}$ mg/l | $Na^{+}$ mg/l | $K^{+}$ mg/l | $HCO_3^{-}$ mg/l | $Cl^{-}$ mg/l | $SO_4^{2-}$ mg/l | $NO_3^{-}$ mg/l | $Si\ O_2$ mg/l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LES GUILLERMINS N° 15 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19.10.79 | 1,5 | 9,0 | 2410 | 7,45 | 25,1 | 24,2 | 89,78 | 6,56 | | | 295,24 | 0,45 | | | |
| 28.11.79 | 2,3 | 8,75 | 2532 | 7,5 | 24,5 | 23,0 | 92,18 | 3,65 | | | 280,60 | 0,07 | | | |
| 27.01.80 | 2,2 | 7,5 | 2634 | 7,75 | 23,1 | 22,0 | 87,78 | 2,92 | | | 268,40 | | 6,5 | 0,19 | |
| 4.03.80 | 0,7 | 5,4 | 3262 | 7,75 | 20,2 | 19,8 | 76,55 | 2,67 | | | 241,56 | | | | |
| 1.04.80 | 3,3 | 4,9 | 2918 | 7,9 | 21,0 | 20,0 | 80,56 | 2,19 | | | 244,00 | | | | |
| 29.04.80 | 2,4 | 5,1 | 2729 | | 22,4 | 21,7 | 82,97 | 4,13 | | | 264,74 | | | | |
| 4.08.80 | 0,5 | 11,0 | 2575 | 8,0 | 24,4 | 23,2 | 88,98 | 5,35 | 1,5 | 1,2 | 283,04 | 0,11 | 8,0 | 0,14 | |
| 16.10.80 | 1,5 | 8,6 | 2422 | 7,95 | 25,3 | 24,7 | 96,59 | 2,92 | 0,65 | 0,4 | 301,34 | | 6,0 | | |

## RUISSEAUX

| Ruisseau et date | Q l/s | T °C | R à 18°C Ωcm | PH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/l | $Mg^{++}$ mg/l | $Na^{+}$ mg/l | $K^{+}$ mg/l | $HCO_3^{-}$ mg/l | $Cl^{-}$ mg/l | $SO_4^{2-}$ mg/l | $NO_3^{-}$ mg/l | Si O2 mg/l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LE GRINGALET N° 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14.02.80 | | 5,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 4.04.80 | 80,0 | 6,7 | 3426 | 8,0 | 17,9 | 16,5 | 64,53 | 4,38 | | | 201,30 | 0,07 | 4,0 | 0,34 | |
| 28.04.80 | 50,0 | 7,3 | 3314 | 7,7 | 18,4 | 17,1 | 62,93 | 6,56 | | | 208,62 | | | | |
| 11.06.80 | 30,0 | 9,5 | 3409 | | 17,1 | 16,5 | 58,12 | 6,32 | | | 201,30 | | 4,0 | | |
| 4.08.80 | 30,0 | 13,5 | 3774 | 7,8 | 17,0 | 16,2 | 56,51 | 7,05 | 1,1 | 1,0 | 197,64 | - | 3,0 | 0,19 | |
| 1.09.80 | 20,0 | 11,0 | 3407 | 7,8 | 17,4 | 16,5 | 50,10 | 11,91 | 1,15 | 1,2 | 201,30 | | 9,0 | 0,24 | 4,32 |
| 21.10.80 | 100,0 | 7,2 | 3165 | 8,0 | 18,3 | 18,1 | 59,72 | 8,27 | 0,8 | 1,3 | 220,82 | | 4,0 | | |
| 23.11.80 | 30,0 | 4,5 | 3316 | 7,9 | 17,3 | 16,9 | 61,72 | 4,62 | 0,9 | 1,4 | 206,18 | | 6,0 | | |
| LE COZON N° 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30.11.79 | 17,0 | 2,8 | 3032 | 8,0 | 21,9 | 19,8 | 72,14 | 9,48 | | | 241,56 | 0,30 | | | |
| 8.01.80 | 18,0 | 1,0 | 2717 | 8,0 | 21,3 | 20,2 | 73,35 | 7,29 | 1,5 | 0,5 | 246,44 | - | 12,0 | 0,34 | |
| 8.02.80 | 30,0 | 1,5 | 3124 | 8,0 | 19,8 | 18,7 | 68,54 | 6,56 | | | 228,14 | | 11,0 | | |
| 28.02.80 | 45,0 | 3,2 | 3999 | 7,9 | 19,3 | 18,7 | 66,53 | 6,56 | | | 228,14 | | | | |
| 4.04.80 | 33,0 | 2,6 | 3155 | 8,1 | 19,0 | 18,0 | 61,32 | 8,99 | | | 219,60 | | | | |
| 12.05.80 | 35,0 | 10,2 | 3172 | 7,6 | 18,7 | 17,5 | 58,52 | 9,97 | | | 213,50 | | 13,0 | | |
| 6.08.80 | 5,0 | 14,0 | 2970 | 8,2 | 20,1 | 18,7 | 56,91 | 14,34 | 4,5 | 1,0 | 228,14 | - | 12,0 | 0,09 | |
| 8.09.80 | 3,0 | 10,75 | 2898 | 7,9 | 20,0 | 19,6 | 41,28 | 23,58 | 4,8 | 1,1 | 239,12 | | 13,5 | 0,14 | 3,72 |
| 28.10.80 | 15,0 | 4,75 | 3056 | 8,05 | 20,0 | 19,3 | 58,12 | 13,37 | 1,0 | 0,5 | 235,46 | | 7,0 | | |
| 25.11.80 | 25 | 2,1 | 2887 | 8,25 | 21,4 | 20,1 | 67,33 | 11,18 | 1,2 | 1,0 | 245,22 | | 9,0 | | |

| Ruisseau et date | Q 1/s | T °C | R à 18°C Ωcm | PH | THT °F | TAC °F | $Ca^{++}$ mg/1 | $Mg^{++}$ mg/1 | $Na^{+}$ mg/1 | $K^{+}$ mg/1 | $HCO_3^{-}$ mg/1 | $Cl^{-}$ mg/1 | $SO_4^{2-}$ mg/1 | $NO_3^{-}$ mg/1 | $Si\ O_2$ mg/1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LA CHAUME N° 18 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8.01.80 | 4,0 | 2,5 | 4295 | 7,75 | 13,6 | 13,1 | 51,70 | 1,70 | 2,35 | 0,1 | 159,82 | 0,07 | 3,0 | 0,29 | |
| 29.01.80 | 16,7 | 3,0 | 4495 | 8,15 | 13,3 | 13,0 | 52,10 | 0,73 | | | 158,60 | | 2,0 | 0,14 | |
| 4.03.80 | 11,1 | 5,3 | 4628 | 7,9 | 13,0 | 12,5 | 50,10 | 1,22 | | | 152,50 | | | | |
| 1.04.80 | 40,0 | 5,4 | 5205 | 8,1 | 11,5 | 11,0 | 44,89 | 0,73 | | | 134,20 | | | | |
| 12.05.80 | 35,0 | 5,6 | 5415 | 7,75 | 11,0 | 10,9 | 43,29 | 0,49 | | | 132,98 | | 0,0 | | |
| 11.06.80 | 12,5 | 8,5 | 5007 | | 11,7 | 11,5 | 45,29 | 0,97 | | | 140,30 | | 1,0 | | |
| 29.07.80 | 10,0 | 9,7 | 4113 | 8,2 | 14,3 | 14,0 | 48,50 | 5,35 | 0,7 | - | 170,80 | 0,04 | 2,0 | 0,24 | 1,72 |
| 8.09.80 | 6,7 | 9,5 | 4120 | 7,6 | 14,6 | 14,2 | 54,51 | 2,43 | 0,65 | 0,1 | 173,24 | | 1,0 | 0,4 | |
| 21.10.80 | 20,0 | 6,3 | 4252 | 8,1 | 13,8 | 13,5 | 52,91 | 1,46 | 0,55 | - | 164,70 | | 0,0 | | |
| 20.11.80 | 25,0 | 4,5 | 4377 | 8,0 | 14,0 | 13,2 | 50,90 | 3,16 | 0,55 | - | 161,04 | | 1,0 | | |