



HAL
open science

Modes d'alimentation d'une nappe alluviale : nappe de la vallée du Rhône entre La Balme et saint Genix sur Guiers (Savoie) .

Philippe Michal

► To cite this version:

Philippe Michal. Modes d'alimentation d'une nappe alluviale : nappe de la vallée du Rhône entre La Balme et saint Genix sur Guiers (Savoie) .. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1988. Français. NNT: . tel-00542437

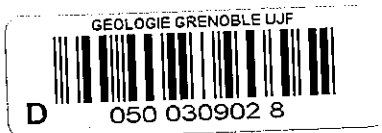
HAL Id: tel-00542437

<https://theses.hal.science/tel-00542437>

Submitted on 2 Dec 2010

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.



MICHAL (Ph.)
Ex. n° 1

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE, TECHNOLOGIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

24 MARS 1988

DOCTEUR DE 3^e CYCLE
DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE
(option : Hydrogéologie)

par

Philippe MICHAL

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

S U J E T

**MODES D'ALIMENTATION D'UNE NAPPE ALLUVIALE :
NAPPE DE LA VALLÉE DU RHÔNE ENTRE
LA BALME ET SAINT GENIX SUR GUIERS (SAVOIE)**

Soutenue le 9 Janvier 1988 devant la Commission d'Examen

M. R. BARBIER	Professeur Emerite	Président
M. J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'U.S.M.G.	Rapporteur
M. J. ROCHAT	Professeur à l'U.S.M.G.	
M. J.-C. FOURNEAUX	Maître de Conférence à l'U.S.M.G.	Examineurs
M. A. CHARLIER	Ingénieur EHSEHT à la C.N.R.	

GRENOBLE

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE, TECHNOLOGIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3^e CYCLE
DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE
(option : Hydrogéologie)

par

Philippe MICHAL

24 MARS 1988

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GÉOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
B 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL: (76) 87.48.43

S U J E T

**MODES D'ALIMENTATION D'UNE NAPPE ALLUVIALE :
NAPPE DE LA VALLÉE DU RHÔNE ENTRE
LA BALME ET SAINT GENIX SUR GUIERS (SAVOIE)**

Soutenu le 9 Janvier 1988 devant la Commission d'Examen

M. R. BARBIER	Professeur Emerite	Président
M. J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'U.S.M.G.	Rapporteur
M. J. ROCHAT	Professeur à l'U.S.M.G.	
M. J.-C. FOURNEAUX	Maître de Conférence à l'U.S.M.G.	Examineurs
M. A. CHARLIER	Ingénieur EHSEEHT à la C.N.R.	

GRENOBLE

UND 10M8635

AVANT PROPOS

=====

A l'issue de ce travail il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation et qui ont bien voulu le juger :

- Monsieur le Professeur R. BARBIER, de l'Académie des Sciences qui me fait l'honneur de présider le Jury.

- Monsieur J. SARROT-REYNAULD, Professeur à l'Institut Dolomieu qui m'a accueilli dans son laboratoire et conseillé tout au long de cette étude.

- Monsieur J. ROCHAT, Professeur à l'U.E.R. de Pharmacie de Grenoble qui m'a permis et aidé à réaliser de nombreuses analyses de spectrométrie dans son laboratoire

- Monsieur J.C. FOURNEAUX, Maître de Conférence à l'Institut Dolomieu qui m'a fait profiter de ses enseignements tout au long de mes études en hydrogéologie.

- Monsieur A. CHARLIER, Ingénieur E.H.S.E.E.H.T., Chef du Service Aménagement, Compagnie Nationale du Rhône, qui a bien voulu mettre à ma disposition les documents nécessaires à la réalisation de cette étude.

Je tiens également à remercier les enseignants de l'Université de Savoie de m'avoir fait découvrir et apprécier la Géologie, particulièrement G. NICLOUD pour les nombreux stages qu'il m'a permis d'effectuer.

Sur le terrain, j'ai toujours été accueilli chaleureusement par les habitants des communes de la Balme, Champagneux, et Saint Génix sur Guiers et je n'oublierai pas Messieurs F. GENIX, M. TRIFFE et R. VINET qui ont bien voulu me faire partager leurs connaissances locales.

Ce travail a pu se réaliser grâce à la bienveillante compréhension de Monsieur C. MOUREMBLES, Ingénieur Sanitaire D.D.A.S.S, qu'il en soit remercié.

Ma reconnaissance s'adresse également à Nadine COTTAREL qui a assuré avec compétence et gentillesse la frappe de ce mémoire ainsi qu'à tous mes amis qui m'ont encouragé et aidé durant cette étude.

Enfin une pensée profonde à ma mère, mes soeurs, ma famille dont l'aide est inestimable. Je leur dédie ainsi qu'à Marion cette thèse.

S O M M A I R E

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 69 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

INTRODUCTION

- CHAPITRE 1 - GEOGRAPHIE ET GEOLOGIE DE L'AVANT PAYS-SAVOYARD.
- CHAPITRE 2 - CLIMATOLOGIE
- CHAPITRE 3 - LE RHONE
- CHAPITRE 4 - LE GUIERS
- CHAPITRE 5 - LE KARST DU MONT TOURNIER
- CHAPITRE 6 - ETUDE DES AQUIFERES GRAVITAIRES NON KARSTIQUES
- CHAPITRE 7 - ETUDE PIEZOMETRIQUE
- CHAPITRE 8 - ETUDE CHIMIQUE DES EAUX DE LA NAPPE
- CHAPITRE 9 - ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE L'AQUIFERE ALLUVIAL.
- CHAPITRE 10 - CONCLUSION GENERALE

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

La nappe alluviale de la vallée du Rhône contribue largement à l'alimentation en eau de la région de l'Avant Pays Savoyard, en effet il existe de nombreux forages particuliers ainsi que deux captages desservant les communes de la Balme et de Saint Génix sur Guiers.

Cette région est de plus concernée par la poursuite de l'aménagement du Haut Rhône, effectuée par la Compagnie Nationale du Rhône, en aval de Genissiat-Seyssel par la mise en service des usines de Brens (déivation de Belley) et de Bregnier-Cordon.

Une étude portant sur les modes d'alimentation et de circulation de la nappe apparait donc intéressante à mener en liaison avec les divers aquifères susceptibles de l'influencer. Cette étude a nécessité la prise en compte des particularités de la climatologie locale.

Par ailleurs, nous avons essayé d'effectuer en vue d'utilisations futures des bilans portant sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux issues de ces différents aquifères.

Nos travaux poursuivent au Nord les études hydrogéologiques effectuées à l'Institut Dolomieu par :

- * F. BAUDOIN sur l'"Hydrogéologie de l'Avant-Pays de Chartreuse (Isère). 1984".
- * H. SAPEY-TRIOMPHE sur la " Géomorphologie et l'hydrogéologie de la région d'Aoste (Isère). 1984".
- * P. LAMY sur le " Comportement hydrogéologie des terrains karstiques et molassiques du Sud du Bugey Savoyard. 1986".

CHAPITRE 1

GEOGRAPHIE ET GEOLOGIE DE L'AVANT PAYS SAVOYARD.

1 - CADRE GEOGRAPHIQUE

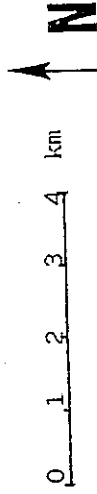
- 1.1. - Géographie physique
- 1.2. - Géographie humaine

2 - CADRE GEOLOGIQUE

- 2.1. - Stratigraphie
- 2.2. - Tectonique

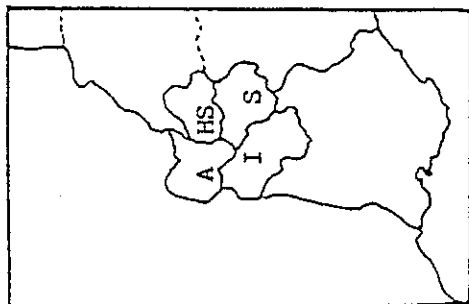
3 - LES FORMATIONS QUATERNAIRES

- 3.1. - Les dépôts glaciaires
- 3.2. - Les dépôts fluvioglaciaires
- 3.3. - Les éboulis
- 3.4. - Les formations alluviales.



(FIG. 1) SITUATION
GEOGRAPHIQUE

SITUATION



- A : AIN
- HS : HAUTE-SAVOIE
- S : SAVOIE
- I : ISERE

I - CADRE GEOGRAPHIQUE1.1. Géographie physique

Situé à la jonction de la Savoie, du Bugey et du Dauphiné, le secteur d'étude fait la transition entre le Jura et les Alpes.

Il permet le passage du Rhône dont le cours naturel sert de frontière entre les départements de l'Ain et de la Savoie. Au sud, le Guiers délimite les départements de l'Isère et de la Savoie (FIG.1) .

Ce secteur est constitué par deux unités morphologiques :

* La plaine du Rhône. Elle s'abaisse de 220 mètres (La Balme) à 210 mètres (St Génix sur Guiers) en 13 kilomètres.

Le Rhône délimite en rive gauche trois secteurs :

* le secteur amont de superficie égale à 2,2 Km²

* le secteur médian de superficie égale à 3,6 Km²

* le secteur aval de superficie égale à 7,4 Km².

la largeur de la plaine varie entre 1500 mètres et 50 mètres lorsque le Rhône s'approche du versant montagneux.

* Une zone de relief modeste (altitude moyenne égale à 470 mètres (FIG.2) qui limite la plaine à l'Est. Elle est constituée de collines (St Génix sur Guiers, Grésin) et par le chaînon du Mont Tournier (altitude moyenne 650 mètres, point culminant 876 mètres). La limite orientale du massif est marquée par le ruisseau du Flon qui s'écoule dans la dépression de Yenne Novalaise (FIG .5).

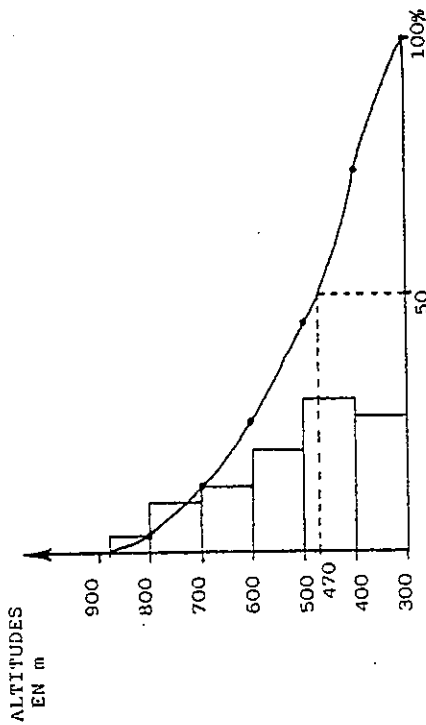
1.2. Géographie humaine

Dans cette région, la présence humaine s'est manifestée précocement grâce à de nombreuses grottes, appelées localement balmes (grotte de la "Bonne Femme ", de " La Grande Gave ", des " Romains ") qui servirent d'abris dès le Paléolithique supérieur (35.000 - 10.000 ans avant J.C.) jusqu'à la période Romaine.

L'activité économique est tournée essentiellement vers l'agriculture : * sylviculture et élevages laitiers pour les zones de reliefs.

* cultures intensives dans la plaine (Maïs, Soja, tabac)

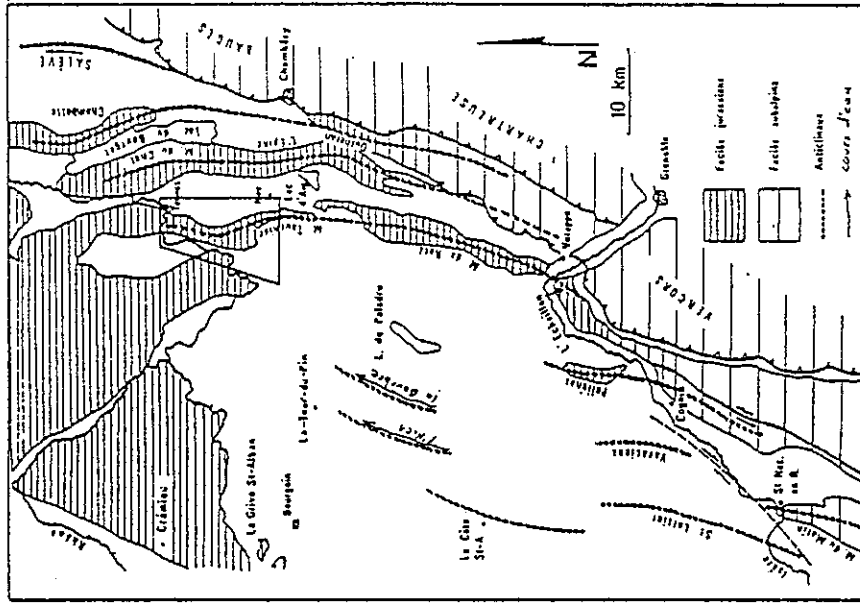
avec cependant quelques industries locales (Chaudronneries) dont certaines de traditions anciennes (tissage et filatures) ont su se moderniser pour l'exportation.



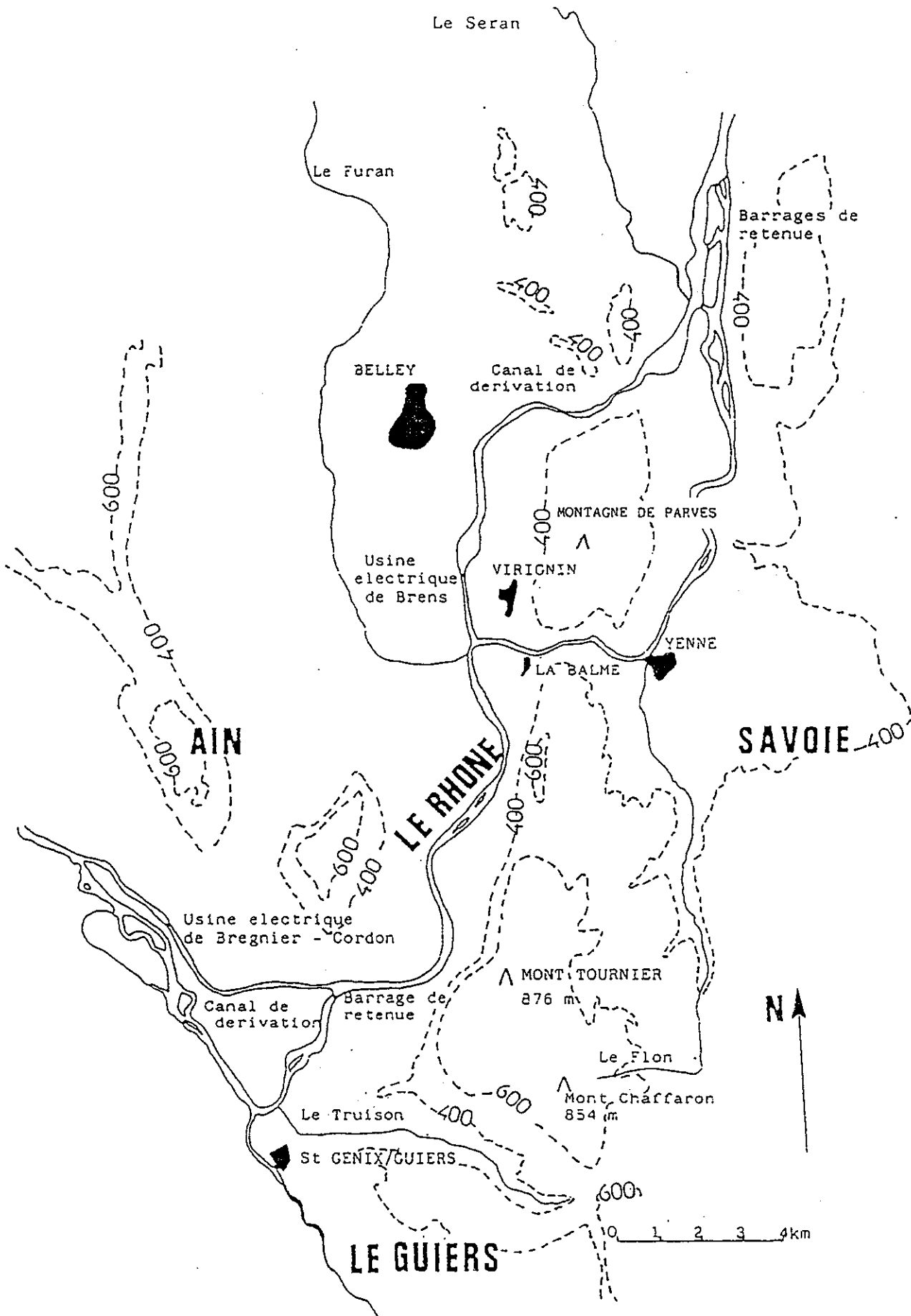
(FIG 2) COURBE HYPOMETRIQUE MASSIF DU MONT TOURNIER

CLASSE D'ALTITUDES EN m	SUPERFICIE Km ²	% RELATIF	% CUMULE
800 < X ≤ 876	2.5	3.1	3.1
700 < X ≤ 800	7.8	9.6	12.7
600 < X ≤ 700	10.1	12.4	25.1
500 < X ≤ 600	16	19.6	44.7
400 < X ≤ 500	24	29.4	74.1
300 < X ≤ 400	22.2	26	100
TOTAL	81.6		

(FIG 3) TABLEAU DE REPARTITION DES ALTITUDES MASSIF DU MONT TOURNIER



(FIG 4) PASSAGE DES PLIS JURASSIENS AUX PLIS SUBALPINS
C. GERMAIN ET G. DEMAISSON, IN Y. SAPEY-TRIOMPHE .1984
(MODIFIEE)



(FIG.5) RESEAU HYDROGRAPHIQUE - 600:altitude en m

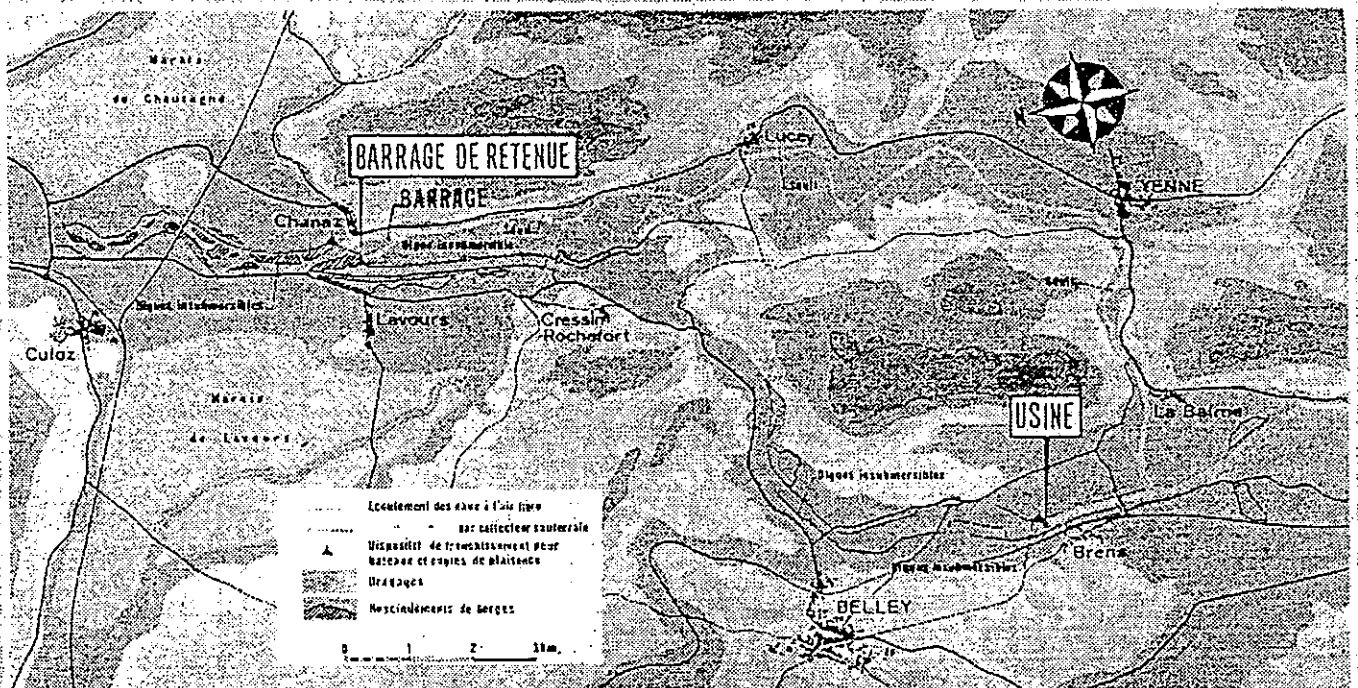
-belley (1979-1982)

A l'aval de l'aménagement de Chautagne, la chute de Belley intéresse la portion du fleuve de 22 km s'étendant depuis le pont de la Loi jusqu'en aval des gorges de la Balme. La particularité de cet aménagement vient du fait que le canal de dérivation, long de 15 km, emprunte une dépression sinuose s'écartant largement de la vallée du Rhône et traversant des marais et un défilé rocheux. Les terrains traversés se sont de ce fait révélés très hétérogènes.

La retenue comporte :

- en rive droite, un endiguement insubmersible de 4,5 km protégeant les marais de Lavours,
- en rive gauche, et à partir du viaduc S.N.C.F., un endiguement insubmersible de 2,5 km dans lequel est implantée, au droit de Chanaz, une écluse destinée à la navigation de plaisance. En amont de cet endiguement, la berge reste submersible de manière à maintenir les conditions actuelles de débordement du fleuve vers la plaine de Chautagne et le lac du Bourget et conserver ainsi les possibilités d'écrêtement des fortes crues du Rhône.

Le barrage de retenue comprend 4 passes de 18 m équipées de vannes-segments de 10 m de haut dont les vannes de rive possèdent un volet déversant ; le barrage permet d'évacuer le débit de la crue millénaire estimé à 2 800 m³/s. Une partie du débit réservé est turbinée par un groupe hydro-électrique de 13 m³/s installé dans la culée rive droite. Pour maintenir les niveaux du lac du Bourget à une cote optimale, ce qui supprimera les étages auxquels le lac était soumis et permettra toute l'année la navigation de plaisance dans le canal de Savières, un barrage a été construit sur le Rhône court-circuité ; ce barrage dit "de Savières" comporte un barrage mobile, équipé de deux clapets déversants de 10 m de largeur et un seuil fixe en enrochements.



Le canal de dérivation, dimensionné pour le débit d'équipement de 700 m³/s, présente une longueur totale de 15,1 km dont 13,5 km de canal d'aménée et 1,6 km de canal de fuite. Le tracé du canal intéresse successivement les marais de Cressin-Rochefort, le défilé rocheux du Lit au Roi, le lac de Bart, les marais de Bart-Coron et le lit de l'Ousson. Les terrains traversés sont très divers et vont des terrains meubles, tels que marne, tourbe, sables et graviers aux terrains rocheux : calcaires et dolomies du Lit au Roi et molasse gréseuse de la vallée de l'Ousson.

Les digues du canal d'aménée ont été constituées à partir des matériaux en place et les profils types adaptés en conséquence. Deux siphons coupent le canal d'aménée : le siphon du Sérán qui permet de rétablir l'écoulement des eaux de cette rivière et qui est dimensionné pour évacuer 300 m³/s et le siphon de Coron qui assure l'écoulement des eaux du contre-canal. L'usine, implantée dans la molasse gréseuse, bénéficie d'une chute maximale de 18 mètres qui lui assure une productibilité de 440 GWh/an.

Elle est équipée

- de deux groupes bulbes d'une puissance unitaire de 45 MW, pouvant fonctionner en déchargeur ;
- d'un évacuateur de corps flottants équipé d'un clapet déversant ;
- d'un chariot élévateur automoteur destiné au franchissement de la chute par les bateaux de plaisance.

Le Rhône court-circuité est aménagé par la construction du seuil de Yenne, qui soutiendra notamment le niveau de la nappe phréatique, et par des stabilisations de fonds.

(FIG. 7) AMENAGEMENT DE BREGNIER-CORDON (DOCUMENT C.N.R.)

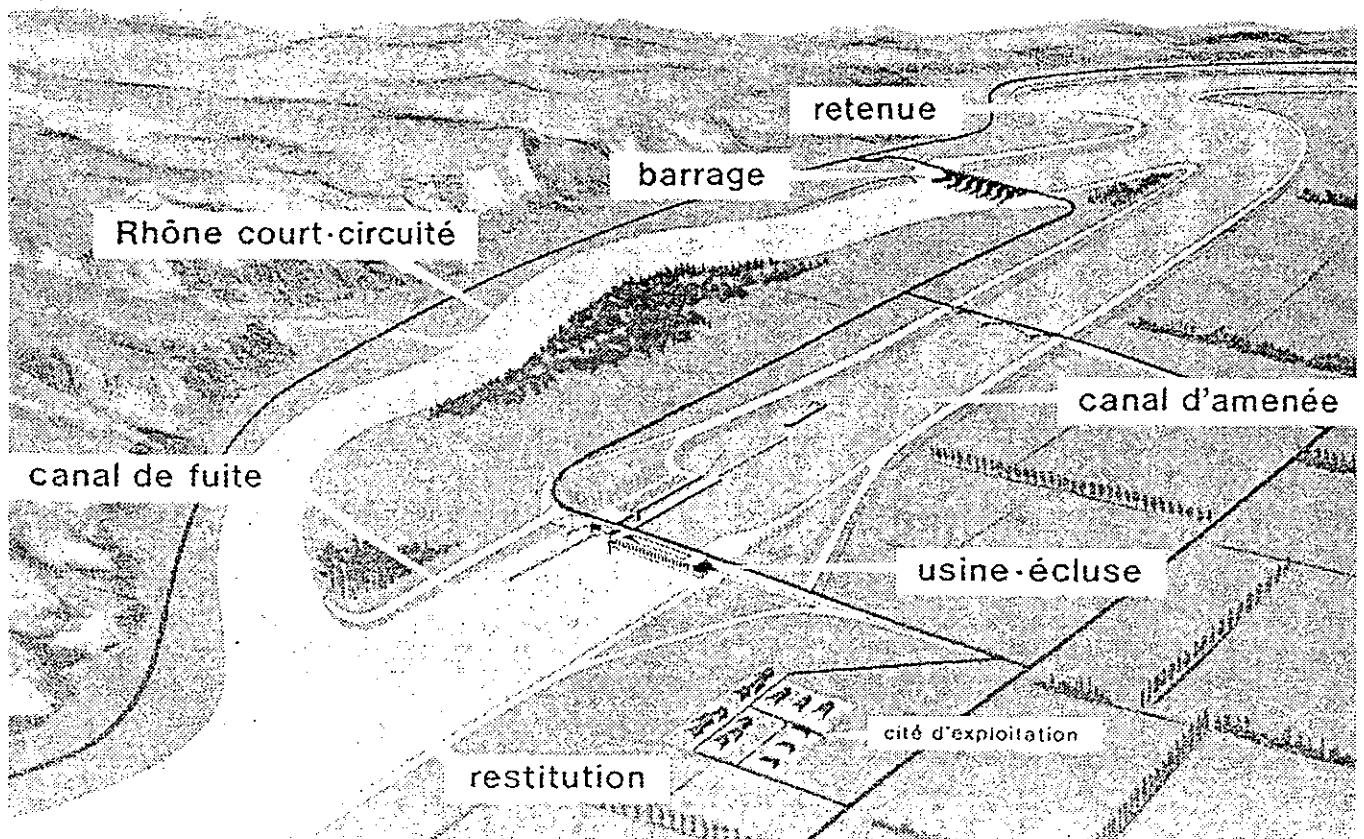
Chute de Bregnier-Cordon : (74 MW - 320 GWh/an)

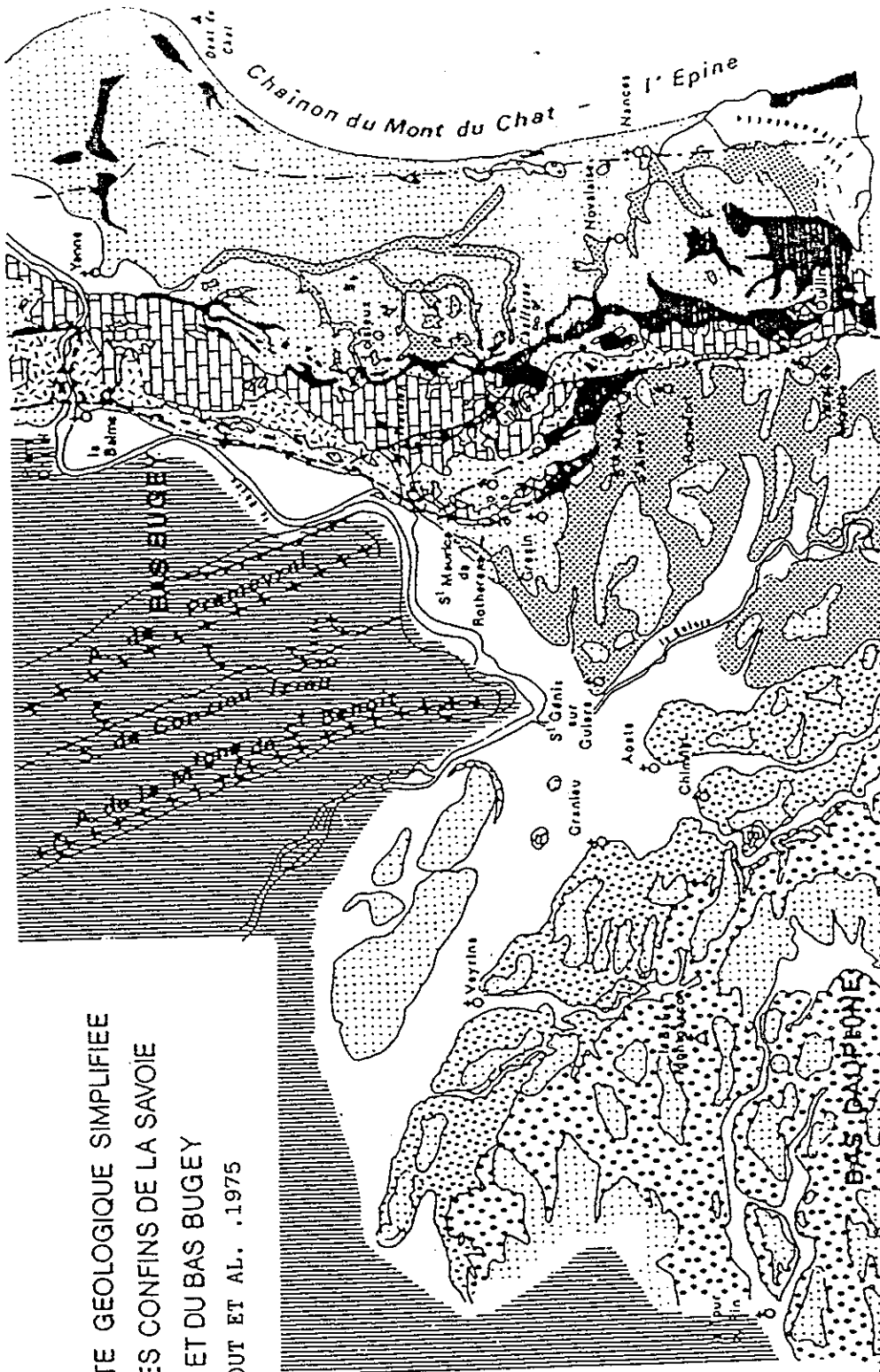
Cet aménagement fait suite à celui de Belley. Il s'étend sur 25 km entre La Balme et l'aval du pont d'Evieu. La retenue, longue de 11 km, est créée par un barrage implanté en rive gauche à Champagneux. Cet ouvrage comprendra des groupes hydroélectriques turbinant le débit maintenu dans le lit du Rhône court-circuité.

Le canal de dérivation, d'une longueur totale de 8 km, comporte un canal d'amenée d'une longueur de 5 km, et un canal de fuite de 3 km environ. Il emprunte la dépression où est situé le lac de Pluis et rejoint le Rhône à l'amont du pont d'Evieu.

L'usine hydroélectrique, située à Bregnier-Cordon, comportera deux groupes bulbes et une hauteur de chute maximale de 14,30 mètres.

(FIG. 8)
l'aménagement-type
(DOCUMENT C.N.R.)





(FIG. 9)
 CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE
 DES CONFINES DE LA SAVOIE
 ET DU BAS BUGEY
 IN M. GIGOUT ET AL. .1975



LEGENDE

- Grès de Savoie récent
- Masses de la Savoie : auvents et laves
- Intrusifs
- Jurassiques
- Triasiques
- Aquitains
- Crétacé inférieur
- Mésozoïque
- An. antédiluvien
- An. tertiaire
- Quaternaire
- Fossiles et faunes
- Fossiles
- Fossiles mineurs

10 km

Le paysage géographique a été modifié cette décennie par la poursuite de l'aménagement hydro-électrique du Haut Rhône à l'aval du site de Génissiat-Seysssel par la Compagnie Nationale du Rhône :

- aménagement de Chautagne (1978-1981)
- aménagement de Belley (1979-1982) (FIG.6)
- aménagement de Bregnier-Cordon (1981-1985)
(FIG.7)

L'aménagement type comporte un barrage de retenue complété par un canal d'amenée de faible pente qui achemine l'eau à l'usine de transformation électrique.

La hauteur de chute est procurée à la fois par la surélévation apportée par le barrage et par le gain de pente dû au canal (FIG.8).

Dans notre secteur, la réalisation des canaux d'amenée aux usines de Brens (aménagement de Belley) et de Bregnier-Cordon a modifié le réseau hydrographique en dérivant une partie des eaux du Rhône de sa plaine alluviale historique (FIG.5).

2 - CADRE GEOLOGIQUE (FIG.9)

L'avant pays savoyard a fait l'objet d'études géologiques récentes portant sur les terrains mésozoïques et cénozoïques, nous citerons :

* l'étude de C. LAMIRAUX (1977) pour la "Géologie du Miocene des chainons jurassiens méridionaux et du Bas-Dauphiné entre Chambéry et la Tour du Pin".

* l'étude de F. GUIGON (1976) dont l'auteur dans le cadre d'un mémoire sur " L'avant-projet du tunnel du Bourget " a effectué le relevé des terrains secondaires observés dans la coupe naturelle des gorges de la Balme.

Ces observations furent complétées par le relevé des formations géologiques rencontrées le long de la galerie des eaux usées.

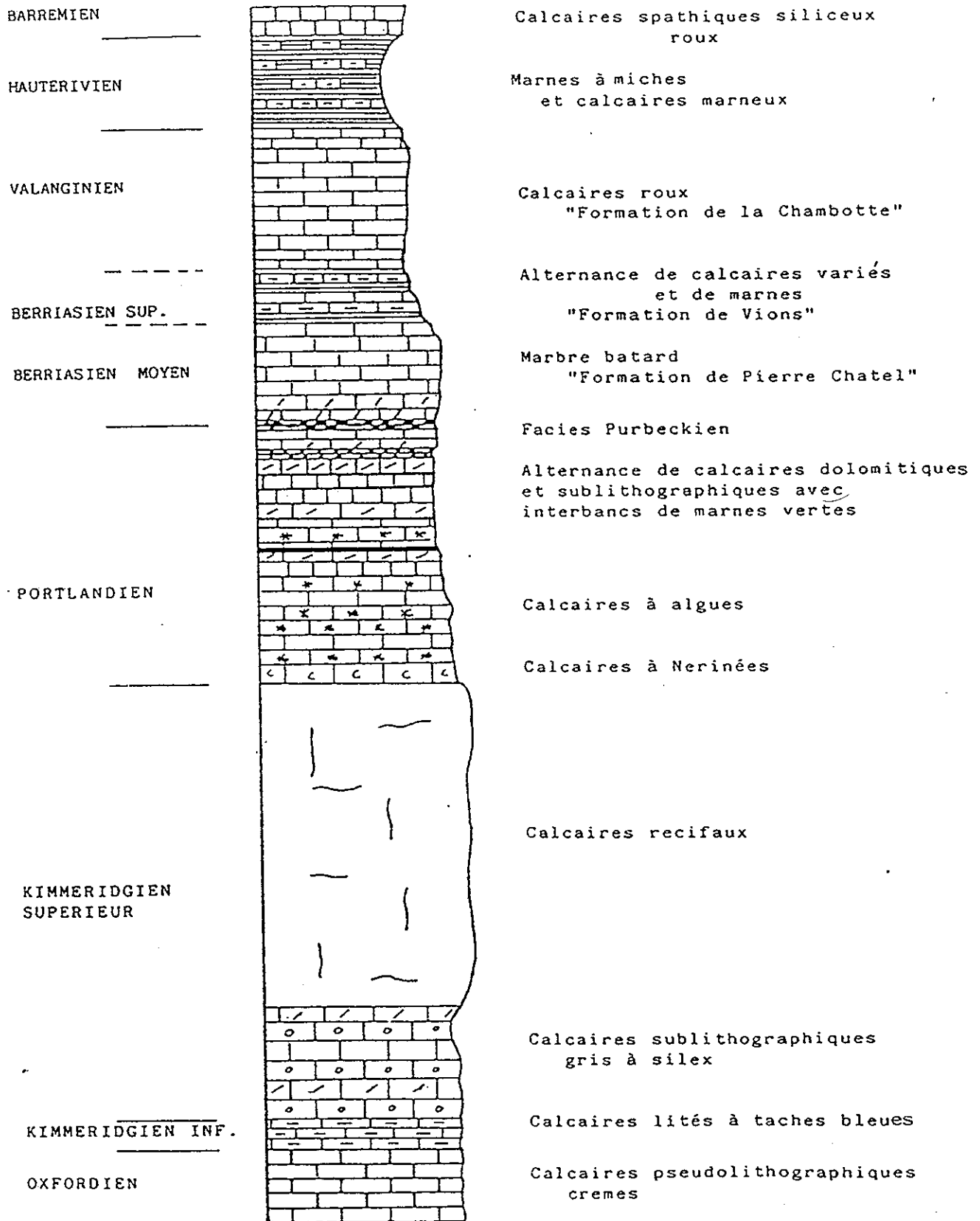
En plus de ces études spécifiques, deux synthèses géologiques de la région sont disponibles :

- * " la géologie chambérienne " de P.GIDON (1962)
- * " La géologie des confins de la Savoie et du Bas-Bugey " par M. Gigout, G. Pierre et J.P. Rampoux (1975)


Ajoutons que la carte géologique de ce secteur est de parution récente (carte la Tour du Pin 1/50 000 - 1975).

Nous invitons les lecteurs à se référer à ces ouvrages.

(FIG. 10) COLONNE STRATIGRAPHIQUE SYNTHETIQUE DES TERRAINS MESOZOIQUES . GORGES DE LA BALME



40 m
0

 Dolomitisation

Nous nous contenterons d'établir succinctement une synthèse de la géologie régionale.

2.1. Stratigraphie

Notre secteur d'étude englobe deux grandes unités stratigraphiques.

2.1.1. - Le chaînon du Mont Tournier

Faisant suite aux chaînons jurassiens (FIG.4), il est constitué d'une série carbonatée essentiellement calcaire englobant des terrains d'âge Oxfordien à Barremien. (FIG.10).

Une sédimentation épicontinentale de plateforme carbonatée débute au Kimméridgien supérieur par le dépôt de calcaires récifaux. Elle se poursuit pendant le Portlandien, qui présente principalement à son sommet des épisodes régressifs lagunaires saumâtres ou d'eaux douces : c'est le faciès "Purbeckien " qui est une caractéristique du Jura Franco-Suisse.

Le retour de conditions marines permet le dépôt de la formation de " Pierre Chatel " ; constituée de calcaires jaunes clairs, micrograveleux : faciès " Marbre Batard ". A cette formation succède celle de "Vions " : alternance de calcaires variés marneux et de marnes formant une vire dans le paysage ; puis celle de la " Chambotte " formée de calcaires massifs ou en bancs dont la couleur rousse s'accroît au sommet de la formation et représente le Valanginien.

L'Hauterivien et le Barremien se rencontrent en dehors de la cluse de la Balme soit au Sud (village de Chevru), soit dans la galerie, sous la forme de marnes à miches surmontées d'un calcaire spathique siliceux.

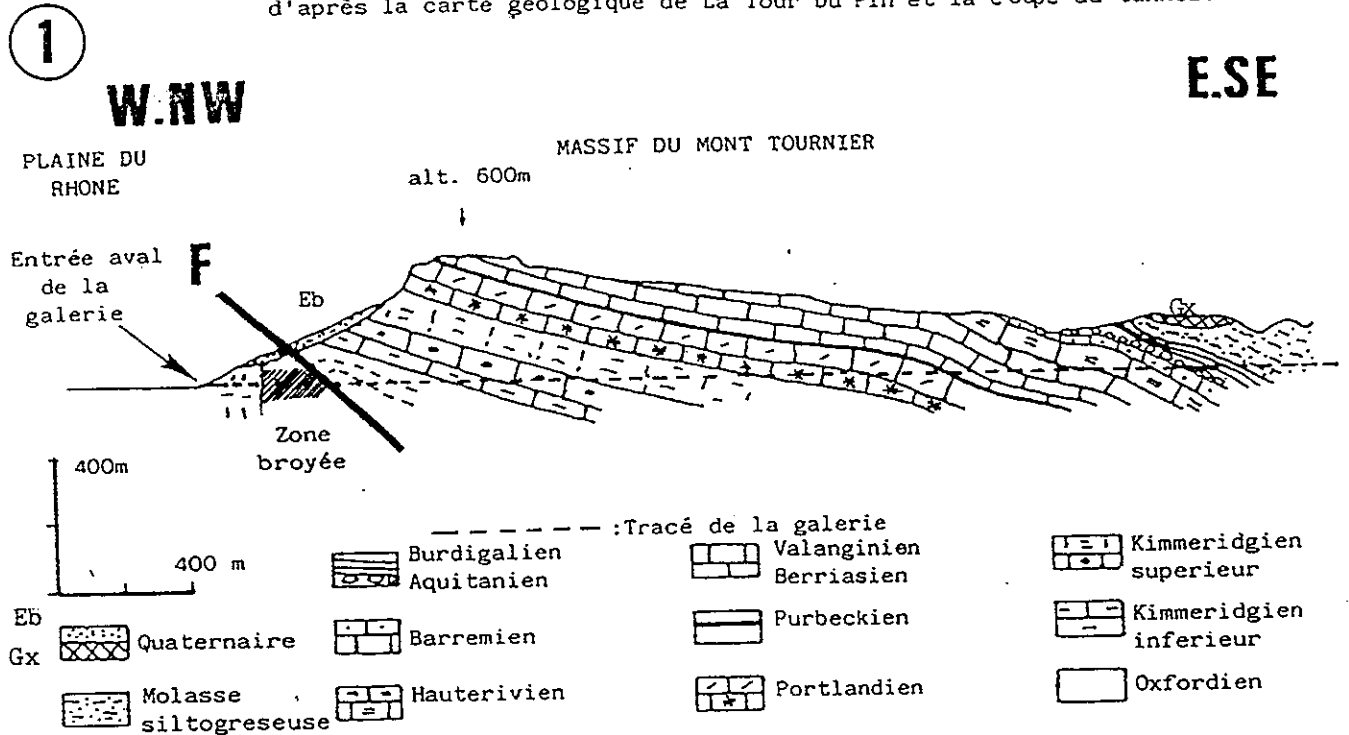
Les termes supérieurs de la série mésozoïques ayant été érodés lors de la période d'émersion de l'Eocène, il n'est plus possible de les observer dans ce secteur.

2.1.2. - Les formations détritiques tertiaires : molasses

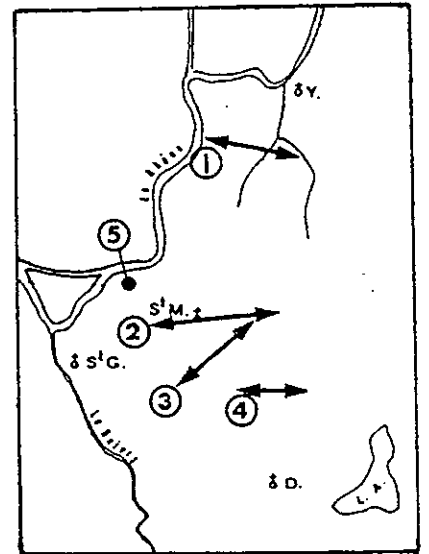
L'érosion Eocène donne naissance à des dépôts continentaux de couleur rouge très riche en fer : " Le Sidérolitique " qui remplissent dans notre secteur les fissures du Jurassique Supérieur.

La Sédimentation reprend à l'Aquitaniien dont les formations constituent dans notre secteur le Mont Chaffaron. La coupe donnée par M. Gigout est la suivante :
(de bas en haut)

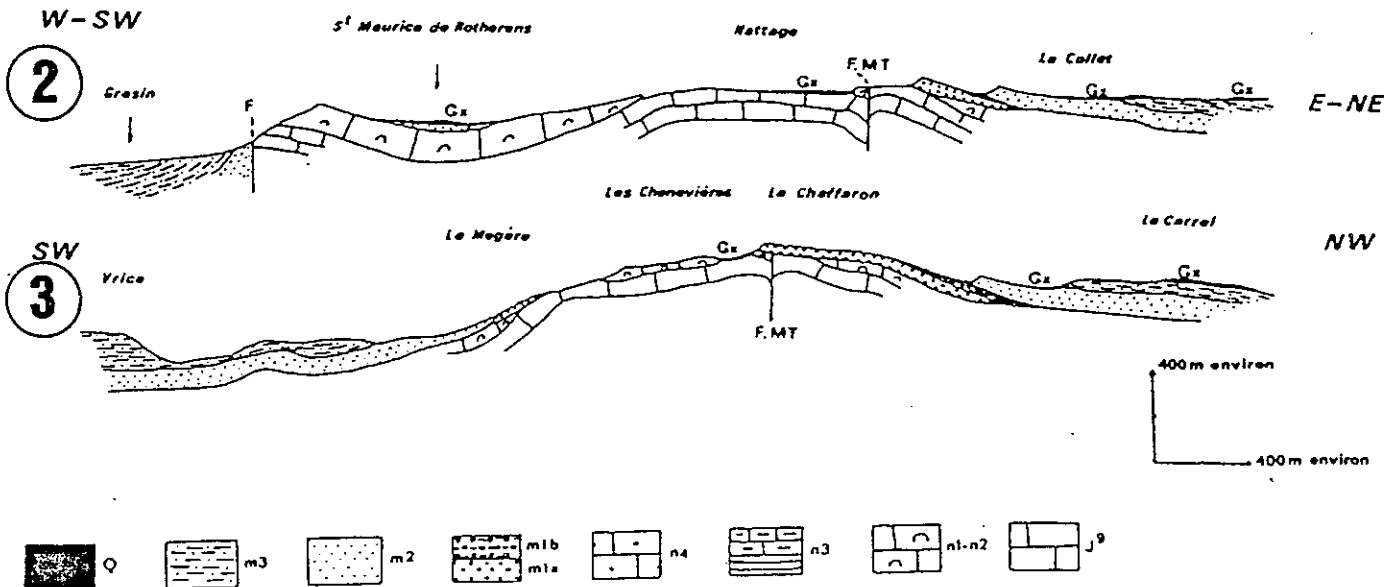
(FIG.11) COUPE GEOLOGIQUE DU MASSIF DU MONT TOURNIER LE LONG DU TUNNEL DES EAUX USEES d'après la carte géologique de La Tour Du Pin et la coupe du tunnel.

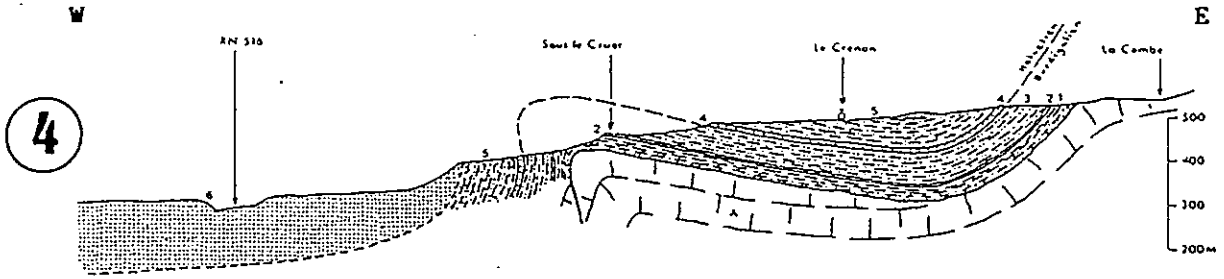


Situation des coupes n°1 à 5



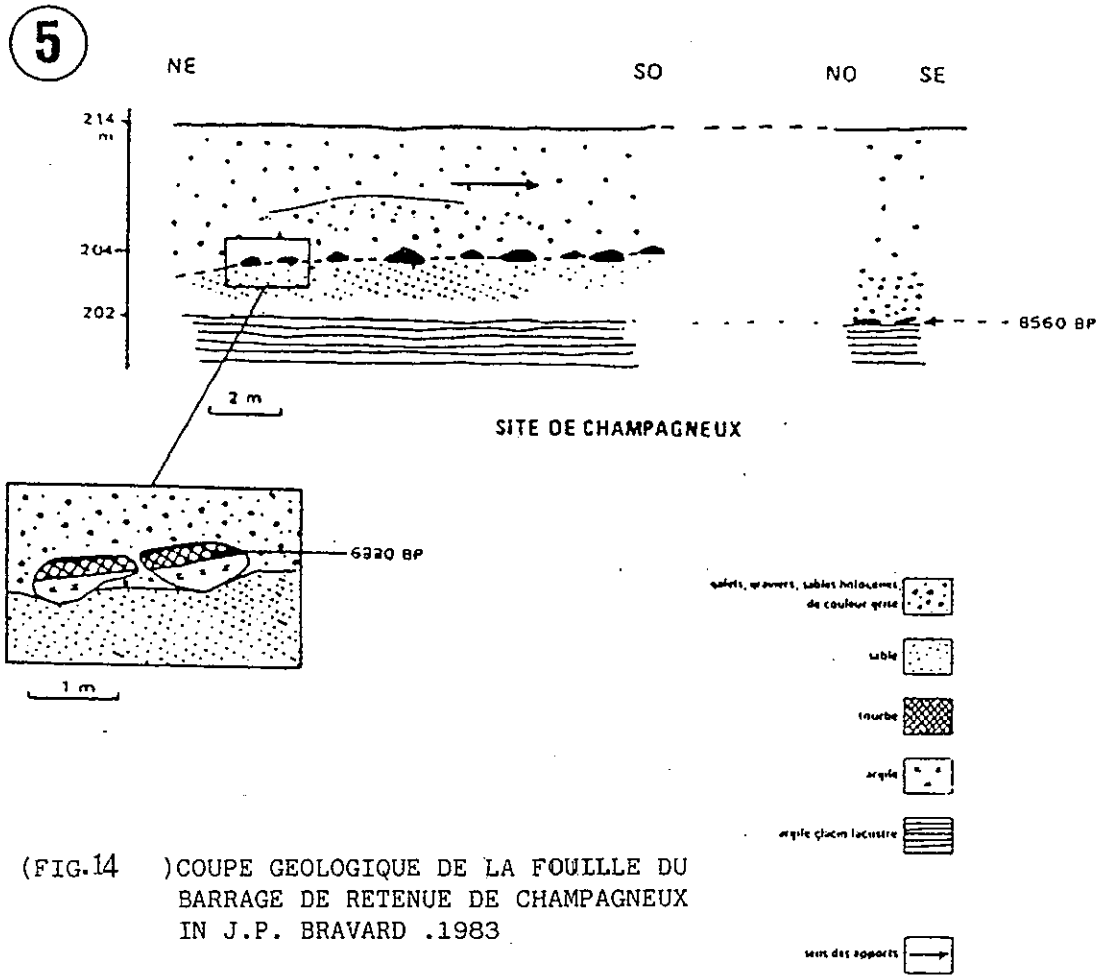
(FIG.12) COUPES GEOLOGIQUES DU CHAINON DU MONT TOURNIER IN M. GIGOUT ET AL. .1975





6. sables jaunes (Pont de Beauvoisin) - 5. ensemble marno-silto-gréseux (type Merdaret)
 4. grès verts - 3. silts gréseux et grès silteux bioturbés - 2. grès calcaireux et calcaires molassiques zoogènes - 1. marnes vertes et grès calcaireux. A - substratum mésozoïque.
 --- limite burdigalien helvétique.

(FIG. 13)) COUPE EN BORDURE NORD-ORIENTALE DU SYNCLINORIUM DU BAS DAUPHINÉ DANS LA RÉGION DE 5^È MARIE D'ALVEY
 IN LAMIRAUX 1977



(FIG. 14)) COUPE GÉOLOGIQUE DE LA FOUILLE DU BARRAGE DE RETENUE DE CHAMPAGNEUX
 IN J.P. BRAVARD .1983

* 20 à 50 m d'un conglomérat continental à éléments de Portlandien, Bériasien et Valanginien.

Ce conglomérat cache la faille du Mont Tournier.

* 30 m de marnes sableuses et d'argiles de teinte rouge.

La transgression marine débute au Burdigalien par un conglomérat de base de 2 à 3 mètres d'épaisseur repéré en de rares endroits (Les Malods : X = 864,45, Y = 80,25, Z = 460).

Elle se poursuit par le dépôt des formations suivantes : (FIG.13 , coupe n° 4) - (de bas en haut).

* un ensemble de grès calcaires, de marnes vertes et de calcaires molassiques zoogènes dont l'épaisseur est de trente mètres.

* des silts gréseux et des grès silteux bioturbés (épaisseur égale à soixante mètres).

Cette série de base du Miocène, d'épaisseur réduite par rapport à l'accumulation importante de la région Chambérienne (900 m), est interprétée par C. Lamiroux comme un dépôt de type plateforme.

Succède à cette série, des formations attribuées à l'Helvetien (FIG.13 coupe n° 4) - (de bas en haut).

* des grès verts (15 m)

* un ensemble marno-silto-gréseux (100 m) qui passe progressivement aux :

* sables jaunes (dits " sables de Pont de Beauvoisin") daté de l'Helvetien supérieur.

Non représentés dans notre secteur, mais présents sur la rive gauche du Guiers ; les sables de Pont de Beauvoisin sont surmontés par des sables grisâtres : sables de Chimilin, attribués au Tortonien inférieur (épaisseur égale à 100 m) et par un ensemble conglomératique : Conglomérat de la Tour du Pin, daté du Tortonien supérieur qui clot la sédimentation tertiaire.

2.2. Tectonique

2.2.1. les observations

Le chaînon du Mont Tournier, situé dans le prolongement de la Montagne de Parves, se présente dans les gorges de la Balme comme un anticlinal dissymétrique d'axe N-S.

Son versant oriental forme un relief monoclinial à faible pendage (20°) qui disparaît sous le synclinal molassique de Yenne-Novalaise (FIG.11).

Sa retombée occidentale, malgré un recouvrement quaternaire qui la masque en grande partie, est verticale.

Le tunnel des eaux usées a permis de mettre en évidence une flexure faillée (pentée à 40 °) accompagnée d'une zone de broyage qui vient compliquer le schéma classique d'un anticlinal en "genou".

A partir de Leschaux, cette structure se complique, l'orientation devient parallèle aux plis du Bas-Bugey (N.NW - S.SE) (FIG. 12)

A l'anticlinal du Mont Tournier, perturbé par une faille verticale à faible rejet (dite du Mont Tournier) succède à l'Ouest le synclinal à remplissage molassique de Saint Maurice de Rotherens. Ce synclinal est limité à l'Ouest par une faille verticale N.NW - S.SE qui provoque dans le compartiment occidental le fort pendage des terrains molassiques (région de Grésin). Il s'atténue rapidement pour devenir sub-horizontale dans la région de St Génix sur Guiers. Le Synclinal est interrompu :

- * au Sud-Est par la flexure méridienne de Ste Marie d'Alvey - Verel de Montbel
- * au Nord-Ouest par la flexure sub-méridienne parallèle à la vallée du Rhône.

Au Sud (région de Dullin) les terrains mesozoïques forment de nouveau un monoclinale, plongeant faiblement vers l'Est sous les terrains molassiques du synclinal de Yenne-Valais et limité à l'Ouest par la flexure de Ste Marie d'Alvey.

2.2.2. Interprétation

Trois phases tectoniques sont individualisées :

. une phase compressive ante-Aquitaniennne qui provoque la surrection de reliefs sous la forme de larges bombements affectés de failles verticales NW - SE (faille du Mont Tournier).

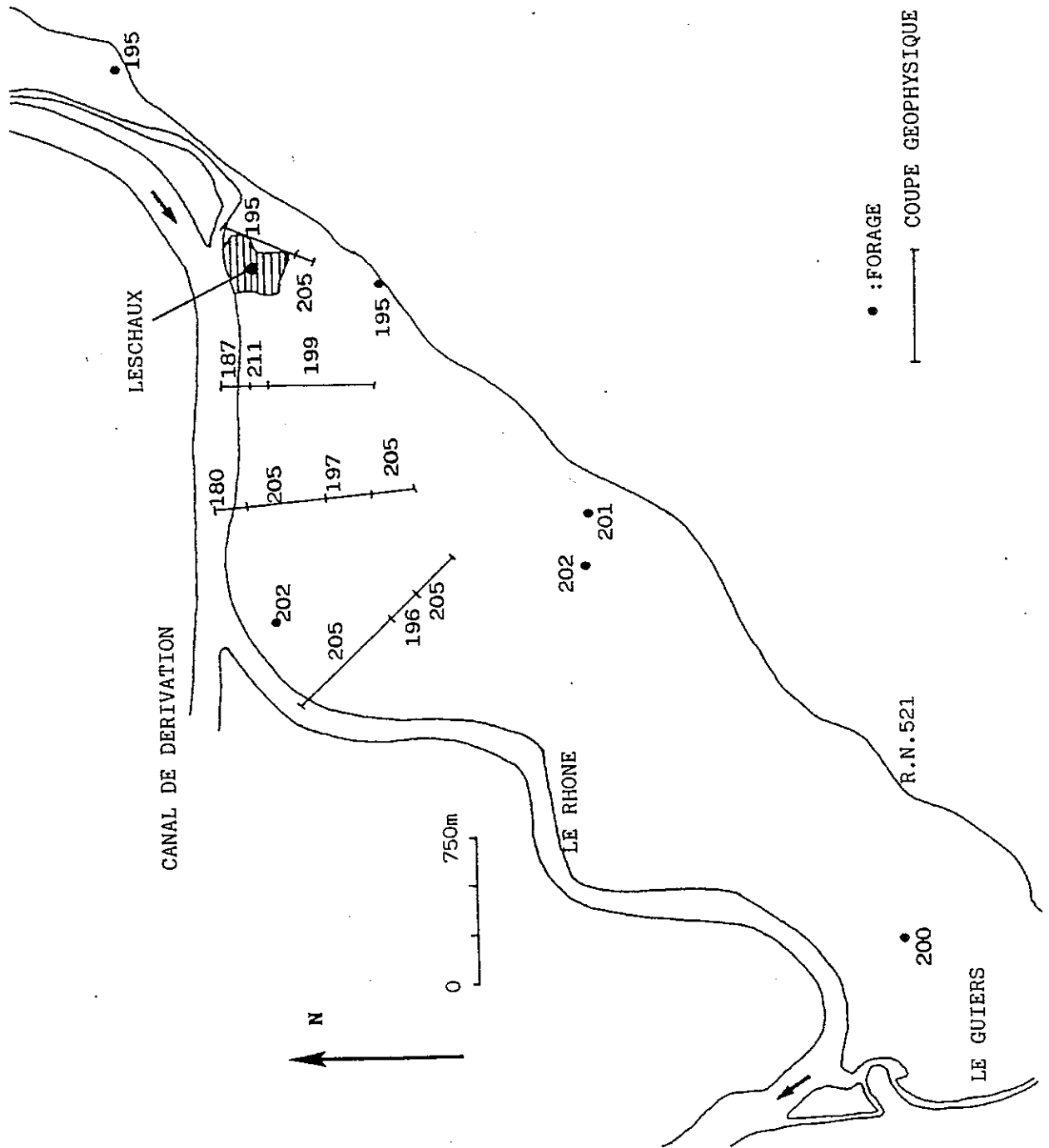
Cette surrection engendre le dépôt de la série détritque Aquitaniennne (conglomérat du Chaffaron).

. Une phase distensive qui se traduit par l'arrivée d'une mer au niveau d'un sillon subsident étroit. La sédimentation est alimentée par les produits de démantèlement des reliefs ante-Aquitaniens locaux puis par les apports détritiques provenant de l'érosion de zones alpines de plus en plus rapprochées.

. Une deuxième phase compressive Post-Tortonienne ou Ponto-Pliocène qui reprend les structures ébauchées lors de la phase ante-Aquitaniennne en les refoulant, à l'Ouest et donnant naissance à des plis très dyssimétriques voire chevauchants.

Cette phase dont les contraintes sont E.W provoque le changement de direction d'une partie des structures héritées qui deviennent sub-méridienne dans ce secteur et NE-SW au Sud.

La rotation Post-Miocène est démontrée par des arguments cartographiques et par les observations sédimentologiques de C. LAMIRAUX.



(FIG .15) COTES DU MUR DE L'AQUIFERE D'APRES LES DONNEES DE LA C.N.R.
(Geophysique) ET DES FORAGES

3 - LES FORMATIONS QUATERNAIRES

3.1. Les dépôts glaciaires

Ils surmontent actuellement les buttes molassiques de St Génix sur Guiers et correspondent à des moraines de fond argilo-sableuses à galets de calcaires, de grès et de roches cristallines et métamorphiques.

Des blocs erratiques sont présents entre Duisse et Gresin.

3.2. Les dépôts fluvioglaciaires

Ils sont présents sur la rive droite du Rhône :

* entre Peyrieu et Virignin, ils forment une série de terrasses étagées entre 225 et 250 m : ils correspondent d'après G. Charamel à une progradation de courte durée d'un ou de plusieurs cônes deltaïques, à l'emplacement de la vallée de Furan, se jetant dans un lac lors du retrait glaciaire.

Les forages étudiés par G. Charamel permettent de constater le passage entre les formations deltaïques et les argiles lacustres à la latitude du village de Peyrieu.

* entre Gelnieux et Bregnier-Cordon, des travaux de la C.N.R. ont permis de découvrir des sédiments lacustres et palustres (craie et tourbes) qui témoignent de l'individualisation et du remplissage d'un lac secondaire dont le lac de Pluris est la relique.

3.3. Les éboulis

Ils s'appuient sur la falaise du Mont-Tournier entre la Balme et Leschaux, ils sont utilisés par des exploitations locales.

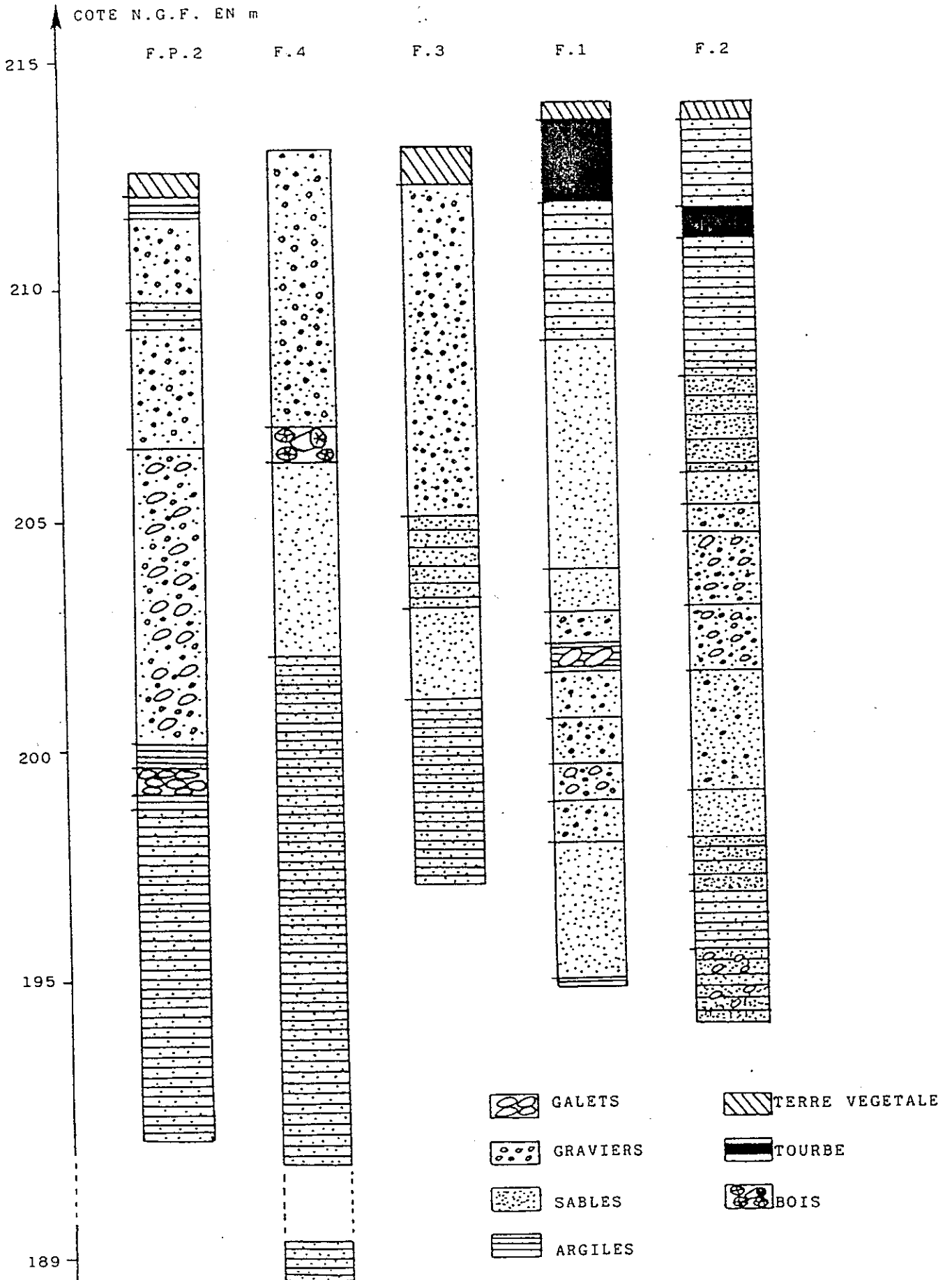
Ces éboulis sont formés d'éléments calcaires anguleux enrobés dans une matrice argileuse rouge. Ils présentent une stratification en couches inclinées de 30 ° : grès lités.

La notice de la carte géologique " La Tour du Pin " indique la présence éventuelle de restes de moraines entre roches et éboulis. Nous avons, pour notre part, retrouvé au front de l'exploitation de la Balme dans la gangue argileuse rouge des fragments de roches d'origine interne : " Roches vertes ".

Près de la Fontaine du Lyon, les éboulis sont enrichis par de nombreux blocs dont certains dépassent une dizaine de mètres cubes.

Des témoins d'écroulements importants se retrouvent à plus de 500 mètres de la falaise, à l'Ouest du village de Leschaux.

(FIG.16) COUPES GEOLOGIQUES DES FORAGES. SECTEUR AVAL.



3.4. Les formations alluviales

3.4.1. Les données : Secteur aval

3.4.1.1. - Structure du remplissage : études géophysiques.

Les études géophysiques (sismique refraction et prospection électrique) faites par la C.N.R. sur le site du barrage de retenue de Champagneux, que nous avons pu consulter, montrent un important surcreusement du substrat um qui n'a pu être atteint en rive gauche pour une profondeur d'investigation de 60 mètres.

Le remplissage est constitué, en profondeur, d'une épaisse formation très conductrice (20 à 100 $\Omega.m$) interprétée comme une formation silteuse devenant plus argileuse vers le centre de la plaine.

Cette formation dont le toit oscille entre les côtes 180 et 205 mètres forme le mur imperméable de l'aquifère (FIG.15).

Celui-ci est constitué de graves d'une dizaine de mètres d'épaisseur dont la résistivité fluctue entre 100 et 500 $\Omega.m$ suivant leur pourcentage d'argiles.

L'aquifère est surmonté par des formations bien conductrices (entre 20 et 100 $\Omega.m$) qui correspondent à des terres végétales, à des argiles et des sables argileux. L'épaisseur moyenne de ces formations superficielles est de deux mètres.

3.4.1.2. - Les données de forages (FIG.16).

Celles-ci confirment et complètent les données géophysiques :

3.4.1.2.1. . Une formation inférieure imperméable.

Le sondage B.C. 2 (identification C.N.R.) effectué sur l'emplacement du barrage et complété par la fouille de ce dernier, présente sur une épaisseur de 50 mètres une argile plastique bleue surmontée d'alluvions composés de sables, de graviers et de galets.

Les forages réalisés près des versants permettent d'identifier une formation inférieure composée :

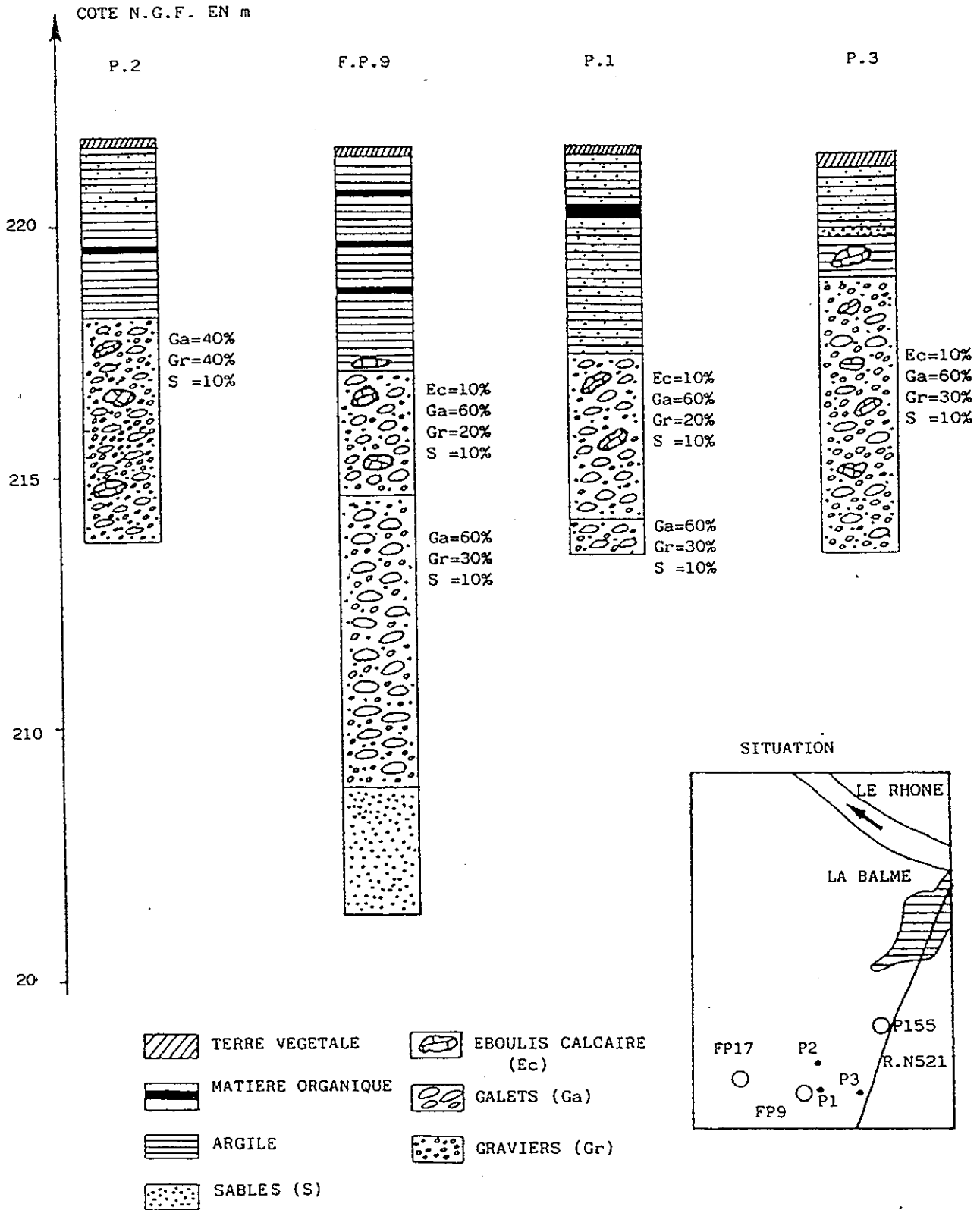
- * d'argiles sableuses gris-bleutées - Forage F4 -
- * de sables fin argileux - Forage F 3 -
- * d'argiles bleus et jaunâtres - Forage F 1
- * de sables fins gris argileux avec de petits galets - Forage F 2)
- * d'argiles limoneuses - Forage FP 2.

Remarquons qu'entre le centre et la périphérie de la plaine la proportion d'argile diminue certainement en raison d'apports sableux provenant des versants molassiques.

3.4.1.2.2. . Une formation aquifère

Au-dessus de cette formation se développe, à l'exception du Forage FP 2, une formation de sables fins à moyens de couleur jaunâtre que l'on retrouve au dessus des argiles bleues

(FIG. 17) COUPES GEOLOGIQUES DES FORAGES. SECTEUR AMONT.



du site de Champagneux sous la forme de sables moyens à grossiers.

Ces sables d'après la description faite par J.P. Bravard (FIG.14 coupe n° 5) présentent " une stratification en feuillets parallèles et plongent à 30 et 40 ° vers l'aval ". Ils semblent passer latéralement à des dépôts graveleux dont la base englobe des fragments de troncs d'arbres datés de 8560 ± 190 BP.

Au sommet des sables, existent des blocs métriques d'argiles grises et de tourbes datées de 6330 ± 140 BP.

Succédant à la formation sableuse ; les forages F 1 F 2 et F P 2 ainsi que la fouille du barrage présentent une formation composée de sables, de graviers et de galets bien roulés à éléments quartzitiques et gneissiques (forage FP 2 - Carfantan 1974)

Ce dépôt grossier caillouteux possède une stratification entrecroisée (Barrage de Champagneux - J.P. Bravard 1983).

Cette formation est absente dans les coupes des forages F 3 et F 4.

Les forages FP 2, F 4 et F 3 se terminent par une formation graveleuse (graviers et sables), de couleur jaune et à éléments de calcaires locaux pour le forage F P 2, sans précisions pour les deux autres forages.

La formation caillouteuse est surmontée dans les forages F 1 et F 2 par des sables fins de couleur gris.

3.4.1.2.3. Une formation superficielle

Une formation superficielle surmonte généralement les formations précédentes.

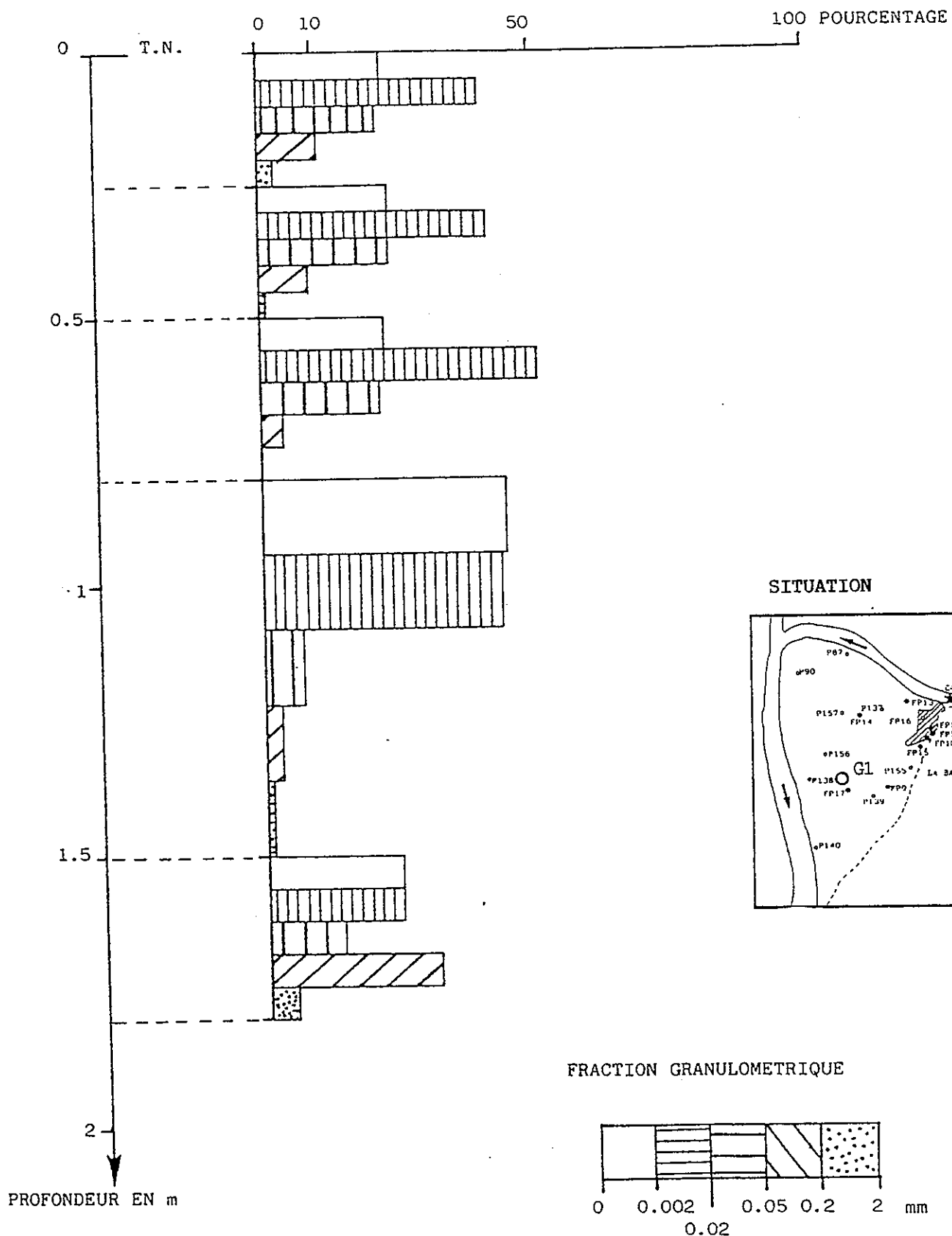
- Elle est constituée :
- * de limons et d'argiles jaunâtres (forage FP 2)
 - * d'argiles limoneuses encadrant un horizon tourbeux (Forage F 2)
 - * de limons incorporant à leur base des blocs anguleux de toutes tailles mais tous calcaires (Leschaux : X = 860,40 Y = 76,30 G.Charamel) "provenant d'un éboulement de la falaise calcaire du Mont Tournier".

Elle provoque la captivité de la nappe contenue dans les terrains perméables.

3.4.2. Le secteur amont (FIG.17)

Le forage le plus profond (F.P. 9) montre de bas en haut :

- * des sables jaunes et fins jusqu'à la côte 209 m
- * une formation grossière composée de galets (60 %) de graviers (30 %) et de sables (10 %) dans laquelle s'incorpore au sommet des fragments de blocs calcaires.



(FIG.18) GRANULOMETRIE DE LA FORMATION SUPERFICIELLE (0 à 1.8 m) EN FONCTION DE LA PROFONDEUR. POINT G1. SECTEUR AMONT. ANALYSES I.N.R.A (ARRAS). Communiqué par Mr. VINET .

* une formation superficielle décrite dans les observations de forages comme argile sableuse et dont une analyse granulométrique montre la prépondérance des phases argileuses et limoneuses. Elle incorpore des passées de matières organiques (FIG.18).

3.4.3. - Les données des forages de la Plaine du Rhône en amont de la Balme.

3.4.3.1. - Commune de Massignieu de Rives (Rive droite, département de l'Ain).

La coupe géologique d'un forage de coordonnées : X = 867,27, Y = 88,40 et Z : 227,50 ; donne de haut en bas :

Côte 227,50 m à 227 m : terre végétale.
 " 227 m à 227,70m : Limon argileux.
 " 225,50 m à 222 m : Limon, sables et petits graviers roulés.
 " 222 m à 220,50m : sables et graviers lavés
 " 220,50 m à 218,50m : graviers et galets.
 " 218,50 m à 217 m : argile gris-bleu.

3.4.3.2. - Commune de Lavour (Rive droite, département de l'Ain).

Un puits foré en 1982 (X = 867,30, Y = 95,30, Z = 230) donne la succession suivante (de haut en bas).

Côte 230 m à 228,90 m : terre végétale et limon argileux gris.
 " 228,90m à 227 m : sables fins et moyens gris ; graviers et quelques galets.
 " 227 m à 222,50m : sables fins, graviers et gros galets.
 " 222,50m à 218 m : sables moyens et grossiers gris - gravier et galets.

3.4.3.3. - Commune de Chanaz (Rive gauche, Savoie)

Le Puits communale montre la succession suivante : (X : 868,50, Y : 95,85, Z = 230).

Côte 230 m à 228,50m : limon argileux.
 " 228,50 m à 227,50m : sable fin.
 " 227,50 m à 222,50m : sable (30 %) graviers (30%) galets (40 %).
 " 222,50 m à 222 m : argile jaune
 " 222 m à 216 m : sable (40 %) graviers (40 %) galets (20 %).
 " 216 m à 210,50m : sable fin
 " 210,50 m à 210 m : argile.

3.4.3.4. - Commune de Culoz (Rive droite, Ain)

Le puits foré au lieu dit " Le Landaise" a rencontré

AVAL

S^t GENIX
(FP 2)

F3, F4

BARRAGE
F1, F2

CHAMPAGNEUX
(TRANCHEE C.N.R.)

LA BALME
FP 9

HASSICHIEUX DE RIVES

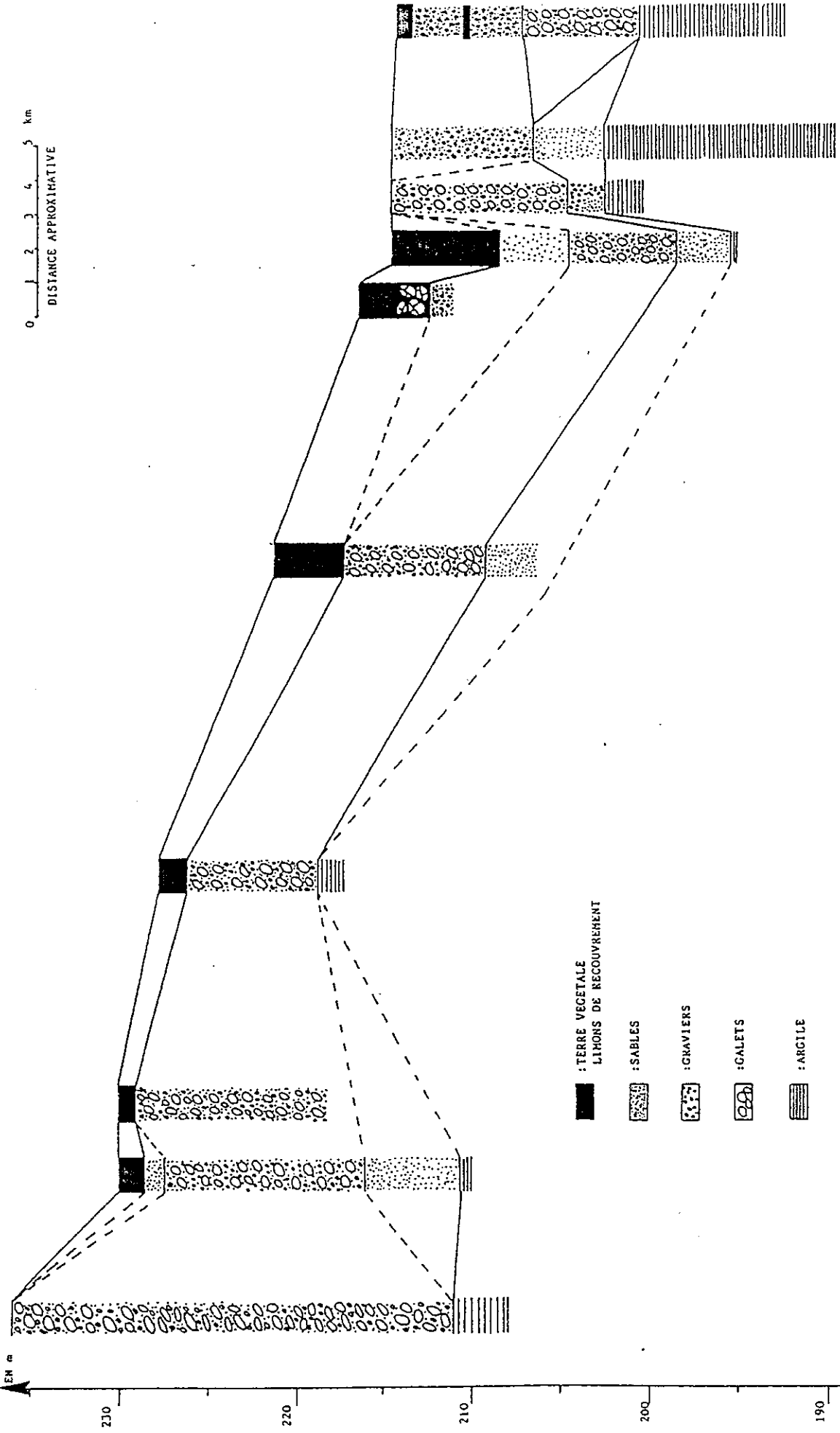
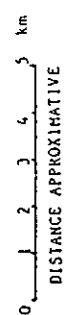
LAVOUR

CUNAZ

CULOZ

AMONT

COTE N.C.F.
EN m



- : TERRE VEGETALE
LIONS DE RECOURVEMENT
- ▨ : SABLES
- ▩ : GRAVIERS
- ▧ : GALETS
- ▤ : ARGILE

(FIG. 19) LE REMPLISSAGE ALLUVIAL DE LA VALLEE DU RHONE ENTRE CULOZ ET S^t GENIX SUR GUIERS
ESSAI DE CORRELATION ENTRE LES DIFFERENTES DONNEES DE FORAGES

les formations suivantes : (X = 868,60, Y = 100,50, Z = 236).

Côte 236 m à 210 m : sable, graviers et galets.
 " 210 m à 208,50 m : Argiles.

3.4.4. Interprétation (FIG.19)

Une phase de remplissage lacustre influencée par des apports de versants (visible dans le secteur aval : St Génix sur Guiers) a permis le dépôt d'une forte épaisseur (60 mètres minimum dans le secteur de Champagneux) d'argiles ou d'argiles silteuses dont la côte N.G.F. maximum actuelle est de 218,50 m (Massignieux de Rives).

Si l'on admet que le remplissage lacustre s'est effectué à la vitesse de 5 mm/an : valeur de la sédimentation actuellement constaté dans le Lac Léman (In J.C. Fourneaux) la durée de cette phase est supérieure à 10 000 ans.

Un dépôt sableux dont le facies deltaïque ne peut s'observer qu'au barrage de Champagneux surmonte le dépôt argileux (le matériel remanié issu des forages ne permet pas de telles observations).

Localement, des arrivées plus grossières ont pu se produire (graviers du barrage de Champagneux).

Des alluvions fluviales graveleuses grossières de facies Rhodanien recouvrent les deux ensembles précédents. Ces alluvions ont pu par ravinement provoquer la disparition des formations sableuses dans les coupes des forages de Culoz, Massignieux de Rives et de St Génix sur Guiers (FP 2).

La base de cette formation Rhodanienne varie entre la côte 210 m en amont (Culoz) et les côtes 190 à 200 m en aval (F 1 et F P 2).

Cette formation est présente dans tous les forages sauf F 3 et F 4.

Les apports grossiers du Rhône ayant cessé dans certains secteurs, cela permet le dépôt d'alluvions plus fines : sables fins (Chanaz, F 1 et F 2) provenant de l'érosion des versants, ainsi que le dépôt d'affluents du Rhône (sables et graviers du cône de déjection du Guiers Forage FP 2)

Les inondations du Rhône provoquent par débordements le dépôt de limons argileux qui, par endroits, recouvrent en les encadrant des dépôts tourbeux. (secteur amont : La Balme, Forages F1 et F 2).

Des éboulements (secteur amont) et des écroulements (leschaux) en provenance des falaises rocheuses s'intercalent dans les limons et dans le matériel alluvial (secteur amont).

Le dépôt lacustre a débuté au moins il y a 18 000 ans compte tenu de la présence de troncs d'arbres datés de 8560 B.P. entre la formation argileuse et les dépôts de sables et de graviers qui la surmontent.

Le dépôt de la formation sableuse se termine peut être par le dépôt d'argiles palustres à tourbes datées de 6330 B.P.

Cette argile ayant ensuite été bousculée par l'arrivée des dépôts grossiers Rhodaniens qui épargnent le secteur d'implantation

des forages F 3 et F 4.

La disparition des apports grossiers au sommet de la coupe du forage FP2, pourrait être consécutive à la modification du tracé du lit du Rhône lors de son autocapture historique (Haut Moyen Age) intervenu en Aval (Bregnier-Cordon) que décrit J.P. Bravard.

CHAPITRE 2

CLIMATOLOGIE

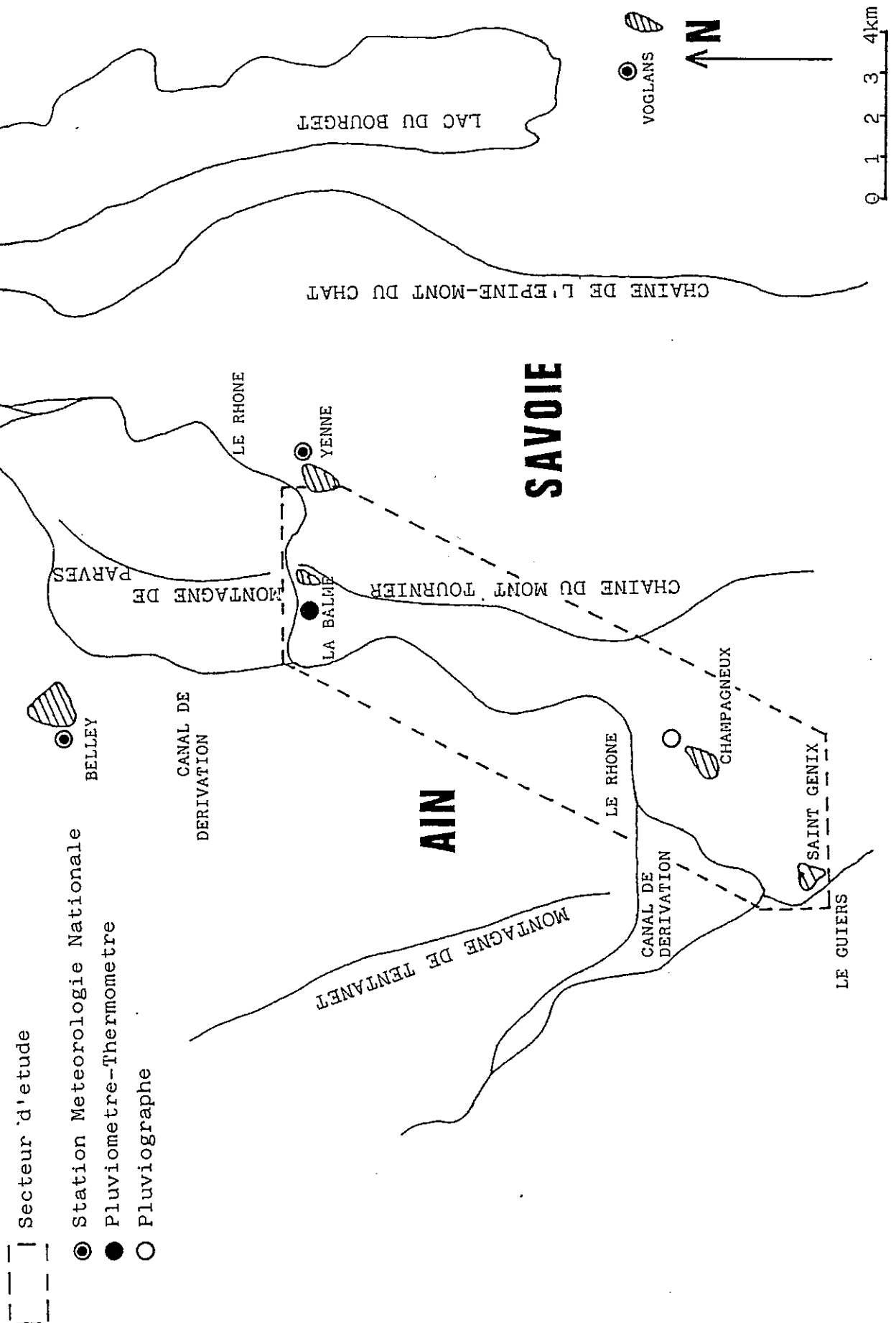
- 1 - LE RESEAU METEOROLOGIQUE

- 2 - ETUDE CLIMATIQUE DE LA PLAINE DU RHONE
 - 2.1. - Les précipitations
 - 2.2. - Les températures
 - 2.3. - L'insolation
 - 2.4. - L'évapotranspiration

- 3 - ETUDE CLIMATIQUE DU MONT TOURNIER
 - 3.1. - Précipitations et températures
 - 3.2. - L'évapotranspiration
 - 3.3. - Critique des résultats et conclusion

- 4 - CONCLUSION

(FIG .20) LOCALISATION DU RESEAU METEOROLOGIQUE



CH 2 - CLIMATOLOGIE

1 - Le réseau Météorologique (FIG. n°20)

Pour effectuer l'étude climatique, nous avons pu disposer à l'Est de la Chaîne du Mont Tournier des relevés de la station de Yenne et de Novalaise appartenant au réseau de la Météorologie Nationale, situées respectivement à 230 et 445 m d'altitude, elles sont équipées d'un pluviomètre à relevé journalier et pour Novalaise d'un thermomètre mini-maxi relevé chaque jour.

Pour le versant Ouest nous avons utilisé les relevés des précipitations et des températures journalières effectués par Monsieur Génix sur la commune de la Balme au Chef Lieu (altitude 222 m).

Nous avons complété ce réseau en installant un pluviographe enregistreur à augets basculants d'une surface réceptrice de 2000 cm² sur la commune de Champagneux au lieu dit " La Saunière " (altitude 220 m).

2 -Etude climatique de la Plaine du Rhône

2.1. Les Précipitations

2.1.1. Etude des données antérieures

Les relevés disponibles pour la Balme débute en 1962, ceux de Yenne en 1959

2.1.1.1. - Les Données Annuelles

2.1.1.1.1. Les Valeurs Observées

La moyenne annuelle des précipitations s'établit pour la Balme à 1201 mm avec comme valeurs extrêmes l'année 1965 : 1481 mm et l'année 1964 : 848 mm.

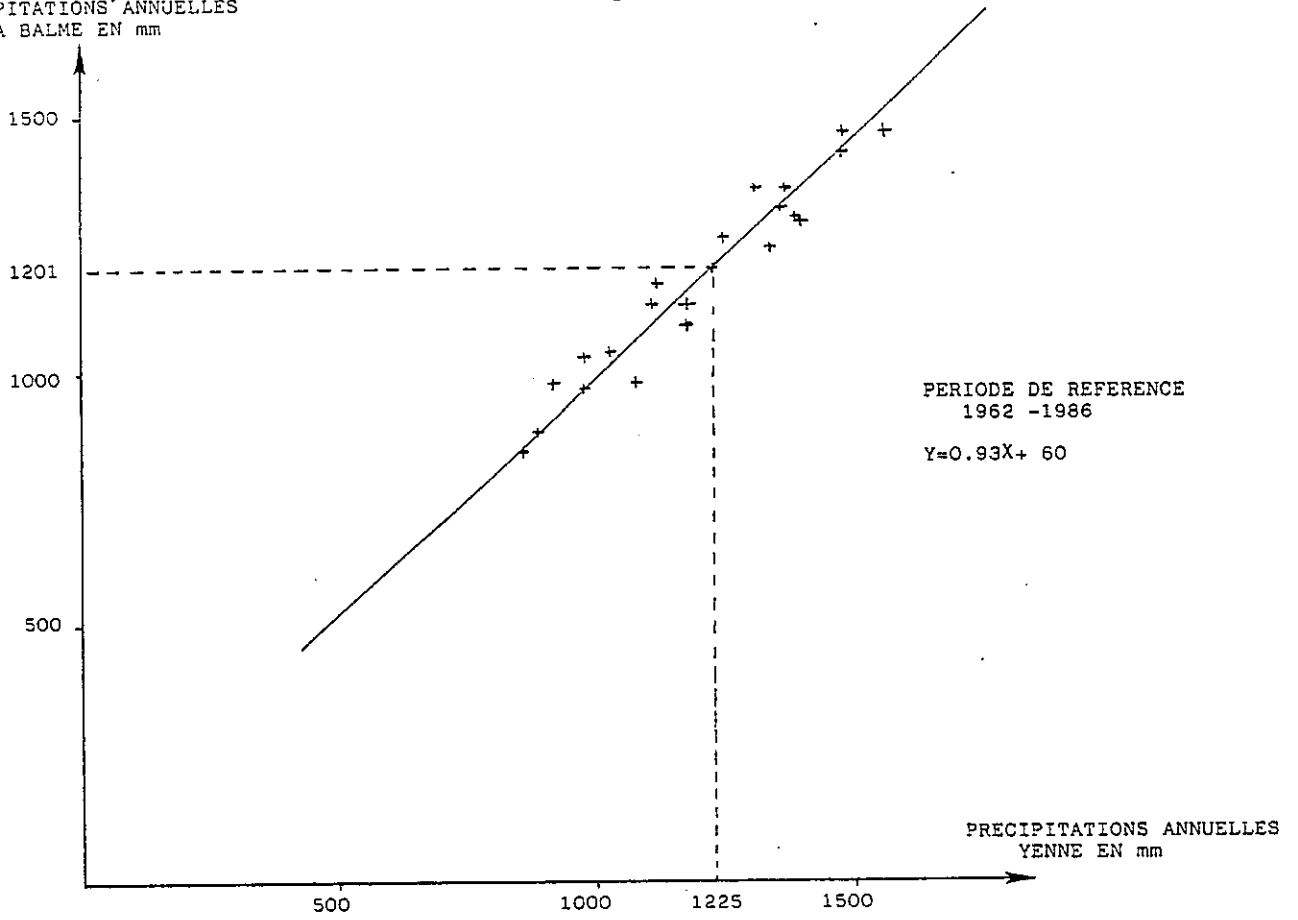
La station de Yenne donne une moyenne de 1225 mm avec un maximum en 1965 de 1553 mm et un minimum en 1964 de 858 mm

2.1.1.1.2. Comparaison.

Il existe une très bonne corrélation entre stations ; $r = 0,95$; pour les précipitations annuelles entre les stations de la Balme et de Yenne : FIG n°21 . La droite de régression possède l'équation suivante : $y = 0,93 x + 60$ avec y : précipitation en mm à la Balme, x : précipitation en mm à Yenne.

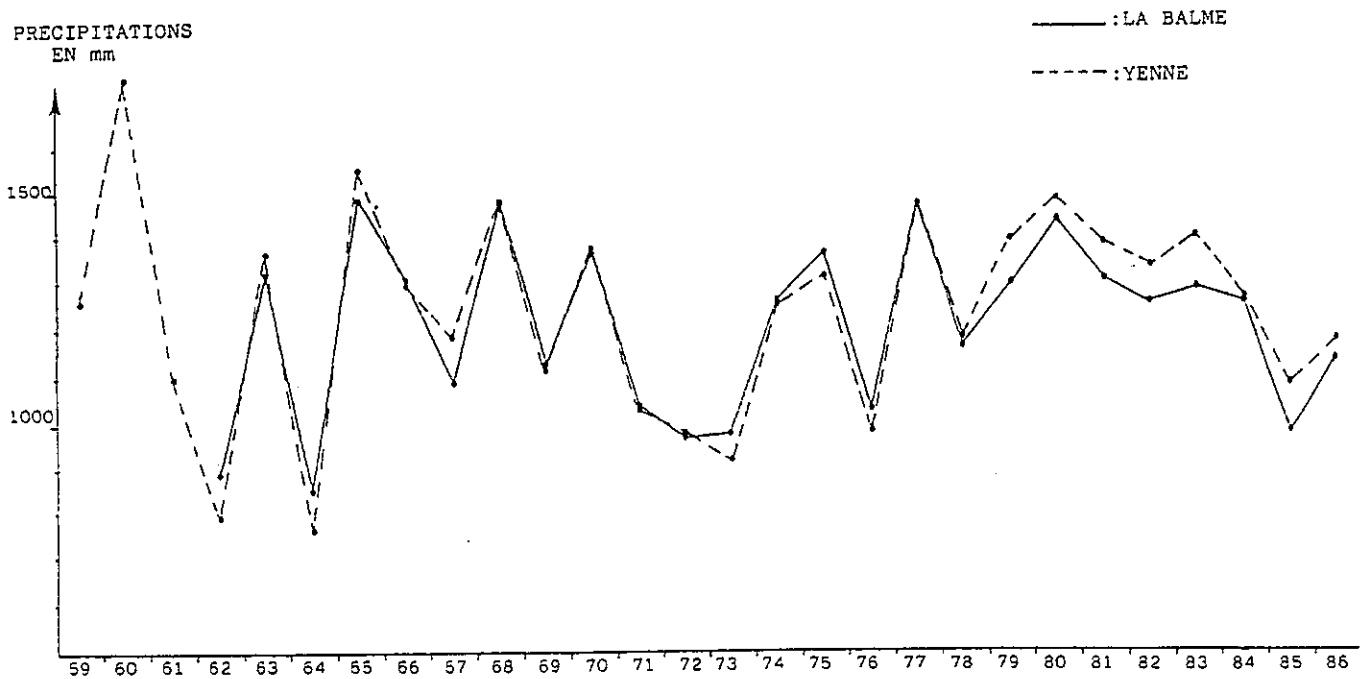
Ainsi que le démontre la FIG.n°22 , il n'existe pas de différence significative entre les précipitations recueillies à Yenne et à la Balme durant la période 1962- 1986. La plus forte amplitude observée est de 115 mm en 1983, ce qui représente une valeur inférieure au dixième des précipitations moyennes annuelles.

PRECIPITATIONS ANNUELLES
LA BALME EN mm



(FIG.21) RELATION ENTRE LES STATIONS DE LA BALME ET DE YENNE

PRECIPITATIONS
EN mm



(FIG.22) VARIATIONS INTERANNUELLES DES PRECIPITATIONS(1959-1986)
STATIONS: YENNE - LA BALME

On peut donc estimer que les précipitations annuelles pour une même altitude sont égales de part et d'autres du massif du Mont Tournier.

2.1.1.1.3 Ajustement de la série pluviométrique de la Balme à une loi statistique.

En raison des résultats précédents, seule la série de la station de la Balme a fait l'objet d'un ajustement à une loi de Gauss.

Elle se caractérise par une moyenne $\bar{p} =$ à 1201mm, un écart type (σ) égal à 182,5 mm avec un coefficient de variation (rapport de σ sur \bar{p}) égal à 0,15.

Au vu de la figure n°23 les modules pluviométriques s'alignent approximativement le long de la droite de Henry d'ajustement, tracée après report de trois points qui sont :

- * La moyenne P : 1201 mm
- * Deux points de probabilité de non dépassement de 0,10 et 0,90 correspondants à des valeurs de précipitations égale à $P \pm 1,28\sigma$ c'est à dire $P' = 970$ mm
 $P'' = 1430$ mm

Nous pouvons donc admettre que la répartition annuelle des précipitations suit une loi normale ce qui permet de calculer les valeurs de précipitations dont les probabilités de non dépassement sont respectivement de : 0,01 ; 0,02 ; 0,10, 0,90; 0,98, et 0,99. Les valeurs chiffrées se trouvent réparties dans le tableau suivant :

	Période sèche			Période humide		
	100 ans	50 ans	10 ans	10 ans	50 ans	100 ans
Période de retour	100 ans	50 ans	10 ans	10 ans	50 ans	100 ans
Précipitations en mm	770	820	970	1430	1580	1630

2.1.1.2 - Les données mensuelles et saisonnières

2.1.1.2.1. Les données mensuelles

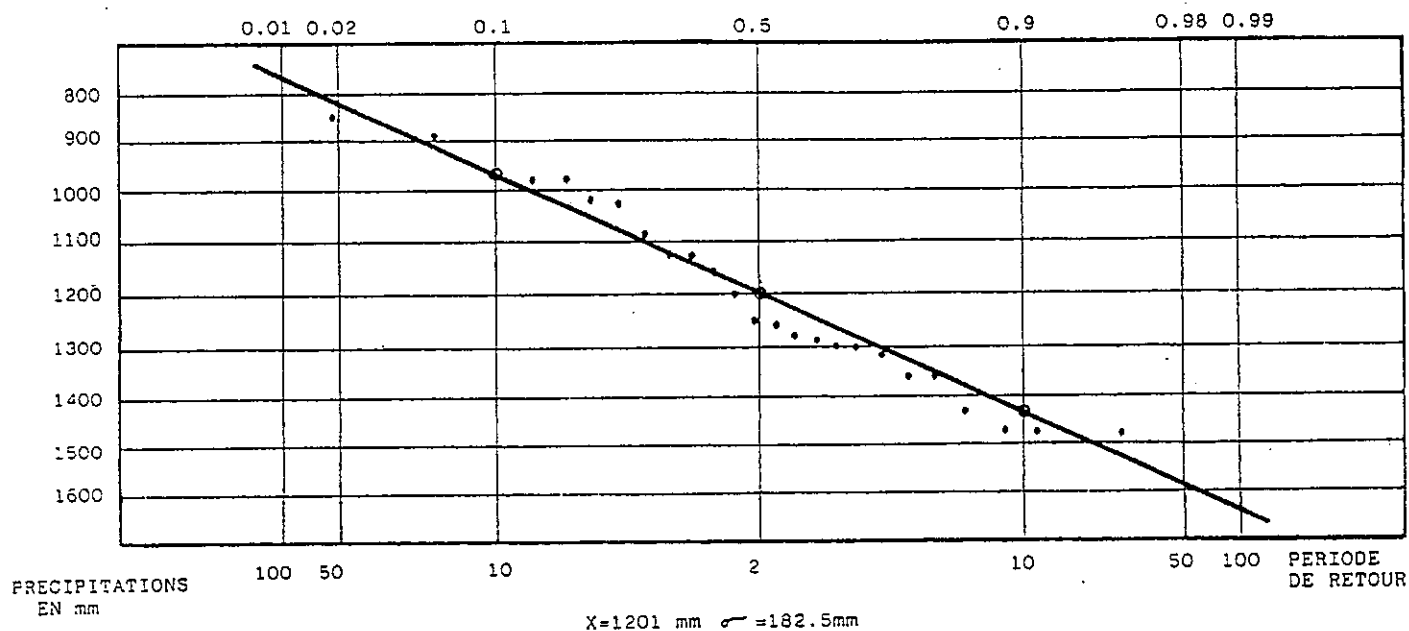
Le tableau (FIG.24) donne les moyennes mensuelles ainsi que les valeurs de l'écart type correspondant, pour les stations de Yenne et de la Balme.

Tous les mois possèdent un coefficient de variation élevé traduisant le fort écart pluviométrique observé pour un même mois d'une année à l'autre.

2.1.1.2.2. Les données saisonnières

La répartition saisonnière des précipitations est calculée à partir des moyennes mensuelles.

Elle montre une faible prépondérance des précipitations au



(FIG.23) AJUSTEMENT A LA LOI NORMALE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES
STATION:LA BALME

Periode de reference:1962-1986

		JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	ANNEE	
LA BALME	MOYENNE (1962-1981)	97.8	96.4	115.2	82.5	99.9	100.9	86.3	99.3	114.4	100	113.4	100.7	1210	
	ECART TYPE (62 -81)	42.4	53	47.5	42.6	37.7	44.5	50.6	58.7	70.4	57.7	63.6	61.9	196	
	1985	VALEURS EN mm	122.1	78.3	127.4	71.2	133.5	151.9	50	85.8	20.7	4.7	75.1	63.4	984
		Différence en % avec la moyenne	+25	-19	+10	-14	+34	+50	-42	-14	-82	-95	-34	-37	-19
1986	VALEURS EN mm	157.7	78.9	58.6	157.2	120	62.8	72.9	90.5	59.6	78.3	67.1	122.7	1127	
	Différence en % avec la moyenne	+61	-19	-49	+90	+21	-38	-16	-9	-48	-22	-41	+22	-7	
YENNE	MOYENNE (1959-1983)	93.8	92.1	116.6	91.4	104.6	107.7	93	99.4	116.1	100.7	123.9	108.4	1250	
	ECART TYPE (59 -83)	42.6	54.8	42.6	53.1	59.2	47.5	57.4	49.2	77.6	58.4	56.9	58.2	199	
	1985	VALEURS EN mm	124.9	101.7	139	84.2	150.4	154.7	48.4	104.1	17.7	8.6	73.2	69.2	1076
		Différence en % avec la moyenne	+33	+10	+19	-8	+44	+43	-48	+4	-85	-92	-41	-36	-14
1986	VALEURS EN mm	154.6	83.6	84.2	155.6	134.3	56.5	76.5	125.4	92	77	92	126.5	1258	
	Différence en % avec la moyenne	+65	-28	-28	+70	+28	-48	-18	+26	-21	-24	-26	+17	+1	
CHAMPAG	1985	/	/	/	/	166.9	160.5	25.1	90.4	12.2	5.4	31.3	44.7	/	
	1986	148.5	56.4	60.2	154.4	107.2	33.8	70.6	103.6	57.2	50.4	73	109.6	1025	

(FIG.24) VALEURS DES PRECIPITATIONS EN 1985,1986 POUR LES STATIONS DE:LA BALME,YENNE,CHAMPAGNEUX
COMPARAISON AVEC LES MOYENNES

printemps et en automne pour les deux stations, ainsi qu'un déficit durant l'été.

	SAISON	PRINTEMPS	ETE	AUTOMNE	HIVER
	Mois	M.A.M.	J.J.A.	S.O.N.	D.J.F.
LA BALME	Précipitations en mm	297	286,5	327,7	294,9
	Pourcentage	24,6	22,8	27,1	24,5
YENNE	Précipitations en mm	312,6	300,1	340,7	294,9
	Pourcentage	25	24	27,3	23,6

L'indice saisonnier obtenu pour Yenne est : A.P. E.H.
pour la Balme : A.P. H.E.

Ces deux indices sont à comparer aux indices relevés :

- à Novalaise sur la période (1964-1984) : P.A.H.E.
(P. Lamy 1986)
- à Belley, période (1951-1980) A.H.E.P.
- à St Laurent du Pont, période (1951-1980) : E.A.P.H.
(F. Baudoin 1984)

Ces indices traduisent en fait pour cette région des faibles différences saisonnières qui ne permettent pas de distinguer nettement une saison humide et une saison sèche.

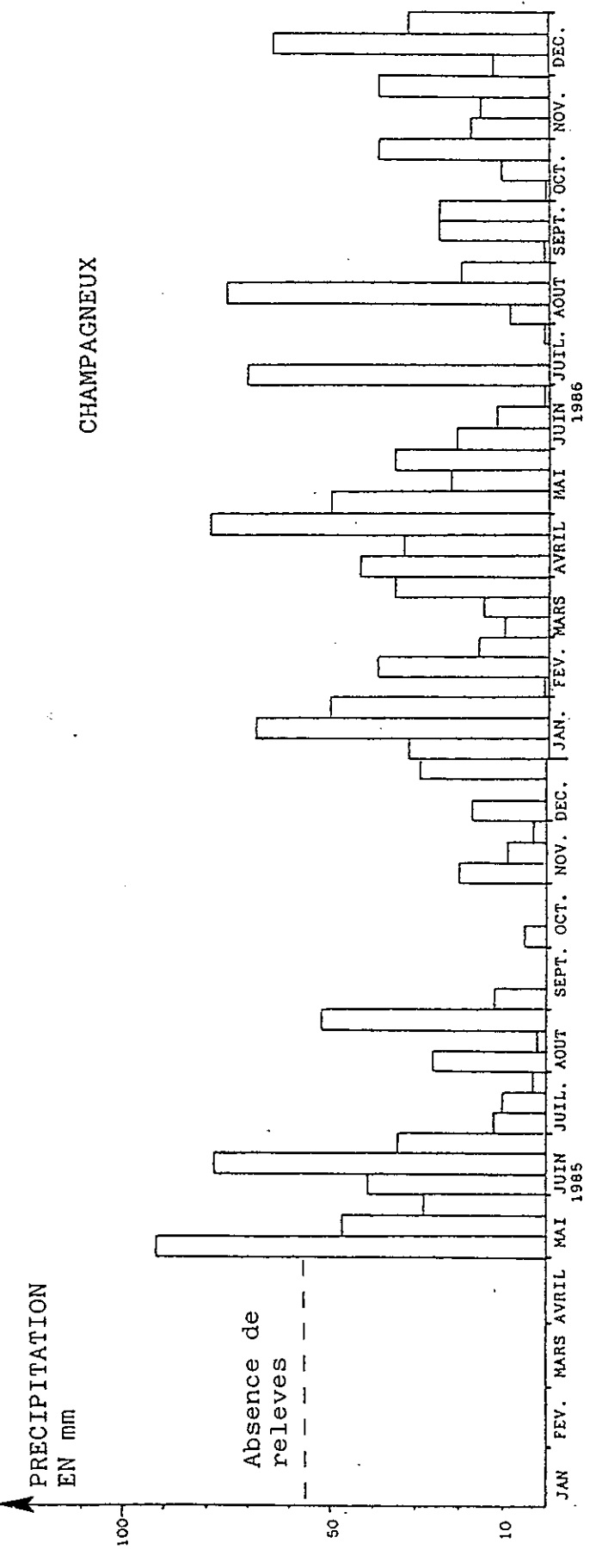
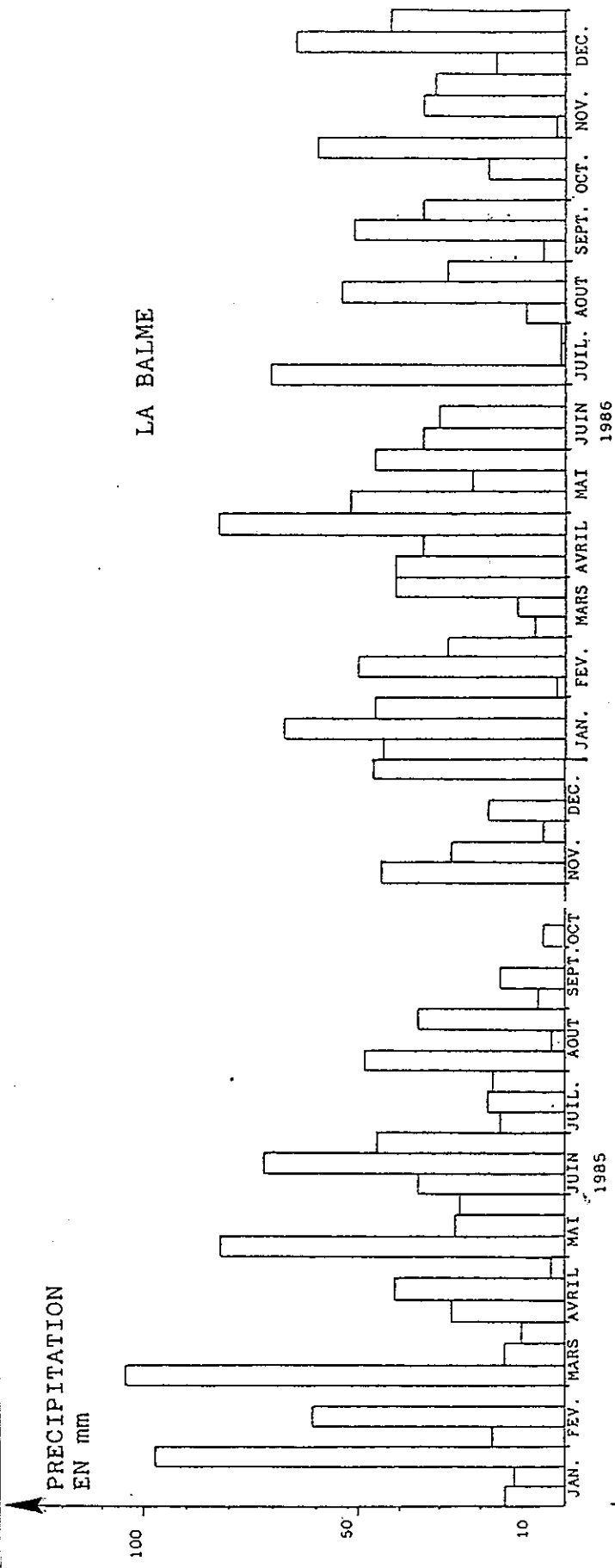
2.1.2. Etude de la période 1985-1986

2.1.2.1. Les données annuelles et mensuelles (tableau fig. 24)

L'année 1985 avec 984 mm de pluie à la Balme et 1076 à Yenne est une année déficitaire en raison des faibles précipitations durant le deuxième semestre, déficit non comblé par les excédents des mois de Mai et Juin.

L'année 1986 avec 1127 mm à la Balme et 1258 mm à Yenne est très proche de l'année moyenne (- 6 et + 1 %). Le déficit de l'automne ainsi que des mois de Mars et Juin ayant été compensé par les forts excédents des mois de Janvier et d'Avril.

Les automnes 85 et 86 ont été marqués par un déficit des précipitations très important en 1985 (- 70 %), plus faible en 1986,



(FIG.25) PRECIPITATIONS MOYENNES DECADAIRES 1985-1986

respectivement - 37 % et -23 % à la Balme et Yenne.

2.1.2.2. - Précipitation moyenne décadaire, maxima journaliers observés.

La figure n° 25 présente sous la forme de deux diagrammes les précipitations moyennes décadaires pour la Balme et Champagneux.

Le maximum journalier observé à la Balme fut de 39,9 mm le 5 Mars 1985 et de 44 mm le 7 Juillet 1986. Les averses d'orage provoquent de fortes pluies dans des temps très courts : 25 mm recueillis en 20 minutes le 16 Juin 1986 en fin d'après midi.

2.1.2.3. - Intensité et Fréquence des précipitations

Sur la figure n° 26 nous avons représenté pour 1985 et 1986 l'évolution des coefficients suivants :

$$\text{Coefficient de fréquence} = \frac{\text{nombre de jours de précipitations}}{\text{nombre de jours dans le mois.}}$$

$$\text{Coefficient d'intensité} = \frac{\text{valeurs des précipitations mensuelles}}{\text{nombre de jours de précipitations.}}$$

Les trois stations concernées suivent dans l'ensemble la même évolution pour leurs coefficients, seule exception bien marquée : la forte valeur du coefficient d'intensité en Mai 1986 pour la station de Yenne qui s'écarte de l'évolution des autres stations. Cette différence est provoquée par un faible nombre de jours de précipitations à Yenne : 9 jours au lieu de 17 et 18 pour respectivement La Balme et Champagneux :

Le mois de Juillet 1986 possède un fort coefficient d'intensité associé à un faible coefficient de fréquence : Celà est du au passage rapide d'une vigoureuse perturbation orageuse le 6 et 7 qui engendra les seules pluies importantes du mois de Juillet (71 mm à la Balme et Champagneux, 74 mm pour Yenne).

2.1.2.4. - La Neige

Nous avons installé sur le Massif du Mont Tournier pour l'hiver 1985-1986 4 perches à neige à des altitudes variant entre 800 et 550 m.

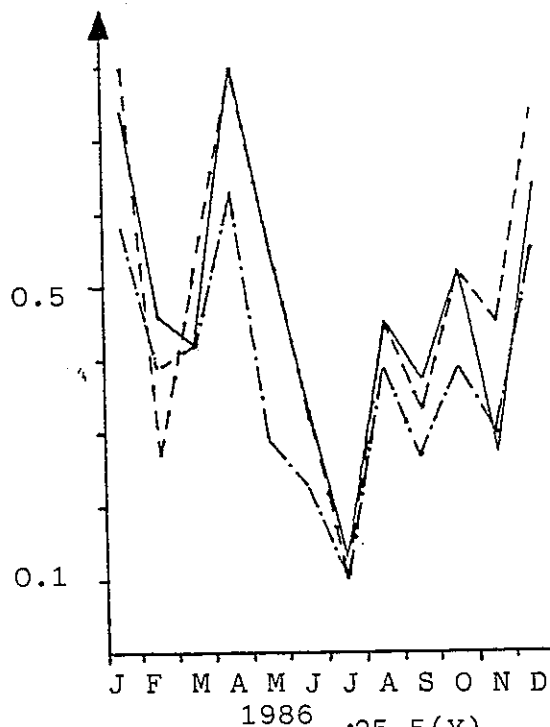
La hauteur de la neige totale couvrant le sol n'a jamais dépassée 40 cm pour le secteur le plus enneigé. Le manteau neigeux à disparu complètement sur tout le massif entre le 4 et le 18 Mars.

Sur la plaine, les chutes de neige se sont produites dès le mois de Novembre durant trois jours : le 14, 22 et 29 et se sont poursuivies durant 10 jours en Janvier et Février. Aucune précipitation neigeuse n'est signalée en décembre. L'hiver 84-85 a comporté 3 jours de neige, 5 pour 83-84 et 6 en 82-83.

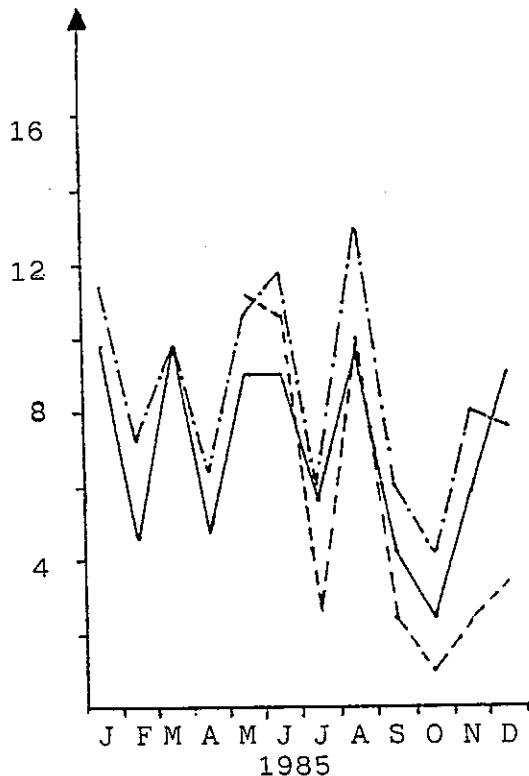
COEFFICIENT DE FREQUENCE



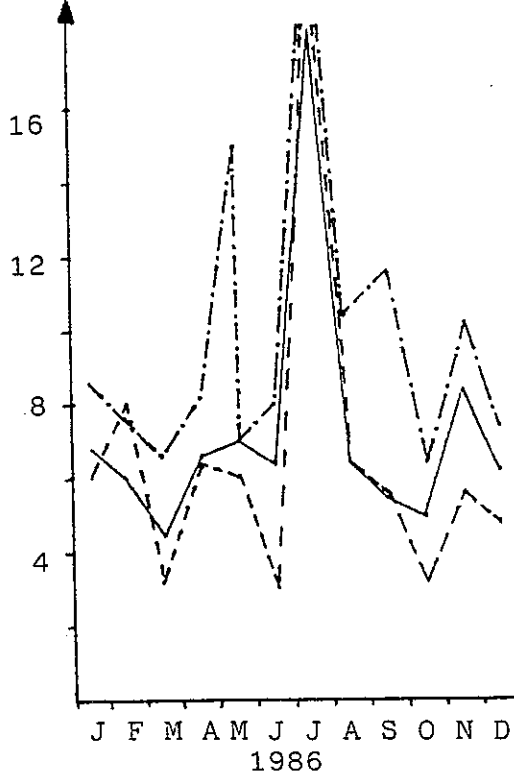
COEFFICIENT DE FREQUENCE



COEFFICIENT D'INTENSITE



COEFFICIENT D'INTENSITE



(FIG. 26) EVOLUTION MENSUELLE DE L'INTENSITE ET DE LA FREQUENCE DES PRECIPITATIONS

— LA BALME, - - - CHAMPAGNEUX, - · - · - YENNE

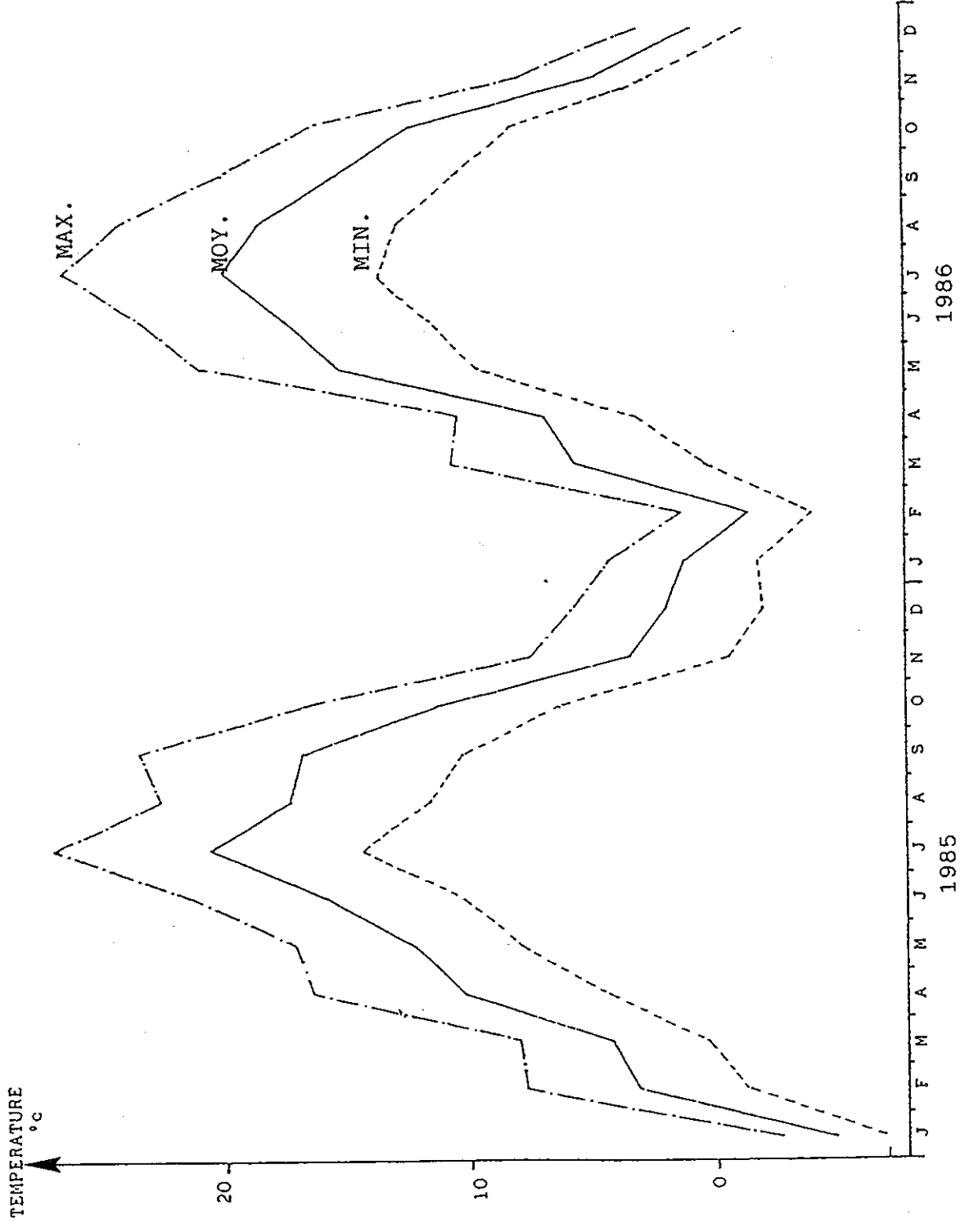
(FIG.27) TEMPERATURES MENSUELLES. LA BALME .1985

	MOYENNES MINIMALES Tn				MOYENNES MAXIMALES Tx				MOYENNES (Tn + Tx) / 2			
	DECA.1	DECA.2	DECA.3	MOIS	DECA.1	DECA.2	DECA.3	MOIS	DECA.1	DECA.2	DECA.3	MOIS
JANVIER	-11.6	-8.5	-1.5	-7.2	-6.6	-5.7	+4.5	-2.6	-9.1	-7.1	+1.5	-4.9
FEVRIER	+2	-3.15	-2.8	-1.3	+9.1	+1.8	+11.8	+7.6	+5.6	-0.7	+4.5	+3.1
MARS	+1.2	-1	+0.8	+0.3	+5.9	+6.5	+11.5	+8	+3.5	+2.7	+6.2	+4.1
AVRIL	+4.9	+3.7	+4.2	+4.3	+18	+15.2	+15.9	+16.4	+11.5	+9.5	+10	+10.3
MAI	+5.4	+8.5	+9.7	+7.9	+12.2	+17.8	+21.6	+17.2	+8.8	+13.2	+14.8	+12.3
JUIN	+11.6	+9.7	+9.7	+10.3	+21	+20.1	+22.4	+21.2	+16.3	+14.9	+16.1	+15.8
JUILLET	+14.6	+14.5	+14.1	+14.4	+26.1	+27.2	+27	+26.8	+20.4	+20.9	+20.6	+20.6
AOUT	+11	+11.7	+12.5	+11.7	+22.5	+24.4	+20.8	+22.6	+16.8	+18.1	+17.2	+17.4
SEPTEMBRE	+10.4	+9.8	+10.8	+10.3	+22.4	+22.5	+25.3	+23.4	+16.4	+16.2	+18.1	+16.9
OCTOBRE	+9.7	+6	+2.9	+6.2	+21	+15	+13.7	+16.6	+15.4	+10.5	+8.3	+11.4
NOVEMBRE	+3.7	-2.4	-3	-0.6	+10.8	+9	+2.5	+7.4	+7.3	+3.3	-0.9	+3.4
DECEMBRE	-1.2	-2.3	-2.2	-1.9	+7.1	+6.9	+3	+5.7	+3	+2.3	+0.4	+1.9
1985				+4.53				+14.19				+9.36

TEMPERATURES MENSUELLES (FIG.28)
1986 LA BALME

	MOYENNES MINIMALES Tn				MOYENNES MAXIMALES Tx				MOYENNES (Tn + Tx) / 2			
	DECA.1	DECA.2	DECA.3	MOIS	DECA.1	DECA.2	DECA.3	MOIS	DECA.1	DECA.2	DECA.3	MOIS
JANVIER	-2.7	-0.7	-1.9	-1.8	3.9	4.3	4.3	4.2	0.6	1.8	1.2	1.2
FEVRIER	-4.2	-3.9	-3.9	-4	0.5	1.4	1.9	1.3	-1.9	-1.3	-1	-1.4
MARS	-1.4	0	2.2	0.3	8.4	12.8	11	10.7	3.5	6.4	6.6	5.5
AVRIL	3.2	1.3	5.1	3.2	10	9.7	11.5	10.4	6.6	5.5	8.3	6.8
MAI	7.3	11.2	10.2	9.6	19.1	23.1	20.3	20.8	13.2	17.2	15.3	15.2
JUIN	7.3	12.5	15	11.6	17.9	22.3	29.7	23.3	12.6	17.4	22.4	17.5
JUILLET	14.2	12.4	14.1	13.6	26.4	24.5	28.3	26.4	20.3	18.5	21.2	20
AOUT	15.7	13.4	9.2	12.8	28.4	24.4	19.4	24.1	22.1	18.9	14.3	18.5
SEPTEMBRE	8.5	12.5	10.5	10.5	21.3	21.8	16.9	20	14.9	17.2	13.7	15.3
OCTOBRE	9.5	10.5	4.6	8.2	19.6	17.7	12	16.4	14.6	14.1	8.3	12.3
NOVEMBRE	1.7	1.9	0.5	1.4	6.2	9.7	7.4	7.8	4	5.8	4	4.6
DECEMBRE	-1.3	0.3	-2.5	-1.3	2.9	4.7	1.2	2.9	0.6	2.5	-0.7	0.8
1986				5.34				14.03				9.69

(FIG. 29) TEMPERATURES MENSUELLES MOYENNES
MINIMALES ET MAXIMALES EN 1985
ET 1986 . LA BALME



2.2. Les Températures

2.2.1. Etude des données antérieures

L'Avant Pays Savoyard n'est malheureusement plus équipé de postes météorologiques complets. Entre 1935 et 1954 des relevés thermométriques journaliers ont été réalisés à la station de Yenne, les valeurs obtenues sont les suivantes :

	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Année
Température en ° Celcius	1,0	10,5	19	10,5	10,2

2.2.2. Etude de la période 1985-1986

Les valeurs maxima et minima relevées journalièrement à la Balme permettent de définir la température moyenne annuelle. Elle est égale en 1985 à 9,4°C et à 9,7°C en 1986. (FIG, n°27 et 28)

Les températures moyennes saisonnières sont :

		Hiver	Printemps	Eté	Automne	Année
Température en °Celcius	1985	0	8,9	17,9	10,6	9,4
	1986	0,2	9,2	18,7	10,7	9,7

L'année 1985 a été nettement plus contrastée que 1986 : l'amplitude des températures mensuelles moyennes est de 25,5 ° c pour 1985 et de 18,8° pour l'année 1986, en raison d'un mois de janvier 1985 particulièrement froid. (FIG, n° 29)

En effet si 1985 compte le même nombre de jour de gel que 1986 (respectivement 106 et 105), le froid y fut plus intense :

- * 15 jours dont 14 en janvier avec une température minimale inférieure à -10 °c
- * 38 jours dont 17 en Janvier où la température n'a jamais dépassée 0°C.

Les températures sont cependant restées clémentes sur une plus longue période en 1985 : 135 jours présentent une température maximale supérieure à 20 °c, d'avril à Octobre ce qui n'empêche pas l'apparition de gelées matinales pour ces deux mois. (FIG. 30 et 31)

Notons pour l'année 1986 les 11 jours de fortes chaleurs où la température maximale s'est élevée au dessus de 30 ° c dont un maximum de 33° c relevé le 3 août (FIG. 32 et 33).

Le minimum de - 18°5 c obtenu le 7 janvier 1985 est à rapprocher des minima de - 25 °c, - 19°C et - 19°5 relevés le même jour respectivement à Novalaise, Voglans et Chindrieux (FIG. 32 et 33).

TEMPERATURES (FIG 31)
LA BALME 1986

	NOMBRE DE JOURS AVEC :									
	Tn ≤ -10	Tn ≤ -5	Tn ≤ 0	Tx ≤ 0	Tx ≥ +20	Tx ≥ +25	Tx ≥ +30			
JANVIER	0	5	24	4	0	0	0	0	0	0
FEVRIER	2	9	27	12	0	0	0	0	0	0
MARS	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0
AVRIL	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
MAI	0	0	0	0	19	7	0			
JUIN	0	0	0	0	21	17	4			
JUILLET	0	0	0	0	31	22	5			
AOUT	0	0	0	0	23	14	2			
SEPTEMBRE	0	0	0	0	15	4	0			
OCTOBRE	0	0	2	0	6	0	0			
NOVEMBRE	0	0	11	0	0	0	0			
DECEMBRE	0	4	21	4	0	0	0			
1986	2	18	105	20	115	64	11			

Tn : TEMPERATURE MINIMALE
Tx : TEMPERATURE MAXIMALE

TEMPERATURES (FIG 30)
LA BALME 1985

	NOMBRE DE JOURS AVEC :									
	Tn ≤ -10	Tn ≤ -5	Tn ≤ 0	Tx ≤ 0	Tx ≥ +20	Tx ≥ +25	Tx ≥ +30			
JANVIER	14	16	29	17	0	0	0	0	0	0
FEVRIER	1	5	17	3	0	0	0	0	0	0
MARS	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
AVRIL	0	0	2	0	9	0	0	0	0	0
MAI	0	0	0	0	14	3	0			
JUIN	0	0	0	0	21	8	0			
JUILLET	0	0	0	0	30	26	5			
AOUT	0	0	0	0	26	17	1			
SEPTEMBRE	0	0	0	0	26	9	0			
OCTOBRE	0	0	1	0	9	4	0			
NOVEMBRE	0	1	21	11	0	0	0			
DECEMBRE	0	3	26	7	0	0	0			
1985	15	25	106	38	135	67	6			

Tn : TEMPERATURE MINIMALE
Tx : TEMPERATURE MAXIMALE

(FIG. 32) VALEURS EXTREMES DES TEMPERATURES
1985. LA BALME

DU MOIS DE	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
MINI	-18.8	-10	-4	-1	3.5	4	10	7	7	-1	-6.8	-6
DATE	7	20	19	29	3	9	22	8	17	30	28	22
MAXI	8	13	16	22.5	26.5	27.5	31.5	30	26.2	28.5	15	13
DATE	23	3	31	3	31	30	26	14	22	22	9	5

(FIG. 33) VALEURS EXTREMES DES TEMPERATURES
1986. LA BALME

DU MOIS DE	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
MINI	-6.8	-12.9	-4	-4.2	5	3	10	5.2	6	-0.2	-2.5	-6.8
DATE	1	10	4	13	31	1	21	31	1	28	30	24
MAXI	9.5	8.5	16.2	18.5	27	32.4	32.3	33	26.5	23	12.5	9
DATE	23	16	27	21	26	28	3	3	16	4	16	18

2.3. L'Insolation

Les seules valeurs d'insolation que nous possédons sont celles de la station de Voglans (altitude 235 m) pour la période 1974-1986 dont les résultats figurent dans le tableau ci-dessous.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1985	INSOLATION	56	92	111	206	166	246	307	279	256	183	46	63	2011
	Différence en % avec la moy.	-30	-14	-15	-17	-10	5	13	20	38	56	-47	-3	+6
1986	INSOLATION	59	51	141	86	225	270	323	236	195	140	121	69	1916
	Différence en % avec la moy.	-27	-45	9	-52	28	14	19	0	6	20	39	0	+1
MOYENNE (1974-1984)		80	93	129	180	176	236	271	237	183	117	87	69	1984

TABLEAU DES VALEURS D'INSOLATION-ANNEE 1985, 1986. Exprimées en heures
Comparaison avec les moyennes.

L'ensoleillement annuel sur la plaine du Rhône doit être légèrement inférieur à celui de Voglans en raison de brouillards présents plus souvent à l'Ouest de la chaîne de l'Épine-Mont du Chat. Ce phénomène fut bien marqué en automne 1986.

La station de Voglans malgré des différences importantes pour certains mois avec les valeurs moyennes mensuelles, présente un nombre d'heures d'ensoleillement pour les années 1985 et 1986 proche de la moyenne annuelle.

2.4. L'Évapotranspiration

Elle représente les phénomènes d'évaporation se produisant au niveau des sols ainsi que ceux dus à l'activité biologique des végétaux (transpiration).

L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) est celle qui se produirait s'il y avait toujours de l'eau disponible alors que l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) est la quantité d'eau effectivement évaporée.

2.4.1. - Évapotranspiration réelle

L'estimation de la lame d'eau évapotranspirée nous est donnée par différentes formules ou diagrammes établis à l'échelle annuelle.

2.4.1.1. - Formule de L. TURC

$$E.T.R. = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25T + 0.05 T^3$$

E.T.R.: exprimée en mm

P : Précipitations annuelles en mm

T : Temperature moyenne annuelle en °c.

Son application aux valeurs des Années 1985 et 1986 donne :

- E T R 1985 : 503 mm

- E T R 1986 : 527 mm

2.4.1.2. - Formule de Coutagne (1 formule)

$$E.T.R. = P - \lambda P^2$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 T}$$

T: Temperature moyenne annuelle en °c.

P: Précipitations annuelles en m.

E.T.R.: exprimée en m.

$$\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$$

. Les 984 mm de pluie obtenus en 1985 à la Balme appartiennent au domaine de validité de la formule de Coutagne:

(260 \leq P 1985 \leq 1060). Son application donne :

$$E T R = 525 \text{ mm}$$

. Bien que les précipitations observées en 1986 (P 1986 = 1128 mm) dépassent la limite supérieure de validité de la formule donnée par l'auteur (P 1986 $>$ 1080 mm) son application permet d'obtenir pour valeur de l'E.T.R.

$$E.T.R. = 528 \text{ mm}$$

2.4.1.3. - Diagramme de Wundt

Ce diagramme donne le déficit d'écoulement que l'on peut assimiler à l'E.T.R.

Le report des valeurs de précipitations et de températures permet d'obtenir :

- pour 1985 D = 520 mm

- pour 1986 D = 560 mm

2.4.2. - Evapotranspiration potentielle (E.T.P.)

Les valeurs d'E.T.R. peuvent être aussi appréhendées par passage au calcul de L'E.T.P. sur 1 pas de temps mensuel.

Calcul E.T.P. par :
* 2421 Formule de Turc

$$E.T.P. = 0,40 \frac{t}{(t + 15)} (IG + 50)$$

$$\text{Avec } IG : IG_A \cdot (0,18 + 0,62 \frac{h}{H})$$

Dans laquelle :

h : durée mensuelle d'insolation en heures par mois

H : durée astronomique mensuelle de l'insolation pour la latitude considérée

IG_A : énergie de la radiation solaire atteignant le sol, sans atmosphère, exprimée en cal/cm²/j.

t : température moyenne mensuelle en degré Celcius.

L'application de cette formule pour les années 1985 et 1986 donne les résultats affichés dans le tableau ci-dessous :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
IG_A	293	427	617	798	932	984	948	829	659	470	318	251
H	283	290	370	405	483	469	473	433	376	340	286	272
IG 1985	88,7	160,8	225,8	395,3	374,9	497,1	552	480	396,8	241	89	81,2
E.T.P. 1985	0	14,4	23,7	72,5	76,6	112,3	139,3	113,9	94,7	50,3	10,2	5,9
IG 1986	90,6	123,4	256,8	248,7	448,6	528,3	572	429,4	330,5	204,6	140,7	847
E.T.P. 1986	4,2	0	32,9	37,3	100,4	124,6	142,2	105,9	76,9	45,9	11,9	2,7

* 2422 Formule de Thornthwaite

$$E.T.P. = 16 \left(10 \cdot \frac{t}{T} \right)^a \quad \text{avec } I = \sum_{i=1}^{12} i \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

$$\text{et } a = 0.49239 + 1792 \cdot 10^{-5} I - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 675 \cdot 10^{-9} I^3$$

t = température moyenne mensuelle exprimée en °c.

L'évapotranspiration, pour chaque mois, est ajusté à l'aide d'un facteur de correction K qui est fonction de la latitude du lieu et du mois, obtenu d'après la table de Brochet et Gerbier (1968).

Les résultats sont établis dans le tableau ci-dessous :

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
K		0,8	0,81	1,02	1,13	1,28	1,29	1,31	1,21	1,04	0,94	0,79	0,75
1985	t° moy. en ° c	4,9	3,1	4,1	10,3	12,3	15,8	20,6	17,4	16,9	11,4	3,4	1,9
	i	-	0,49	0,74	2,99	3,91	5,71	8,53	6,61	3,32	1,51	0,56	0,23
	E.T.P.	0	12,7	18,0	47,4	57,1	74,2	58,1	82,2	79,7	52,7	14,8	8,0
	E.T.P. corrigée	0	10,3	18,4	53,6	73,1	95,7	128,5	99,5	82,9	49,5	11,7	6,0
1986	t° moy. en ° c	1,2	-1,4	5,5	6,8	15,2	17,5	20	18,5	15,3	12,3	4,6	0,8
	i	0,12	-	1,16	1,59	5,38	6,66	8,16	7,25	5,44	3,91	0,88	0,06
	E.T.P.	3,9	0	22,7	28,9	72,5	85,2	99,3	90,8	73,1	56,9	18,5	2,5
	E.T.P. corrigée	3,2	0	23,1	32,6	92,9	110,0	130,1	100,9	76,0	53,5	14,6	1,9

2.4.3. Le Bilan Hydrique selon C.W Thornthwaite

Le bilan hydrique de Thornthwaite permet de connaître l'E.T.R. ainsi que la quantité d'eau mensuelle disponible pour le ruissellement et l'infiltration en fonction des précipitations et de l'E.T.P.

Le calcul nécessite de connaître la valeur de la réserve d'eau stockée dans le sol, disponible pour la végétation en complément ou en l'absence de précipitations.

Pour l'auteur, la quantité d'eau retenue dans les sols limoneux et fins, tels ceux de la plaine du Rhône, équivaut à une lame d'eau de 100 mm.

Deux cas peuvent se présenter :

1) $P > E.T.P.$, alors $E.T.R. = E.T.P.$. Le surplus de précipitations allant reconstituer les réserves du sol jusqu'à sa saturation. Celle-ci réalisée, ruissellements et infiltrations pourront intervenir pour évacuer l'excédent encore disponible.

2) $P < E.T.P.$, alors E.T.R. pourra être égale à E.T.P. si les réserves du sol permettent de combler la différence entre E.T.P. et P; les réserves épuisées $E.T.R. = P$.

Les figures 34 et 35 donnent les valeurs détaillées de l'E.T.R. pour 1985 et 1986 en fonction des deux formules utilisées pour le calcul de l'E.T.P.

		JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AGUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	ANNEE
PRECIPITATIONS		122	78	127	71	134	152	50	86	21	5	75	63	984
TURC (A)	E.T.P.	0	14	24	73	77	112	140	114	95	50	10	6	715
	RESERVES	100	100	100	98	100	100	10	0	0	0	65	100	
	E.T.R.	0	14	24	73	77	112	140	96	21	5	10	6	578
	EXCEDENT	122	64	103	0	55	40	0	0	0	0	0	22	406
THORNTWALTE (B)	E.T.P.	0	10	18	54	73	96	129	100	83	50	12	6	631
	RESERVES	100	100	100	100	100	100	21	7	0	0	63	100	
	E.T.R.	0	10	18	54	73	96	129	100	28	5	12	6	531
	EXCEDENT	122	68	109	17	61	56	0	0	0	0	0	20	453

$$A: E.T.P. = 0.4 \left(IG - 50 \right) \frac{t}{t-15}$$

$$B: E.T.P. = 16 \left(10 \frac{t}{I} \right)^{0.8} K$$

Valeurs exprimees en mm

(FIG. 34) BILAN HYDROLOGIQUE DE THORNTWALTE POUR LA PLAINE DU RHONE - 1985 -
 Temperatures et precipitations : LA BALME
 Insolation: VOGLANS

		JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AGUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	ANNEE
PRECIPITATIONS		158	79	59	157	120	63	73	91	60	78	67	123	1128
TURC (A)	E. T. P.	4	0	33	37	100	125	142	106	77	46	12	3	685
	RESERVES	100	100	100	100	100	38	0	0	0	32	87	100	
	E.T.R.	4	0	33	37	100	125	111	91	60	46	12	3	622
	EXCEDENT	154	79	26	120	20	0	0	0	0	0	0	107	506
THORNTWALTE (B)	E.T.P.	3	0	23	33	93	110	130	110	76	54	15	2	649
	RESERVES	100	100	100	100	100	53	0	0	0	24	76	100	
	E.T.R.	3	0	23	33	93	110	126	91	60	54	15	2	610
	EXCEDENT	155	79	36	124	27	0	0	0	0	0	0	97	518

$$A: E.T.P. = 0.4 \left(IG + 50 \right) \frac{t}{t-15}$$

$$B: E.T.P. = 16 \left(10 \frac{t}{I} \right)^{0.8} K$$

Valeurs exprimees en mm

(FIG. 35) BILAN HYDROLOGIQUE DE THORNTWALTE POUR LA PLAINE DU RHONE - 1986 -
 Temperatures et precipitations : LA BALME
 Insolation: VOGLANS

Le diagramme figure n° 36 représente le bilan de l'eau pour 1985 et 1986 (L'E.T.R. est déduite de l'E.T.P. obtenu par la formule de L.TURC)

2.4.4. Comparaison des résultats de l'E.T.R. obtenus par les différentes méthodes.

2.4.4.1. Les Résultats.

* pour l'année 1985 nous obtenons:

E.T.R. en mm (%)	Auteurs	Pas de temps des calculs
503 (51 %)	L. TURC	Annuel
525 (53 %)	M. COUTAGNE	Annuel
520 (53 %)	WUNDT	Annuel
578 (59 %)	TURC	Mensuel
531 (54 %)	THORNTHWAITE bilan de Thornthwaite	Mensuel

Ce qui représente entre 51 et 59 % des précipitations affectées à l'E.T.R..

* pour l'année 1986 les résultats sont les suivants :

E.T.R. en mm (%)	Auteurs	Pas de temps des calculs
527 (47 %)	L. TURC	Annuel
formule non applicable (528) (47 %)	M. COUTAGNE	Annuel
560 (50 %)	WUNDT	Annuel
622 (55 %)	TURC	Mensuel
610 (54 %)	THORNTHWAITE) bilan de Thornthwaite	Mensuel

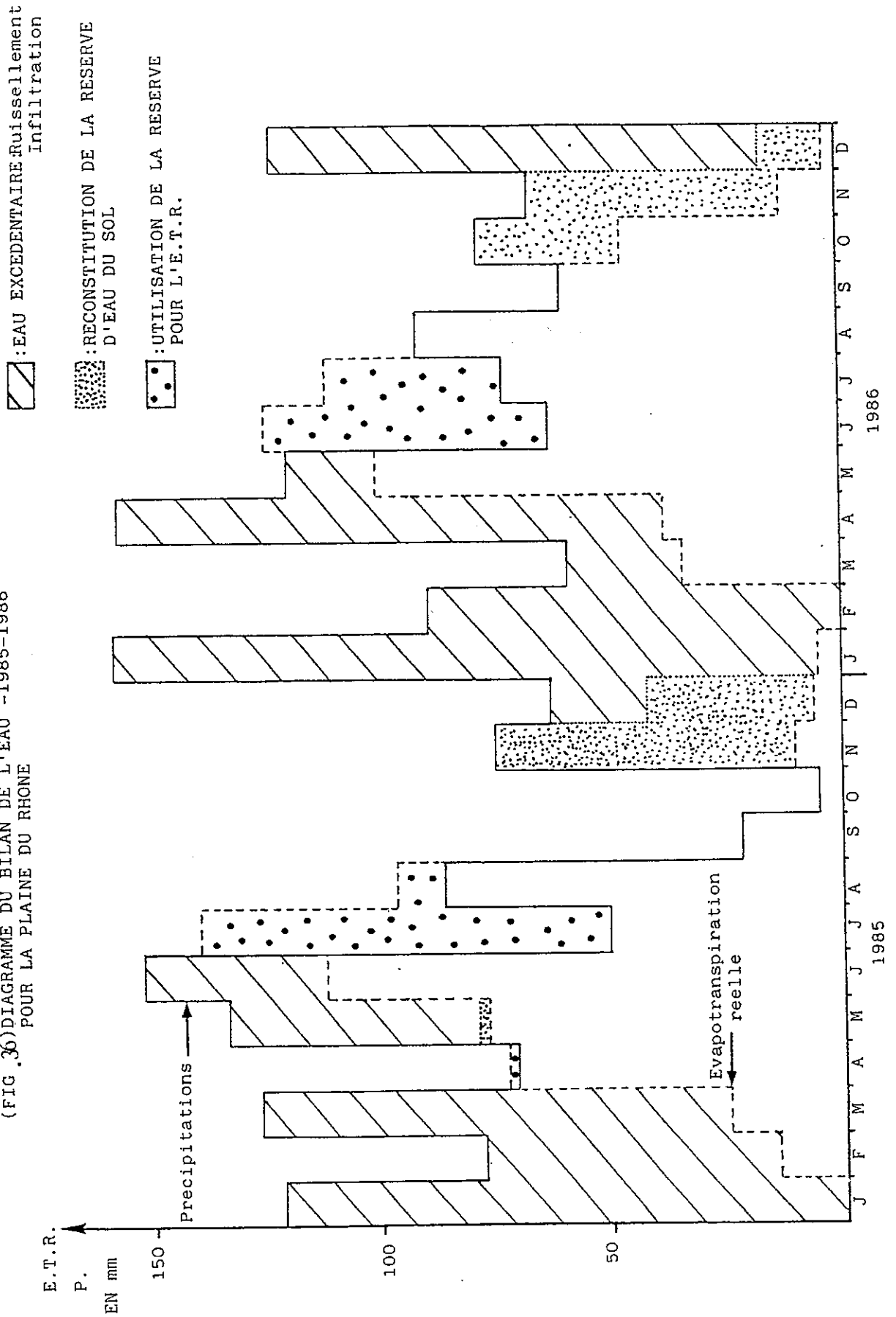
L'évapotranspiration utilise entre 47 et 55 % des précipitations de l'année 1986.

2.4.4.2 - Critiques des résultats.

Les méthodes utilisées permettent d'obtenir des résultats voisins : 8 % d'écart entre les valeurs extrêmes.

Les calculs effectués sur un raisonnement mensuel donnent les valeurs les plus fortes.

(FIG. 36) DIAGRAMME DU BILAN DE L'EAU - 1985-1986
 POUR LA PLAINE DU RHONE



2.4.5. - Conclusions (FIG.36)

La demande en eau de l'évapotranspiration ces deux années a provoqué durant l'été l'épuisement des réserves du sol qui ne peuvent pas totalement compenser la faiblesse des précipitations estivales. Ces réserves se sont reconstituées à la fin de l'automne.

. Seules les précipitations hivernales et printanières sont excédentaires.

Dans ces conditions, un peu moins de la moitié des précipitations (44 % en 85, 45 % en 86) sont disponibles pour, principalement l'alimentation de la nappe. (Le ruissellement joue un rôle très faible sur la plaine du Rhône.).

3-ETUDE CLIMATIQUE DU MONT TOURNIER

3.1 - Précipitations et températures.

A partir des relevés de précipitations et de températures effectués à la station de la Météorologie Nationale de Novalaise (altitude 445m) nous avons établi les valeurs des gradients de précipitations et de températures entre la plaine du Rhône (La Balme ou Yenne) et Novalaise.

Nous avons calculé ensuite les valeurs des précipitations et des températures pour une altitude de 600 m représentant l'altitude moyenne des affleurements karstiques sur le massif du mont Tournier.

3.1.1. - Les Précipitations

Un bilan sur 25 années de 1959 à 1983 nous donne un gradient moyen entre Yenne et Novalaise de 73 mm pour 100 m d'altitude (FIG.37). Cette valeur est comparable aux 85 mm/100 m obtenue par G. NICLOUD sur les Bauges et aux 79 mm /100 m observés sur la Chaîne de l'Épine par P. LAMY.

En 1986, le gradient annuel s'établit à 44 mm/ 100 m (FIG.38) Les mois à forte valeur de précipitations (supérieures à 100 mm pour Yenne) possèdent toujours un gradient positif. Alors que les valeurs mensuelles de précipitations faibles s'accompagnent d'un gradient négatif ou proche de zéro.

L'extrapolation de ces gradients permet de déterminer la valeur annuelle des précipitations à l'altitude de 600 m : $P_{600} = 1420$ mm.

3.1.2. - Les Températures

Les 215 mètres de dénivellé entre la Balme et Novalaise provoquent de faibles différences de températures entre ces deux stations (FIG.38)

En 1986, cinq mois possèdent des gradients positifs dont les mois de Novembre et de Décembre où les températures sont supérieures de plus d'1 degré à Novalaise sur celles observées à la Balme. La présence abondante de brouillards à cette période sur la plaine du Rhône a provoqué ce

PRECIPITATIONS ANNUELLES				
ANNEE	NOVALAISE	YENNE	$P_N - P_Y$	GRADIENT POUR 100 m
1959	1420	1261	159	74
1960	1942	1749	193	90
1961	1458	1096	360	168
1962	1073	893	180	84
1963	1427	1365	62	29
1964	967	858	109	51
1965	1832	1553	279	130
1966	1566	1288	278	129
1967	1220	1180	40	19
1968	1652	1477	175	81
1969	1208	1113	95	44
1970	1573	1370	203	94
1971	1128	1031	97	45
1972	1081	976	105	49
1973	1230	920	310	144
1974	1404	1246	158	73
1975	1499	1310	189	88
1976	1095	984	111	52
1977	1647	1469	178	83
1978	1368	1177	191	89
1979	1491	1394	97	45
1980	1621	1483	138	64
1981	1368	1379	-11	-5
1982	1326	1337	-11	-5
1983	1630	1395	235	109
VALEURS EXPRIMEES EN mm				73

(FIG.37) VALEURS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES
STATIONS:NOVALAISE.YENNE .BILAN SUR 25 ANS

phénomène d'inversion de températures.

Pour ces cinq mois, nous avons utilisé le gradient négatif moyen établi sur le reste de l'année, le gradient annuel ressort à :
- 0,22 °c/100 mm

Ce gradient est faible par rapport aux valeurs données par :

- BERGERET,	Nord Chartreuse	: - 0,43 °c/100m
- SIWERTZ,	Thonon	: - 0,45 °c/100m
- NICLOUD,	Bauges	: - 0,52 °c/100m
- ANGOT	Europe Occidentale	: - 0,55 °c/100m

Cependant pour une altitude de 600 m, la différence dans le calcul des températures mensuelles n'excède pas suivant les gradients employés 0,6°c.

La température moyenne annuelle varie entre 9,3°c (gradient Novalaise-La Balme) et 8,8°c (formule d'Angot).

3.2. - L'Evapotranspiration

Nous avons employé les formules utilisées précédemment pour la Plaine du Rhône. L'évapotranspiration réelle est calculée soit par diagramme ou formules, soit par l'intermédiaire de l'Evapotranspiration Potentielle et la méthode du bilan de THORNTHWAITE.

3.2.1. - Evapotranspiration réelle

* Formule de Turc

$$ETR_T = \begin{matrix} 536 \text{ mm pour une température annuelle de } 9,3^\circ\text{c} \\ 520 \text{ mm pour une température annuelle de } 8,8^\circ\text{c} \end{matrix}$$

* Formule de Coutagne

Les précipitations annuelles calculées à 600 m (P = 1420 mm) dépassent fortement, de plus de 45 %, la limite supérieure de validité de la formule.

Son application donne néanmoins :

$$ETR_c = \begin{matrix} 462 \text{ mm (température annuelle de } 9,3^\circ\text{c avec la} \\ \text{limite supérieure } P = 1052\text{mm).} \\ 428 \text{ mm (température annuelle de } 8,8^\circ\text{c avec la} \\ \text{limite supérieure } P = 1016\text{mm).} \end{matrix}$$

* Diagramme de WUNDT

$$ETR_w = 540 \text{ mm}$$

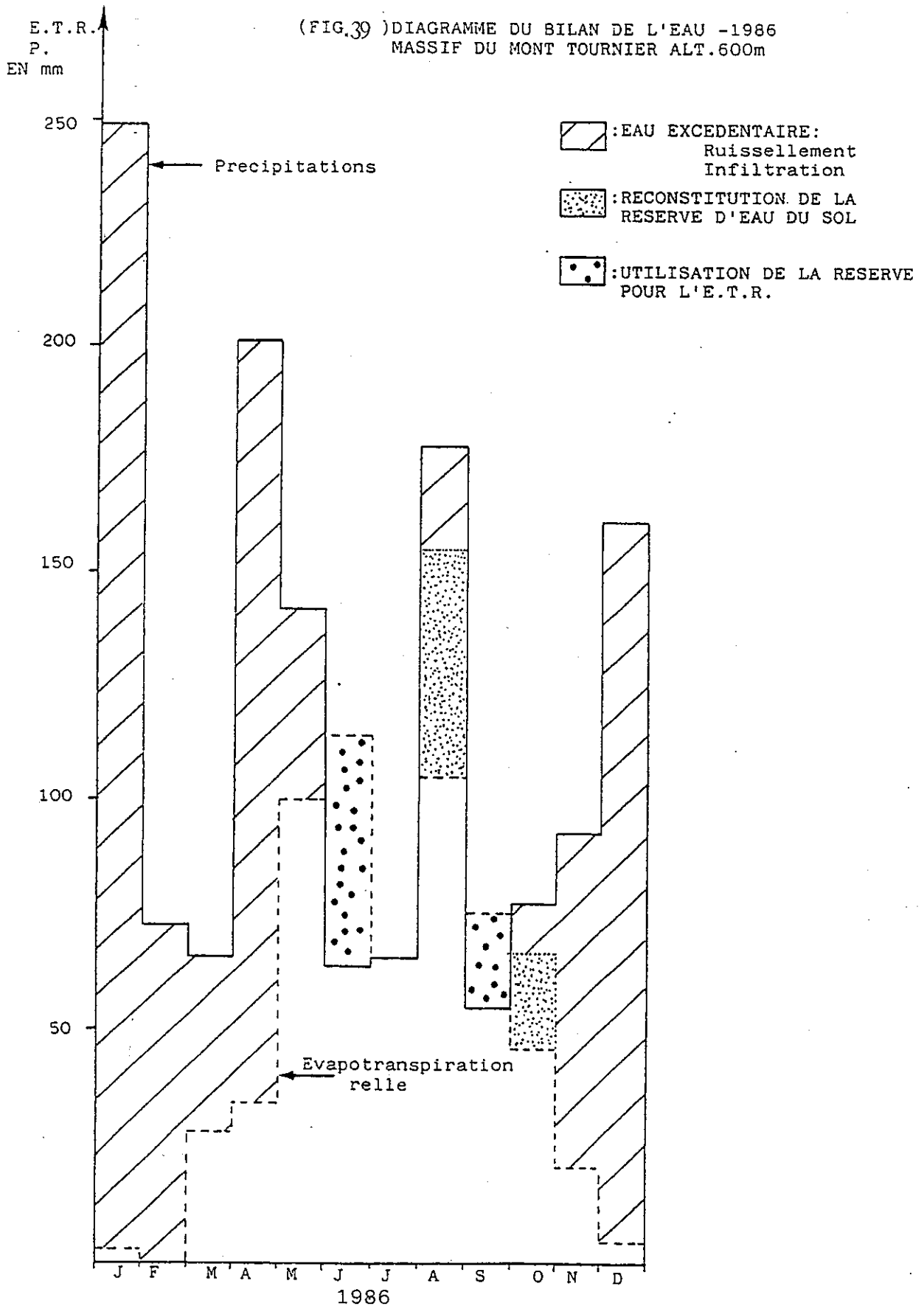
3.2.2. - Evapotranspiration Potentielle (cf tableau FIG.38)

La formule de Turc à pas de temps mensuel ayant donnée la valeur d'E.T.P. la plus forte lors de l'étude de la plaine du Rhône, nous l'avons choisi pour le massif du Mont Tournier afin d'obtenir la

	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	ANNEE
PRECIPITATIONS													
YENNE alt:230m	155	84	84	156	134	57	72	125	92	77	92	127	1258
NOVALAISE alt:445m	210	77	74	182	139	61	68	156	71	77	92	147	1353
$\Delta P(PN-PY)$	55	-7	-10	26	5	4	-4	31	-21	0	0	20	95
Gradient pour 100m	25.6	-2.9	-5	12.7	2	1.9	-1.4	14.3	-9.9	0	0	9.3	44
Calculee alt. 600m	249	73	66	201	142	64	66	178	55	78	93	161	1420
LA BALME alt:220m	1.2	-1.4	5.5	6.8	15.2	17.5	20	18.5	15.3	12.3	4.6	0.8	9.69
NOVALAISE alt:445m	0.9	-2	4.9	6.3	15.5	17	19.1	18.4	15.2	12.6	5.8	1.9	9.63
$\Delta T(TN-TB)$	-0.3	-0.6	-0.6	-0.5	0.3	-0.5	-0.9	-0.1	0.1	0.3	1.2	1.1	0
Gradient pour 100m	-0.14	-0.28	-0.28	-0.23	(0.14)	-0.23	-0.4	-0.05	(0.05)	(0.14)	(5.6)	(5.1)	
Calculee alt. 600m	0.7	-2.4	4.5	5.9	15.2	16.6	18.5	18.3	14.9	12.3	5.5	1.6	9.3
E.T.P. (A)	3	0	28	34	100	122	142	105	76	46	21	5	682
RESERVES	50	50	50	50	50	0	0	50	29	50	50	50	
E.T.R.	3	0	28	34	100	114	66	105	76	46	21	5	598
EXCEDENT	246	73	38	167	42	0	0	23	0	21	72	156	822

A:E.T.P.=0.4(IG + 50) $\frac{t}{t+15}$ Valeurs exprimées en mm

(FIG.38) BILAN HYDROLOGIQUE DE THORNTHWAITE . MASSIF DU MONT TOURNIER . ALT.:600m . 1986



valeur maximale de l'E.T.R. après application dans le bilan de Thornthwaite.

$$E.T.R_T = 682 \text{ mm.}$$

3.2.3. - Bilan de Thornthwaite

L'auteur estime la réserve d'eau d'un sol calcaire équivalent à une lame d'eau de 50 mm.

Les résultats (FIG.38) permettent d'établir le diagramme du bilan de l'eau à l'altitude de 600 m (FIG.39).

$$E.T.R.B.T. = 598 \text{ mm.}$$

3.3. - Critique des résultats et conclusion

Les valeurs de l'évapotranspiration réelle sont supérieures à 500 mm sauf celles obtenues par la formule de Coutagne, ce qui démontre les difficultés de son emploi en dehors des valeurs limites de précipitations fixées par l'auteur.

En 1986 l'évapotranspiration utilise, selon le mode de calcul, 35 à 40 % des précipitations et laisse un excédent disponible pour le ruissellement et l'infiltration de l'ordre de 850 mm.

4 CONCLUSION ETUDE CLIMATIQUE

L'avant pays Savoyard reçoit en moyenne 1200 mm de pluie par an sur la plaine du Rhône provenant principalement de perturbations d'Ouest. Les précipitations annuelles se répartissent selon une loi normale.

Malgré une orientation Nord-Sud, le Massif du Mont Tournier ne semble pas provoquer en raison de sa faible altitude une modification de la répartition des précipitations selon ces versants.

Le gradient annuel moyen de précipitation établit sur 25 ans est de 73 mm pour 100 mètres.

* L'année 1985 se caractérise par un déficit des précipitations et une température moyenne annuelle faible en raison des minima observés en Janvier (amplitude de 25°C).

* 1986 est une année moyenne pour les précipitations sur la plaine du Rhône, elle présente un plus faible contraste des températures (amplitude de 18°,6°C). Son gradient annuel de précipitation est faible : 44 mm/100 mètres, il permet de calculer la valeur des précipitations reçues à 600 mètres d'altitude sur le Mont Tournier : $P_{600} = 1420 \text{ mm.}$

Pour le bassin Chambérien (station de Voglans) l'insolation durant la période d'étude reste proche de la valeur moyenne (1900 heures d'insolation par an). Cette valeur qui correspond à des mesures effectuées en fond de vallée, doit être augmentée pour des altitudes supérieures, en raison des brouillards qui en Novembre et décembre 1986 ont provoqué une inversion nette des gradients de température.

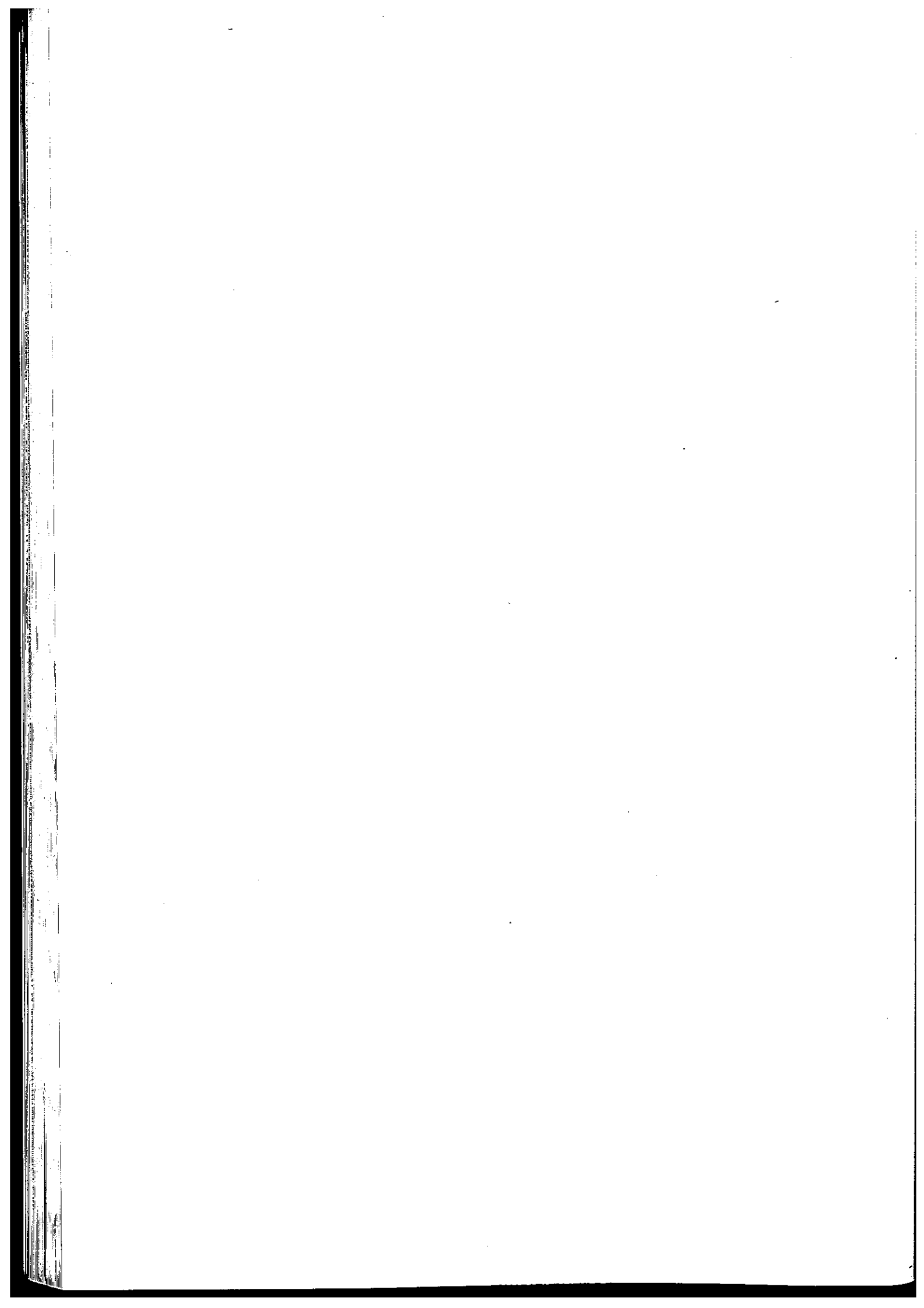
La faible différence d'altitude (225m) entre les stations de mesure provoque de faibles différences de températures, sensibles aux

incertitudes de mesures.

Les gradients de température observés en 1986 sont inférieurs de moitié aux gradients généralement admis. La présence de masses d'eau importantes (Plaine du Rhône, Lac d'Aiguebelette) pourrait être un facteur responsable de ces faibles gradients.

Durant ces deux années près de la moitié des précipitations ont eu la possibilité d'alimenter la nappe lors des périodes pluvieuses hivernales et printanières (400 à 500 mm).

Sur le Massif du Mont Tournier, en 1986, 60 % des précipitations sont disponibles pour le ruissellement et l'infiltration (820 mm).



CHAPITRE 3

LE RHONE

1 - HYDROLOGIE

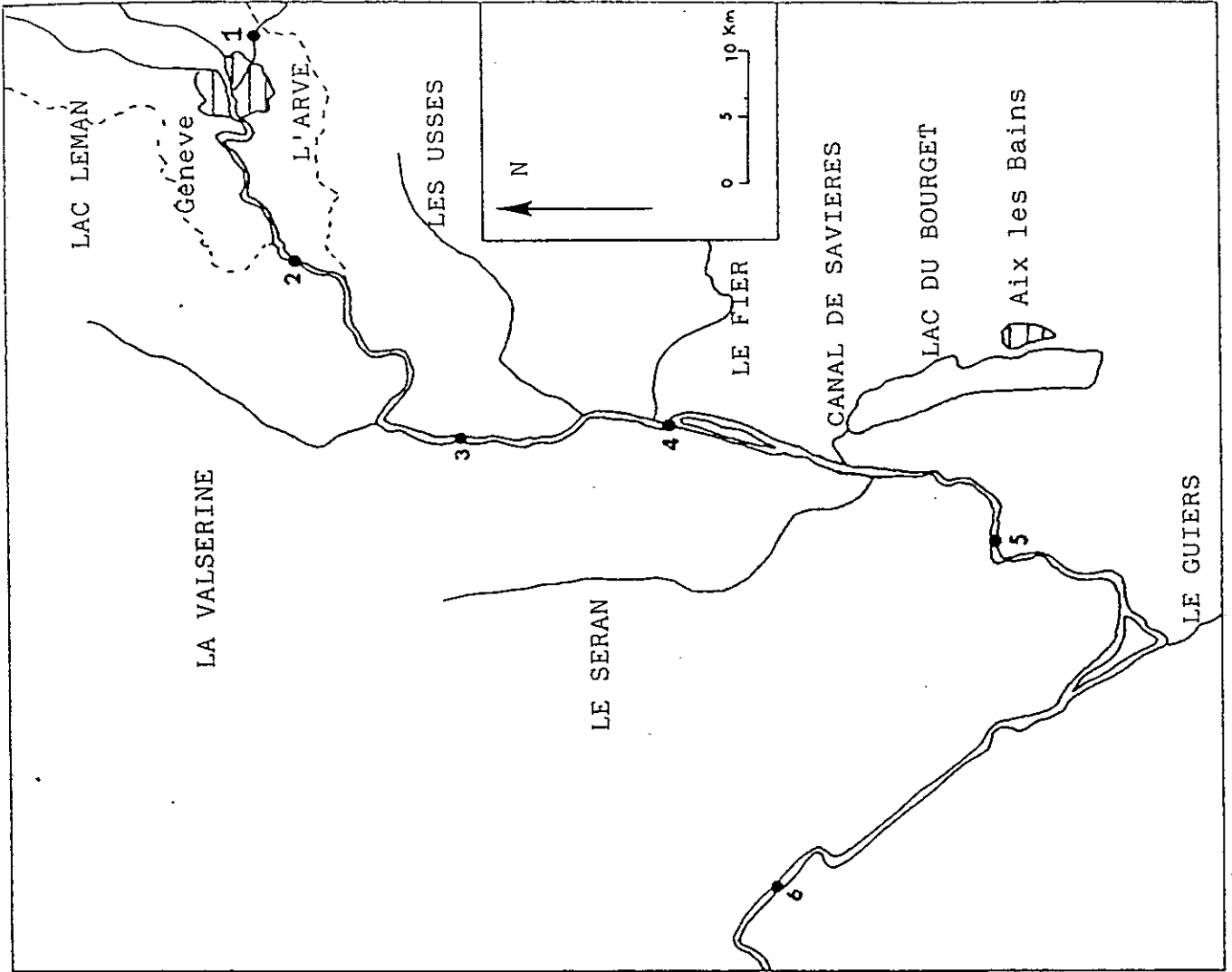
- 1.1.- Le débit du Rhône du Lemane au Guiers
- 1.2.- Le régime du Rhône
- 1.3.- Conclusion

2 - CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUE

- 2.1. - Relation résistivité-minéralisation totale
- 2.2. - Variations des caractères physiques du Fier au Guiers
- 2.3. - Variations annuelles

3 - LE RHONE ET SON CONTRE-CANAL

4 - CONCLUSIONS



(FIG.40) DEBITS CARACTERISTIQUES DU RHONE
ENTRE LE LEMAN ET L'AIN

n° 1: Debit caractéristique moyen de l'Arve
= 78.8 m³/s - Services Industriels de
Genève -

n°	D.C.M.	D.C.m.	D.C.E.
2	710	280	138
3	760	305	140
4	860	350	160
5	850	380	165
6	920	400	175

Valeurs exprimées en m³/s
Données C.N.R.

D.C.M.: Debit Caractéristique Maximum
depassé 10 jours par an

D.C.m.: Debit Caractéristique moyen. dépassé
6 mois par an

D.C.E.: Debit Caractéristique d'Etiage.
depassé 355 jours par an

 CH 3 - LE RHONE

1 - HYDROLOGIE

1.1 - Le débit du Rhône du Léman au Guiers

De sa sortie du Léman à St Génix sur Guiers, le Rhône reçoit successivement pour principaux affluents :

- . L'Arve (Rive Gauche)
- . La Valserine (Rive droite)
- . Les Usses (Rive Gauche)
- . Le Fier (Rive Gauche)
- . Le Séran (Rive droite)
- . Le Canal de Savières : exutoire du Lac du Bourget (Rive Gauche)
- . Le Guiers (Rive Gauche).

Ces affluents accroissent notablement le débit du Rhône
(FIG .41)

1.2. - Le Régime du Rhône

1.2.1 - Période de Référence

Pour la période 1956 - 1977, la station limnimétrique de la Balme installée sur la rive droite (Echelle n° 4) donne les débits moyens mensuels suivants : (données C.N.R.)

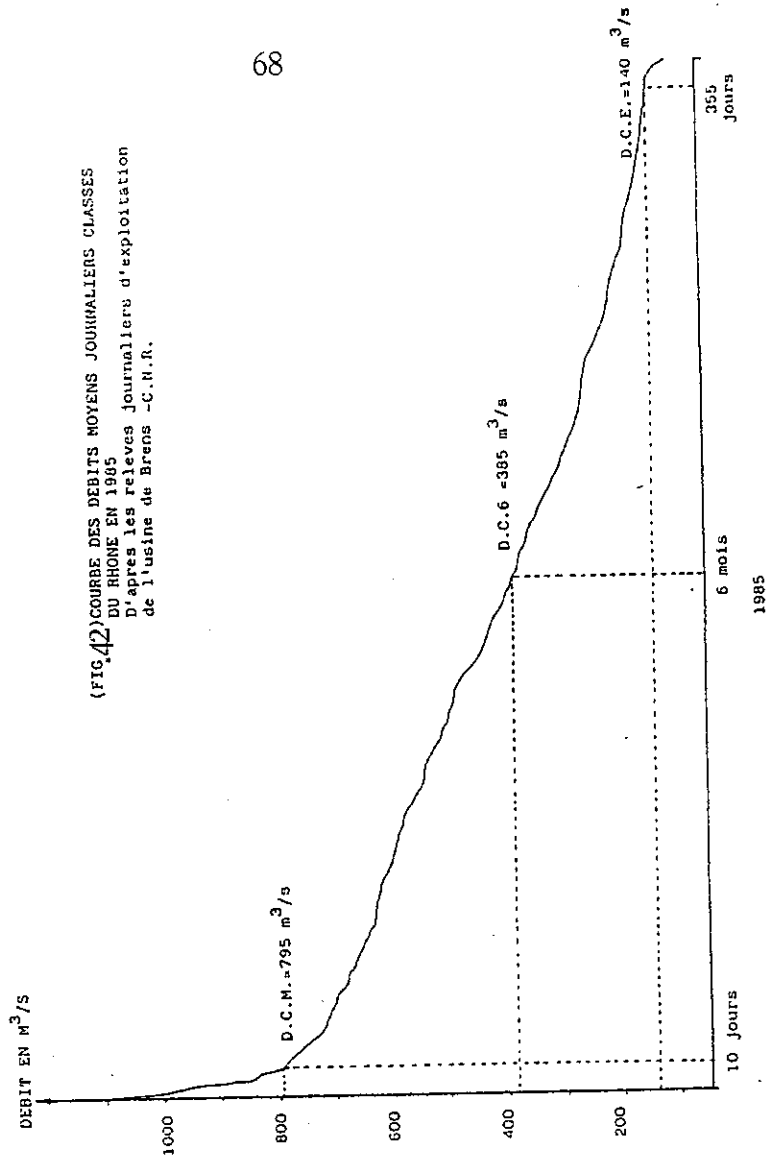
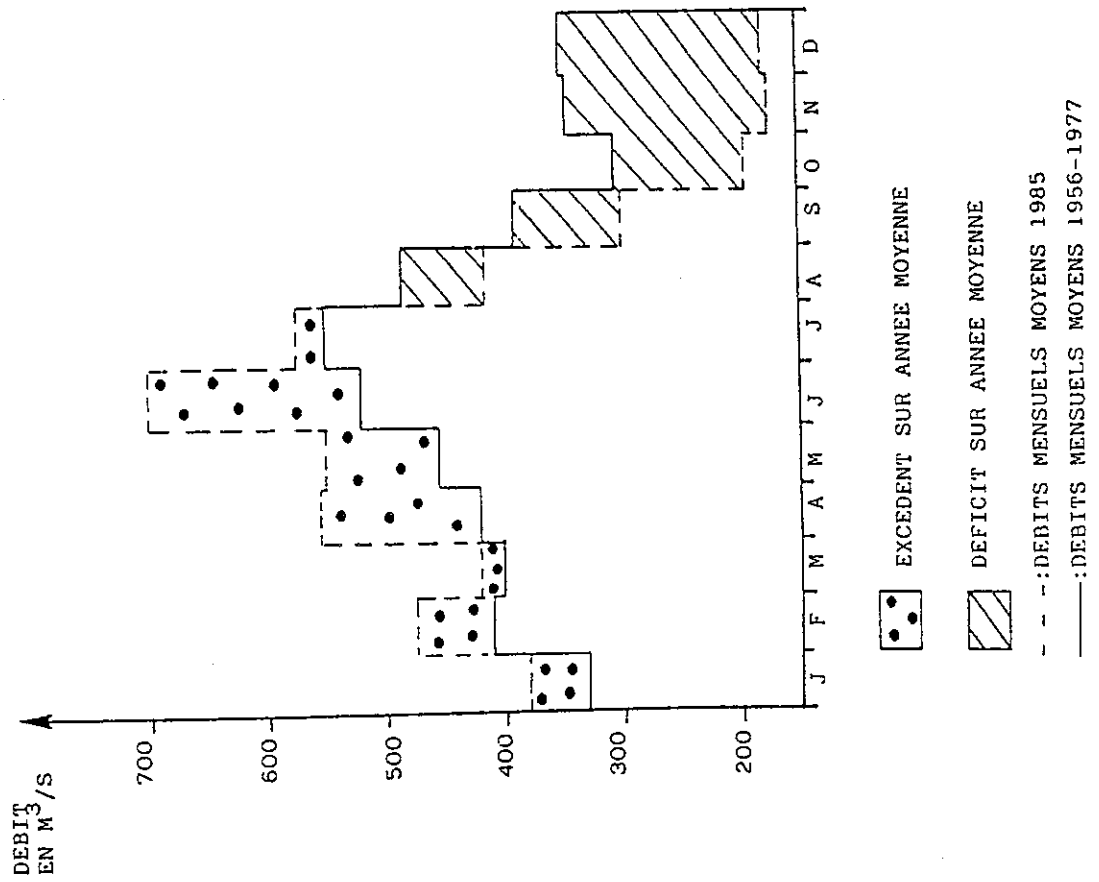
Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
Débit moyen en m ³ /s	332	408	399	419	454	522	550	484	392	305	343	350	413

Malgré la présence d'ouvrages hydroélectriques pouvant influencer sur les caractéristiques de son régime, une période de crue s'individualise de Mai à Août.

La différence de débit entre les deux mois extrêmes (Juillet et Octobre) est faible, elle représente la moitié des débits évacués du mois de Juillet.

Le Rhône présente un régime nivoglacière.

(FIG.41) DEBIT DU RHONE - LA BALME -



(FIG.42) COURBE DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS CLASSES
DU RHONE EN 1985
D'après les relevés journaliers d'exploitation
de l'usine de Brens - C.N.R.

C.N.R.). Les débits caractéristiques sont : (d'après les documents

- * Etiage absolu : 90 m³/s
- * Etiage conventionnel (débit dépassé 355 jours/an) = 165 m³/s
- * Débit semi-permanent : 380 m³/s
- * Débit maximum (débit dépassé 10 jours/an) = 850 m³/s.

1.2.2 - Année 1985

A partir des débits moyens journaliers fournis par la C.N.R. nous avons construit la courbe des débits moyens journaliers classés et calculé le débit mensuel.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Débit moyen en m ³ /s	380	473	418	553	550	700	573	413	298	193	175	181	409

L'histogramme des débits moyens mensuels établi pour 1985 montre une très forte dissymétrie, traduisant un excédent durant les 7 premiers mois de l'année alors qu'un déficit s'observe d'Août à Décembre (FIG.41).

De la courbe des débits classés nous obtenons les débits caractéristiques suivants : (FIG. 42).

- * Etiage conventionnel : 140 m³/s
- * Débit semi-permanent : 385 m³/s
- * Débit maximum : 795 m³/s.

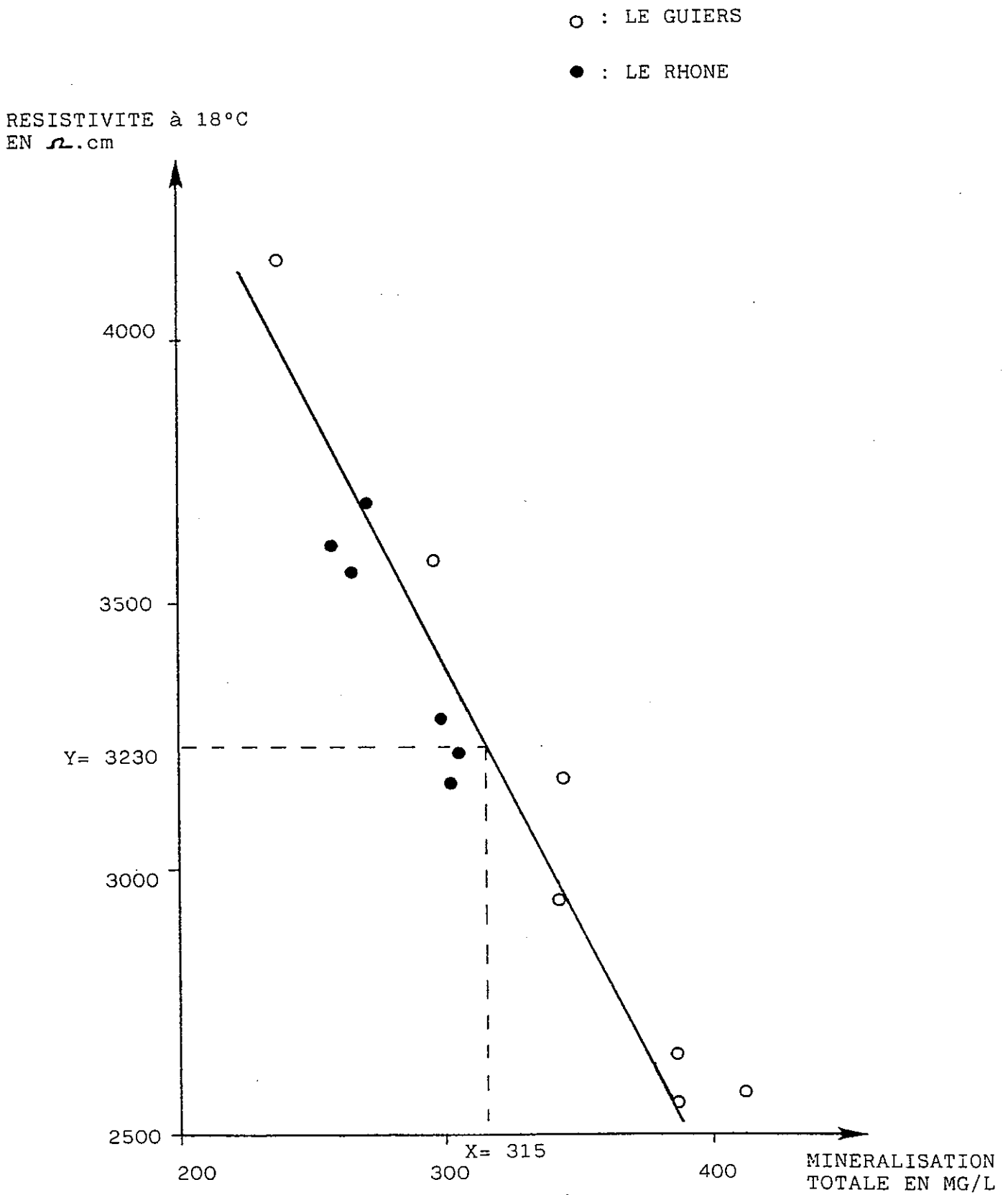
soit des valeurs pour les débits dépassés 10 et 355 jours par an inférieures aux valeurs moyennes établies sur 20 ans.

1.3. - Conclusions

Le débit caractéristique moyen du Rhône double grâce à ses affluents entre le Léman et notre secteur d'étude. En 1985, le débit caractéristique moyen (385 m³/s) est proche de sa valeur moyenne (380 m³/s), les débits extrêmes sont inférieurs de 10 %.

La période excédentaire compense le déficit de la fin de l'année.

(FIG. 43) RELATION RESISTIVITE - MINERALISATION TOTALE CALCULEE
DES EAUX DU RHONE ET DU GUIERS



2 - Caractères physico-chimiques :

2.1. - Relation résistivité - Minéralisation totale.

La figure n° 43 montre une bonne relation entre la résistivité mesurée et la minéralisation calculée (somme des ions analysés) pour les eaux du Guiers et du Rhône (La Balme).

2.2. - Variations des caractères physiques du Fier au Guiers

Le 13 Octobre 1986, nous avons effectué une série de mesures de température et de résistivité sur les eaux du Rhône et de ses principaux affluents savoyards (FIG .44).

Ses affluents présentent des valeurs de résistivité nettement différentes de celles du Rhône ; ceci correspond pour le Fier, le Truison et le Guiers à une minéralisation plus importante.

Le canal de Savières, issu du Lac du Bourget, possède par contre une minéralisation inférieure à celle du Rhône.

Le Rhône n'enregistre pas cependant, de variation nette de résistivité due à ses affluents. Les variations observées sont trop proches des incertitudes de mesure (appareil ou (et) emplacements des points de mesure non significatifs) pour que l'on puisse les interpréter.

Les affluents se répartissent d'après leurs températures comme précédemment. : ils possèdent une température d'eau plus basse, sauf le canal de Savières dont l'eau atteint une température supérieure à celle du Rhône.

La température du Rhône fluctue comme la résistivité, mais les différences sont peu significatives.

Ces mesures furent faites en l'absence de toutes précipitations efficaces depuis le mois de Juin (confer bilan de Thornthwaite chapitre hydroclimatologie...), les débits apportés par les affluents en période d'étiage ne sont pas suffisants pour modifier les caractéristiques physiques de l'eau du Rhône.

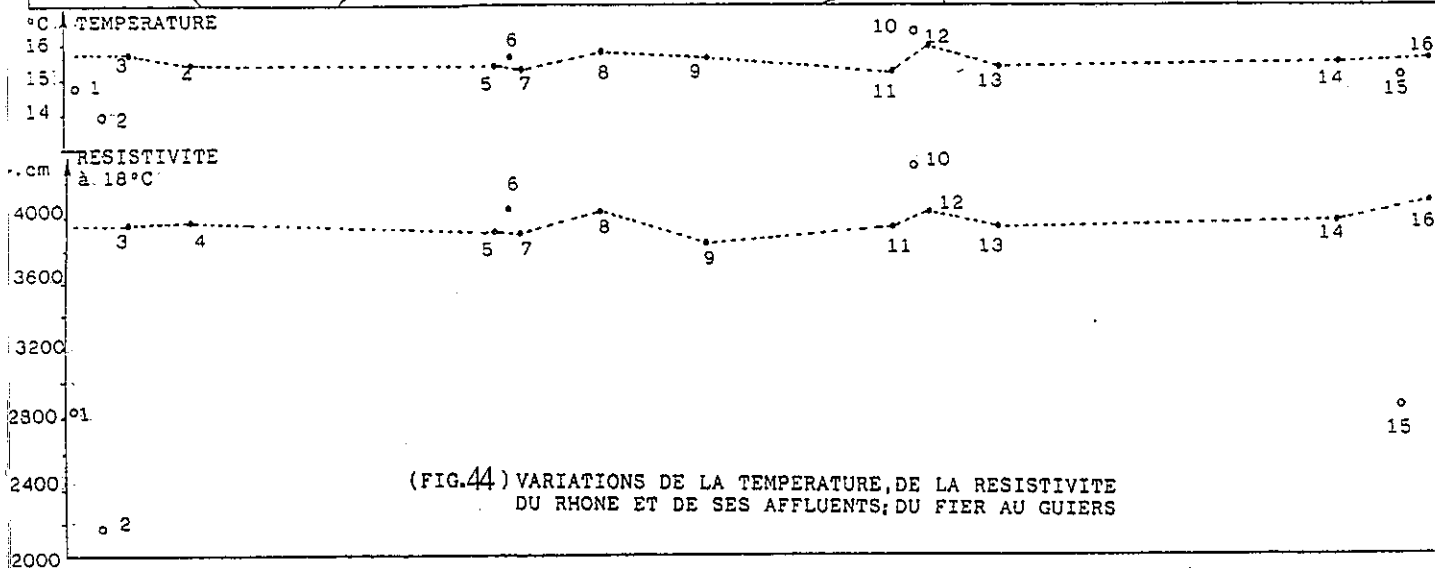
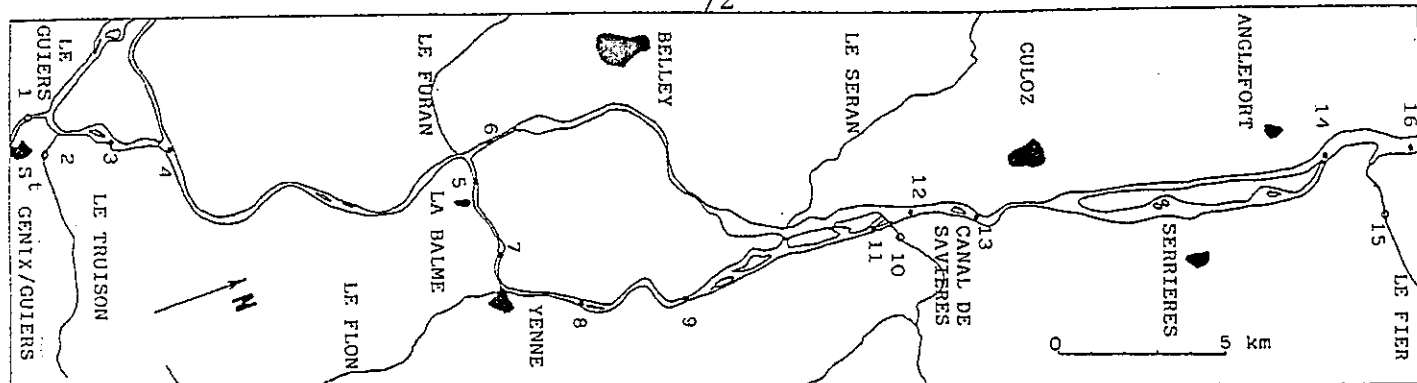
2.3 - Variations annuelles

2.3.1 - Variations de la conductivité et de la température en 1986 (FIG.45)

Malgré des variations assez brutales des valeurs de température et de conductivité, un cycle se dessine pour ces deux paramètres.

La conductivité diminue à partir du mois d'avril pour atteindre un minimum en Août de $230 \mu S \text{ cm}^{-1}$, elle revient ensuite aux valeurs du début de l'année.

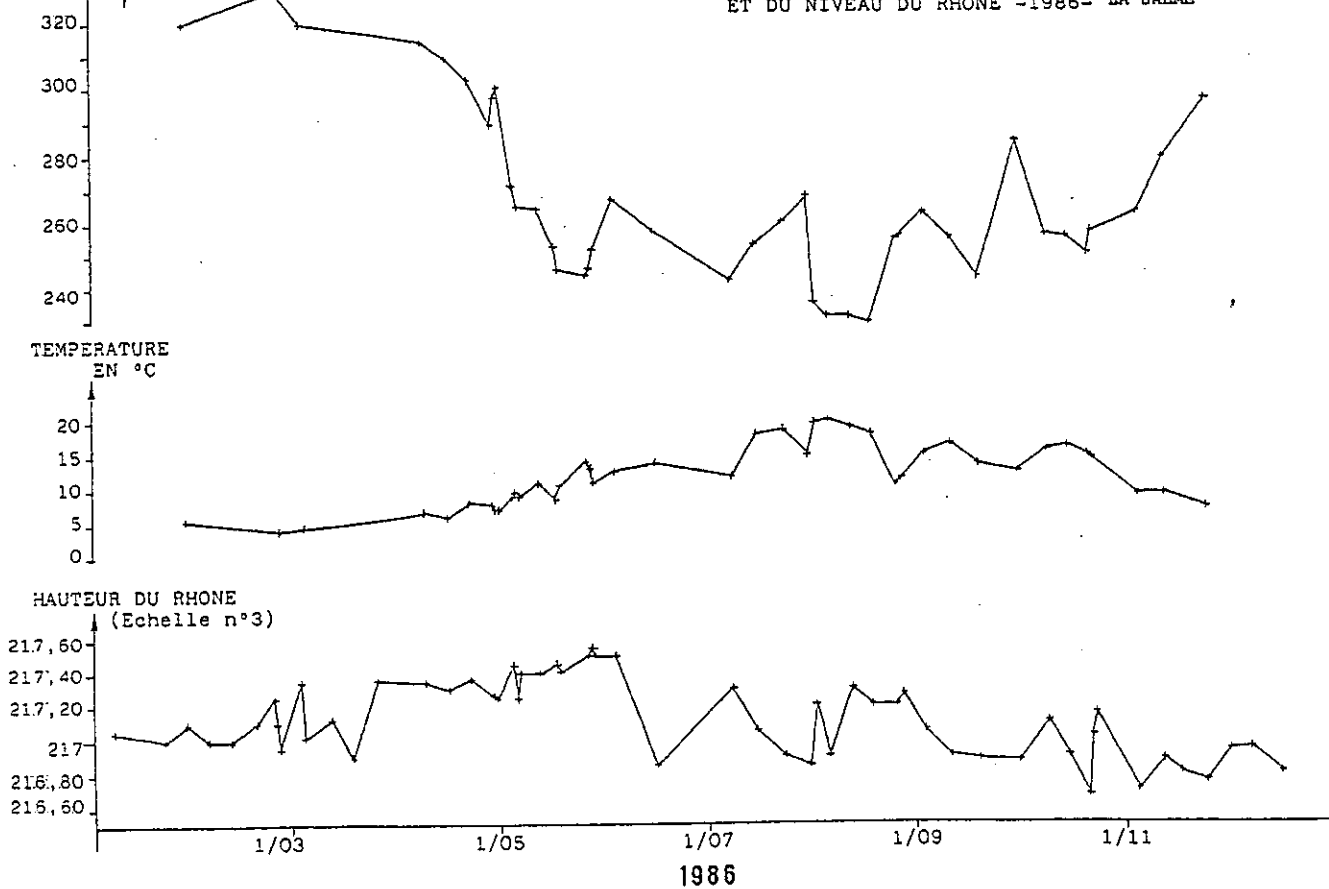
La température de l'eau du Rhône culmine au mois d' Août (20 °5 le 5/8) suivant avec une amplitude moindre, la température moyenne de l'air.



(FIG.44) VARIATIONS DE LA TEMPERATURE, DE LA RESISTIVITE DU RHONE ET DE SES AFFLUENTS; DU FIER AU GUIERS

CONDUCTIVITE à 20°C
EN $\mu S \cdot cm^{-1}$

(FIG.45) VARIATIONS DE LA CONDUCTIVITE, DE LA TEMPERATURE ET DU NIVEAU DU RHONE -1986- LA BALME



Les services Industriels de Genève, nous ont communiqué les valeurs des paramètres physicochimiques analysés journallement sur l'eau provenant de leurs stations de pompage du Prieuré (extrémité Ouest du Lac Léman) et de Vessy (Rive gauche de l'Arve n° 1 sur la carte de la figure n° 40)

Le tableau ci-dessous donne les valeurs obtenues en 1986 pour le Léman, le Rhône, l'Arve et le Guiers.

	Conductivité à 20 ° c en $\mu\text{S.cm}^{-1}$		
	Minimum	Valeur moyenne (écart type)	Maximum
Le Rhône * Léman	244	264	280
Le Rhône ● La Balme	231	268 (26,6)	330
L'Arve *	190	330	513
Le Guiers ●	260	314 (65,1)	410

* mesure journalière - Services Industriels de Genève

● mesure hebdomadaire - Institut Dolomieu.

Les deux affluents possèdent une minéralisation moyenne plus élevée, avec une très forte amplitude des valeurs extrêmes due à des variations très importantes des débits. En 1985 le débit journalier de l'Arve a varié d'un rapport de 1 à 34, celui du Rhône à Brens de 1 à 10.

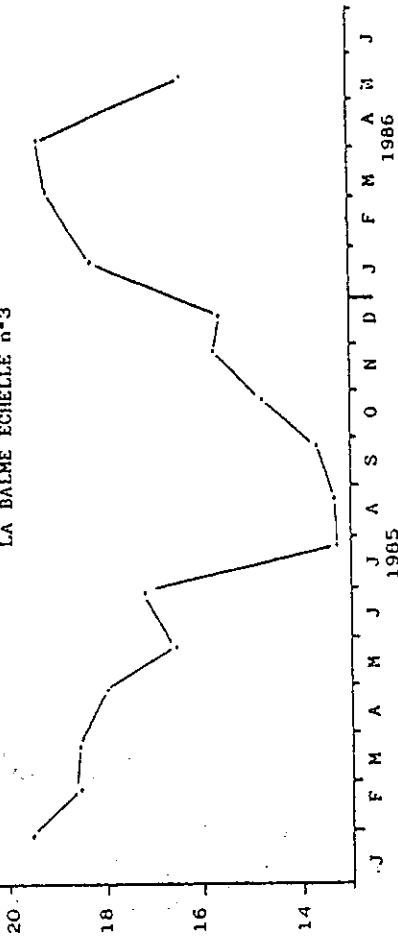
La valeur moyenne de la conductivité pour le Léman est semblable à celle du Rhône, à la Balme. Pour ce dernier, malgré une fréquence de nos observations hebdomadaires, l'écart entre les valeurs extrêmes est deux fois plus important.

Le Rhône à sa sortie du Léman possède une faible fluctuation annuelle de sa minéralisation. L'apport d'eau à très fortes variations de minéralisation par ces affluents provoque et amplifie à la Balme les variations constatées de la conductivité et donc de la minéralisation du Rhône.

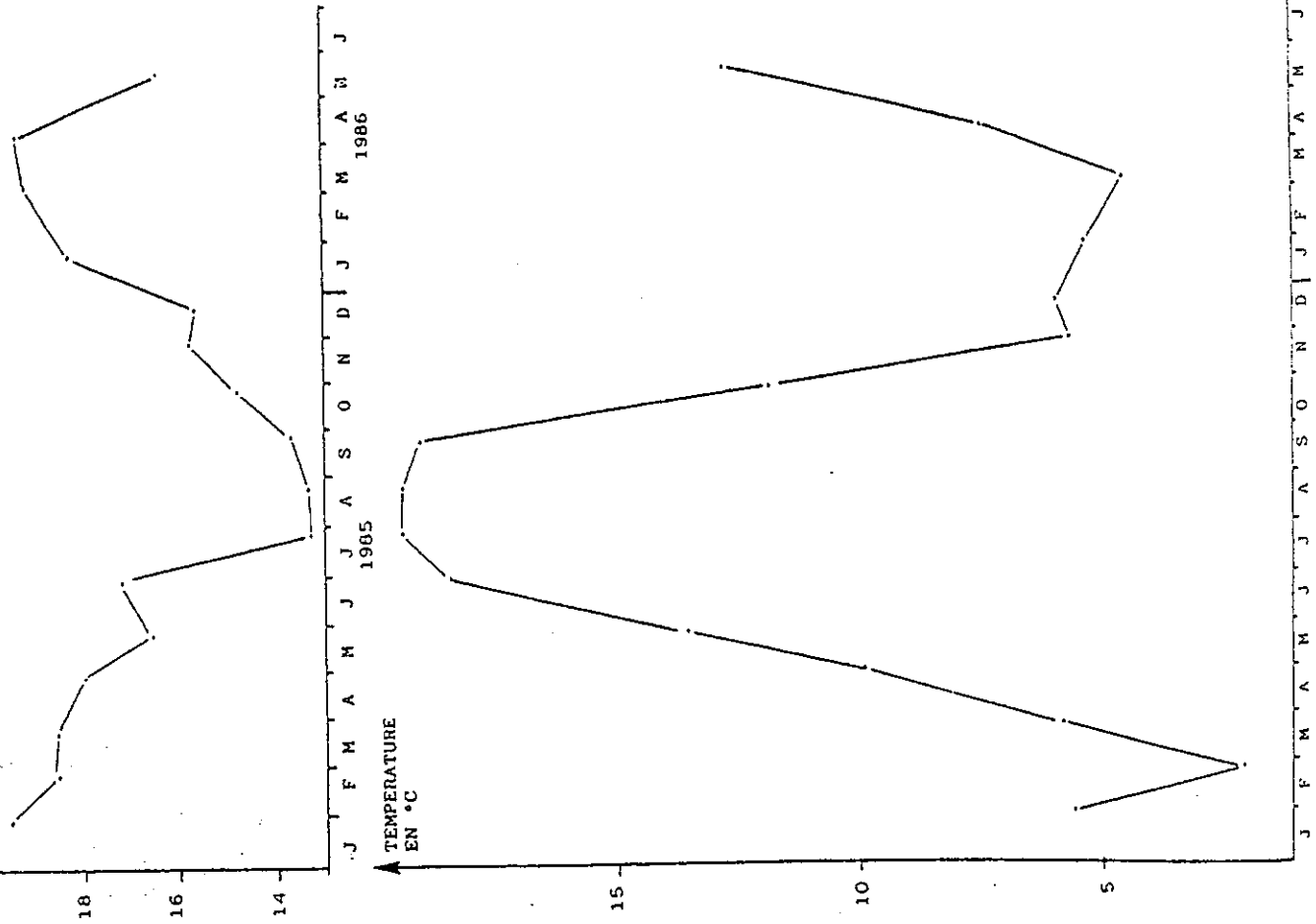
2.3.2. - Variations des paramètres chimiques (FIG.46,47,48)

Après avoir constaté la variation de la minéralisation de l'eau du Rhône, l'analyse chimique des prélèvements mensuels effectués à la Balme permet de préciser les fluctuations des principaux paramètres chimiques.

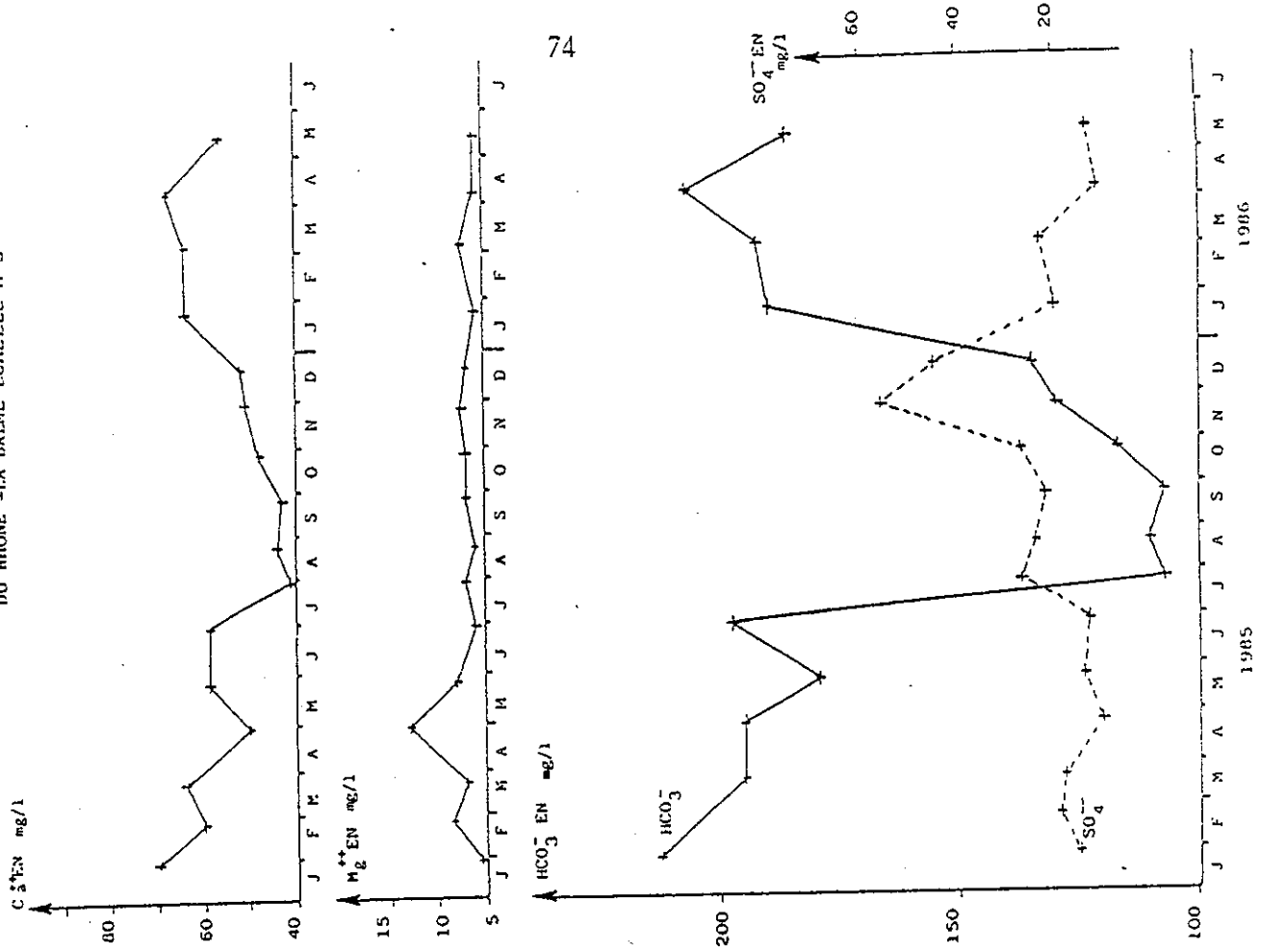
T.H.T. EN °F



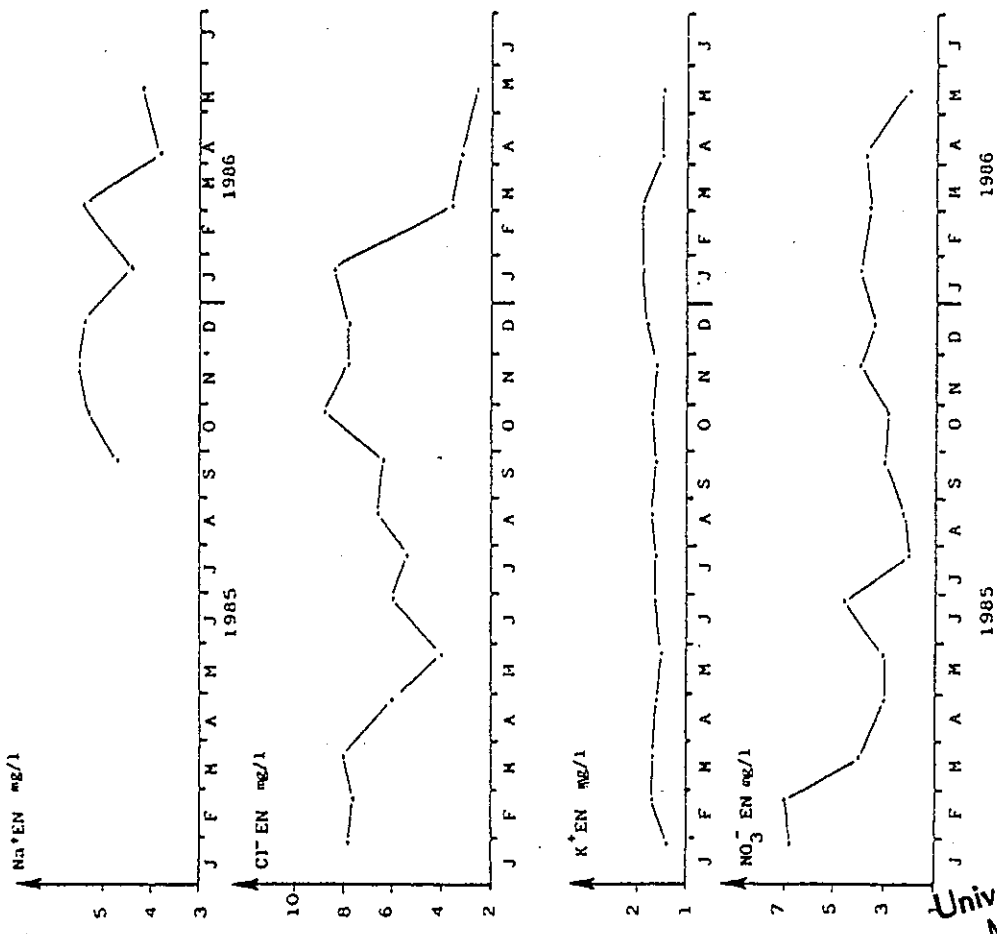
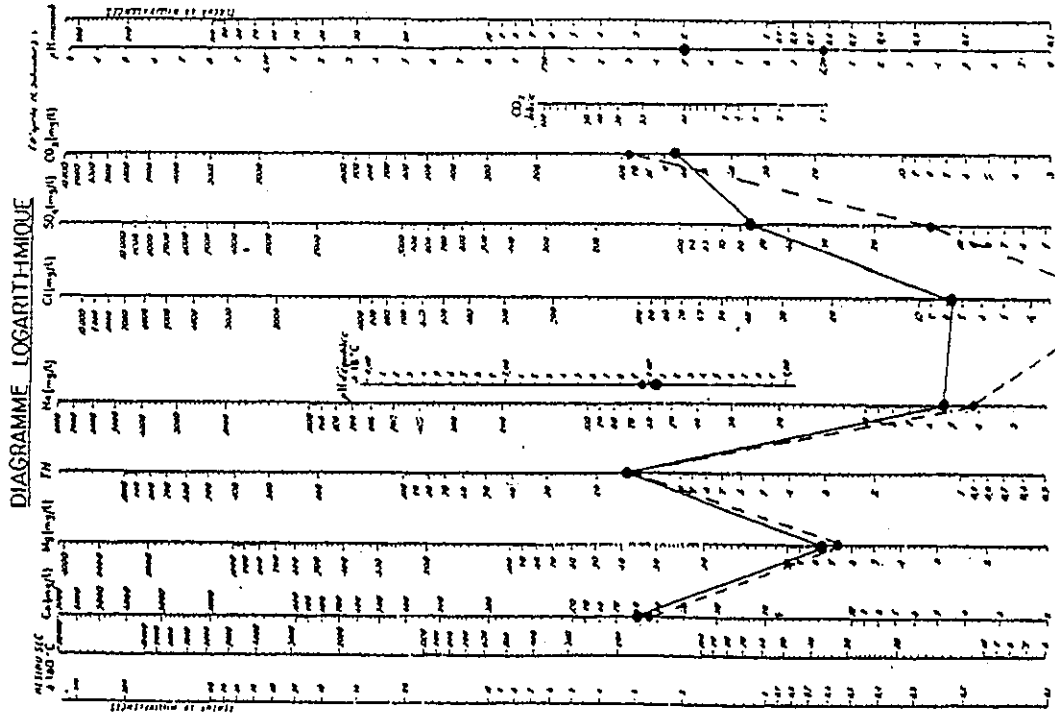
(FIG. 46) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DU RIIONE LA BALME ECHELLE n°3



(FIG. 47) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DU RIIONE -LA BALME ECHELLE n°3 -



(FIG. 49) REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'EAU DU RHONE - LA BALME -



(FIG. 48) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DU RHONE - LA BALME ECHELLE n°3 -

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

2.3.2.1 Les Cations

* Dureté totale - Ca^{2+} - Mg^{2+}

La dureté totale varie de façon cyclique entre les valeurs de 13,3 et 19,6 degrés français. Le minimum est atteint en Été et à l'Automne. Cette variation est provoquée par la diminution de la concentration en calcium des eaux du fleuve qui passe de 70 à 41 mg/l.

La teneur en magnésium, nettement plus faible (valeur moyenne de 7 mg/L) reste globalement constante.

* Na^+ et K^+

Leurs concentrations sont faibles : celle du potassium reste constante (concentration moyenne de 1,64 mg/L, écart type = 0,14).

Le sodium analysé sur une période restreinte, ne présente pas de variations significatives.

2.3.2.2. Les Anions :

* $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-}$

Les ions bicarbonates représentent l'essentiel de la minéralisation. Leurs teneurs fluctuent de façon synchrone avec la dureté et subissent une baisse importante (-50 %) durant la période estivale et automnale.

La concentration en sulfates montre une évolution inverse, la teneur maximum est observée en Novembre : 56 mg/L.

* Les Nitrates :

La teneur maximum en Nitrates fut observée en Janvier et Février 1985, elle semble devenir plus faible en été.

* Les Chlorures :

L'eau du Rhône possède des teneurs en chlorures comprises entre 8,8 mg (octobre 1985) et 2,5 mg (Mai 1986). Il apparaît difficile de corréler cette variation de teneur à l'épandage de sels sur les chaussées pendant la saison hivernale.

2.3.2.3. - Conclusions

Le Rhône possède une eau de type bicarbonaté-calcique (FIG.49). La forte chute de la teneur en carbonates associée à celle du calcium qui se produit de Juillet à Décembre 1985 est compensée par une légère augmentation de la concentration en sulfates.

2.3.3. - Modification de la composition chimique des eaux du Rhône le long de son cours

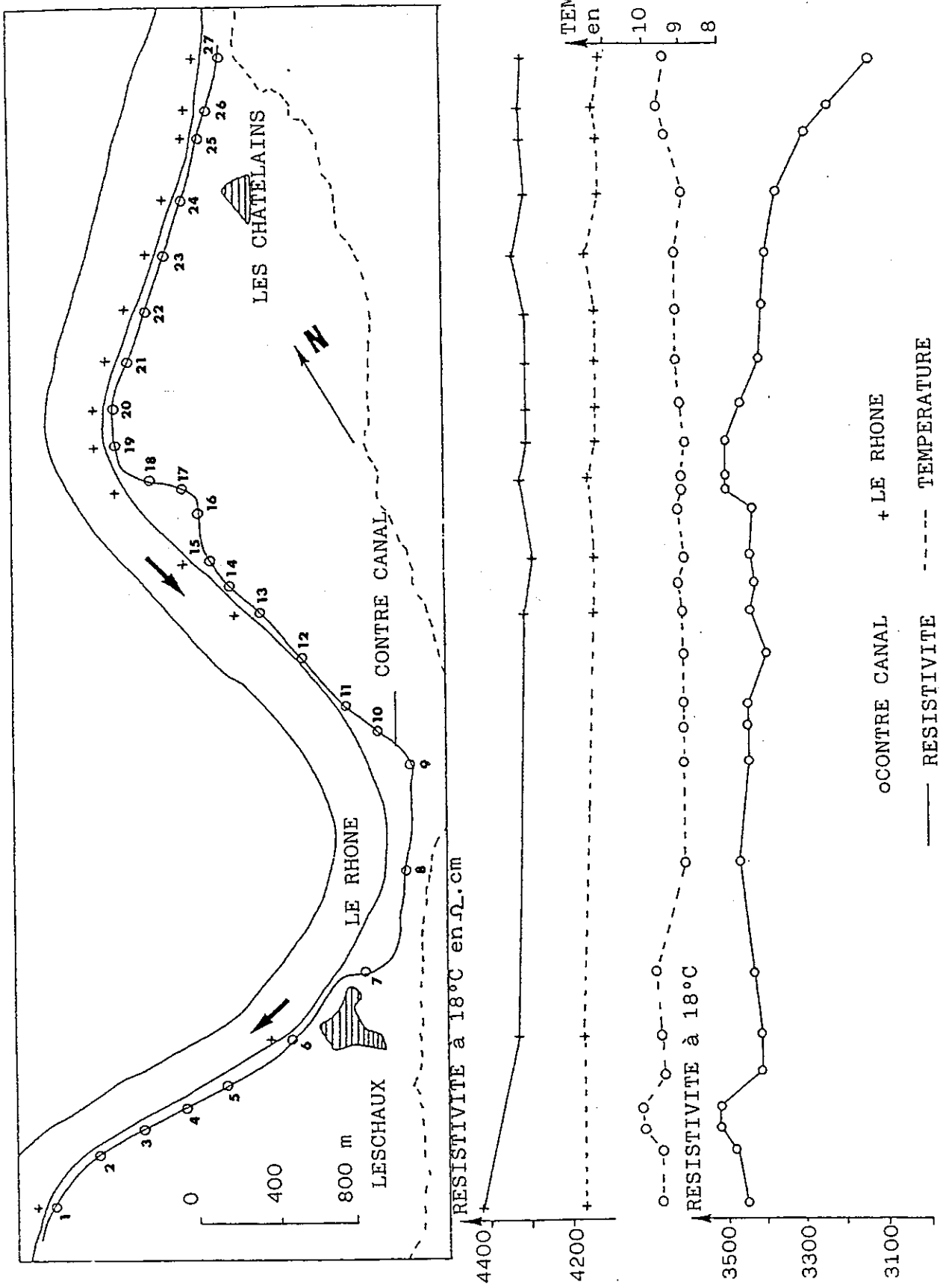
Le tableau ci-dessous donne les valeurs remarquables des concentrations des principaux éléments chimiques dans les eaux du Rhône.

[Faint, illegible text, possibly bleed-through or a stamp]

		Points de Prélèvements		
		Léman	L'Arve	Le Rhône (La Balme)
Ca ²⁺	M	46,3	90,4	69,7
	\bar{m}	45	64,6	55,9
	m	42,8	35,1	41,3
Mg ²⁺	M	5,6	11,1	13,1
	\bar{m}	5,4	7,7	7,1
	m	5,3	4,3	5,4
Na ⁺	M	4,11	14,5	5,5
	\bar{m}	3,86	7,6	4,8
	m	3,62	2,6	3,8
K ⁺	M	1,41	2,74	1,97
	\bar{m}	1,32	1,69	1,64
	m	1,24	1,08	1,37
TAC	M	9,65	9,05	17,15
	\bar{m}	9,09	6,4	13,63
	m	8,50	3,5	8,75
SO ₄ ²⁻	M	4,91	96,4	56
	\bar{m}	48,1	57,4	20,1
	m	45,7	29,1	10
NO ₃ ⁻	M	2,9		7,0
	\bar{m}	2,5		3,67
	m	1,9		1,8
Cl ⁻	M	5,7	2,4	8,3
	\bar{m}	5,4	9,3	6,1
	m	4,5	2,9	2,5

M : Valeur maximum)
 \bar{m} : Valeur moyenne) exprimées en mg/L ou en ° français (TAC)
m : Valeur minimum)

- * Léman : - station du Prieuré
- Valeurs 1986
- S.I.G.
- Analyses journalières.
- * L'Arve : - Station de Vessy
- valeur 1985
- S.I.G.
- analyses bimensuelles (moyenne sur 10 heures).
- * Le Rhône : La Balme
- Valeur 1985-1986
- analyses mensuelles
- Institut Dolomieu.



(FIG. 50) VARIATIONS DE LA TEMPERATURE ET DE LA RESISTIVITE DU RHONE ET DU CONTRE CANAL - Mesures effectuees le 29/5/86 -

Le caractère homogène de la minéralisation du Rhône à sa sortie du Léman, observé précédemment, s'étend aux différents paramètres chimiques analysés. Il présente une eau de type bicarbonate sulfate calcique dont les rapports moyens sont les suivantes : (exprimés en milli-équivalent).

$$rSO_4^{2-}/rHCO_3^- = 0.55 \quad rMg^{2+}/rCa^{2+} = 0.20$$

les mêmes rapports moyens calculés pour le Rhône à la Balme donnent

$$rSO_4^{2-}/rHCO_3^- = 0.15 \quad rMg^{2+}/rCa^{2+} = 0.21$$

L'Arve présente des contrastes très importants pour tous ses éléments chimiques. Les rapports moyens sont :

$$rSO_4^{2-}/rHCO_3^- = 0.93 \quad rMg^{2+}/rCa^{2+} = 0.20$$

Par contre, durant la période d'étiage du Rhône, nous obtenons à la Balme (analyses du 26.11.85) les rapports suivants :

$$rSO_4^{2-}/rHCO_3^- = 0.54 \quad rMg^{2+}/rCa^{2+} = 0.24$$

semblables à ceux calculés à la sortie du Lac Léman.

2.3.4. : Conclusion

Les variations des teneurs en ions observées à la Balme sont provoquées par les apports d'eaux à minéralisation extrêmement variable provenant des affluents du Rhône. Lors de l'étiage d'automne, ces apports ne se font plus sentir : Le Rhône garde la même composition chimique du Léman à La Balme.

Le pH, mesuré " in situ " sur sept prélèvements mensuels, fluctue entre 7,5 et 8.

Il est inférieur au pH théorique obtenu par construction graphique dans le diagramme logarithmique de SCHOELLER, ce qui permet de conclure à l'agressivité des eaux du Rhône.

3 - Le Rhône et son contre-canal

Sur sa rive gauche, du secteur médian (les Chatelains) au barrage de Champagneux (Aval de Leschaux) le Rhône est bordé par un contre-canal. Son but est de recueillir les eaux du Rhône qui percolent à travers les berges artificielles avant qu'elles soient colmatées par les particules fines transportées par le fleuve. Il reçoit aussi les fossés de drainage de la plaine.

Le 29 Mai 1986, nous avons mesuré le long du Contre Canal et du Rhône les valeurs de résistivité et de température (FIG.50).

Nous constatons :

- pour le Rhône : une valeur de résistivité pratiquement constante jusqu'au point n° 1 où la minéralisation diminue un peu.
 - * une température constante proche de 11°C
 - * température et résistivité sont supérieures à celles du contre canal.
- pour le Contre Canal :
 - * la minéralisation est importante en amont, elle diminue ainsi que la température des points 27 à 21.
 - * une augmentation de la résistivité et de la température entre les points 2 et 5.

Ces variations traduisent l'apport d'eau moins minéralisée et plus froide dans le contre canal.

Une analyse bactériologique effectuée sur le point n° 27 montre une très bonne qualité de l'eau alors que le Rhône possède une forte charge polluante.

Les analyses permettent d'expliquer certaines particularités observées sur les cartes piezométriques.

A l'amont le contre-canal draine la nappe du secteur médian, puis il reçoit les eaux de percolation du Rhône qui provoquent une diminution de la minéralisation et des températures.

A l'aval de Leschaux (point 2 à 5) un apport plus important semble s'effectuer dans le contre-canal dans un secteur où le Rhône alimente la nappe.

Le prolongement du contre-canal, vers le Nord, permettrait de diminuer l'alimentation de la nappe par le Rhône.

4 . CONCLUSIONS

En raison d'un temps de résidence moyen de 12 ans dans le Lac Léman (d'après les mesures des Services Industriels de Genève) les eaux du Rhône présentent à sa sortie une forte homogénéité physico chimique.

La présence entre le Léman et la Balme, d'affluents dont les débits doublent le débit caractéristique moyen du Rhône, provoque les variations des taux de carbonates, calcium et sulfates constatées à la Balme.

En période d'étiage, ces influences ne se font plus sentir.

CHAPITRE 4

LE GUIERS

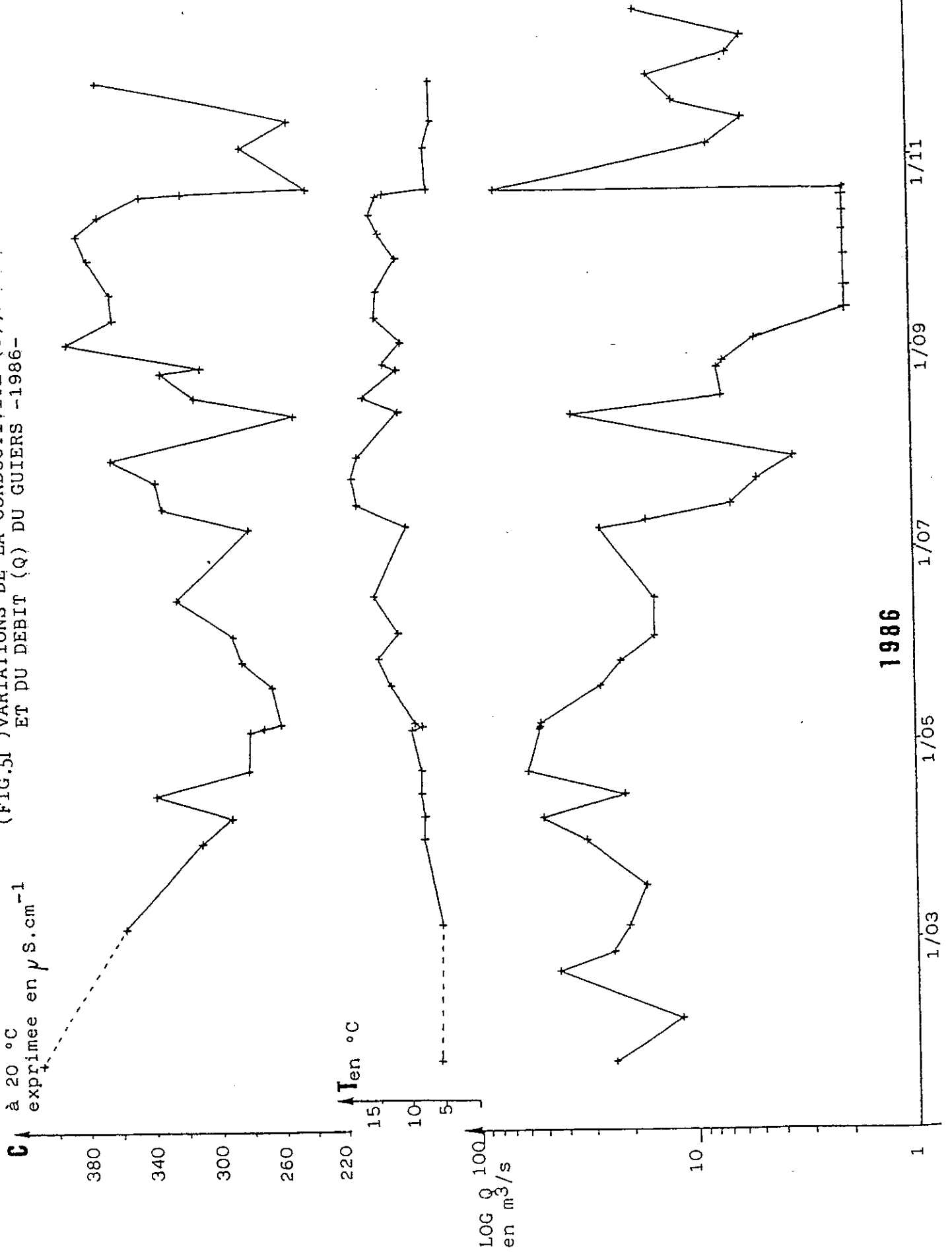
- 1 - LE REGIME DU GUIERS
 - 1.1. - Période de référence
 - 1.2. - L'année 1986
 - 1.3. - Conclusion

- 2 - VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES
 - 2.1. - Relation résistivité-minéralisation
 - 2.2. - Variations des paramètres physiques du Guiers
 - 2.3. - Variation de la composition chimique de l'eau de Guiers
 - 2.4. - Conclusions

- 3 - CONCLUSIONS

(FIG.51) VARIATIONS DE LA CONDUCTIVITE (C), DE LA TEMPERATURE (T)
 ET DU DEBIT (Q) DU GUIERS -1986-

à 20 °C
 exprimée en $\mu S \cdot cm^{-1}$



1986

1/03

1/05

1/07

1/09

1/11

CH 4 - LE GUIERS

Issu du Guiers Vif et du Guiers Mort dont les sources émergent aux pieds des contreforts orientaux de la Chartreuse (altitudes respectives : 1150 m et 1280 m), le Guiers après s'être réuni à Entre deux Guiers se jette dans le Rhône en aval de ST GENIX (altitude 210 m).

La superficie de son bassin versant géographique est de 620 Km².

1-Le Régime du GUIERS1.1 Période de référence

Les débits moyens mensuels enregistrés par la C.N.R. se répartissent pour la période 1964 - 1975 selon le tableau ci-dessous :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Débit moyen en m ³ /seconde	13,5	15,1	18,9	23,5	22	17,1	11	8,4	11,7	10,3	15,2	16	15,4

La période principale de crue apparaît à la sortie de l'hiver, pendant les mois d'Avril et de Mai dont les débits sont supérieurs à 20 m³/s.

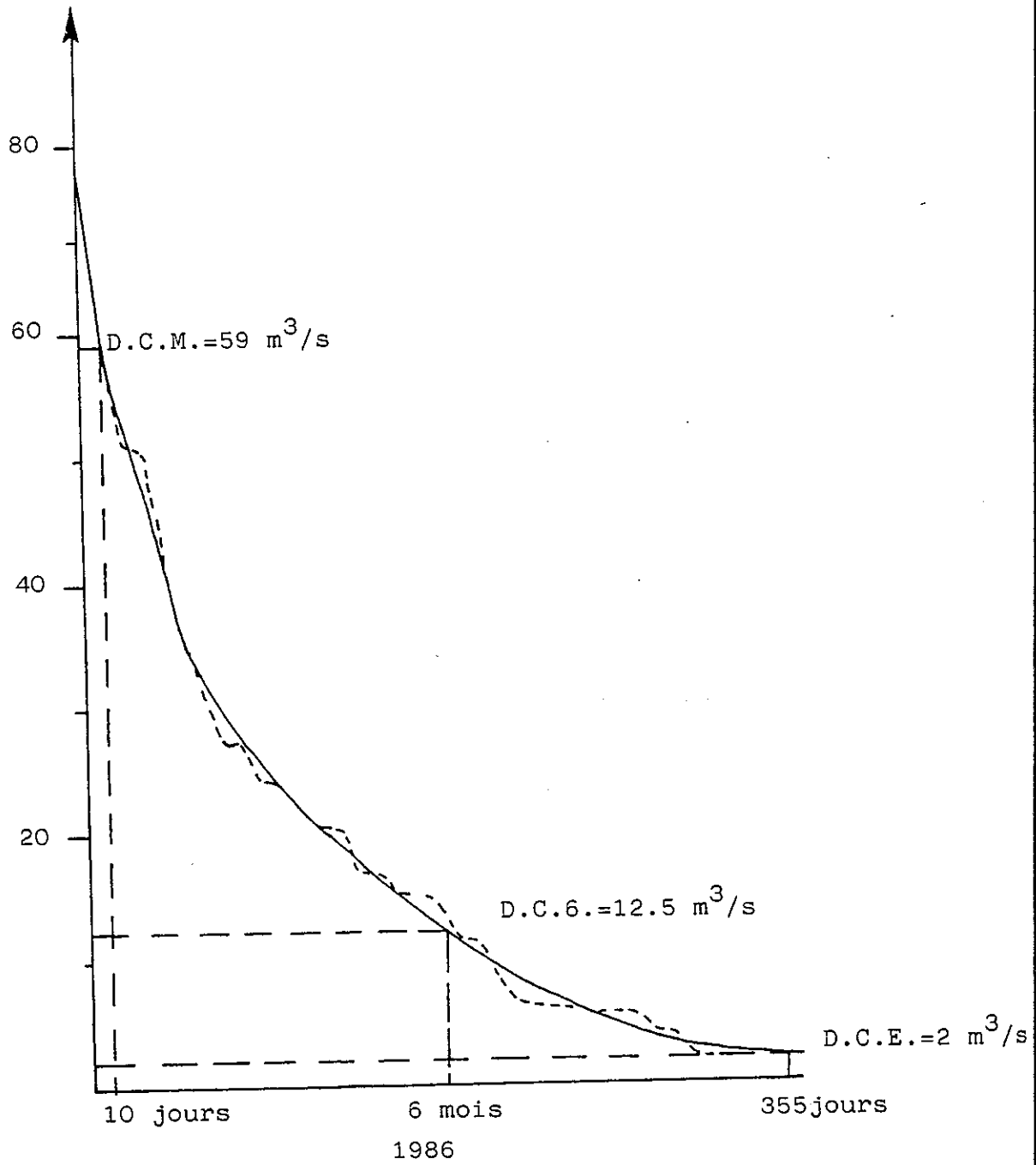
Une deuxième période de crue se manifeste en Novembre et Décembre (débit supérieur à 15 m³/s).

Elles sont dues à l'importance des pluies efficaces de l'automne et du Printemps, accentuée pour cette dernière saison par la fonte nivale.

Le Guiers possède un régime nivo-pluvial.

Les débits caractéristiques sont les suivants : (C.N.R.)

- * Débit caractéristique Maximum (dépassé 10 jours par an) = 47 m³/s
- * Débit caractéristique moyen (dépassé 6 mois par an) = 12 m³/s
- * Débit caractéristique d'Etiage (dépassé 355 jours par an) = 4 m³/s

DEBIT EN M³/S

(FIG.52) COURBE DES DEBITS HEBDOMADAIRES CLASSES
DU GUIERS EN 1986 -Echelle n°2 -

Le module s'établit à 24,8 l/s/Km², valeur qu'il faut comparer aux 18,7 l/s/Km² de la Fure (bassin versant de 106 km² - Bas Dauphiné) et au 27,1 l/s/Km² de la Vence (bassin versant de 63,5 Km² - Chartreuse). (In J.C. Fourneaux - 1975).

1.2. - L'année 1986

Nous avons effectué des relevés hebdomadaires de la hauteur du Guiers à ST GENIX (Echelle n° 2) (FIG. 51). A partir de ces données, il fut établi la courbe des débits classés de la figure n°52.

Nous obtenons les débits caractéristiques suivants :

- * débit caractéristique maximum = 59 m³/s
- * débit caractéristique moyen = 12,5 m³/s
- * débit caractéristique d'Étiage = 2 m³/s

Les crues furent observés principalement au Printemps et à l'Automne. Les crues peuvent être très brutales : Entre le 22 et le 23 octobre en l'espace de 22 heures, le débit du Guiers passa de 2 m³/s à 77 m³/s.

Les calculs de la C.N.R. donnent les valeurs suivantes :

- * crue décennale = 200 m³/s
- * crue centennale = 300 m³/s

De septembre à Octobre, le Guiers subit un étiage sévère (2 m³/s).

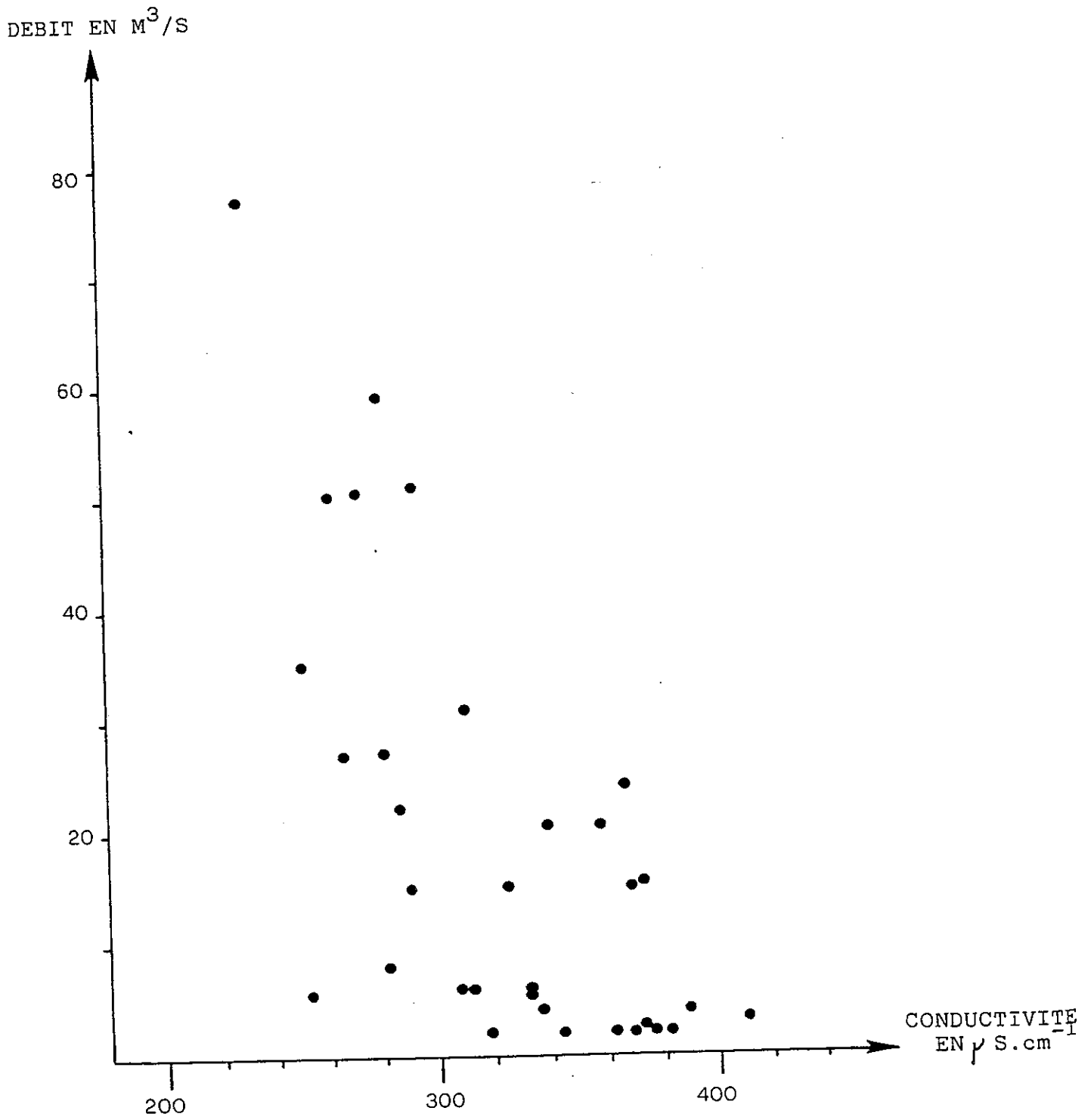
1.3. - Conclusions

Bien que la périodicité de nos mesures fut hebdomadaire, le débit semi-permanent (D.C.6.) en 1986 (12,5 m³/s) est semblable à sa valeur moyenne (12 m³/s). Rappelons qu'il en est de même pour les hauteurs de précipitations (confer chapitre climatologie).

Le débit dépassé 355 jours par an est plus faible en raison du déficit automnal des précipitations de 1986.

Le débit caractéristique maximum est plus important, malgré que des crues aient pu être inobservées en raison de la périodicité de nos mesures.

(FIG.53) RELATION DEBIT - CONDUCTIVITE
LE GUIERS 1986 - ECHELLE n°6



2 - Variations des paramètres physicochimiques

2.1. Relation Resistivite - Minéralisation (confer FIG.43 chapitre Le Rhône).

Nous obtenons une bonne relation entre la resistivité mesurée sur le terrain (ramenée à 18 ° c) et la minéralisation totale calculée d'après nos analyses chimiques.

2.2. Variations des paramètres physiques du Guiers 1986 : (FIG.51)

Quelque soit le mois, nous observons de très fortes variations des valeurs de températures et de conductivité en liaison avec l'augmentation du débit.

La figure numéro 53 confirme qu'un débit important est associé à une eau faiblement minéralisée. L'inverse n'est pas toujours vrai : un faible débit peut être lié à une eau faiblement minéralisée, traduisant en celà le passage d'une extrémité de l'onde de crue.

La minéralisation diminue de Janvier à Mai, puis elle augmente troublée par les crues, pour atteindre son maximum en période d'étiage.

La température fluctue entre 4,3 ° c le 21 janvier et 18,4 ° c le 23 Juillet.

2.3. Variation de la composition chimique de l'eau du Guiers (Janvier 1984 à Mai 1986)

L'eau du Guiers en période d'étiage ou de crue présente un faciès de type bicarbonaté-calciqque avec une diminution de la concentration en éléments chimiques en période de crue (FIG.57).

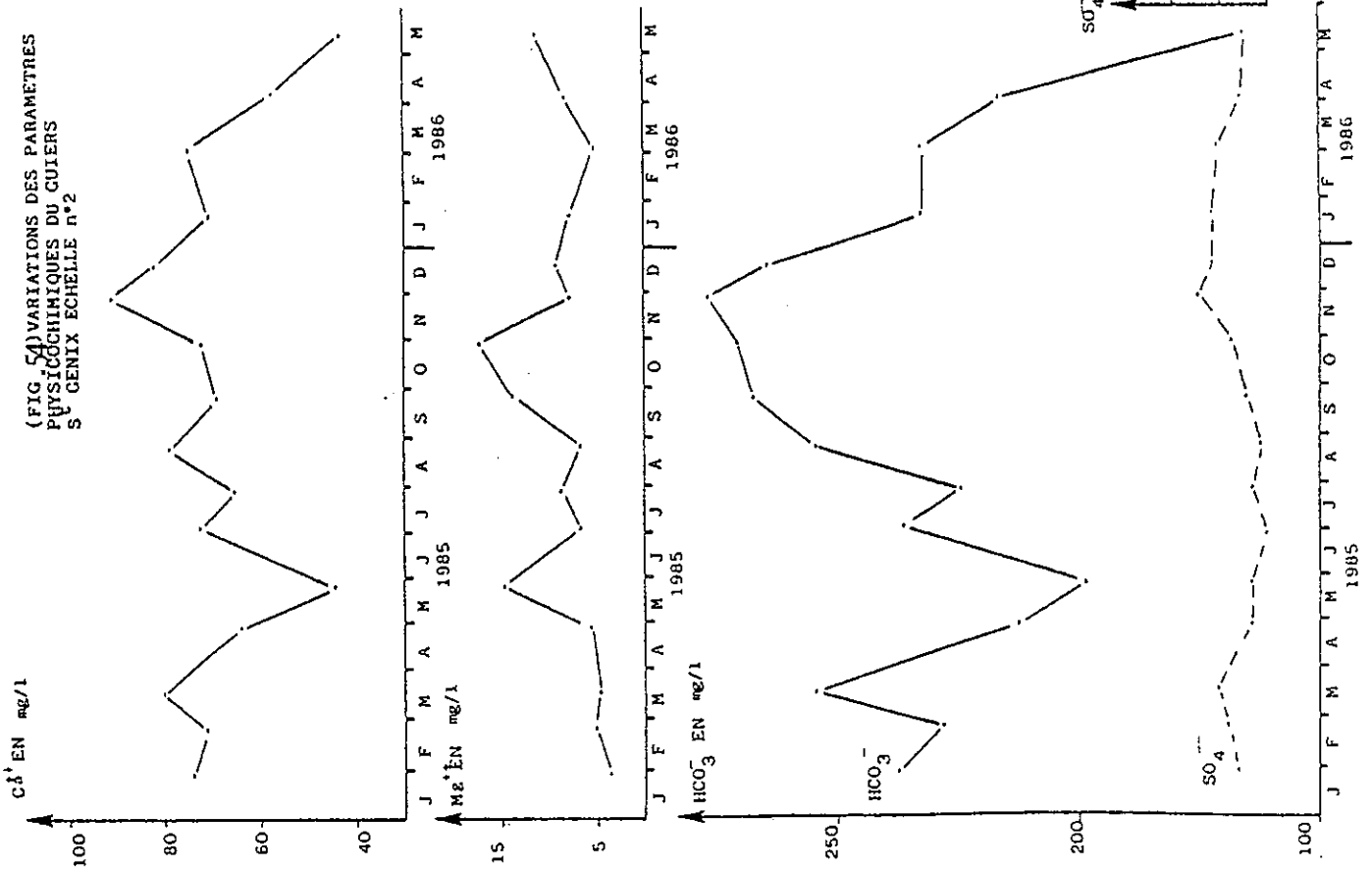
La variation de la minéralisation sera due principalement aux variations de concentration du calcium et des carbonates.

2.3.1 - Les Cations (FIG. 54 , 55 , 56)

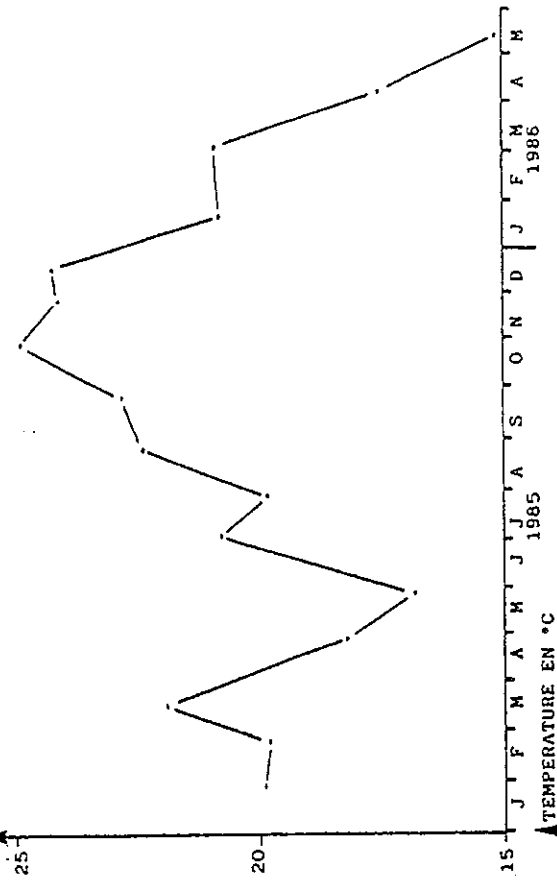
* Dureté (T.H.T.) calcium et magnésium

Nous constatons une baisse de la valeur de la Dureté de Janvier à Mai sur les deux hivers de mesures, alors qu'elle augmente le reste de l'année.

(FIG. 54) VARIATIONS DES PARAMETRES
PHYSICOCHIMIQUES DU CUIERS
S¹ GENIX ECHELLE n°2

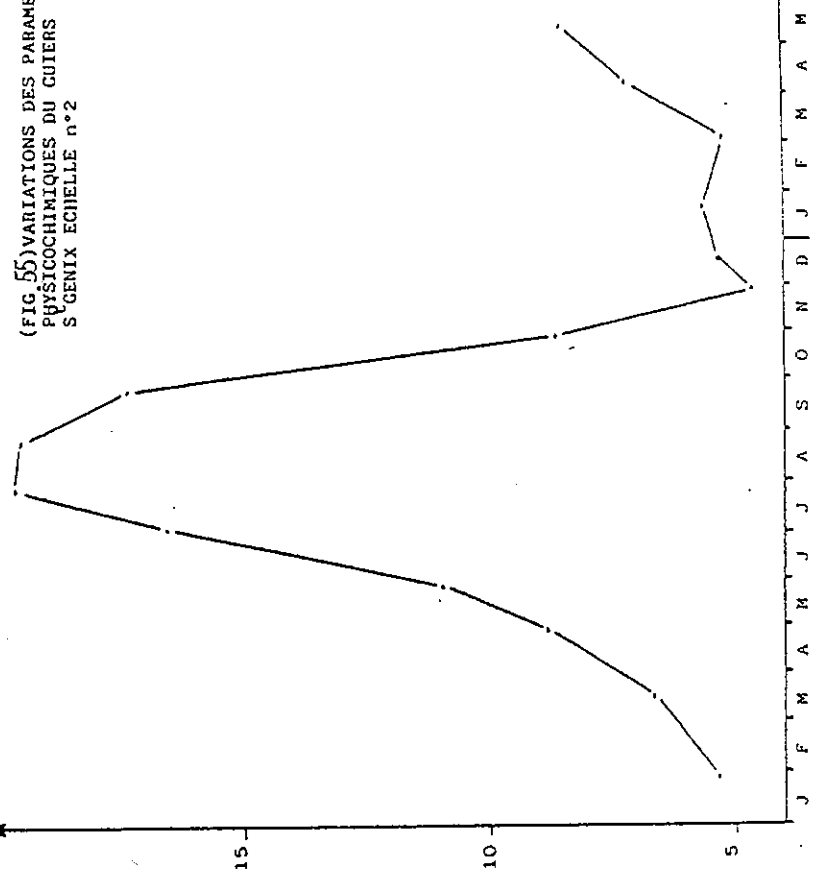


T.H.T. EN • FRANCAIS

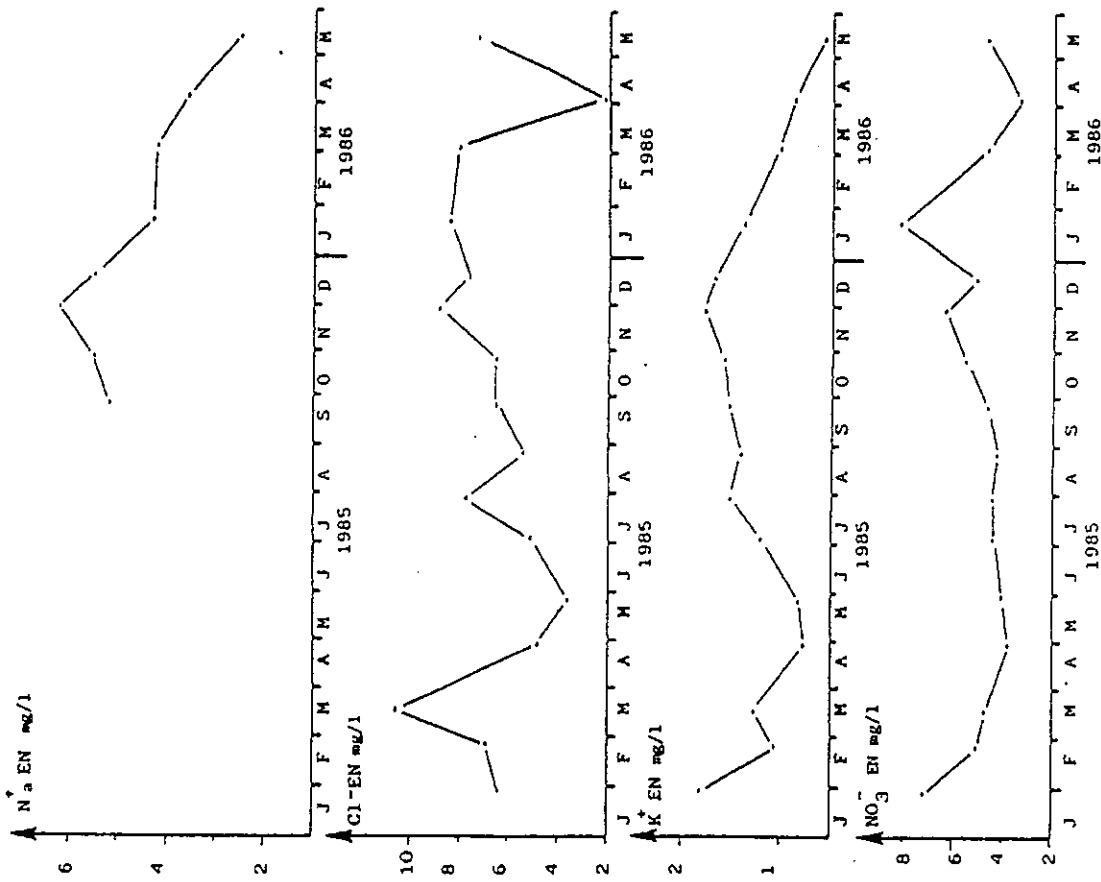


(FIG. 55) VARIATIONS DES PARAMETRES
PHYSICOCHIMIQUES DU CUIERS
S¹ GENIX ECHELLE n°2

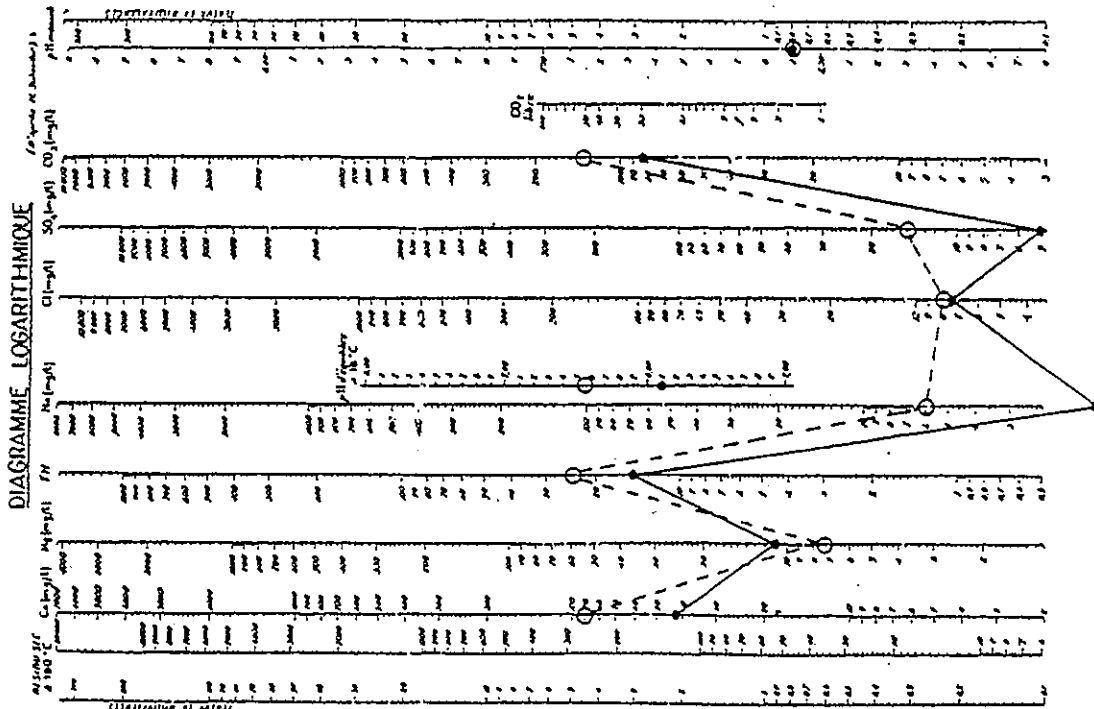
∞∞



(FIG. 56) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DU GUYERS ST GENIX ECHELLE n°2



(FIG. 57) REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'EAU DU GUYERS EN PERIODE D'ETIAGE ET DE CRUE -ST GENIX ECHELLE n°2



○ - ○ ANALYSE DU 26/11/1985 Q= 3M³/S
 ● - ● ANALYSE DU 13/5/1986 Q=41M³/S

Ces variations sont dues principalement au calcium que ne compense pas entièrement l'augmentation de la teneur en magnésium observée au printemps.

* Le Sodium :

Une baisse de la teneur en sodium des eaux du Guiers apparait en Décembre à Mai

* Le Potassium :

Les eaux du Guiers contiennent une très faible teneur en potassium, la valeur moyenne ressort à 1,24 mg/L.

Il suit le cycle du calcium : baisse de sa teneur durant l'hiver et le printemps, maxima en Novembre et Décembre.

2.3.2 Les Anions

* Les Bicarbonates :

Il est l'ion dominant, il fluctue de façon synchrone avec le calcium.

La différence entre les deux valeurs extrêmes est forte : 110 mg/L ce qui représente approximativement la moitié de sa valeur moyenne (235 mg/L).

* Les Sulfates.

Le Guiers possède une faible teneur en sulfates (valeur moyenne 7 mg/L), elle s'accroît de Mai à Novembre.

* Les Nitrates :

Diminution des teneurs de Janvier à Avril, puis augmentation le reste de l'année.

* Les Chlorures :

Les variations semblent irrégulières, cependant les deux minima observées durant la période d'étude, furent au début du printemps 1985 et 1986.

2.4. - Conclusions

Nous avons pu constater que les bi-carbonates, le calcium, les sulfates, les nitrates, le sodium ainsi que le potassium subissaient le même cycle sur la période d'étude : diminution de leurs concentrations durant l'hiver avec un minimum au début du printemps

Les minima des teneurs en chlorures apparaissent synchrones avec ceux des ions précédents mais leur évolution est plus complexe.

Le magnésium montre une évolution inverse de celle des autres ions avec une forte teneur au début du printemps.

En période de crues, les eaux du Guiers sont agressives vis à vis du carbonate de calcium. (pH mesuré $<$ pH d'équilibre) alors qu'elles sont incrustantes en période d'étiage.

3 - Conclusions :

Le Guiers est un affluent présentant de fortes sautes de débit et de minéralisation qui en accord avec la nature de son bassin versant est de type bicarbonaté calcique.

Deux périodes de crues apparaissent généralement: printanières et automnales. Durant la première, le Guiers possède une eau faiblement minéralisée liée à la fonte des neiges de son bassin versant (points culminants à une altitude supérieure à 2000 m dans le massif de la chartreuse).

La fin de l'année 1985, ainsi que 1986 sont peu représentatives d'une année moyenne. L'apport extrêmement réduit des précipitations engendra un étiage automnal qui se prolongea en Décembre (Q le 17.12.85 = 3 m³/s) en raison de l'absence totale de ruissellement.

Il est possible qu'en année normale, les pluies d'automne, provoquent l'apparition d'un pic d'eau moins minéralisée durant cette période.

CHAPITRE 5

LE KARST DU MONT TOURNIER

1 - INTRODUCTION

- 1.1. - Présentation
- 1.2. - Les limites

2 - LES OBSERVATIONS

- 2.1. - Les observations de surface
- 2.2. - Les observations souterraines
- 2.3. - Conclusion

3 - LES OPERATIONS DE TRACAGES

4 - ETUDE DES SOURCES : ARCANIÈRE ET FONTAINE DU LYON

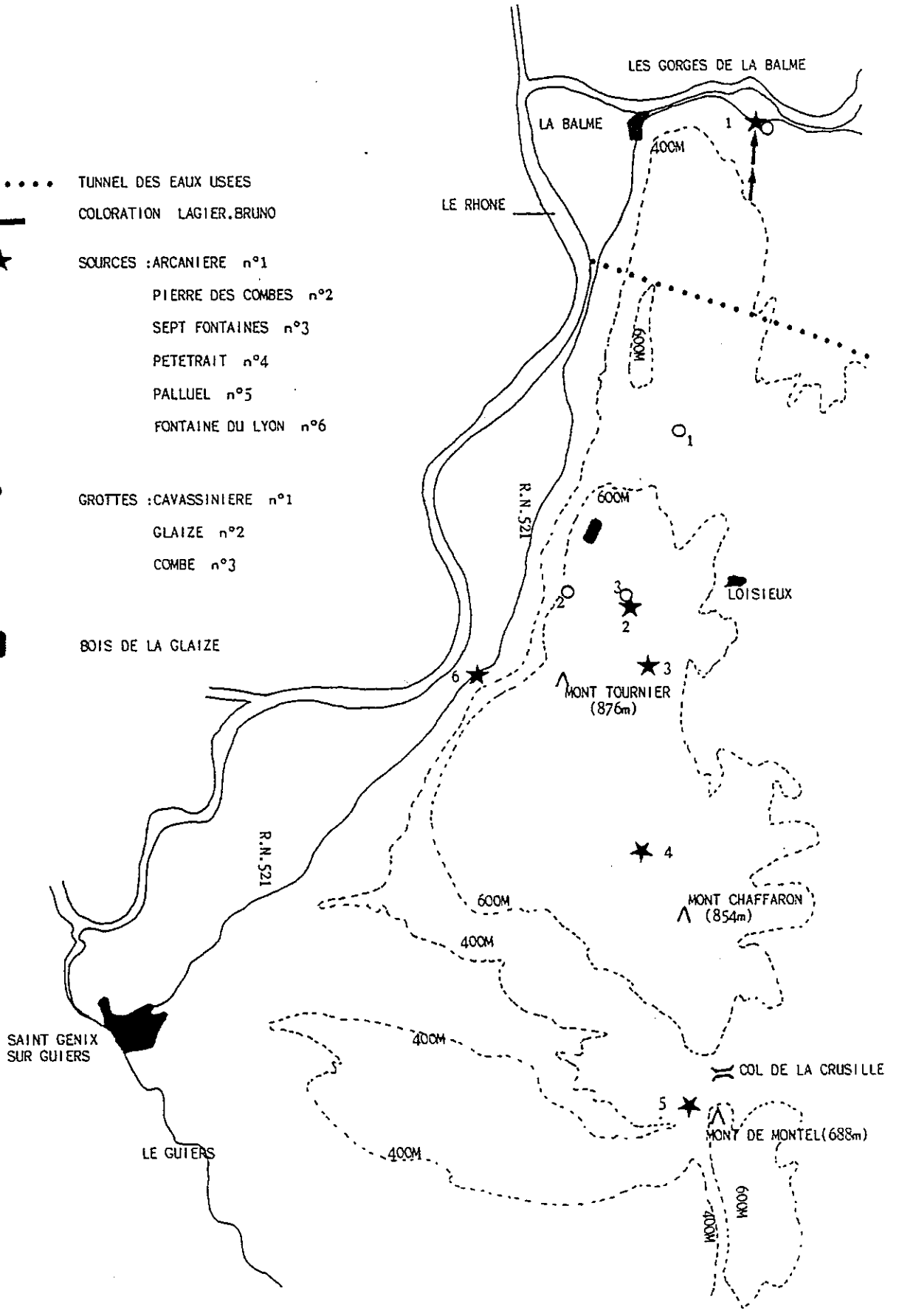
- 4.1.-Les variations annuelles
- 5.1.-Les crues

5-CONCLUSION-ETABLISSEMENT D'UN BILAN

94
(FIG. 58) CARTE DU MASSIF DU MONT TOURNIER

LEGENDE:

- TUNNEL DES EAUX USEES
- ← COLORATION LAGIER, BRUNO
- ★ SOURCES : ARCANIERE n°1
PIERRE DES COMBES n°2
SEPT FONTAINES n°3
PETETRAIT n°4
PALLUEL n°5
FONTAINE DU LYON n°6
- GROTTES : CAVASSINIERE n°1
GLAIZE n°2
COMBE n°3
- ▬ BOIS DE LA GLAIZE



0 1 2Km

1 - INTRODUCTION1.1. Présentation

Surplombant la vallée du Rhône, le massif calcaire du Mont Tournier possède peu de résurgences, malgré une surface d'infiltration de l'ordre de 27 Km² (superficie obtenue après planimétrie des formations calcaires et des éboulis les recouvrants en partie).

1.2. Les Limites

La limite Nord du massif karstique est constituée par la cluse épigénique des gorges de la Balme qu'emprunte le Rhône.

Sur son flanc Est, repose sur la série carbonatée d'âge Oxfordien supérieur à Crétacé inférieur, en discontinuité les formations molassiques tertiaires qui forment le synclinal de Yenne-Novalaise.

Au Sud, le chaînon de Montbel fait suite à celui du Mont Tournier au col de la Crusille.

La limite occidentale est constituée par la plaine du Rhône, puis au Sud par la bordure orientale de l'avant pays molassique du Bas Dauphiné (Région de St Génix sur Guiers). (FIG.n° 58).

2 - LES OBSERVATIONS2.1. Les Observations de Surface2.1.1. Les Sources

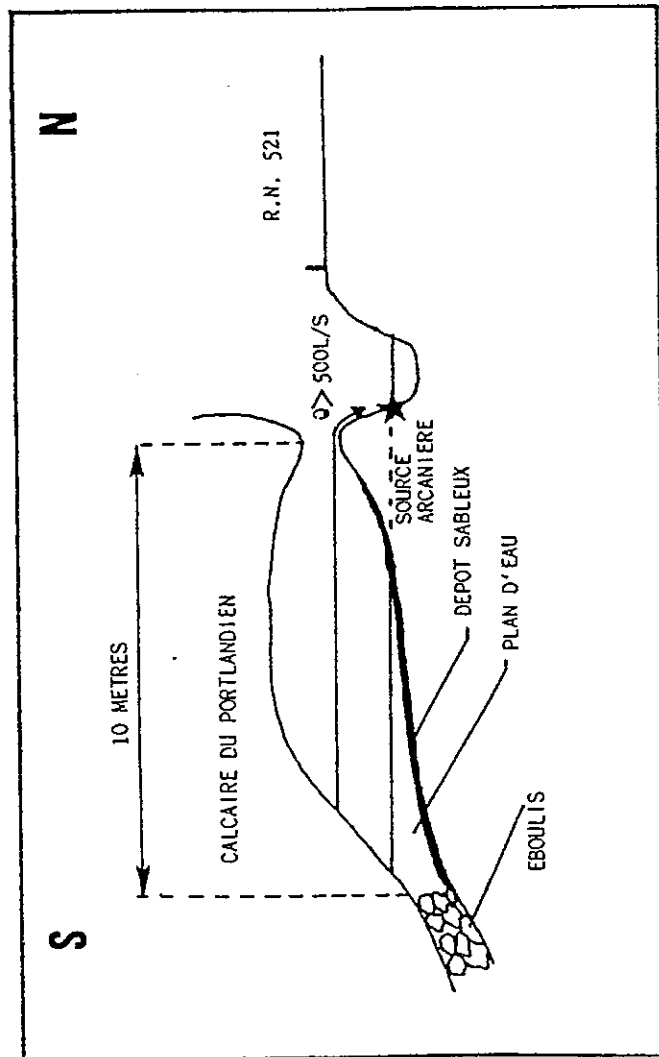
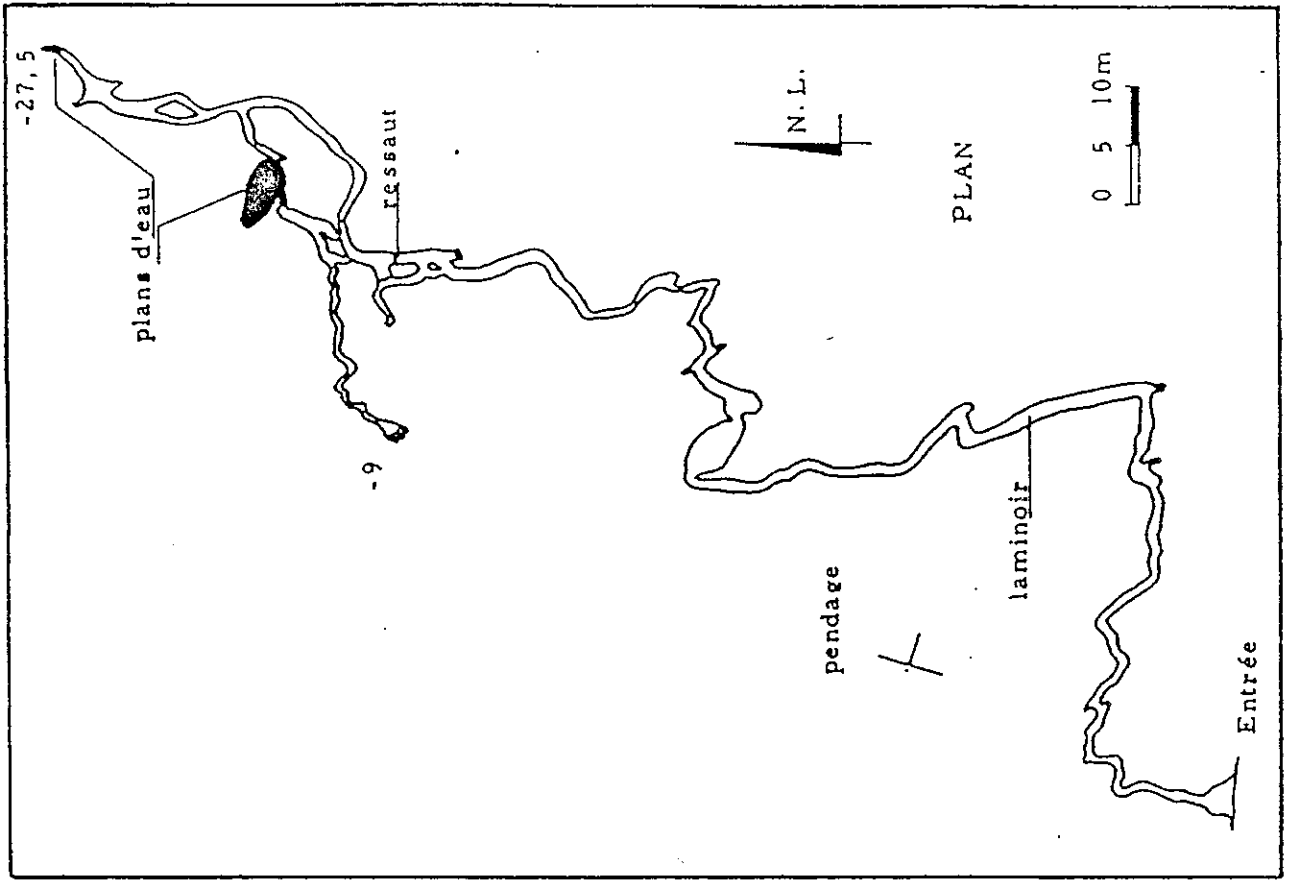
Sur son flanc Est les résurgences perennes sont : la source des Sept Fontaines, la source Pierre des Combes, toutes les deux captées pour l'alimentation en eau potable de la commune de Loisieux

Au Sud la source de Petetraït située à 700 m au Nord du village de la Lattaz.

A l'extrémité Nord du massif émerge la source de l'Arcanière.

Seule exurgence visible du versant Ouest : la Fontaine du Lyon qui sort au contact de la plaine du Rhône, à la base des éboulis qui tapissent ce versant.

Le tableau ci-dessous permet de constater que les sources orientales et méridionales sont les moins importantes, ce qui ajouté à leur situation géographique a provoqué leur exclusion de cette étude.



(FIG.59) SCHEMA DE LA GROTTE DE L'ARCANIERE

(FIG.60) TOPOGRAPHIE DE LA GROTTE DE LA CAVASSINIÈRE (LEVES Y. BILLAUD 1981)

Sources	Situation géologique	Débit		Alt.	X	Y
		Mini	Maxi			
7 Fontaines	Valanginien	6L/mn	2L/s	720m	863,70	77,00
Pierre des Combes	"	18L/mn	2,5L/s	730m	863,35	77,90
Petetrain	"	5L/mn	?	740m	863,65	74,45
Arcanière	Portlandien	5L/s	-800L/s	230m	864,90	84,10
Fontaine de Lyon	Eboulis et écroulement quaternaire	12L/s	-360L/s	230m	861,55	76,85

Signalons aussi la source de Palluel (altitude 330m, X : 864,65 Y : 69,70) au Sud du col de la Crusille, qui sort des éboulis adossés à la falaise occidentale du chaînon de Montbel-Dullin mais qui provient du massif calcaire et dont le débit est de 8 L/s.

2.1.2. - Les autres indices :

De vastes surfaces lapiazées se développent sur le massif du Mont Tournier: la plus importante se trouve dans les calcaires du Portlandien affleurant au " Bois de la Glaize ".

Près de la Balme, dans la cluse du Rhône, de nombreuses fissures du Kimmeridgien sont remplies d'argiles rouges, qui représentent d'après P. Gidon " à coup sur un très vieux Karst " (in géologie Chambérienne 1962.).

2.2. - Les Observations souterraines

2.2.1. Les explorations spéléologiques :

Quelques cavités ont permis de brèves explorations spéléologiques, nous citerons :

* La grotte de la Glaize (alt.700 m, X = 862,60 Y : 77,90) qui présente trois cavités dont une avec un développement de 50 mètres mais dont la section de conduit reste inférieure à 2 mètres.

* La grotte de la Combe (Alt. 730 m, X = 863,35, Y : 77,75) qui est accessible sur une dizaine de mètres.

Ces deux grottes sont presque totalement comblées par des argiles de couleurs jaune à rouge.

* La grotte de la Cavassinière (alt. 540 m X:864,00 Y : 80,0) qui selon Y.Billaud est la seule cavité à intérêt spéléologique de ce massif en raison de ses dimensions (240 m de développement pour 28 m de dénivelé) (FIG.60)

Deux plans d'eau permanents occupent le fond de la cavité. Y. Billaud note qu'en période de pluie, un petit écoulement vient se jeter dans le plan d'eau de la galerie principale.

* La grotte de l'Arcanière (alt. 230m, X = 864,90, Y : 84,10). Elle est située à une dizaine de mètres à l'Est de la source, son entrée dont le seuil est deux mètres au dessus de la source donne sur une cavité de 2 mètres sur 5 mètres légèrement descendants sur une dizaine de mètres.

Cette cavité est occupée par un lac dont le siphon s'arrête sur un éboulis infranchissable malgré les nombreuses tentatives des spéléologues. Le fond du lac est tapissé par un dépôt sableux.

Pendant la période d'étude, nous avons constaté que les eaux émergent violemment par ce seuil lors de crues à débits supérieurs à 500 L/s (crues du 22.4.86 et du 7.7.87) (FIG.n° 59).

2.2.2. - Observations dans le tunnel des eaux usées

• Afin de résoudre le problème de la pollution du lac du Bourget par les eaux usées provenant des agglomérations situées dans son bassin versant, il fut décidé de rejeter après épuration ces eaux usées dans le Rhône.

Pour ce faire, un tunnel fut creusé traversant le massif du Mont du Chat, le synclinal de Yenne Novalaise et le massif du Mont Tournier entre la commune du Bourget du Lac (cote 228m) et la boucle amont de la commune de la Balme (cote 218 m).

La longueur totale de ce tunnel est de 12270 m, il fut achevé à la fin de l'année 1978.

• Les études réalisées, lors de son percement ont permis de mettre en évidence sous le Mont Tournier :

- un débit d'exhaure total de 20 à 25 L/s réparti entre tous les terrains calcaires de l'Oxfordien supérieur à l'Hauterivien, avec des débits n'excédants pas 0,5 L/s pour les venues localisées.

Une venue située au point métrique 10532 (Point métrique zéro à l'entrée de l'attaque amont du Bourget du Lac) dans les calcaires du Portlandien a montré lors d'une variation de débit, une arrivée de sables. Cette venue s'effectue le long d'une fracture transversale à la galerie.

- La présence d'un paleokarst tectonisé, non actif, situé dans les calcaires du Valanginien entre les P.M 9527 et 9717. Ce passage a nécessité la pose de cintres de soutènement.

- les 180 premiers mètres de l'attaque aval furent réalisés dans des conditions difficiles dans les calcaires du

Kimméridgien, en raison d'un rocher découpé par une intense fracturation. Aucune venue d'eau ne fut signalée. D'après F. Guigon, " l'ensemble des fissures étaient colmatées par de l'argile jaunâtre qui donne à ce matériau une apparence de brèche de failles. L'altération est importante, associée à des phénomènes plus anciens (paléokarsts colmatés par de l'argile rougeâtre).".

- Aucune venue d'eau dans la galerie n'a été constatée au contact calcaire-molasse. Les venues d'eau du flanc Ouest du synclinal de Yenne-Novalaise totalisent un débit de 3 L/s.

Ces débits sont à comparer aux 260 L/s obtenus sous le massif calcaire du Mont du Chat ainsi qu'au 37 L/s mesurés sous le flanc Est du synclinal molassique.

- Les valeurs de résistivité mesurées par C. Choquet le 31 Mars 1978 sur les différentes arrivées d'eau issues des calcaires, dans le tunnel, sont comprises entre 2000 et 2500 Ω . cm.

Alors que nos valeurs obtenues durant le 1er trimestre 1986 donnent toujours une résistivité supérieure à 3000 Ω .cm pour la Source Arcanière et à 2800 Ω .cm pour la Fontaine du Lyon.

Les valeurs de résistivité obtenues dans le tunnel ne peuvent pas être imputées à de faibles précipitations durant cette période : celles-ci sont largement excédentaires (Janvier:160 mm, Février:156 mm, Mars:143 mm. D'après les données de Monsieur Génix à la Balme).

- La forte minéralisation des eaux du tunnel ainsi que le débit modeste, malgré des précipitations importantes enregistrées sur le secteur permettent de penser qu'il existe peu de relations hydrauliques avec les eaux météoriques de surface.

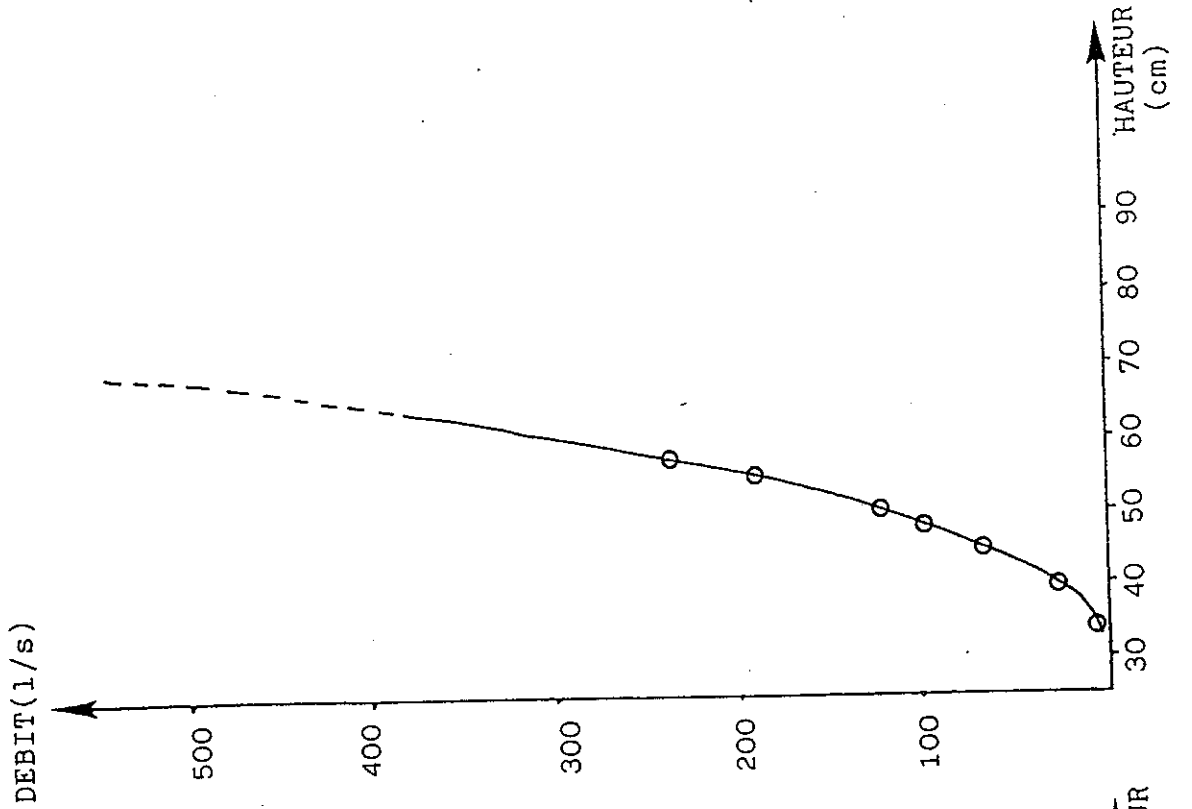
La seule venue ayant subi une crue, accompagnée de sables, est située dans la même formation calcaire que la source Arcanière.

2.3. Conclusion

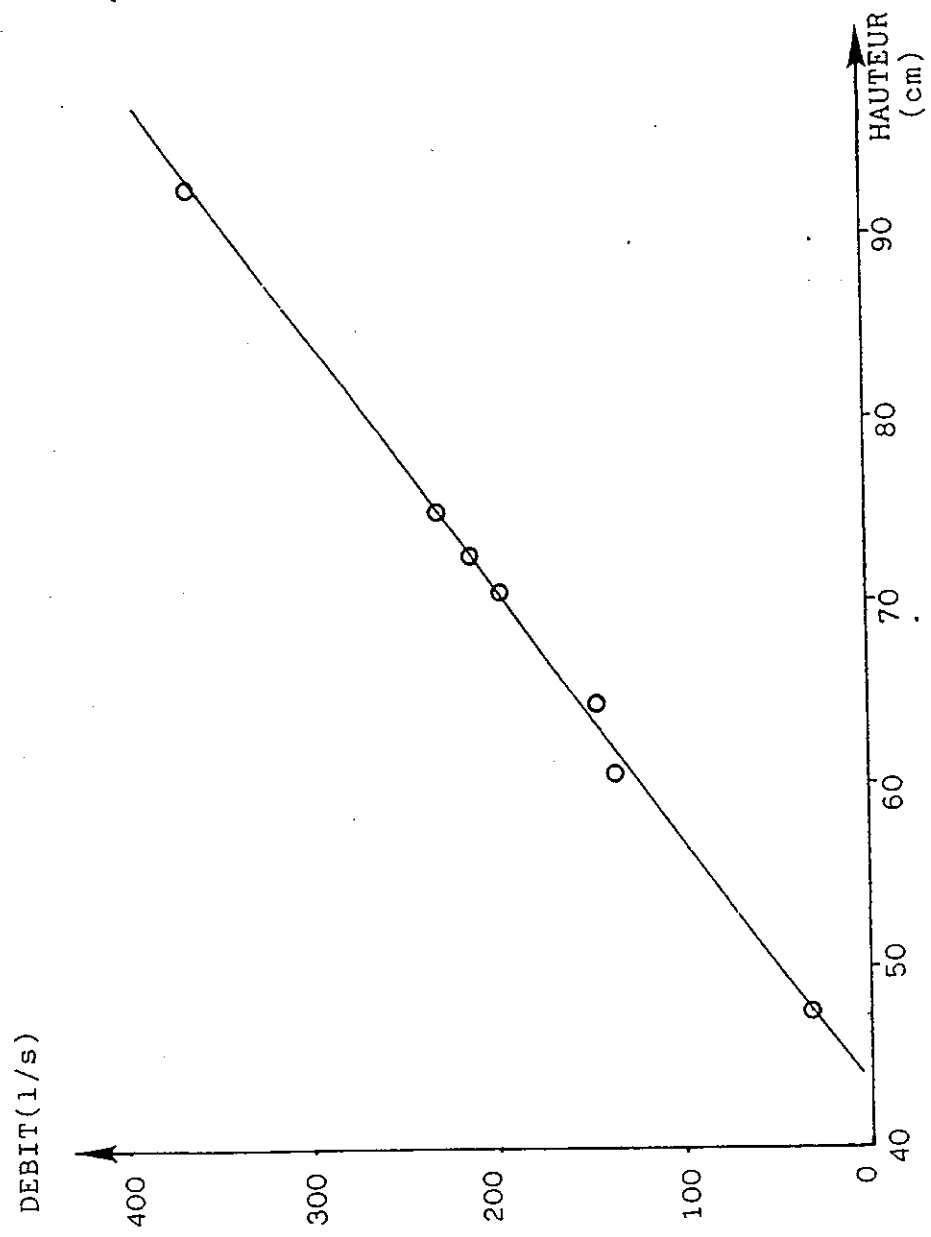
De tous les terrains visibles à l'affleurement, le Portlandien possède la source la plus importante. Les sources du Valanginien présentent de faibles débits.

Les grottes karstiques, mis à part l'Arcanière qui possède donc une circulation active, sont partiellement ou entièrement comblées par des argiles jaunes à rouges avec dans le cas de la grotte de la Cavassinière un faible écoulement durant les périodes pluvieuses permettant d'entretenir les petits " plans d'eau " de fonds de galerie.

Le tunnel a rencontré très peu de venues d'eau sur son parcours, par contre il a recoupé d'aval en amont une première zone broyée sèche sur 170 m dans les calcaires récifaux du Kimméridgien présentant des indices d'anciennes circulations karstiques ainsi qu'un paléokarst entièrement comblé sur 190 mètres dans les calcaires fins du Valanginien.



(FIG. 62) COURBE DE TARAGE DE LA STATION DE L'ARCANIERE



(FIG. 61) COURBE DE TARAGE DE LA STATION DE LA FONTAINE DU LYON

3 - LES OPERATIONS DE TRACAGES

La seule coloration connue dans le massif du Mont Tournier a été effectuée par Monsieur Lagier Bruno (Ingénieur T.P.E. à Yenne) en 1950.

Le colorant injecté dans une cavité karstique à côté du village de Chevru situé à 1 km au sud de l'Arcanière fut retrouvé à cette source. (communication orale de M. Lagier Bruno - 1985).

4 - ETUDE DES SOURCES : ARCANIERES

FONTAINE DU LYON

4.1. - Variations annuelles

4.1.1. Etude Hydrodynamique

4.1.1.1. Les débits

4.1.1.1.1. Méthodologie

Afin de nous permettre d'étudier les débits de l'Arcanière et ceux de la Fontaine du Lyon, deux échelles limnimétriques furent installées sur les canaux issus de leur exutoire.

Le tarage de ces échelles est effectué par la méthode "du moulinet" (Marque A.O.T.T. type F 4), après traitement des résultats de jaugeage sur micro-ordinateur Apple à l'aide du programme MOULINET de P. Lamy - 1984. (FIG. 61 et 62)

Pour la station de la Fontaine du Lyon, la relation hauteur-débit est une droite, due à l'installation de l'échelle à l'entrée d'une buse circulaire.

Des relevés hebdomadaires des hauteurs furent effectués durant l'année 1986, donnant les débits des figures numéro 63 et 64

4.1.1.1.2. Evolution : définition d'un cycle.

Nous constatons une très forte différence de débit entre les valeurs de crues et d'étiages : rapport de 1 à 160 pour l'Arcanière, de 1 à 30 pour la Fontaine du Lyon.

Les variations de débit sont généralement très rapides, La Fontaine du Lyon possède des variations relativement plus faibles que l'Arcanière. Ce phénomène doit être attribué en partie à son émergence dans des éboulis qui montrent ainsi leur rôle "tampon" dans l'amortissement de ces variations.

La période d'étiage pour l'année 1986 s'individualise nettement de Juillet à la fin d'Octobre. Les débits les plus importants s'enregistrent de Décembre à Mai.

Le tableau ci-dessous, donne les débits moyens mensuels établis à partir des relevés hebdomadaires.
(remarque : Afin d'améliorer la précision des valeurs de débit évacué lors des périodes pluvieuses, en raison de la soudaineté des crues, nous avons effectué des relevés plus rapprochés dans le temps).

DEBIT
EN L/S

(700) 102

(FIG.63) VARIATION DES DEBITS
DE LA SOURCE ARCANIERE .1986

500

400

300

200

100

1/03 1/05 1/07 1/09 1/11
1986

DEBIT
EN L/S

400

300

200

100

1/03 1/05 1/07 1/09 1/11
1986

(FIG.64) VARIATION DES DEBITS
DE LA SOURCE FONTAINE DU LYON 1986

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
A.	(55)	195	137	230	86	25	26	10	8	34	72	145
F.deL.	208	181	136	220	165	100	44	34	18	35	86	116

Débits exprimés en litres/seconde

Les mois à fort débit correspondent aux mois possédants des valeurs de précipitations disponibles à l'infiltration, obtenus par la méthode du bilan de Thornthwaite (confer chapitre climatologie).

4.1.1.1.3.- Relation Pluie-débit

Les pluies d'été influencent peu le débit des sources, ainsi que nous pouvons le constater dans le tableau de la figure n° 65. Les valeurs entre parenthèses représentent le rapport précipitation en mm sur les débits en m³/s.

Une forte valeur signifie que les précipitations ont engendrées un faible débit aux exutoires.

Les rapports sont fait sur les 48 heures et 72 heures précédant la crue en raison pour certaines crues de l'absence de précipitations dans les 24 heures.

4.1.1.1.4.- Conclusion

Les variations de débit des deux sources confirment les valeurs de précipitations disponible à l'infiltration du bilan établi dans le chapitre climatologie.

De Juillet à Octobre, l'évapotranspiration ainsi que la recharge des réserves hydriques du sol utilisent la presque totalité des précipitations.

4.1.1.2. Courbes des débits classés

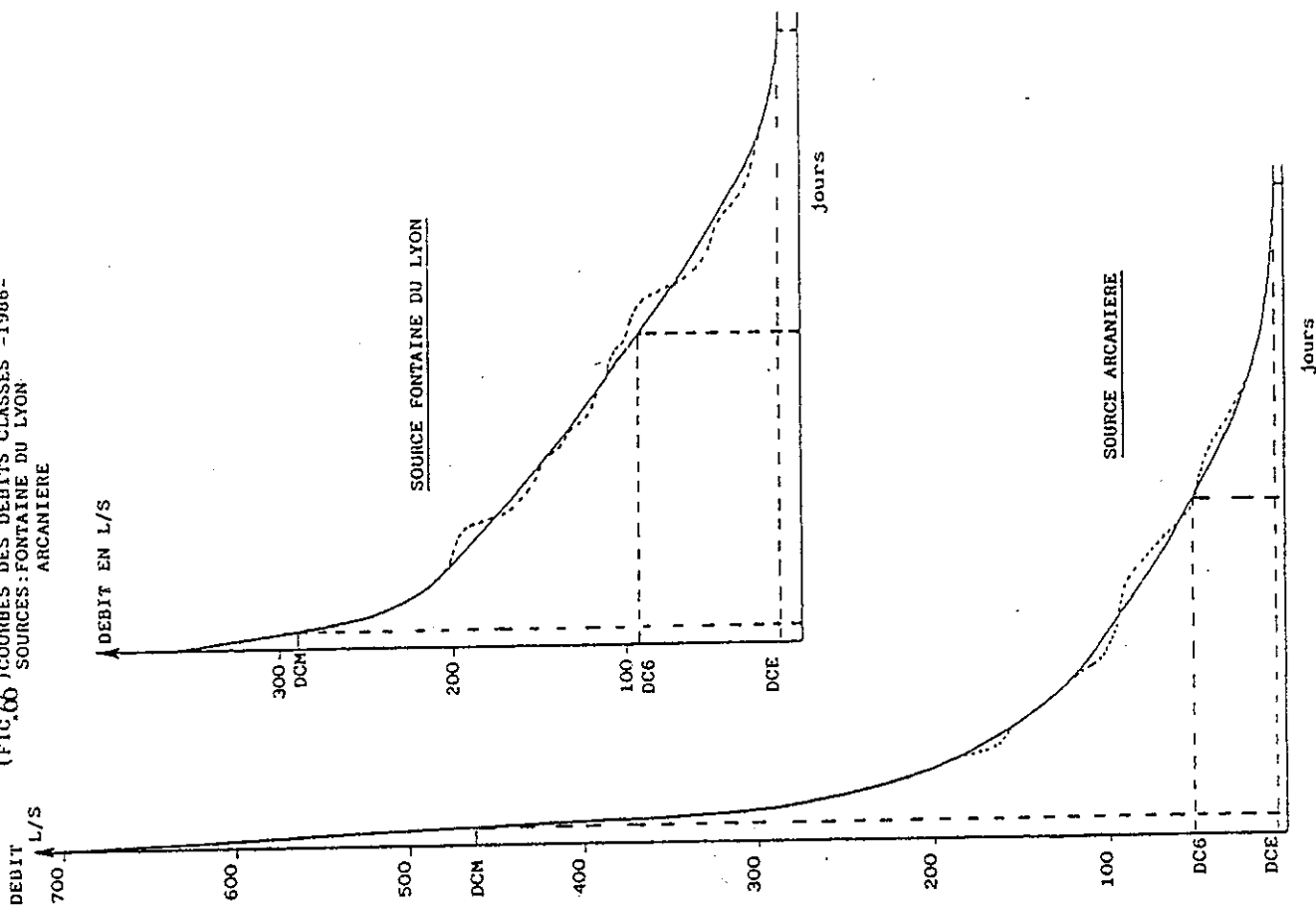
A partir de nos relevés hebdomadaires, nous avons construit les courbes de débits classés qui nous ont permis de trouver les débits caractéristiques figurants dans le tableau suivant : (FIG.66)

Sources	D.C.M.	D.C.6	D.C.E.	Débit moyen
Fontaine du Lyon	290	93	13	97
Arcanière	460	55	5	78

Débits exprimés en litre par seconde.

D.C.M. : Débit caractéristique Maximum : dépassé 10 jours par an
 D.C.6 : " " " Moyen : dépassé 6 mois par an
 D.C.E. : " " " d'étiage : dépassé 355 jours par an

(FIG. 66) COURBES DES DEBITS CLASSES -1986-
SOURCES: FONTAINE DU LYON
ARCANIÈRE



(FIG. 65) TABLEAU DES RAPPORTS PRECIPITATIONS/DEBITS

DATE	DEBIT MAXIMUM EN L/S	HAUTEUR DES PRECIPITATIONS EN mm PRECEDANT LE DEBIT MAXIMUM DE :		
		24 HEURES	48 HEURES	72 HEURES
19/2	A: 560	21.7	(46) 25.7	(51) 28.3
24/2	A: 380 FDL: 286	7-3	(40) 15.4 (41)	(40) 15.4 (41)
25/3	A: 294 FDL: 230	12	(81) 23.8 (103)	(82) 24.2 (105)
22/4	A: 700 FDL: 200	19.2	(34) 24.1 (120)	(43) 30.2 (151)
5/5	A: 206 FDL: 265	1.1	(133) 27.4 (103)	(168) 34.7 (118)
18/5	A: 122 FDL: 170	0.1	(103) 12.6 (74)	(164) 20.1 (118)
8/7	A: 94 FDL: 101	0	(472) 44.4 (439)	(754) 70.9 (702)
12/8	A: 8 FDL: 36	37.7	(5075) 40.6 (1027)	(5075) 40.6 (1027)
20/9	A: 10.5 FDL: 12	0	(100) 1.6 (133)	(4330) 43.2 (3600)
23/10	A: 40 FDL: 20	18.1	(462) 18.5 (925)	(585) 23.4 (1070)
27/11	A: 148 FDL: 109	1.7	(118) 17.4 (159)	(158) 23.5 (216)

A: ARCANIÈRE FDL: FONTAINE DU LYON PRECIPITATIONS: LA BALME (M- GENIX)
(40): RAPPORT P/O 1^{ère} LIGNE ARCANIÈRE 2^{ème} LIGNE FONTAINE DU LYON

4.1.1.3. Les Courbes de tarissement

4.1.1.3.1. la Source Arcanière

Nous avons étudié la décroissance des débits à partir de la crue du 5 Mai 1986 ($Q = 206$ l/s) jusqu'à octobre.

Malheureusement plusieurs épisodes pluvieux ont troublé la décrue.

Les débits ont été exprimés sur la figure n° 67 en fonction des logarithmes des temps.

La courbe se décompose en trois segments de droite traduisant la décroissance exponentielle du débit en fonction du temps.

* Le segment AB de pente $\alpha_1 = 5,4$, correspond à une diminution extrêmement rapide du débit à l'exutoire durant les 12 premiers jours.

Cette décroissance rapide s'est renouvelée pour chaque épisode pluvieux suivant.

Elle démontre l'existence d'un réseau important à vidange rapide qui correspond à la mobilisation d'une zone étendue à très forte perméabilité.

* Le segment BC de pente $\alpha_2 = 0,67$ tangente les minima des crues successives, il traduit la vidange de zones à perméabilité plus faible ou plus éloignées de l'exutoire.

* Le segment CD à très faible pente ($\alpha_3 = 0,046$) démontre la réaction de zones encore plus lentes à la vidange. Il représente le tarissement proprement dit : c'est la vidange naturelle des aquifères après une période pluvieuse en régime peu influencé.

Le débit d'étiage se maintient à quelques litres/seconde durant toute la période de non réalimentation du Karst.

4.1.1.3.2. La Source Fontaine du Lyon

La même étude fut effectuée sur la source de la Fontaine du Lyon, toujours gênée par les recharges qui se sont produites lors des phases de décrue (FIG.68).

Trois segments semblent s'individualiser :

* Le segment AB dont la forte pente ($\alpha'_1 = 6,8$) se retrouve lors des décrues consécutives aux recharges suivantes. Il correspond à la vidange de zones à très forte perméabilité.

Cette phase de décrue est rapide ; elle prend fin pour la crue du 5 mai 1986 au bout de trois jours.

* Un segment BC de pente égale à 2,1 qui correspond à la vidange d'une zone de forte ampleur à perméabilité élevée.

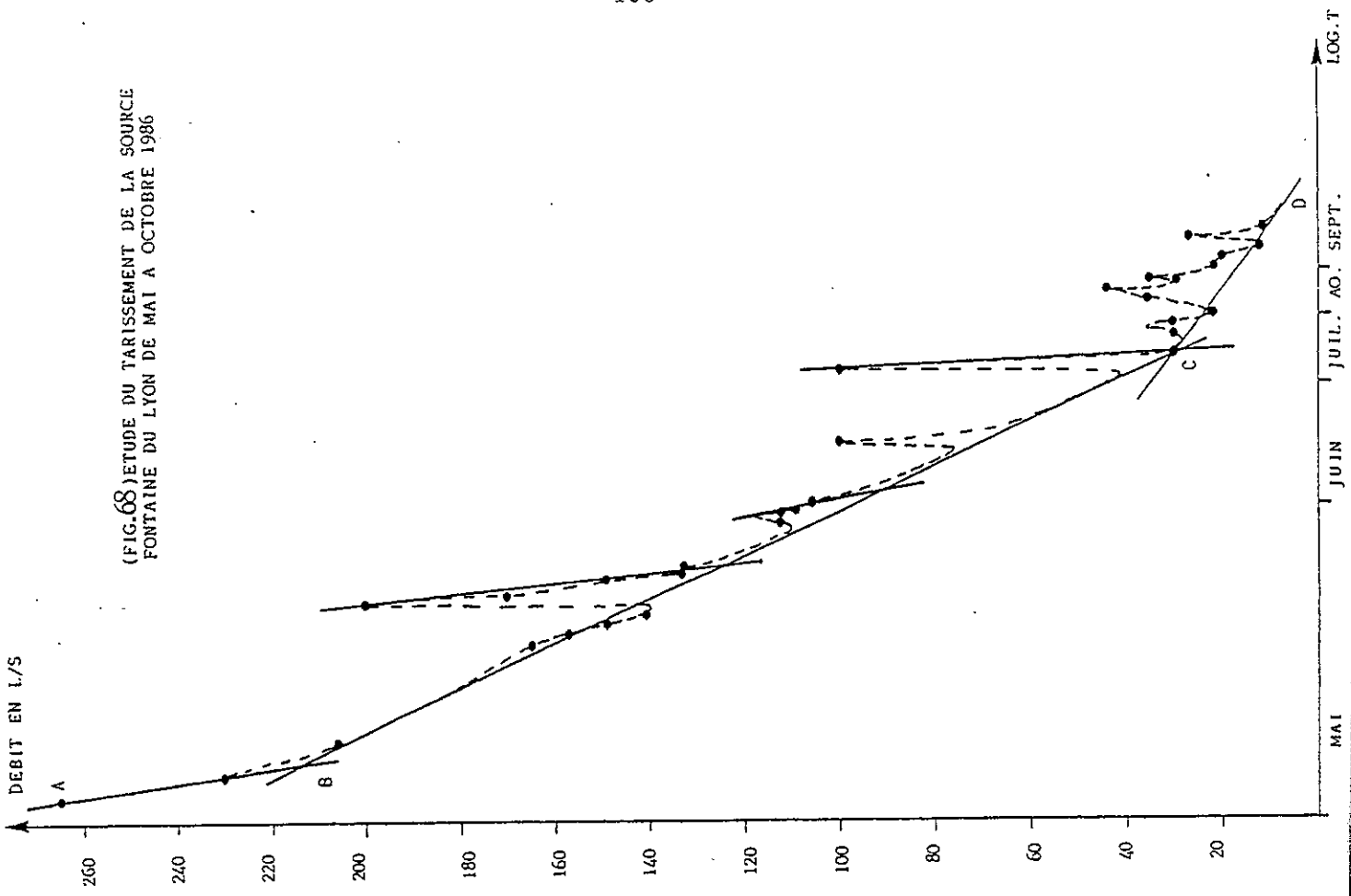
* Un segment CD dont la pente reste importante ($\alpha'_3 = 0,93$) qui témoigne de la vidange d'une zone dont la perméabilité reste élevée. Elle permet de fournir un débit d'étiage lors de ce tarissement plus important que celui de l'Arcanière.

4.1.1.3.3. Comparaison entre les deux sources. Conclusion

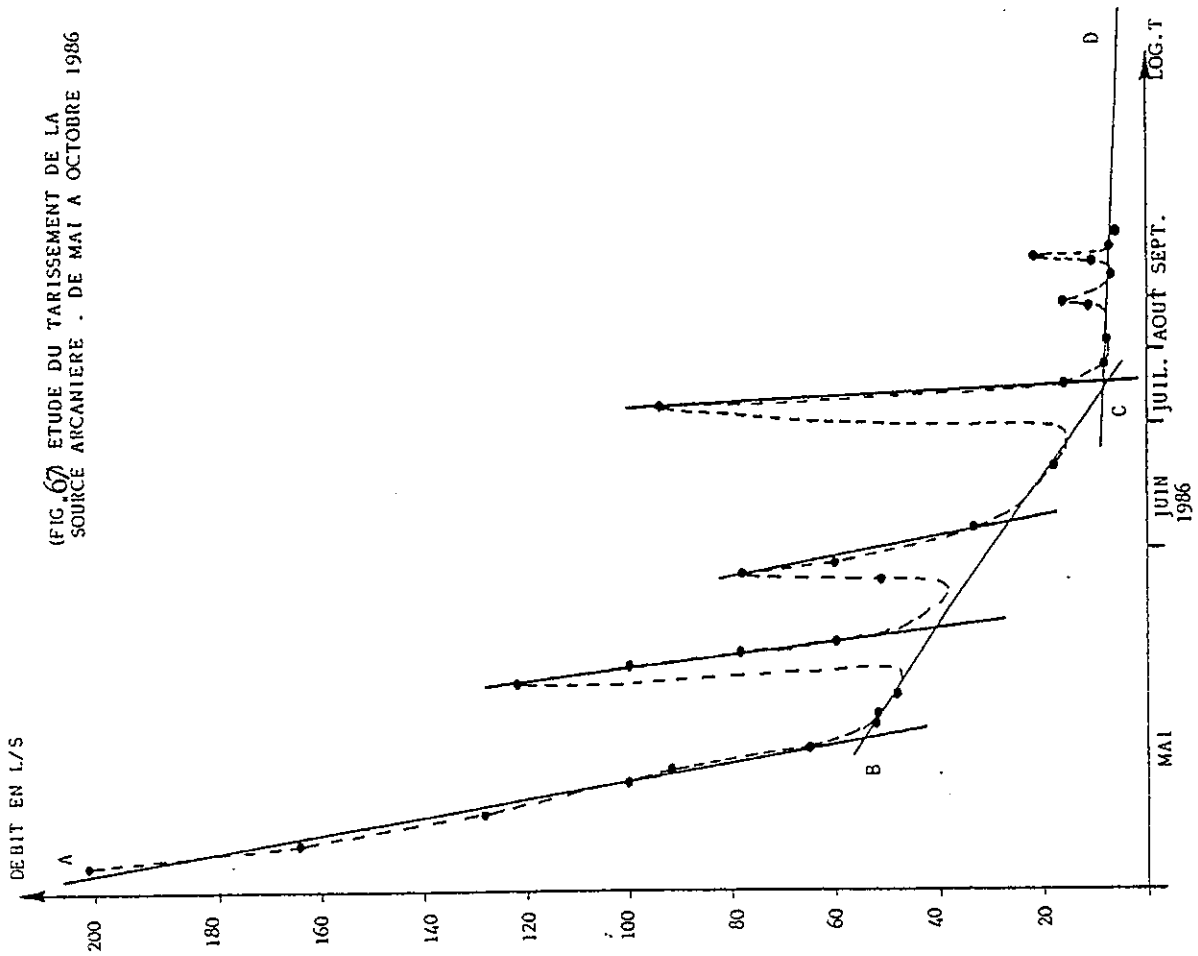
Pour les deux sources, nous remarquons l'existence d'une même réponse lors de la 1ère phase de décrue.

Les précipitations provoquent grâce à la présence d'une zone très perméable, l'arrivée rapide de fortes quantités d'eau aux deux exutoires.

(FIG. 68) ETUDE DU TARISSEMENT DE LA SOURCE FONTAINE DU LYON DE MAI A OCTOBRE 1986



(FIG. 67) ETUDE DU TARISSEMENT DE LA SOURCE ARCANIERE - DE MAI A OCTOBRE 1986



La pente de la deuxième phase de décrue est plus élevée pour la Fontaine du Lyon, traduisant une réponse rapide provoquée par des zones de meilleures perméabilités ou plus éloignées de cette source.

La droite de tarissement de la Fontaine du Lyon est aussi plus accentuée que celle de l'Arcanière, son débit d'étiage étant aussi plus important.

Ces particularités peuvent être rapportées au transit dans les éboulis de cette source d'origine karstique qui permet un stockage temporaire lors de la première phase de décrue. L'eau retenue est ensuite évacuée progressivement lors des phases suivantes.

4.1.2. Etude Physico-chimiques.

4.1.2.1. Relation conductivité - minéralisation calculée.

La figure n° 69 démontre l'existence d'une bonne relation linéaire entre la conductivité mesurée sur le terrain et la minéralisation, calculée après analyses au laboratoire, des sources karstiques.

La droite de corrélation possède l'équation suivante :

$$Y = 0,83 X + 47 \quad \text{avec } Y : \text{Conductivité à } 20^{\circ}\text{C en } \mu\text{S.cm}^{-1}$$

$$X : \text{minéralisation en mg/L.}$$

Le coefficient de corrélation est proche de 1

4.1.2.2. Variation annuelle de la température et de la conductivité (FIG.70)

Plus de 60 mesures de températures associées à des mesures de conductivité furent effectuées sur chaque source.

4.1.2.2.1. la température

* Les données :

- L'évolution des températures des deux sources est semblable sauf pour trois mesures (30/7. 3/9. 1/10) qui enregistrent de faibles valeurs à la Fontaine du Lyon. A ces anomalies sont associées des valeurs importantes de conductivité. Aucun phénomène météorologique particulier ne semble être lié à ces anomalies.

- La Fontaine du Lyon possède durant toute l'année à son émergence une eau dont la température est supérieure à celle de l'Arcanière.

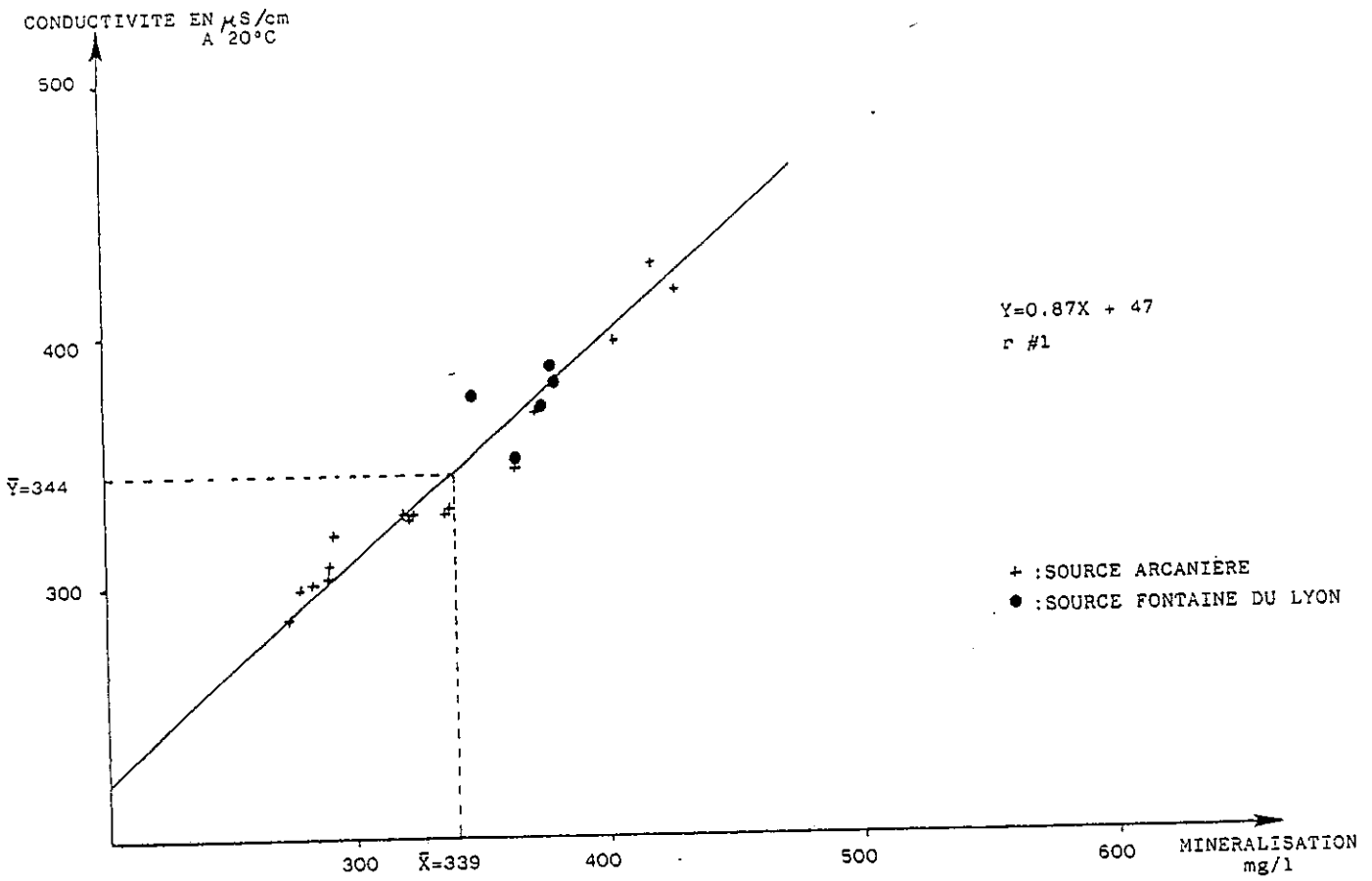
- L'Arcanière présente une température minimale en début d'année (8,6°C le 24/02). Le maximum a été relevé le 1er Octobre : 11,6°C

Pour la Fontaine du Lyon, mis à part les anomalies relevées plus haut, le minimum s'observe le 1er avril : 9,8 °C, le maximum fut relevé le 21 Octobre : 12,6°C.

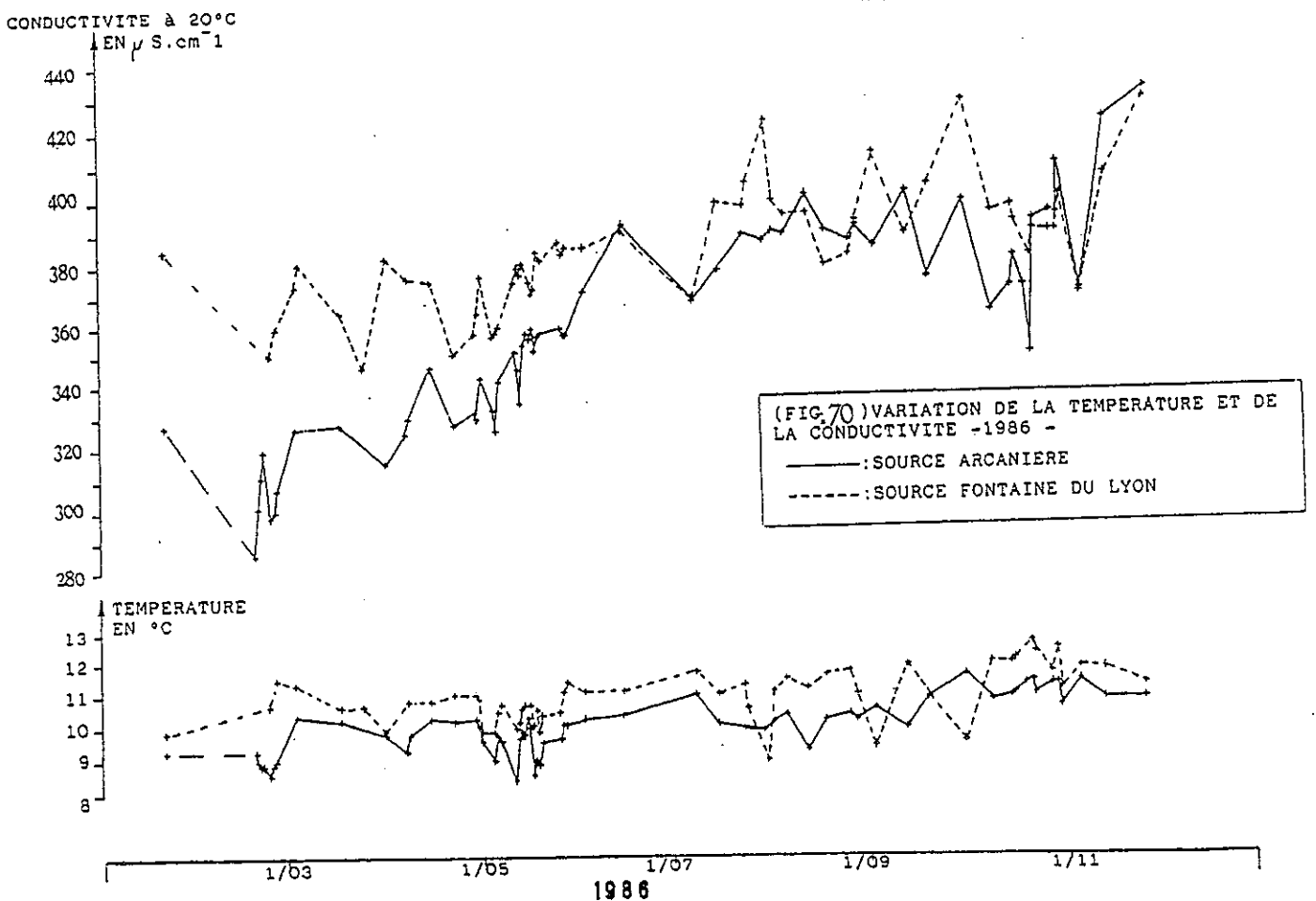
- La fluctuation des températures est faible :

- La température moyenne de l'Arcanière s'établit à 10,0°C avec un écart type de 0,8°C

- Celle de la Fontaine du Lyon à 10,9°C avec le même écart type.



(FIG.69) RELATION CONDUCTIVITE - MINERALISATION TOTALE CALCULEE DES EAUX DES SOURCES : ARCANIERE ET FONTAINE DU LION (MASSIF DU MONT TOURNIER)



• L'irrégularité de l'évolution de la température est provoquée par les crues que subissent les deux sources. Les variations de la température de l'air se manifestent peu.

* Interprétation et conclusion.

• La température moyenne de l'air varie entre 9,3°C à 600 m d'altitude et 9,7°C à 300 m d'altitude (Confer chapitre climatologie).

Lors du percement de la galerie des eaux usées, les températures des venues d'eau des terrains secondaires furent comprises entre 11°C près de l'attaque aval et 14,5°C près du contact molassique.

• En raison de leurs positions, ces sources sont disposées à près de 400 mètres sous le massif du Mont Tournier, l'Arcanière et la Fontaine du Lyon ont profité du réchauffement lié au gradient géothermique.

Pour les deux sources, les maxima sont observés en fin d'étiage lorsque le temps de séjour de l'eau est important. Il permet donc une bonne mise en équilibre avec la température de la roche.

• La température plus élevée de la Fontaine du Lyon montre soit que les eaux sont issues d'un cheminement plus profond permettant l'acquisition d'une température supérieure, soit que le tapis d'éboulis protège les eaux du Karst de la rupture du champ thermique à proximité de l'exutoire soumis à la température extérieure.

Ces deux phénomènes peuvent jouer ensemble.

4.1.2.2.2. la Conductivité

* Les données

• Le caractère synchrone mis en évidence dans l'évolution des températures des deux sources, se retrouve dans l'évolution des valeurs de conductivité.

• Nous constatons une augmentation globale de la conductivité à partir des minima observés fin Février et au mois de Mars liés à la fonte des neiges. La conductivité se stabilise à un niveau élevé durant la période d'étiage (proche de 400 μ S.cm⁻¹).

• L'écart de conductivité entre les deux sources est important durant l'hiver, puis il diminue au cours de l'année pour disparaître au début de l'été.

• La valeur moyenne de conductivité de l'Arcanière est de 357 μ S.cm⁻¹, celle de la Fontaine du Lyon se situe à 384 μ S.cm⁻¹.

Ces valeurs moyennes de conductivité sont semblables aux valeurs citées par différents auteurs pour des eaux d'aquifères karstiques régionaux :

P. LAMY pour la source du Merderet, exutoire du Karst Urgonien du massif de l'Épine, donne une valeur moyenne de 370 μ S.cm⁻¹;

F.BAUDOIN dans le massif Karstique du Ratz développé dans les calcaires urgonien et Valauginien, trouve des valeurs de conductivité variant entre 302 et 486 μ S.cm⁻¹ suivant les exutoires.

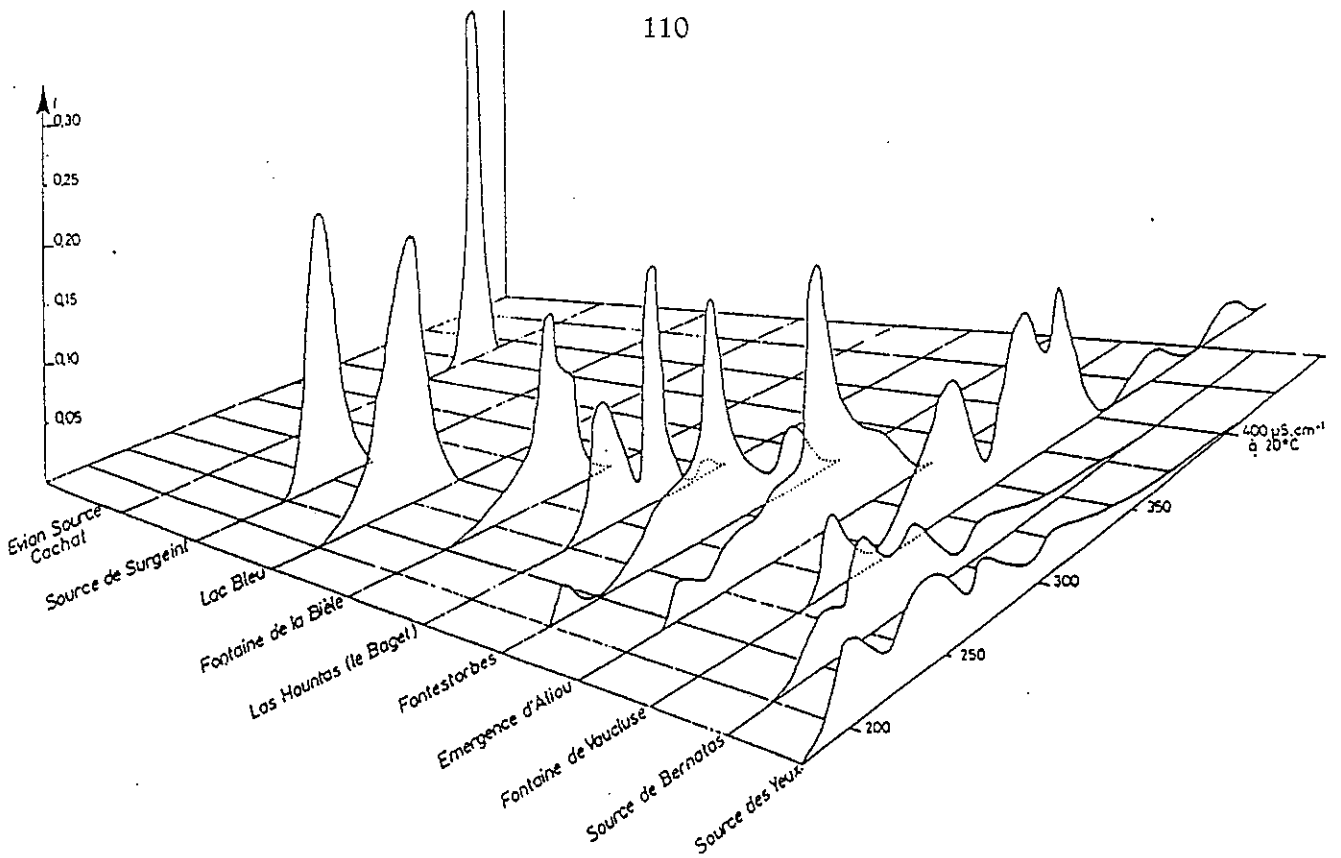
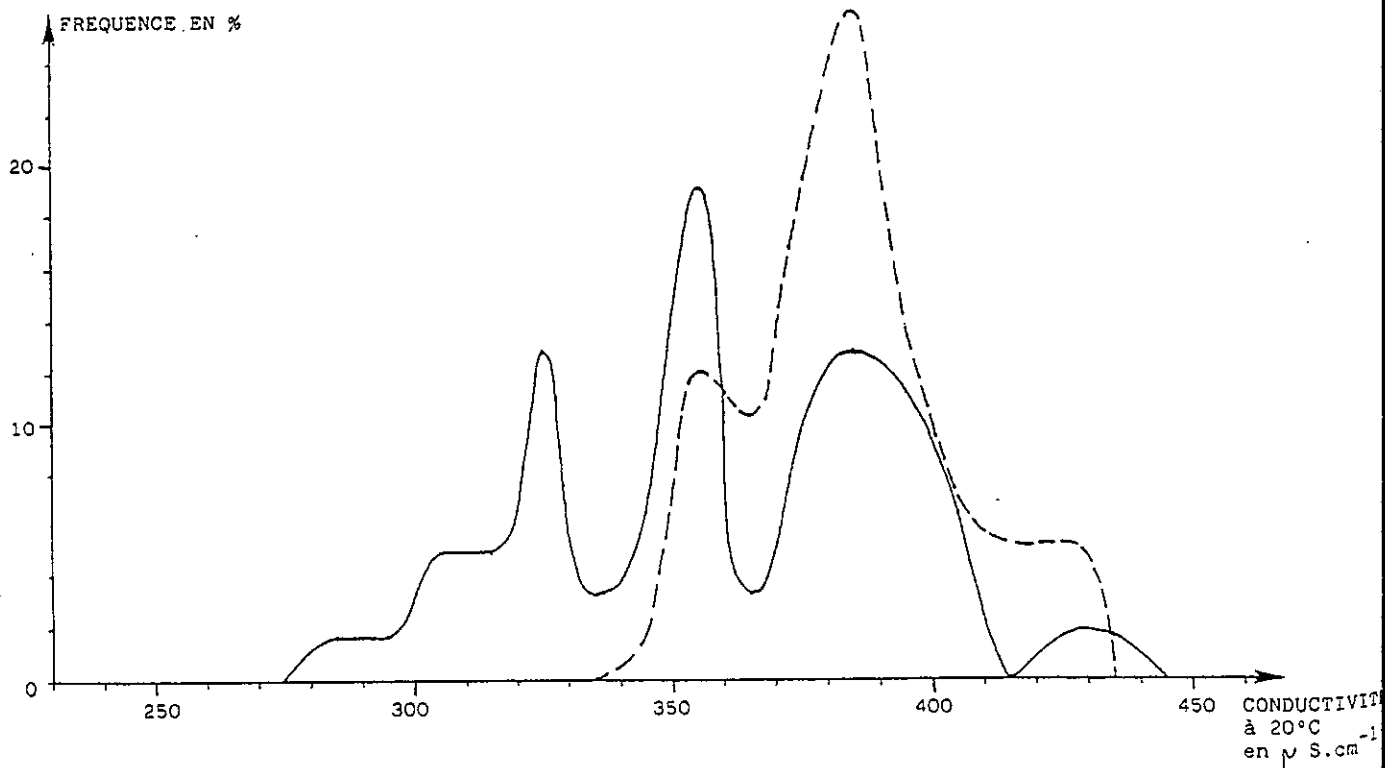


Figure 71 - Catalogue de distributions de fréquence des valeurs de la conductivité des eaux de sources d'aquifères carbonatés poreux (Evian - Cachat), fissurés (Surgeint, Lac Bleu) ou plus ou moins karstifiés.
IN BAKALOWICZ .1979



(FIG 72) DISTRIBUTIONS DE FREQUENCE DES VALEURS DE LA CONDUCTIVITE DES EAUX DES SOURCES DU MASSIF DU MONT TOURNIER (1986): SOURCE ARCANIERE -TRAIT PLEIN - SOURCE FONTAINE DU LYON -TRAIT POINTILLE -

* Courbes de distribution des valeurs de conductivité évolution du degré de karstification.

- principe de la méthode :

M. BAKALOWICZ a démontré que la distribution des valeurs de conductivité (très bien corrélées avec la minéralisation) observées sur une source durant un cycle, caractérisait l'aquifère de cette source.

Cette distribution est en effet statistiquement représentative des différentes familles d'eau qui gagnent l'exutoire durant le cycle hydrologique.

Son étude permet de révéler des informations sur la structure et le fonctionnement de l'aquifère :

- . lorsque les eaux parcourent un aquifère karstifié, les courbes s'étalent et deviennent plurimodales suivant le degré de complexité de l'aquifère karstique.
- . un aquifère poreux ou fissuré est représenté par une courbe unimodale de faible étalement.

L'analyse mathématique de ces courbes qui permettrait de déboucher sur une quantification du degré de karstification, s'avérant complexe, leur étude s'effectuera par comparaison avec un catalogue de distribution de fréquence établi par l'auteur (FIG.71).

- Application aux sources Arcanières et Fontaine du Lyon

Cette méthode a pu être appliquée en raison de notre nombre de mesures supérieur à la cinquantaine d'échantillons que préconise M. BAKALOWICZ pour pouvoir obtenir de façon fiable ces courbes.

La figure n° 72 présente les résultats pour les deux sources.

L'Arcanière possède une courbe de distribution plurimodale très étalée.

La courbe de la Fontaine du Lyon est de type bimodale, deux fois moins étalée avec un pic principal bien individualisé, centré autour de $380 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Cette valeur correspond aussi à un pic bien étalé de la source Arcanière.

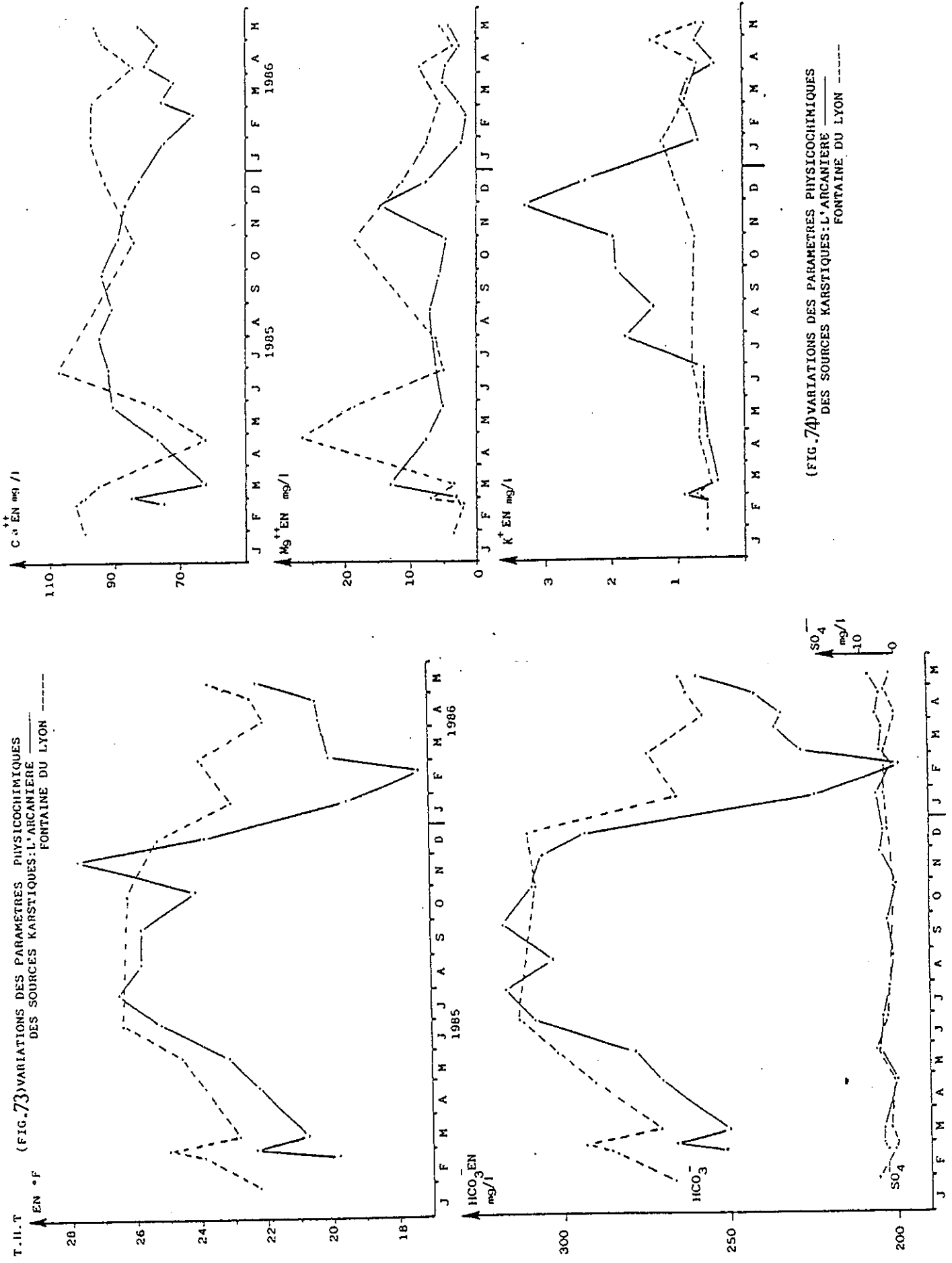
- Conclusion

L'Arcanière possède un système karstique bien hiérarchisé avec en particulier l'existence d'un transit rapide des eaux superficielles que ne possède pas la Fontaine du Lyon.

L'amplitude restreinte des variations de conductivité de la Fontaine du Lyon témoigne d'un amortissement des valeurs extrêmes.

4.1.2.3. Variations des paramètres chimiques (FIG n°73,74,75)

Afin de préciser les éléments chimiques qui contribuent à la variation constatée de la minéralisation, nous avons effectué sur ces deux sources des analyses chimiques mensuelles.



(FIG. 73) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DES SOURCES KARSTIQUES: L'ARCANIÈRE (—) FONTAINE DU LYON (---)

(FIG. 74) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DES SOURCES KARSTIQUES: L'ARCANIÈRE (—) FONTAINE DU LYON (---)

(FIG. 76) TABLEAU DES VALEURS REMARQUABLES DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DES SOURCES D'ORIGINE KARSTIQUES : ARCANIERE ; FONTAINE DU LYON (ANALYSES MENSUELLES 1985 - 1986)

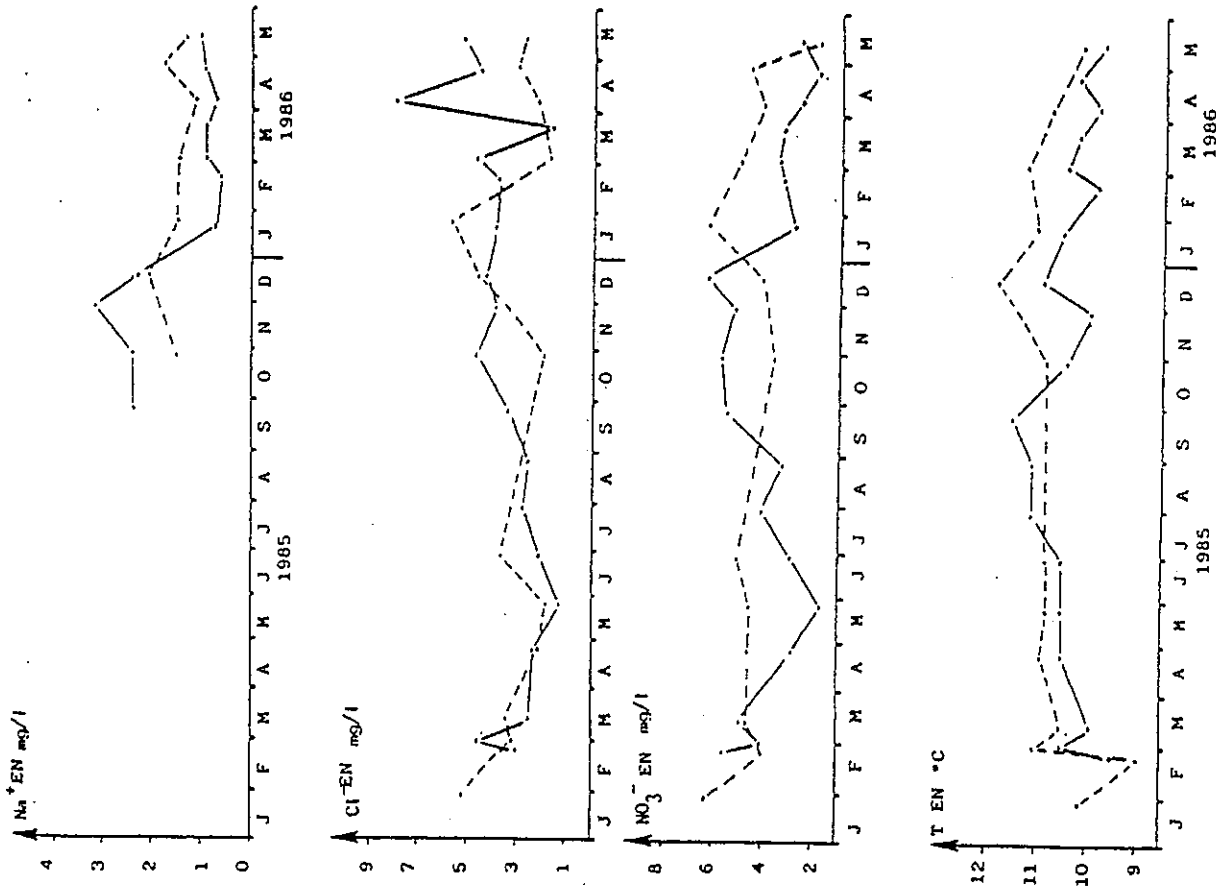
	ARCANIERE				FONTAINE DU LYON			
	X	σ	C		X	σ	C	
T.H.T. en °C	21.5	3.0	0.14		23.9	1.4		0.06
Ca ⁺⁺ en mg/l	76.5	11.9	0.16		81.9	11.2		0.14
Mg ⁺⁺ en mg/l	6.2	4.5	0.73		9.1	7.0		0.77
Na ⁺ en mg/l	1.1	0.8	0.73		1.5	0.3		0.2
K ⁺ en mg/l	0.96	0.72	0.75		0.77	0.24		0.31
HCO ₃ ⁻ en mg/l	254	40	0.16		284	19		0.07
Cl ⁻ en mg/l	3.2	1.5	0.47		3.2	1.2		0.38
SO ₄ ⁻ en mg/l	3.8	1.8	0.58		2.8	1.9		0.68
NO ₃ ⁻ en mg/l	3.8	1.3	0.34		4.4	1.1		0.25
M. T. en mg/l	350				399			
Mg ⁺⁺ Ca ⁺⁺	0.14	0.13	0.9		0.27	0.27		1.0
T. en °C.	10	0.8	0.08		10.9	0.8		0.07

M.T. : MINERALISATION TOTALE

X : MOYENNE

σ : ECART TYPE

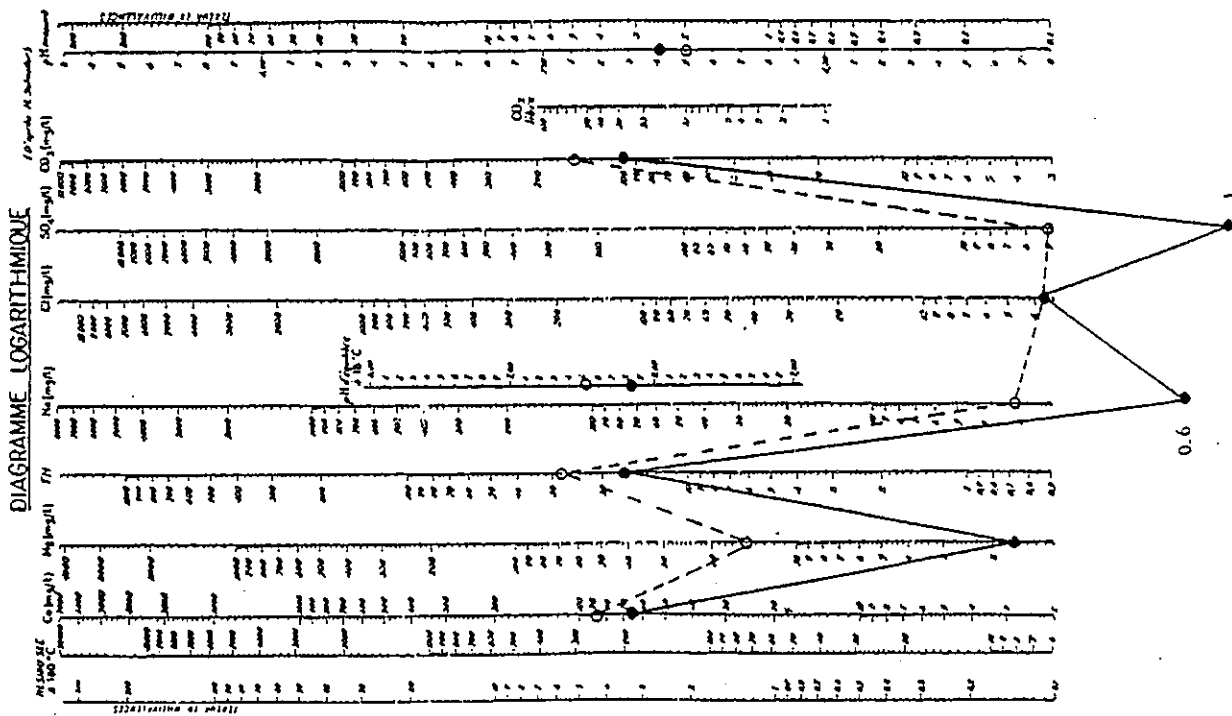
C : $\frac{\sigma}{X}$



(FIG. 75) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DES SOURCES KARSTIQUES : L'ARCANIERE. — FONTAINE DU LYON - - - -

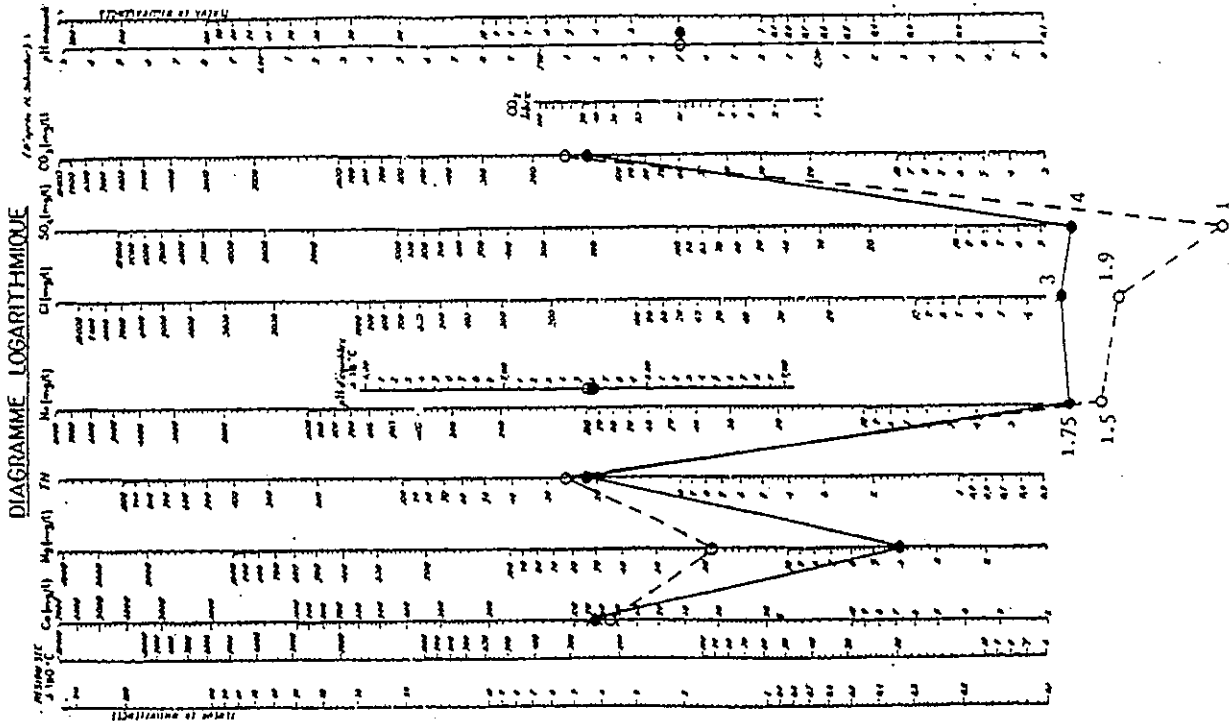
(FIG 77) REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'EAU DE L'ARCANTIERE

○ — ○ ANALYSE DU 26/11/85 . 0 < 10L/S
 ● — ● " " DU 24/02/86 . 0 < 380L/S



(FIG 78) REPRESENTATION GRAPHIQUE DE L'EAU DE LA FONTAINE DU LYON

○ — ○ ANALYSE DU 29/10/85 . 0 < 15L/S
 ● — ● " " DU 22/4/86 . 0 < 200L/S



4.1.3.3.1. Les cations

* Dureté totale - $\text{Ca}^{++} \text{Mg}^{++}$

La dureté totale varie de façon cyclique. Elle présente un palier supérieur qui se maintient durant l'Été et l'Automne, un minimum en Février pour les deux années étudiées.

L'amplitude de cette variation est nettement plus importante pour l'Arcanière (Arcanière : $10^{\circ},4 \text{ F}$; Fontaine du Lyon : $4,4^{\circ}\text{F}$)

Pour cette dernière, l'augmentation du T.H.T. est liée à celle du calcium avec un enrichissement en magnésium pour la valeur maximale de Novembre.

La Fontaine du Lyon présente une amplitude de variation des teneurs en calcium importante ($\text{Ca} : 45 \text{ mg/L}$). Elle apparait peu dans les variations de la dureté totale, car elle est compensée en partie par une augmentation de la teneur en magnésium ($\text{Mg/L} = 23$).

C. CHOQUET lors de l'analyse des venues d'eau sous le Mont Tournier distingue une sous famille pour les eaux issues du Portlandien et du Crétacé inférieur dans lesquelles la proportion en magnésium augmente au fur et à mesure que l'on remonte la série : ce qui est en accord avec la présence de zones dolomitisées dans les niveaux supérieurs au Portlandien basal.

L'augmentation des teneurs en magnésium pourrait provenir de l'arrivée à l'exutoire, d'eaux issues des termes supérieures de la série carbonatée.

* Le Potassium

La teneur en potassium est très faible, elle reste pratiquement constante pour la Fontaine du Lyon (teneur moyenne : $0,77 \text{ mg/L}$, écart type : $0,24 \text{ mg/L}$).

Bien que faible, cette teneur augmente pour l'Arcanière durant la période d'étiage. Elle semble être en corrélation avec l'augmentation durant la même période des teneurs en nitrates.

* Le Sodium

Nous constatons une diminution, des teneurs en sodium dès que l'étiage estival prolongé de 1985 cesse. Cela confirme l'hypothèse habituellement émise que la teneur en sodium est dû à des échanges d'ions du type :



et que l'augmentation des temps de circulation dans la roche provoque l'augmentation des temps de réaction et donc de la concentration en sodium

4.1.2.3.2. Les Anions

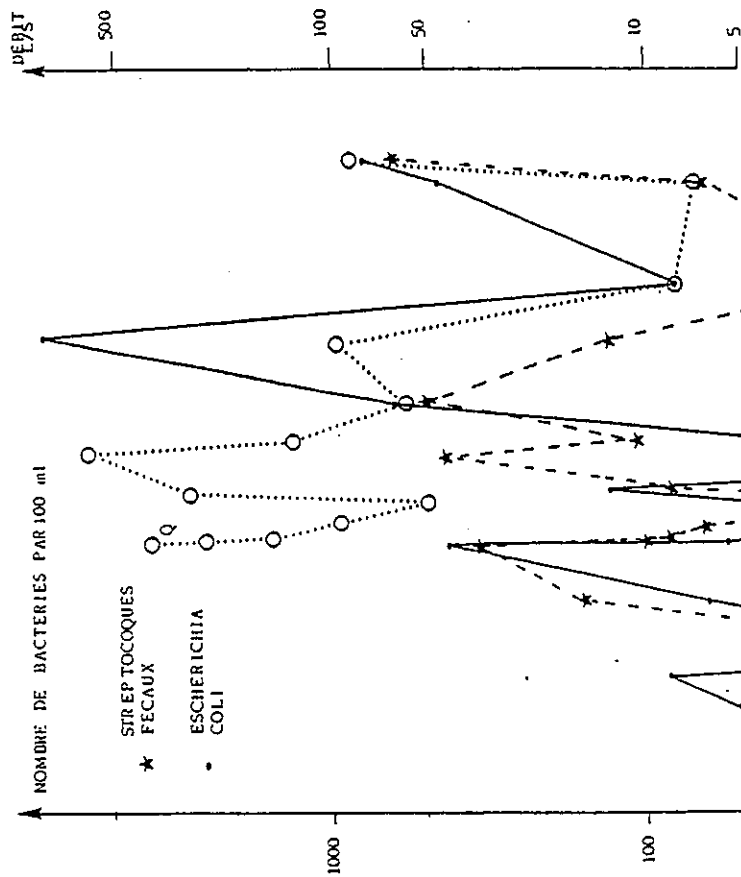
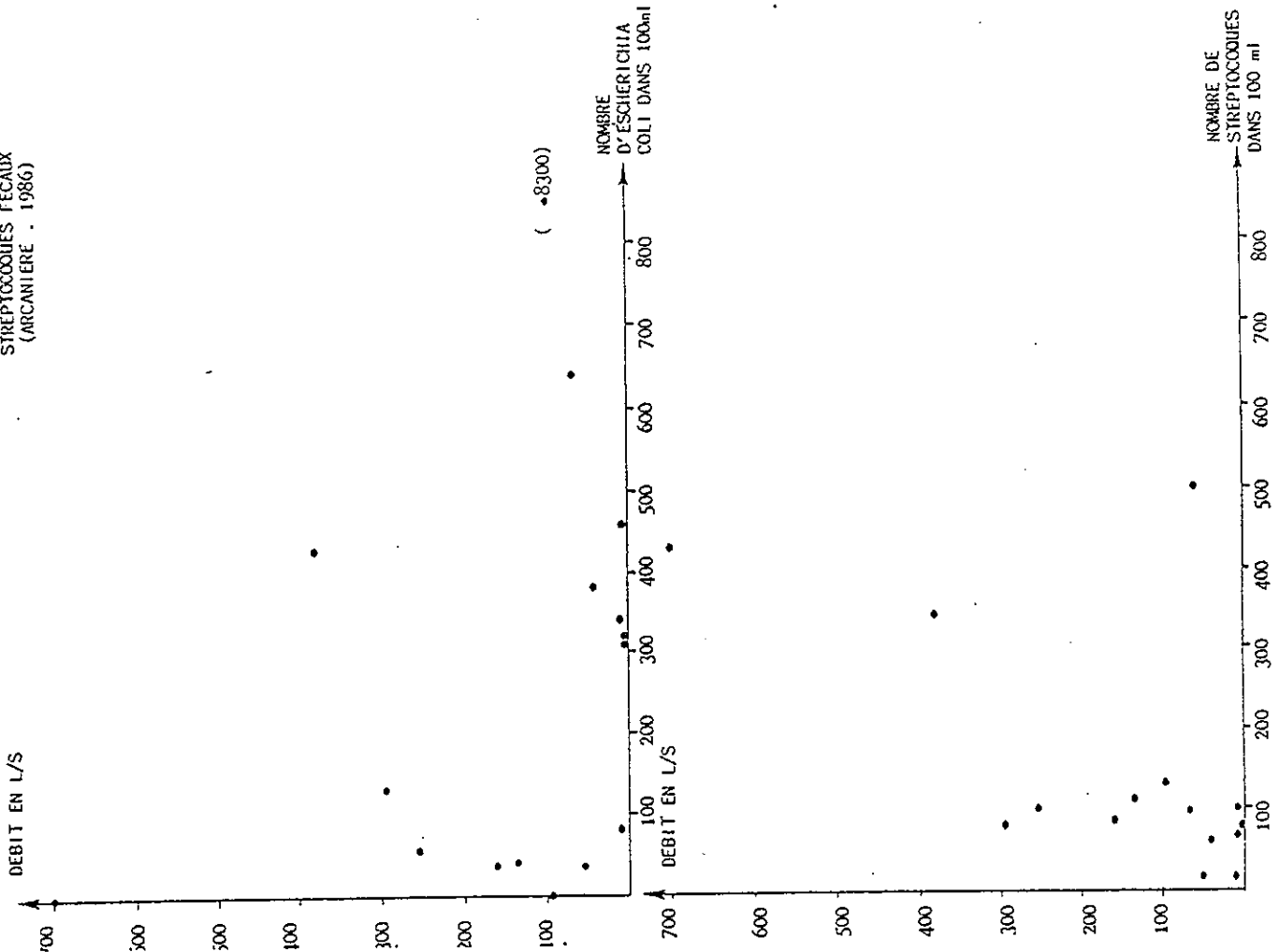
* Les bicarbonates

Ils constituent la majeure partie de la minéralisation, leur évolution est semblable à celle du T.H.T.

* Les sulfates

La teneur en sulfate des deux sources est extrêmement faible, les variations sont peu significatives.

(FIG 88) RELATION NOMBRE DE GERMES-ESCHERICHIA COLI AVEC LE DEBIT
STREPTOCOQUES FECAUX (ARCANNIERE - 1986)



(FIG 79) VARIATION ANNUELLE
DE LA POLLUTION ORGANIQUE
RELATION AVEC LE DEBIT
SOURCE ARCANNIERE

NOMBRE DE
STREPTOCOQUES
DANS 100 ml

NOMBRE
D'ESCHERICHIA
COLI DANS 100ml

DEBIT EN L/S

DEBIT EN L/S

DEBIT
L/S

NOMBRE DE BACTERIES PAR 100 ml

★
STREPTOCOQUES
FCAUX

•
ESCHERICHIA
COLI

1000

100

10

1986

1985

Cette faible teneur est une caractéristique des eaux des exurgences karstiques. J.F. MARTINEZ fait la même constatation sur les eaux des Karsts du Pays de Gex.

* Les Nitrates

Les variations du taux de nitrate des eaux de la Fontaine du Lyon semblent peu significatives.

La teneur en nitrate des eaux de l'Arcanière présente un cycle : valeurs décroissantes durant l'hiver jusqu'au début du printemps puis augmentation avec des maxima en automne.

Ce cycle est certainement lié à l'activité des micro-organismes présents dans le sol qui transforment l'azote organique en azote minéral (nitrates surtout).

* Les Chlorures

La valeur moyenne des teneurs en chlorures s'établit à 3,2 mg/L pour l'Arcanière et la Fontaine du Lyon

Les oscillations intraannuelles de cet ion demeurent peu significatives.

4.1.2.3.3. Pouvoir agressif des eaux du Karst.

En période de crue, les eaux de l'Arcanière sont agressives, (pH mesuré inférieur au pH d'équilibre obtenu par construction graphique dans le diagramme SCHOELLER-BERKALOFF) alors qu'elle présente un pH égal à celui de saturation à l'étiage.

Les eaux de la Fontaine du Lyon ont un pH égal au pH d'équilibre du bicarbonate de calcium tout au long de l'année.

Cette spécificité des eaux de la Fontaine du Lyon doit être attribué à un temps de transit plus important qui leurs permet de perdre leur agressivité au contact des formations calcaires profondes et superficielles (éboulis).

4.1.2.3.4 Conclusion.

Malgré un pas de prélèvement mensuel, les analyses chimiques confirment les observations hebdomadaires de conductivité.

Le Karst du mont Tournier possède une eau de type bicarbonaté calcique à tendance magnésienne (FIG.77 et 78) en accord avec la nature géochimique des roches.

Lors de l'étiage, l'augmentation de la conductivité est provoquée par celle de ces ions principaux.

Les teneurs en sulfates sont peu importantes durant tout le cycle hydrologique.

4.1.3. Etude bactériologique

4.1.3.1. Méthode

Les analyses bactériologiques ont consisté à la recherche de germes à caractères péjoratifs: Les Eschérichia Coli (colibacilles) et les Streptocoques Fécaux.

Elles furent effectuées au laboratoire départemental d'analyses de Chambéry grâce à l'obligeance de Madame et de Monsieur le Professeur GAUTHIER que je tiens à remercier.

4.1.3.2. Evolution - Relation avec les débits.

Cette étude a porté sur des prélèvements mensuels effectués sur la source de l'Arcanière (FIG.79).

L'amplitude des variations du nombre de bactéries est extrêmement forte, plus particulièrement pour les Eschérichia Coli : les valeurs évoluent entre 0 et 8300 individus pour 100 ml

Durant la période d'étude, l'évolution du nombre de bactéries, en particulier les streptocoques fécaux, suit assez fidèlement l'évolution des débits sans qu'il existe une relation simple entre débit et pollution (FIG.80).

L'augmentation de la pollution est plutôt liée à l'effet de crue.

4.1.3.3. Comparaison entre les sources de l'Arcanière et de la Fontaine du Lyon.

Les analyses effectuées à la même date sur les deux sources donnent les valeurs suivantes :

	25/3/1985			22/4/86			8/7/86			22/10/86		
Arc.	60	23	2,6	0	430	0	8300	130	64	380	66	5,8
F. du L.	33	34	1	14	32	0,4	300	101	3	80	76	1,1
	E.C	S.F	R	E.C.	S.F.	R	E.C	S.F	R	E.C	S.F	R

E.C : Escherichia Coli dans 100 ml

S.F. : Streptocoques fécaux dans 100 ml

R : Nombre de E.C./S.F.

Le nombre de bactéries est toujours plus élevé pour l'Arcanière.

À une exception près, le rapport E.C./S.F. est plus faible dans les analyses de la Fontaine du Lyon traduisant la prépondérance dans ses eaux de streptocoques fécaux.

Or, ces deux types de bactéries possèdent des survies différentielles : les streptocoques fécaux en raison de leur nature membranaire (coque) présentent une durée de vie en milieu hostile plus longue.

Nous pouvons donc supposer, si la pollution originelle est de même type, que les eaux arrivant à l'exutoire de la Fontaine du Lyon

ont subi un transit plus long ce qui provoque l'abatement du nombre de colibacilles.

Cette hypothèse devra être vérifiée en augmentant le nombre d'échantillons ainsi qu'en utilisant les dateurs habituellement employés en hydrogéologie (tritium)

4.1.3.4. Conclusion

Une forte pollution organique est détectée lors des analyses bactériologiques effectuées sur les deux sources.

Elle démontre la faible filtration du Karst lors du cheminement des eaux issues de la surface. Ceci constitue une autre originalité des massifs possédant une circulation de type karstique.

Les venues d'eau à forte charge de pollution sont liées aux épisodes de crues.

L'étude bactériologique bien que succincte, tend aussi à montrer que les eaux émergeant à la Fontaine du Lyon subissent un plus long transfert dans le massif.

4.1.4. Conclusion sur les observations annuelles

Les évolutions dynamiques et hydrochimiques semblables des deux sources témoignent d'une même origine karstique malgré l'émergence de la Fontaine du Lyon dans des éboulis.

Les débits varient suivant les mois dont la quantité d'eau disponible à l'infiltration est importante, démontrant l'exactitude des valeurs d'évapotranspiration établies dans le chapitre climatologie.

Cette modification des débits provoque la variation cyclique de la minéralisation due aux variations des teneurs en bicarbonates et du T.H.T.

L'absence de sulfates et la présence d'une pollution bactériologique sont deux autres caractéristiques des eaux du karst.

Un débit moyen plus important, lié à une température moyenne plus élevée, ainsi qu'à une minéralisation plus forte avec augmentation des teneurs en magnésium et des caractéristiques de pollutions organiques différentes, permettent de conclure à l'ampleur plus importante de la zone karstique drainée par la Fontaine du Lyon.

La mise en application de la méthode établie par M. BAKALOWICZ en fonction des courbes de distribution de la minéralisation, démontre la présence pour l'Arcanière d'un karst très hiérarchisé. La courbe de la Fontaine du Lyon moins étalée s'explique en considérant pour cette source un volume de réserve plus important, provoquant une meilleure homogénéité de ses eaux.

4.2. Les Crues

4.2.1. Crue de début de cycle : crue du 9/10 au 5/11 1986

La crue observée sur les deux sources fut la première après un étiage assez vigoureux en 1986. Les précipitations débutèrent

OCTOBRE

NOVEMBRE

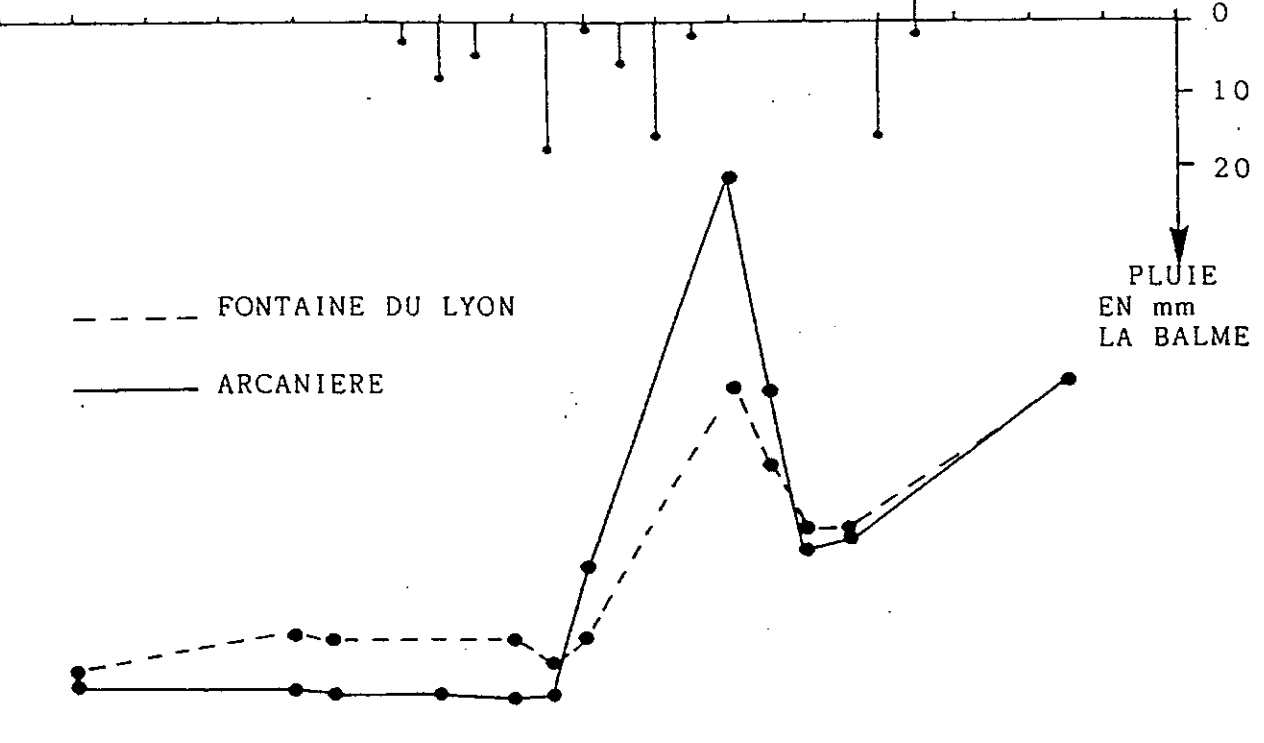
DEBIT
EN L/S

100
0

--- FONTAINE DU LYON
— ARCANIERE

PLUIE
EN mm
LA BALME

0
10
20

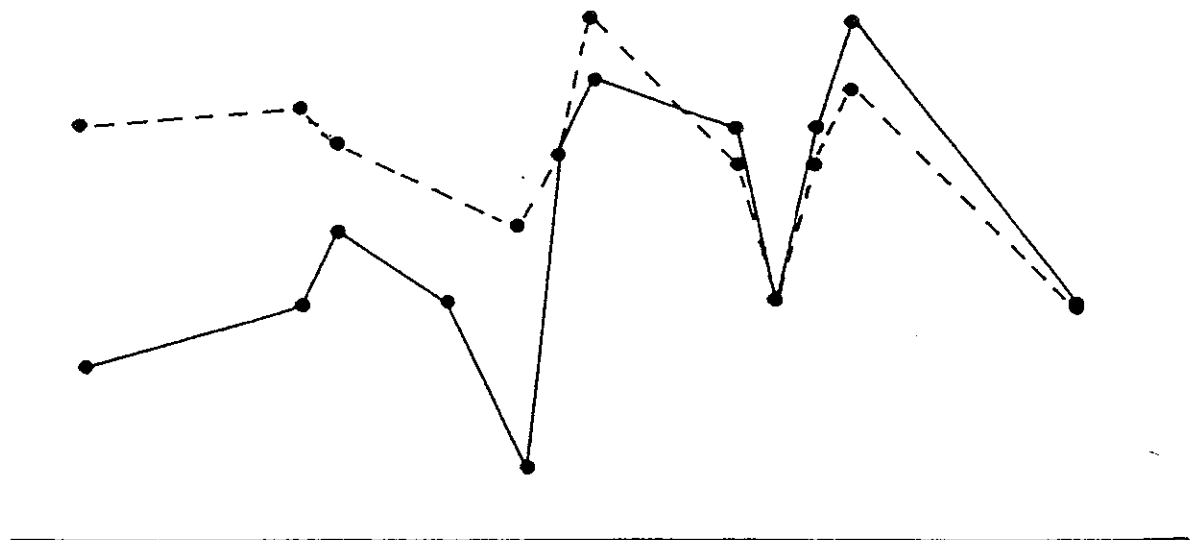


TEMPERATURE EN °C

12
11
10

CONDUCTIVITE EN $\mu S.cm^{-1}$
A 20°C

400
350



9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 | 2 4 6
OCTOBRE NOVEMBRE

(FIG.81)VARIATIONS DES VALEURS DE CONDUCTIVITE,DE DEBIT ET DE TEMPERATURE POUR LES SOURCES:ARCANIERE FONTAINE DU LYON LORS D'UN EPISODE PLUVIEUX (9/10 au 5/11 1986)

le 18 Octobre (FIG.81).

4.2.1.1 - Evolution des débits

Une même évolution se dessine pour les deux sources :

- un débit constant très faible jusqu'au 22 Octobre
(QF.d.L : 20 l/s. Q Arc : 51/s)
- un débit maximal le 27 Octobre (QFdL : 901/s)
Q Arc : 1481/s)
- une décroissance puis une stabilisation des valeurs de débits le 29 et 30 Octobre à un niveau supérieur à ceux de départ (QF.d.L. = Q Arc. = 501/s)
- une nouvelle période de précipitation accroît les débits (Q FdL = Q Arca = 94 l/s).

4.2.1.2 - Evolution des températures et de la conductivité

Les eaux de la Fontaine du Lyon et de l'Arcanière présentent des fluctuations synchrones des valeurs de température, et de conductivité. La Fontaine du Lyon possède une température toujours supérieure de 1° centigrade à celle de l'Arcanière, ainsi qu'une minéralisation plus importante au début des fluctuations.

- En période d'étiage, les sources ont une température constante ainsi que des valeurs de conductivités stables ou en légère augmentation.
- Dès le début de la période pluvieuse, les eaux deviennent peu minéralisées et plus chaudes.
- Puis arrive aux exutoires, une eau très conductrice et " froide " dont les maxima coïncident avec l'augmentation des débits.
- Aux pics de débits sont associées des eaux moins minéralisées et plus chaudes. Bien que les débits décroissent, les sources émettent encore 24 heures après le sommet de la crue une eau faiblement minéralisée.
- Lors de la nouvelle crue, une eau de nouveau faiblement minéralisée et chaude apparaît.

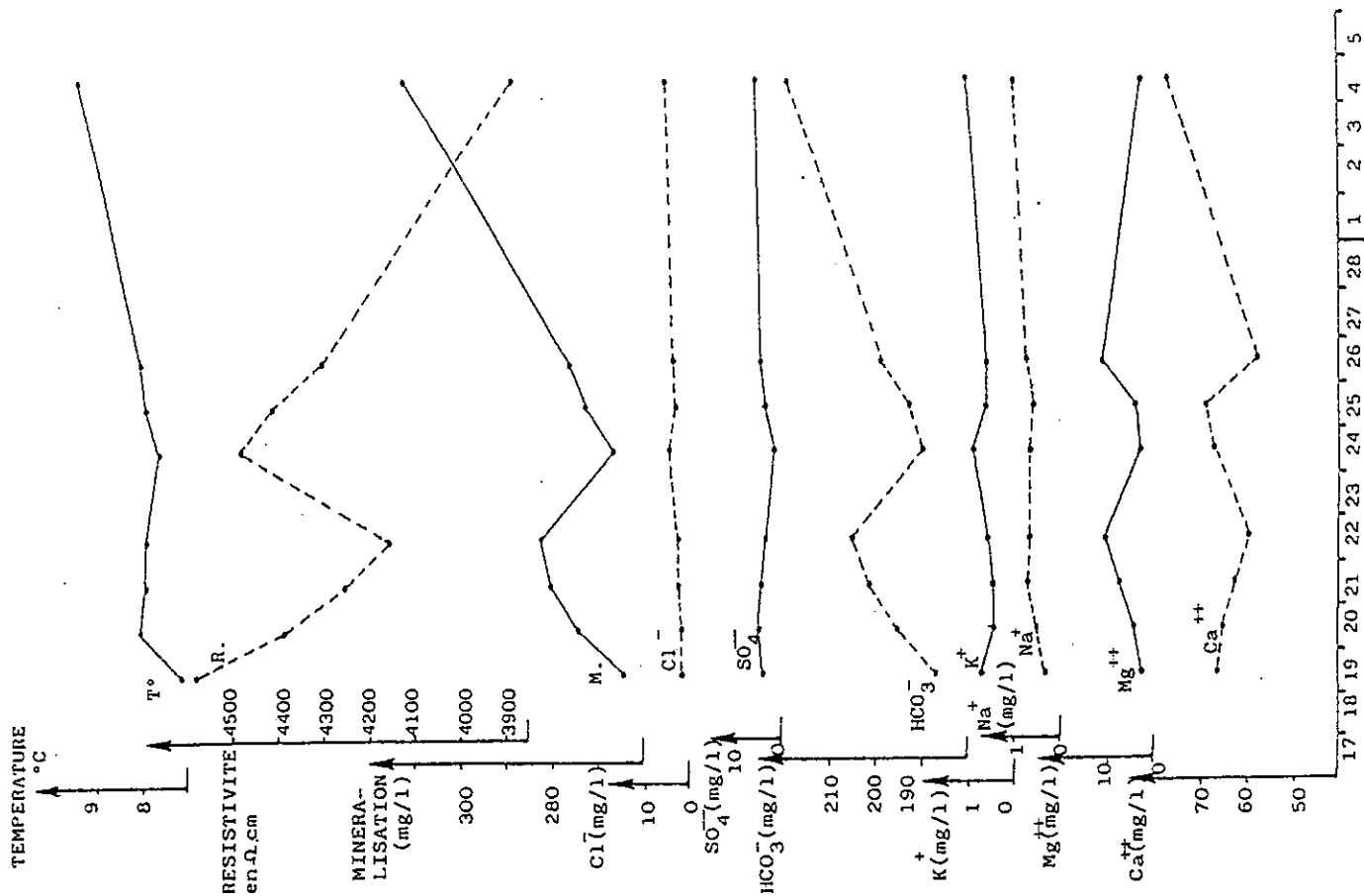
4.2.1.3. - Interprétation - Conclusion

- L'apparition des précipitations entraîne des modifications de température et de conductivité aux émergences provoquées par l'arrivée d'une faible quantité d'eau à caractère superficiel :

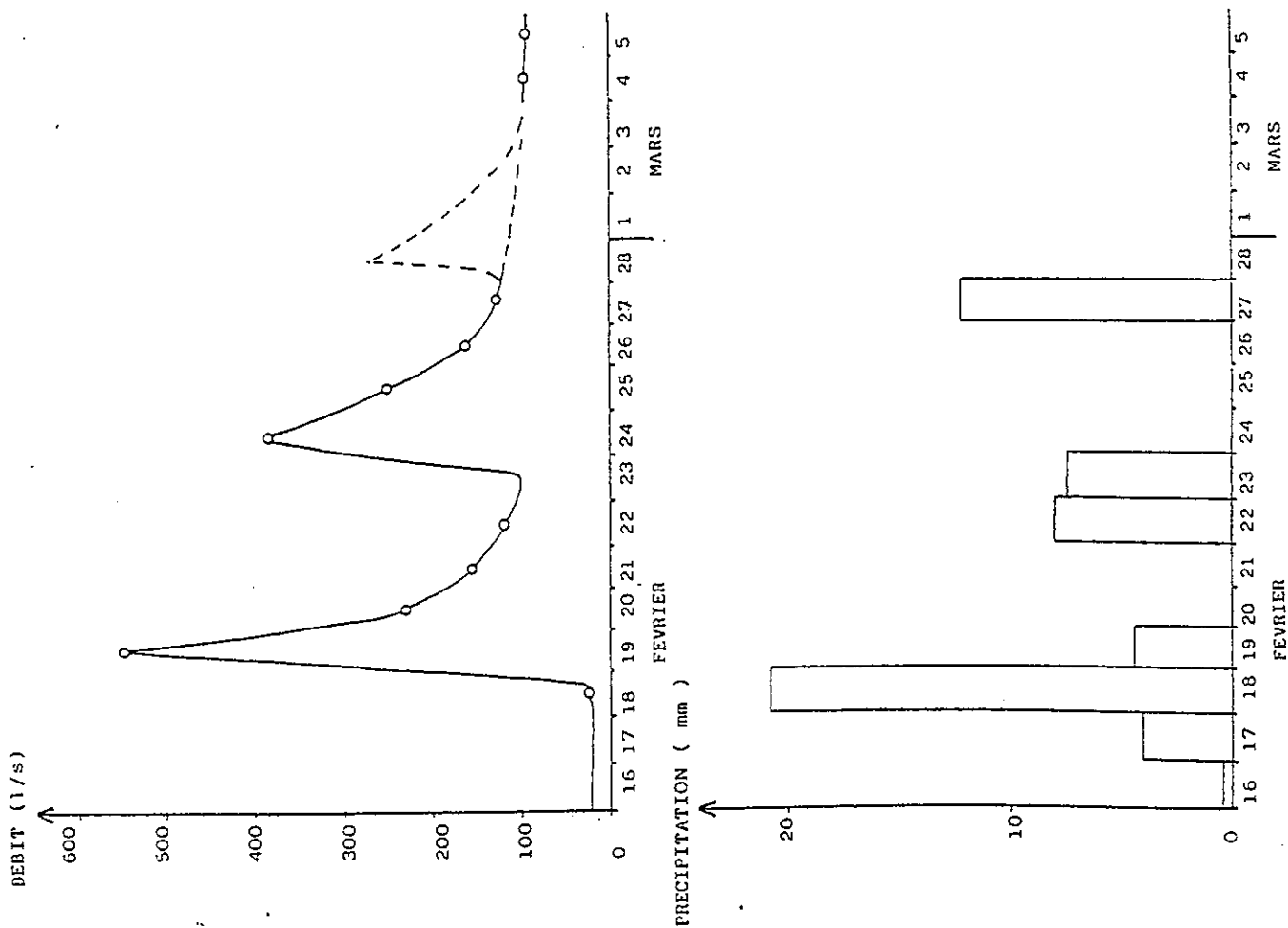
* minéralisation faible

* température élevée en raison du réchauffement au contact du sol et de l'air (la température moyenne de l'air durant cette période est de 12,4°C).

- Alors que le débit augmente, le karst expulse une eau minéralisée dont la température plus basse doit correspondre aux valeurs de l'aquifère profond. (En période d'étiage de saison chaude, un faible débit provoque un temps de contact plus important avec la température extérieure permettant le réchauffement des eaux.)



(FIG. 81) VARIATION DES CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA SOURCE ARCANIERE LORS D'UNE CRUE (18/2 - 5/3)



(FIG. 82) DEBIT DE L'ARCANIERE ET PRECIPITATION A LA BALME (16/2 - 5/3)

- Puis arrive une eau "jeune" faiblement minéralisée et "chaude" directement liée aux précipitations (pic des débits).
- Le débit se stabilise avec le retour d'une eau minéralisée à température plus faible consécutive d'un temps de contact plus important avec la roche.

Durant cette crue, un phénomène de "Piston-Flow" (augmentation des pressions dans les fissures de la roche qui expulse l'eau "ancienne") précédant l'arrivée de l'eau issue des précipitations a pu être mis en évidence.

L'arrivée d'eau à température plus élevée ainsi que la très forte variation des débits montrent un parcours superficiel.

Ces deux sources fournissent les mêmes réponses à une augmentation des débits induite par les précipitations.

4.2.2. Crue en période hivernale

Du 19/2 au 4/3/86 des analyses chimiques de la minéralisation de la source Arcanière furent effectuées pendant une période de crue (FIG. 82 et 83).

Entre le 11 et le 18 février, le débit de l'Arcanière se stabilise autour de 25 l/s. Une période de précipitation entraîne l'apparition de forts débits. Plusieurs crues liées aux différents épisodes de précipitations (décalage de 24 heures) se manifestent.

4.2.2.1. Evolution des caractères physico-chimiques

- Les fluctuations des valeurs de températures et de minéralisations qui reflètent les variations de teneurs en bicarbonates, suivent fidèlement les modifications des débits : à un maximum de débit est associé une eau froide, peu minéralisée.

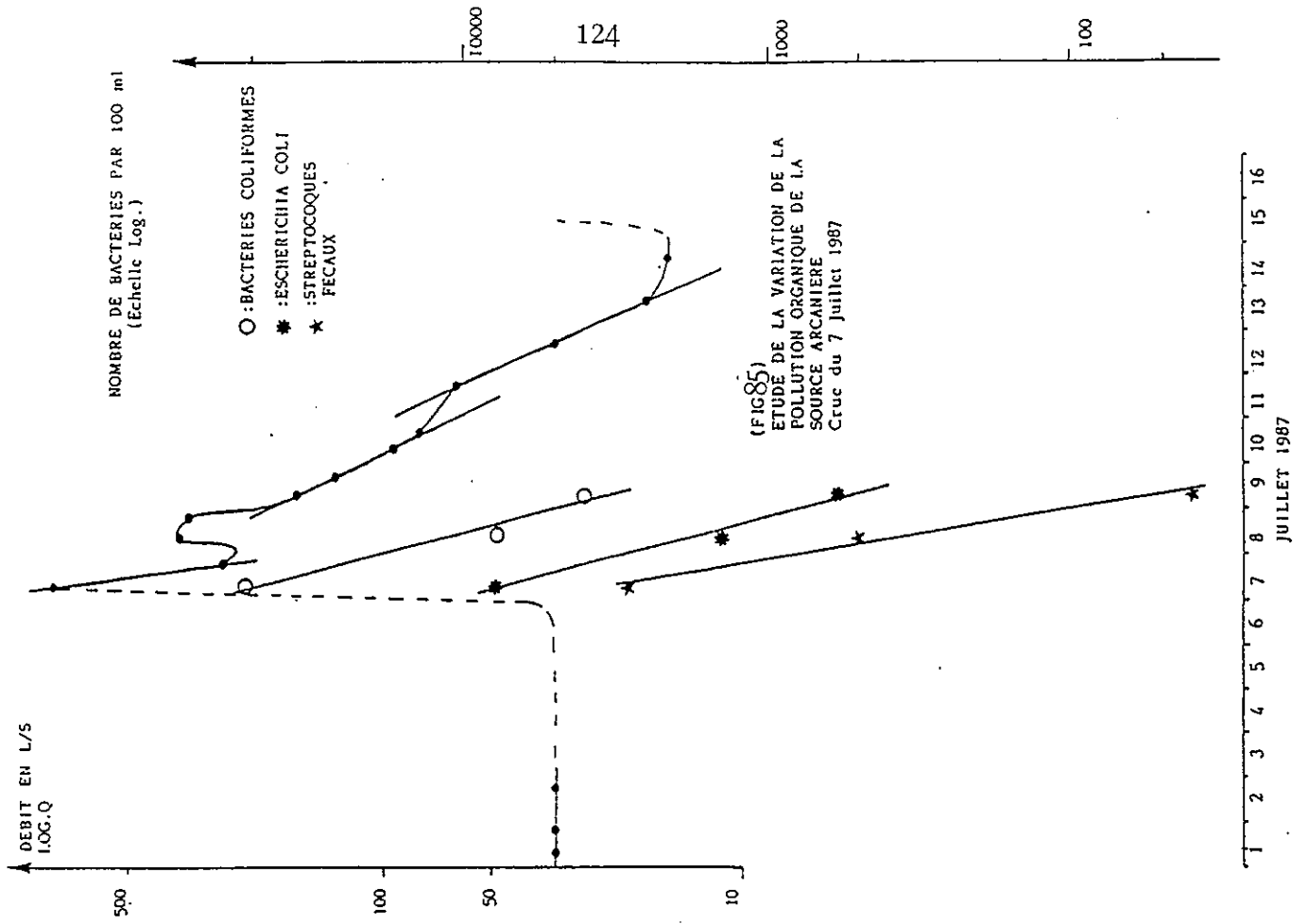
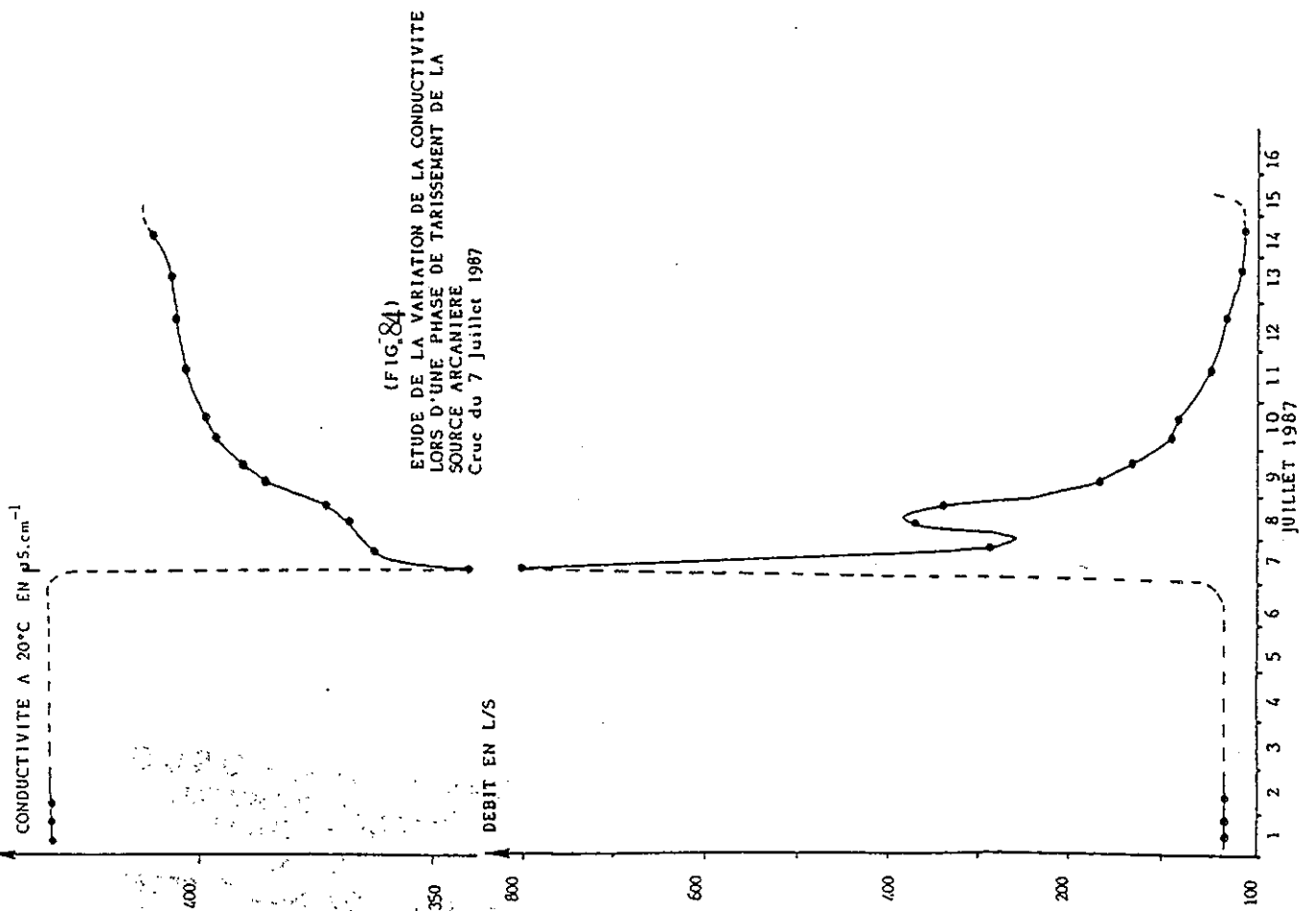
- Dans le détail on constate :

- que les ions chlorures, sulfates, potassium et sodium dont les concentrations sont très faibles ne présentent pas de variations de leur teneur.
- qu'il existe une évolution inverse des teneurs en magnésium et en calcium pendant les deux premiers épisodes pluvieux : à un fort débit est lié une eau de faibles teneurs en magnésium avec augmentation des teneurs en calcium.

4.2.2.2. Interprétation et Conclusion

En raison d'une température extérieure faible, les venues d'eaux "récentes" se manifestent par une diminution de la minéralisation et des températures, mesurées aux exutoires, lors de chaque crue.

L'élévation de la concentration en bicarbonate et en magnésium au détriment du calcium provient d'un temps de contact plus important avec la roche, permis par un débit plus faible (circulation lente).



Les arrivées consécutives aux précipitations s'effectuent rapidement selon un parcours superficiel.

4.2.3. Crue du 7 au 14 Juillet

- L'étude de cette crue fut effectuée pour connaître ses conséquences sur la qualité bactériologique de l'eau.

- La figure n° 84 permet de constater lors de la décroissance des débits consécutive à la crue du 7 Juillet 1987 une diminution des valeurs de conductivité.

Nous avons représenté dans la figure n°85 en échelles logarithmiques la diminution du nombre des différentes bactéries et la variation du débit.

Le taux de pollution est maximum pour le débit le plus fort.

Les valeurs bactériologiques s'alignent selon des droites subparallèles ce qui traduit une décroissance exponentielle semblable de leurs nombres.

La pente très forte de ces droites est semblable à celles des débits.

- Un apport rapide et important d'eau peu minéralisée s'accompagne à l'exutoire de l'arrivée d'une forte pollution bactériologique qui décroît dans les mêmes proportions que le débit.

4.2.4. - Conclusion sur les observations lors des crues

Les crues sont très rapides^{et} à fort débit ; elles s'accompagnent de variations physicochimiques (température et teneur en bicarbonates) et bactériologiques de la qualité des eaux.

L'apparition de précipitations provoque l'arrivée d'eau faiblement minéralisée, à transit rapide qui ne se met pas en équilibre thermique avec le massif calcaire (eau plus froide en hiver, plus chaude en été).

En début de cycle hydrologique, cette arrivée est précédée par l'expulsion d'eau très minéralisée " ancienne " : phénomène de Piston Flow.

Durant l'étiage (débit faible) en l'absence de précipitation, l'eau sortant à l'exutoire subit l'influence de la température atmosphérique.

5 - CONCLUSION - ETABLISSEMENT d'UN BILAN

L'Arcanière et la Fontaine du Lyon présentent les mêmes réactions aussi bien annuelles que lors des crues, ce qui nous permet de considérer ces deux sources comme les exutoires d'un même système karstique.

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

Ce système est surtout constitué par un secteur très perméable en grand bien drainé, permettant un transit rapide, sans temps ni volumes de stockage importants (débit d'étiage faible).

La source de la Fontaine du Lyon d'après ses caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques draine une zone de plus vaste ampleur que l'Arcanière, malgré une moindre hiérarchisation de son réseau Karstique.

Il ne semble pas exister des circulations importantes d'eaux dans les termes inférieurs au Portlandien de la série carbonatée du massif du Mont Tournier.

Le bilan d'eau sur l'année 1986

Le bilan permet de vérifier s'il existe des écoulements souterrains (apports ou fuites) de l'impluvium étudié autre que les exutoires observés.

- L'équation qui régit le bilan est :

$$P + Q_A = Q_F + E.T.R. + Q_E \pm \Delta W$$

avec : * pour apports :

P : les précipitations. Nous utiliserons pour le calcul la valeur obtenue dans le chapitre climatologie pour une altitude de 600 mètres qui représente l'altitude moyenne du massif du Mont Tournier.

Q_A : Un apport d'eau souterraine extérieur au bassin. Cette valeur est égale à zéro pour le massif du Mont Tournier.

* pour sorties :

Q_F : Les écoulements souterrains vers les systèmes voisins.

E.T.R. : L'évapotranspiration réelle (conféré chapitre climatologie)

Q_E : Les volumes d'eau écoulee aux exutoires

ΔW : La variation des réserves souterraines que nous considérerons comme négligeable puisque le calcul s'effectue sur une année entière et qu'il n'existe pas de variations météorologiques importantes entre 1985 et 1986.

- Nous obtenons pour 1986 les valeurs suivantes :

$$P - E.T.R. = 822 \text{ mm}$$

$$Q_E = Q_{F.d.L.} + Q_{Arca.} = \frac{5,52 \cdot 10^6 \text{ M}^3}{27 \cdot 10^6 \text{ M}^2} = 0,204 \text{ m}$$

$$= 204 \text{ mm}$$

$$Q_F = 618 \text{ mm}$$

[Faint handwritten notes and stamps at the bottom left of the page, including a circular stamp with illegible text.]

• Soit un quart des précipitations reçues par l'ensemble du massif calcaire du Mont Tournier ressort aux exutoires visibles de l'Arcanière et de la Fontaine du Lyon.

Il est certain qu'en fonction des caractéristiques de l'émergence de la Fontaine du Lyon, une partie des eaux doit s'infiltrer directement dans la plaine du Rhône et ne peut donc être pris en compte dans le calcul.

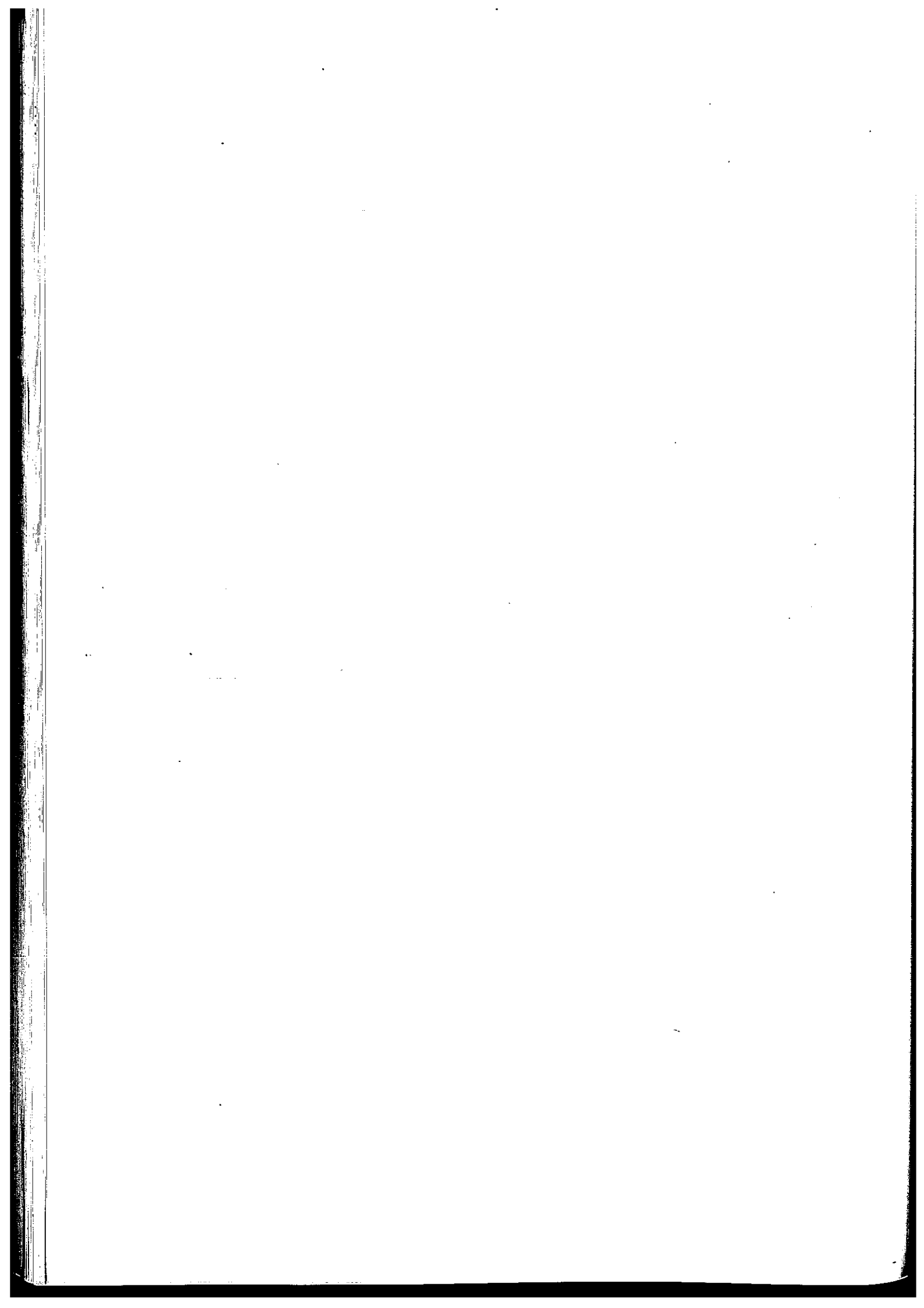
Nous avons pris en compte, l'ensemble des terrains calcaires, car il n'existe pas d'exutoires importants visibles pour les terrains situés au dessus du Portlandien. Les sources recensées présentent toutes de faibles débits.

Parmi les fuites, une faible partie est reçue par la galerie des eaux usées. le calcul donne une valeur de 30 mm.

• Malgré ces remarques, le bilan reste largement déficitaire. Nous devons en conclure que des pertes s'effectuent en direction de la plaine du Rhône et (ou) vers le synclinal de Novalaise.

Au sud, la source de Palluel, en admettant qu'elle soit alimentée par le Mont Tournier ne donnerait qu'une valeur équivalente en précipitations de 9 mm.

Les fuites en direction de la plaine du Rhône, cachées par les terrains quaternaires de couverture, sont elles de type ponctuel, semblable à la Fontaine du Lyon, ou dissimulées le long du versant.



CHAPITRE 6

ETUDE DES AQUIFERES GRAVITAIRES NON KARSTIQUES

- 1 - INTRODUCTION

- 2 - LA SOURCE " LAVOIR ".
 - 2.1. - Le débit
 - 2.2. - Les paramètres physiques
 - 2.3. - Les paramètres chimiques
 - 2.4. - Bactériologie
 - 2.5. - Conclusion

- 3 - LA SOURCE GOURGUX
 - 3.1. - Le débit
 - 3.2. - Les paramètres physiques
 - 3.3. - Les paramètres chimiques
 - 3.4. - Bactériologie
 - 3.5. - Interprétation - Conclusion

- 4 - LA SOURCE R.N.
 - 4.1. - Le débit
 - 4.2. - Les paramètres physiques
 - 4.3. - Les paramètres chimiques
 - 4.4. - Bactériologie
 - 4.5. - Interprétation - Conclusion

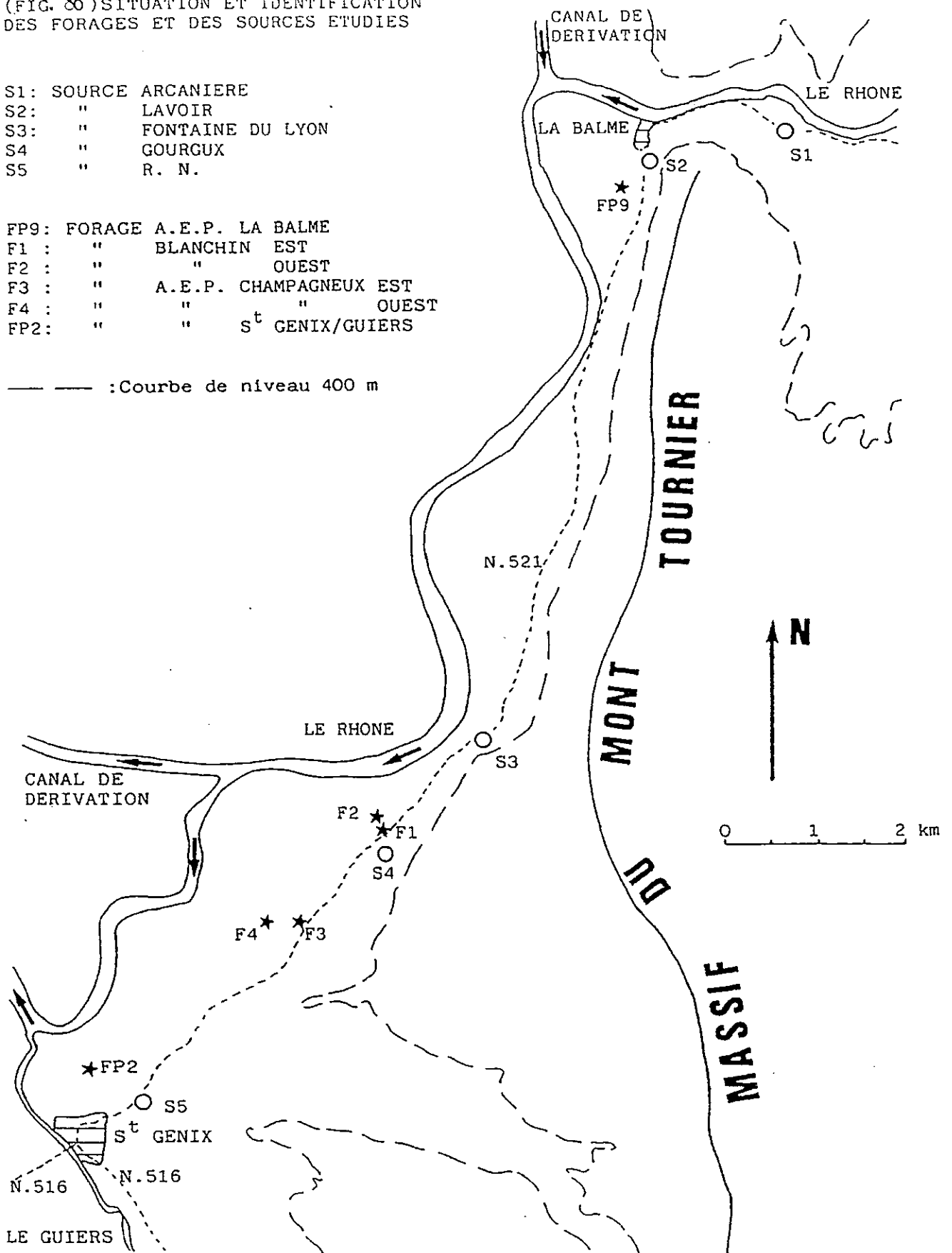
- 5 - CONCLUSION

(FIG. 86) SITUATION ET IDENTIFICATION
DES FORAGES ET DES SOURCES ETUDIÉES

S1: SOURCE ARCANIERE
S2: " LAVOIR
S3: " FONTAINE DU LYON
S4: " GOURGUX
S5: " R. N.

FP9: FORAGE A.E.P. LA BALME
F1 : " BLANCHIN EST
F2 : " " OUEST
F3 : " A.E.P. CHAMPAGNEUX EST
F4 : " " OUEST
FP2: " " S^t GENIX/GUIERS

— — — : Courbe de niveau 400 m



1 - Introduction

Afin de mieux appréhender les différentes possibilités d'alimentation de la nappe du Rhône, nous avons effectué un suivi qualitatif et quantitatif des eaux de trois sources situées sur les versants dominants la plaine du Rhône.

Nous avons du Nord au Sud les sources : (FIG.86).

* "Lavoir" Elle émerge des éboulis adossés à la falaise du Mont Tournier à l'Est du Village de la Balme (Chef Lieu) (x : 863,40 ; Y : 83,85 ; Z : 223).

Ces éboulis sont stabilisés malgré une pente importante (50 %), ils sont recouverts par une végétation arbustive sans activités polluantes.

* "Gourgux" Cette source captée est située à 250m au nord Est du hameau de la Saunière (commune de Champagneux) (x : 860,55 ; Y : 75,40 ; Z : 220).

Le massif calcaire distant de 500 mètres étale ses éboulis jusqu'au captage. Celui ci est constitué d'un drain implanté dans la formation molassique.

* "R.N." : Située à 600 mètres au Nord Est de St Génix sur Guiers (X : 857,60 ; Y : 72,35 ; Z : 220), elle émerge des sables Helvétiques de Pont de Beauvoisin.

Des activités agricoles sont pratiquées sur son bassin versant.

2- LA SOURCE " LAVOIR "2.1. Le débit (FIG.87)

Les jaugeages indiquent des débits inférieurs à 0,5 l/s, ils varient entre 0,013 l/s en Octobre et 0,35 l/s en Février.

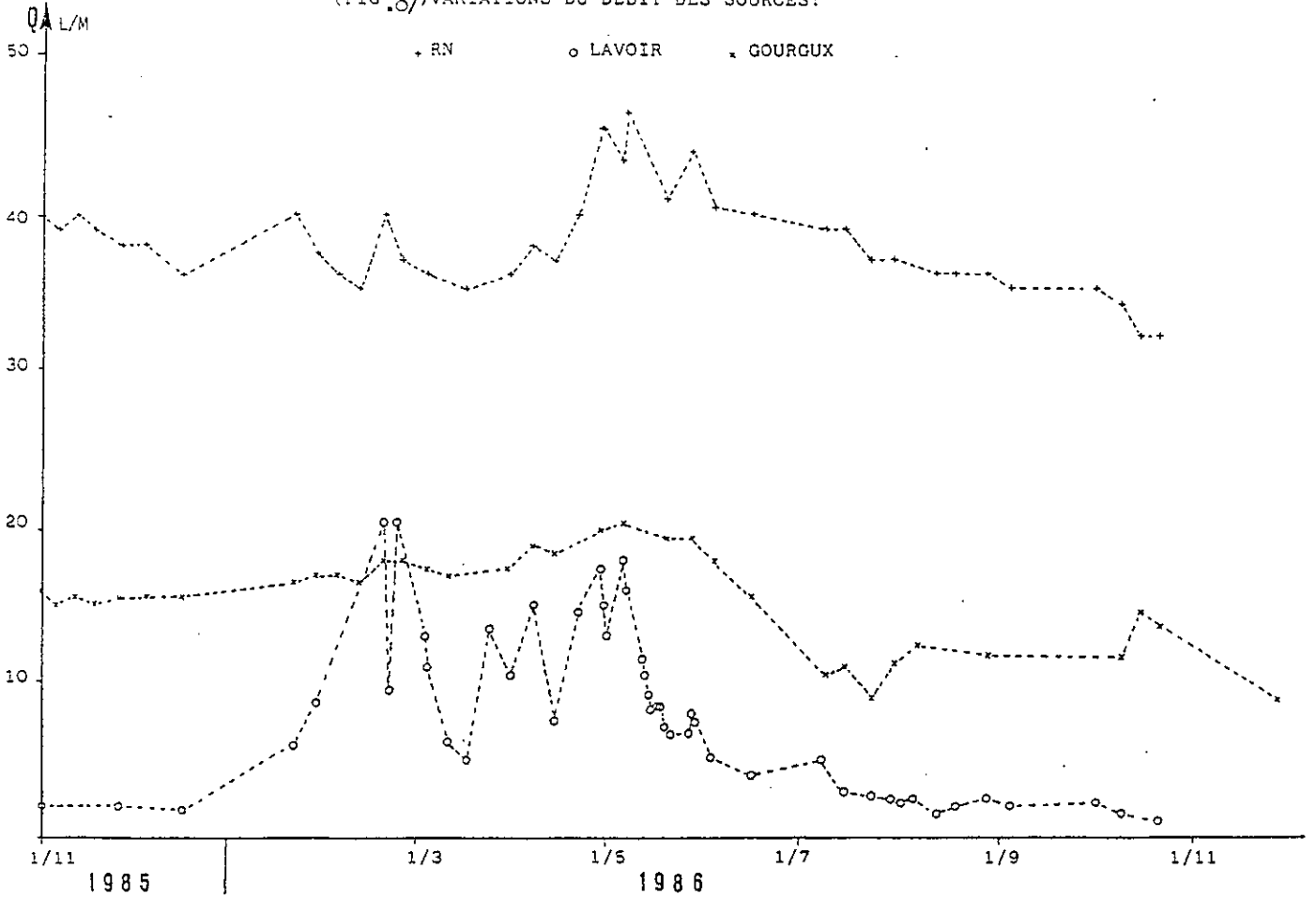
Les débits sont très variables de Janvier à Mai et suivent fidèlement durant cette période les épisodes pluvieux. Ils définissent la période de crue de la source.

Cette source montre un tarissement presque total à l'étiage, lors des mois à fortes demandes en eau par l'E.T.R.

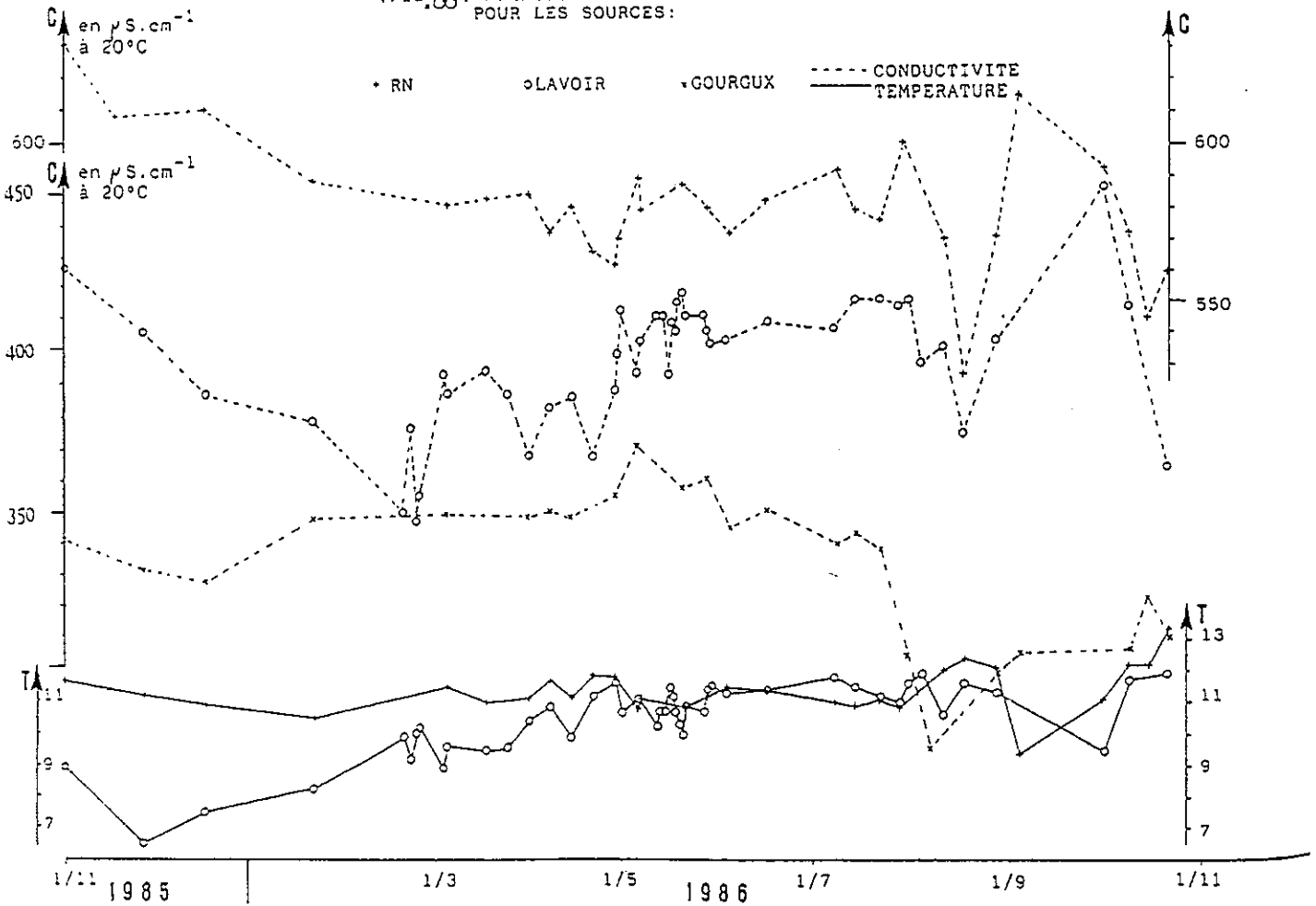
Le débit moyen est de 8,1 l/mm avec un écart type de 5,6 l/mm donnant un coefficient de variation élevé de 0,7.

Ces caractéristiques reflètent un aquifère de dimensions limitées, sensible aux précipitations.

(FIG. 87) VARIATIONS DU DEBIT DES SOURCES:



(FIG. 88) VARIATIONS DE LA TEMPERATURE (T), DE LA CONDUCTIVITE (C) POUR LES SOURCES:



2.2. les Paramètres Physiques :

2.2.1. la température (FIG. 88)

Une amplitude de 5,4 °c s'observe entre le minimum observé fin Novembre 1985 de 6,5 °c et le maximum du 5 Août 1986 de 11,9 °c.

Rappelons que la température moyenne de l'air lors de la dernière décade de Novembre s'établit à - 0,9 °c et pour la première décade d'Août à 22,1 °c. (confer chapitre climatologie).

Cette forte amplitude des variations des valeurs de la température, mesurée au griffon, témoigne d'une circulation superficielle.

La moyenne s'établit à 10,5 °c avec un écart type de 1,1°c.

Le cycle que décrit la température en 85-86 montre une remontée lors des mesures de la deuxième décade d'Octobre. Un faible débit associé à des températures moyennes de l'air élevées (ex : 16,2°c, le 16 Octobre 1986) provoquent cette élévation.

2.2.2. La Conductivité (FIG.88)

Lors des forts débits de fin février, nous avons obtenu la valeur minimale de 346 μ S.cm⁻¹ ; la valeur la plus importante s'observe à la fin de l'étiage. (451 μ s.cm⁻¹ le 1er Octobre 1986).

Les valeurs de conductivité varient rapidement suivant les apports de crues.

Les nombreuses mesures (50) ont permis de tracer la courbe de distribution des valeurs de conductivité d'après la méthode de M. BAKALOWICZ développée au chapitre " Le Karst du Mont Tournier ".

Celle-ci est de type unimodal, avec son pic centré sur la valeur de 400 μ .S cm⁻¹ (FIG.89).

Ce type de courbe caractérise un aquifère simple.

2.3. Les Paramètres chimiques (FIG.91 et 92)

2.3.1 Les Anions :

Les bicarbonates sont prédominants, avec une valeur moyenne de 300 mg/l. Leur teneur est relativement constante sauf durant les mois d'hiver où elle diminue de 15 %.

Les sulfates présentent des valeurs toujours inférieures à 10 mg/l.

Les teneurs en chlorures sont faibles (valeur moyenne de 2,5 mg/l), sans fluctuations significatives. Il en est de même pour les nitrates.

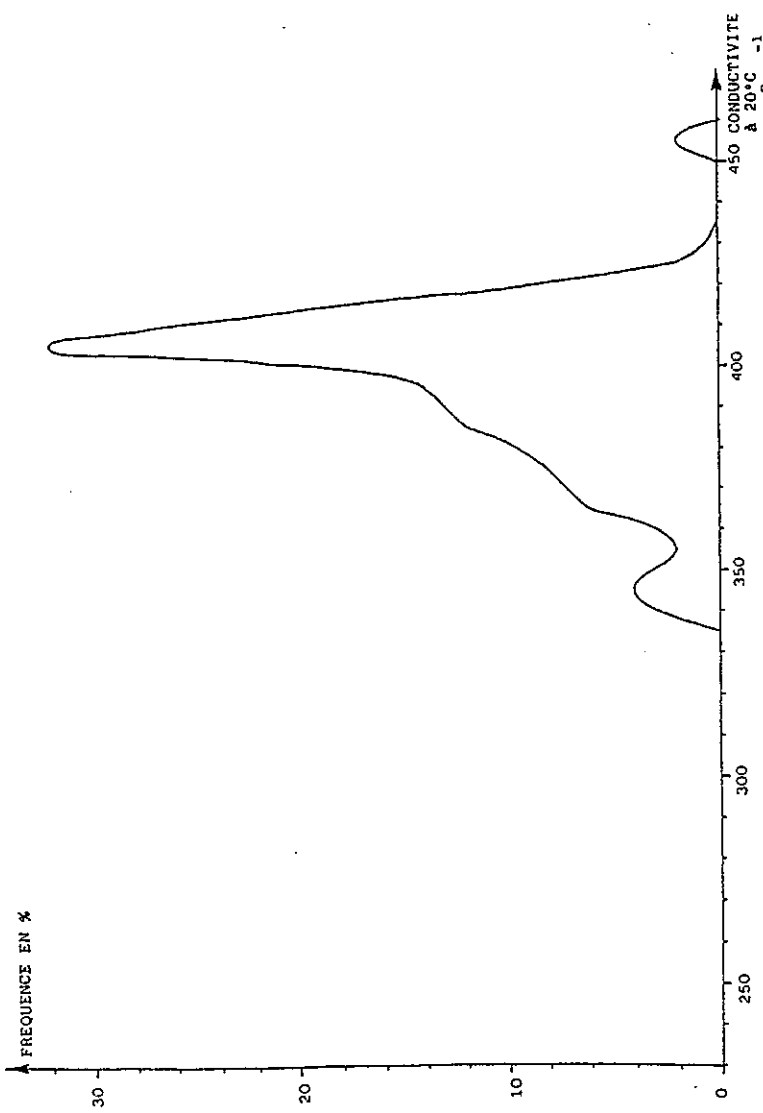
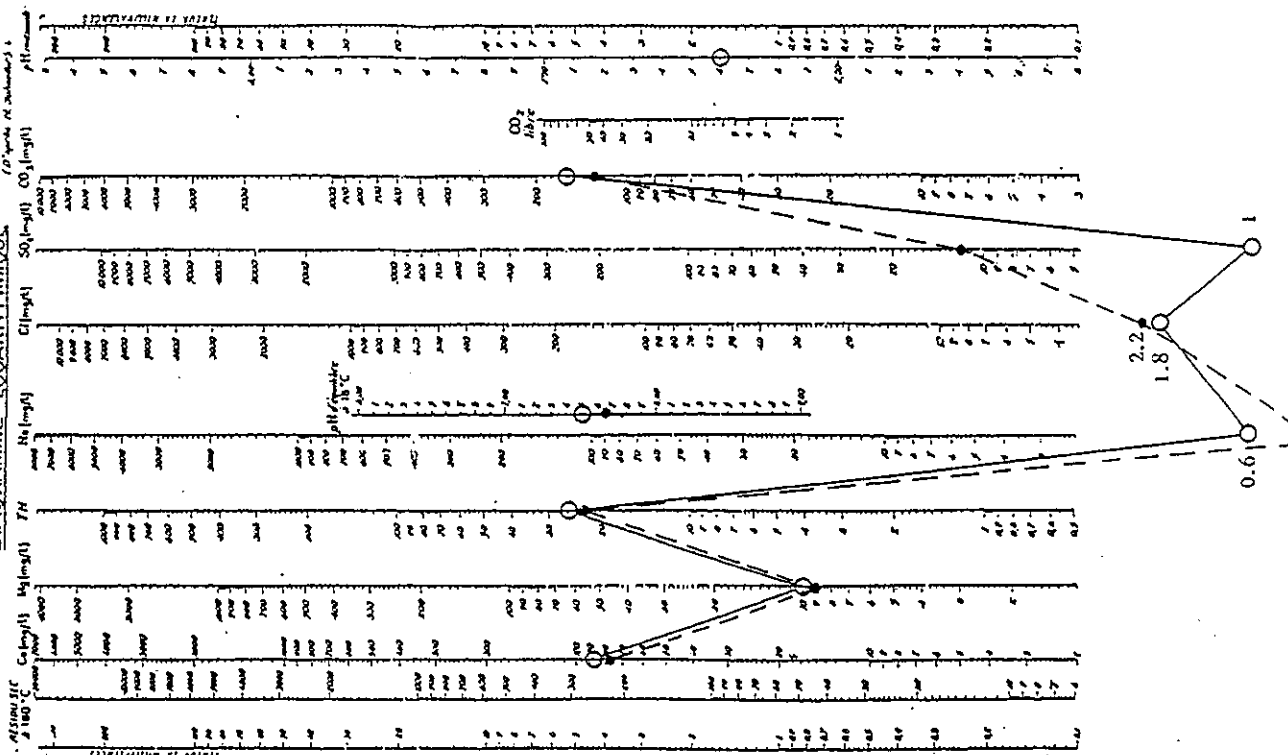
2.3.2. Les Cations :

Les valeurs du T.H.T. diminuent en hiver, cette baisse coïncide avec celle des bicarbonates.

(FIG. 9) REPRESENTATION GRAPHIQUE DES EAUX DE LA SOURCE LAVOIR

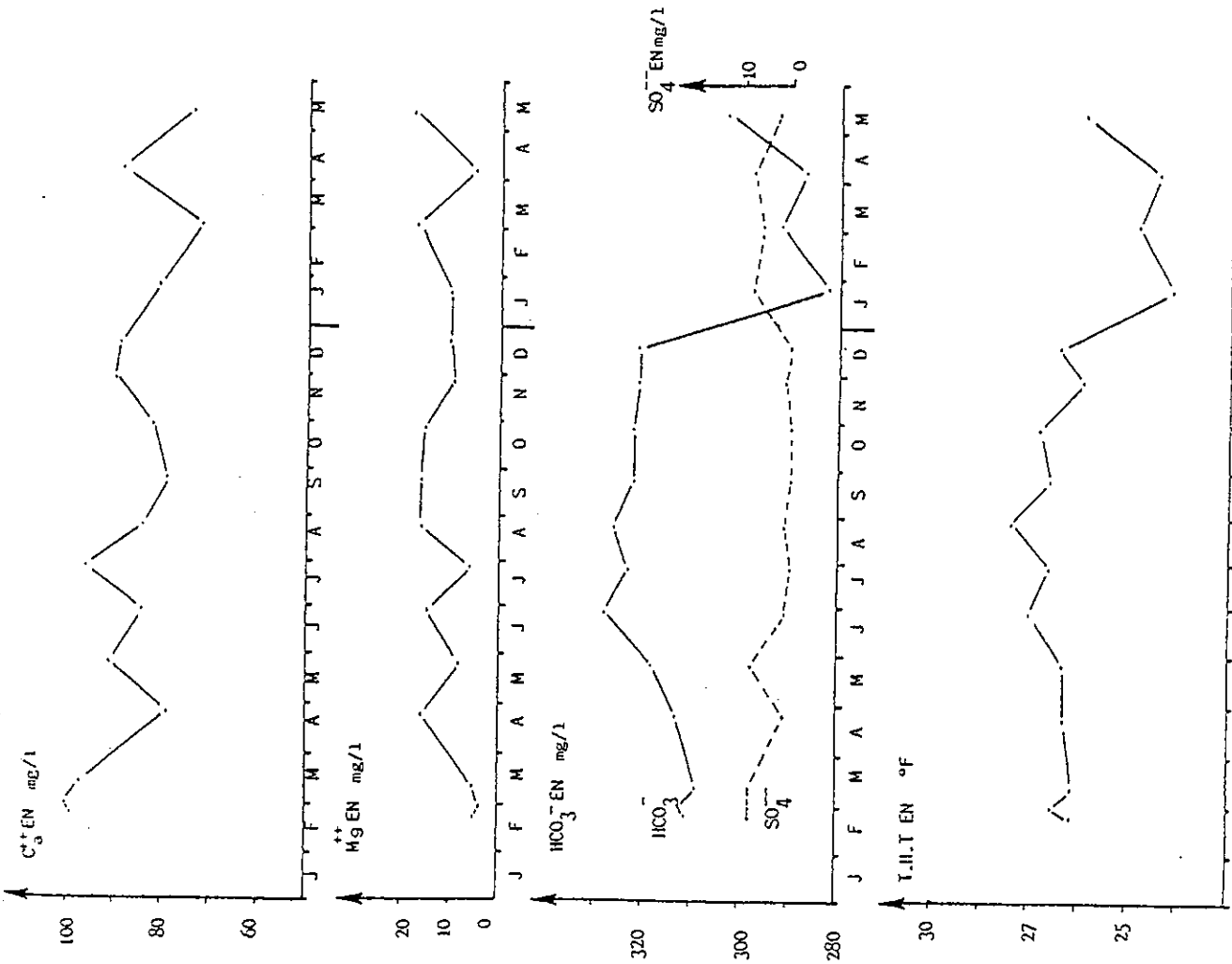
○ : 17/12/85 Q = 11/m³ — ● : 25/2/86 Q = 20.51/m³

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

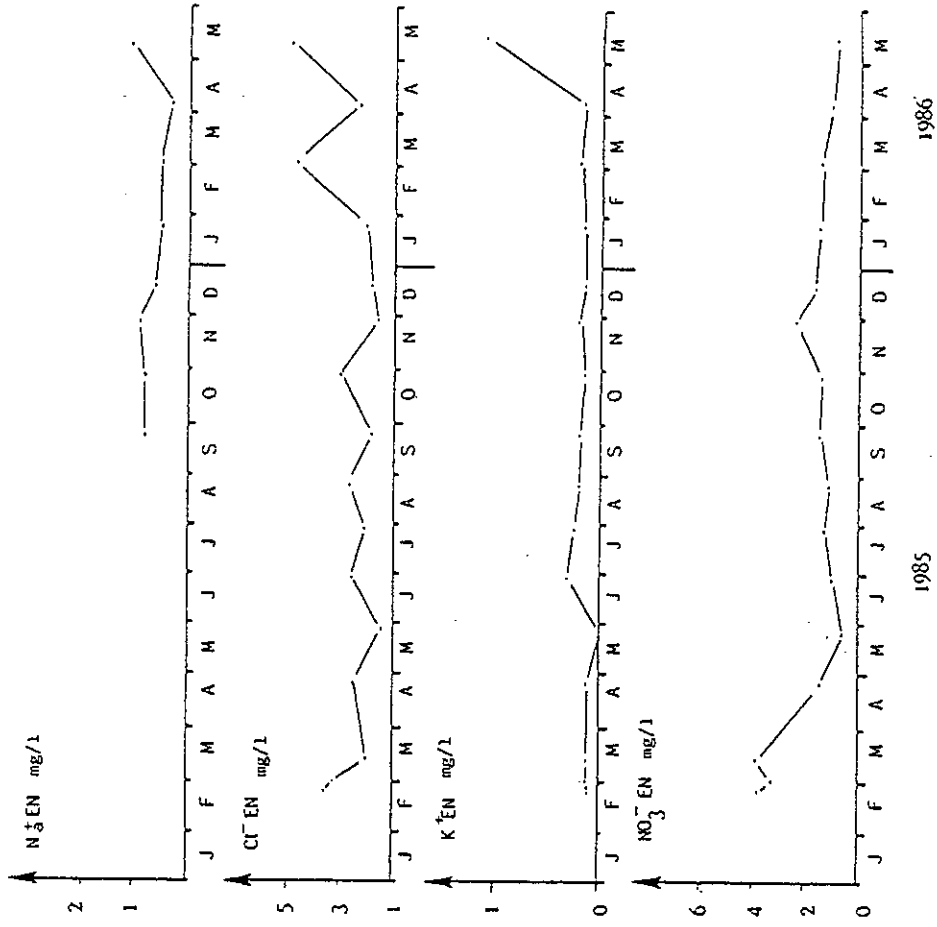


(FIG. 8) DISTRIBUTION DE FREQUENCE DES VALEURS DE LA CONDUCTIVITE POUR LA SOURCE "LAVOIR" LA BALNE .1986.

(FIG. 92) VARIATIONS DES CARACTERES PHYSICO CHIMIQUES DE LA SOURCE LAVOIR



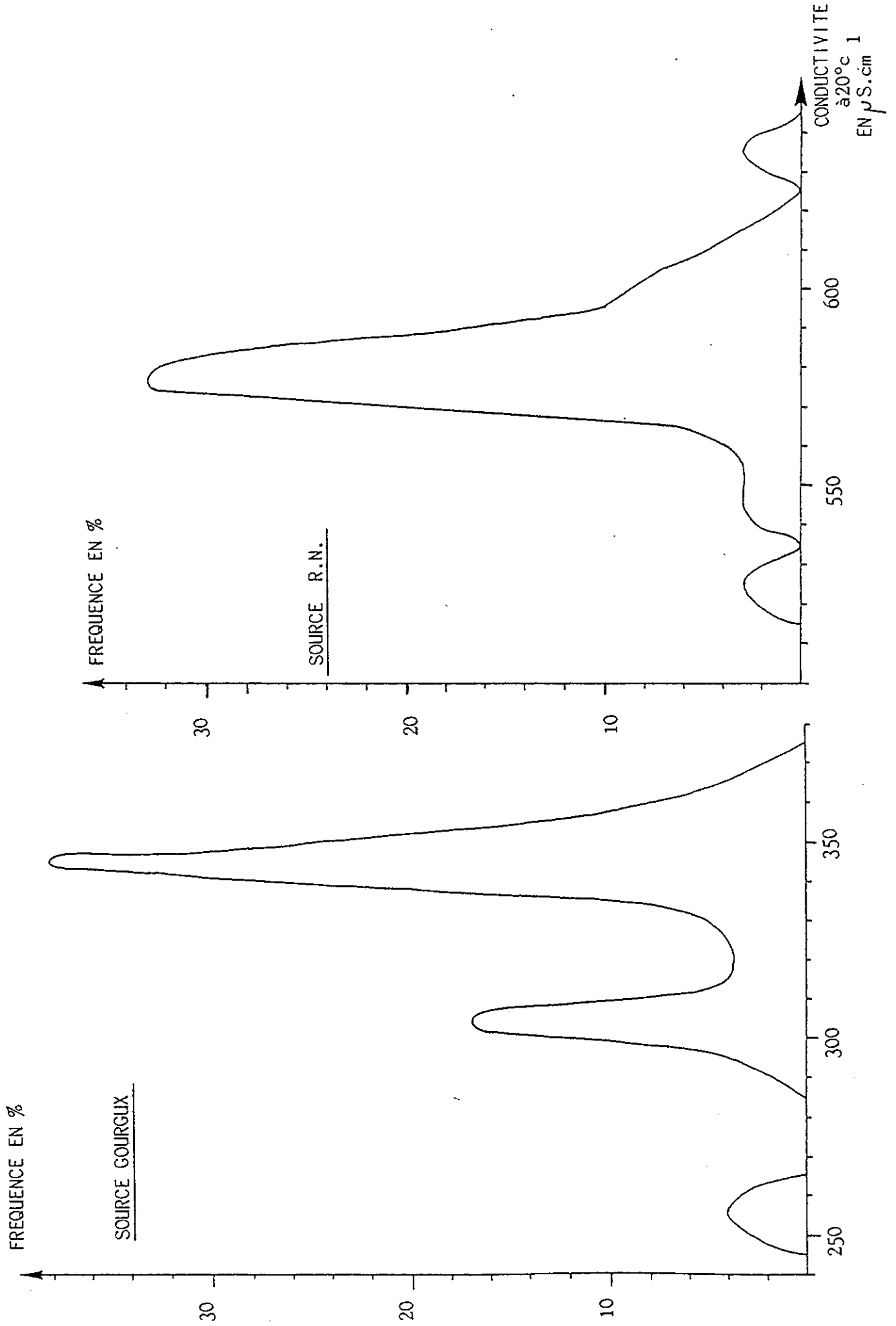
(FIG. 91) VARIATIONS DES CARACTERES PHYSICO CHIMIQUES DE LA SOURCE LAVOIR



1986

1985

(FIG.93)DISTRIBUTIONS DE FREQUENCE DES VALEURS DE LA CONDUCTIVITE
EN 1986 POUR LES SOURCES: GOURGIX . R.N.



Le calcium et le magnésium fluctuent de façon inverse durant la période d'observation. L'amplitude de variation pour ces deux ions ne dépasse pas 20 mg/l.

La valeur moyenne des teneurs en calcium est de 84 mg/l. Il est le cation le plus représenté.

Le potassium est pratiquement absent de la composition chimique des eaux, malgré une légère remontée de sa teneur en Mai.

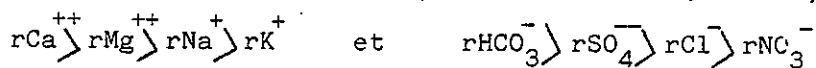
Le sodium sur la période de mesure possède des teneurs modestes, inférieures au mg/l.

2.4. - Bactériologie

Les analyses bactériologiques effectuées en période de crue ou d'étiage ont toutes conclu à l'absence de germes indicateurs d'une pollution organique.

2.5. - Conclusion

La source du Lavoir possède une eau de type bicarbonaté calcique dont la formule chimique est la suivante (FIG.90).



L'absence de pollutions bactériologiques ou chimiques (Nitrates) et un débit modeste éliminent la possibilité d'une alimentation des éboulis par des pertes du Karst.

La source du Lavoir possède un aquifère simple, superficiel de dimensions très limitées, constitué par les éboulis plaqués sur le versant du Mont Tournier.

3 - LA SOURCE GOURGUX

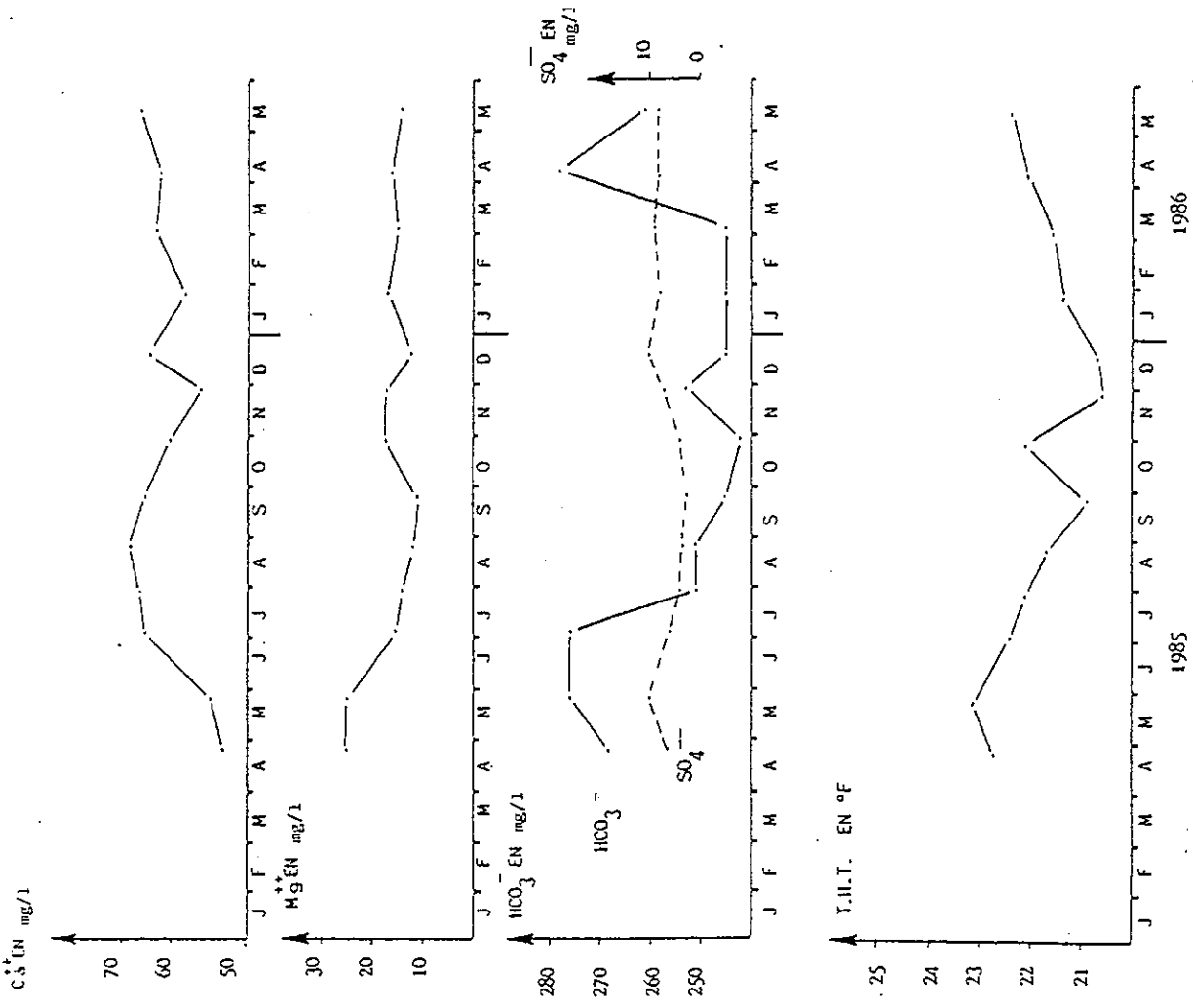
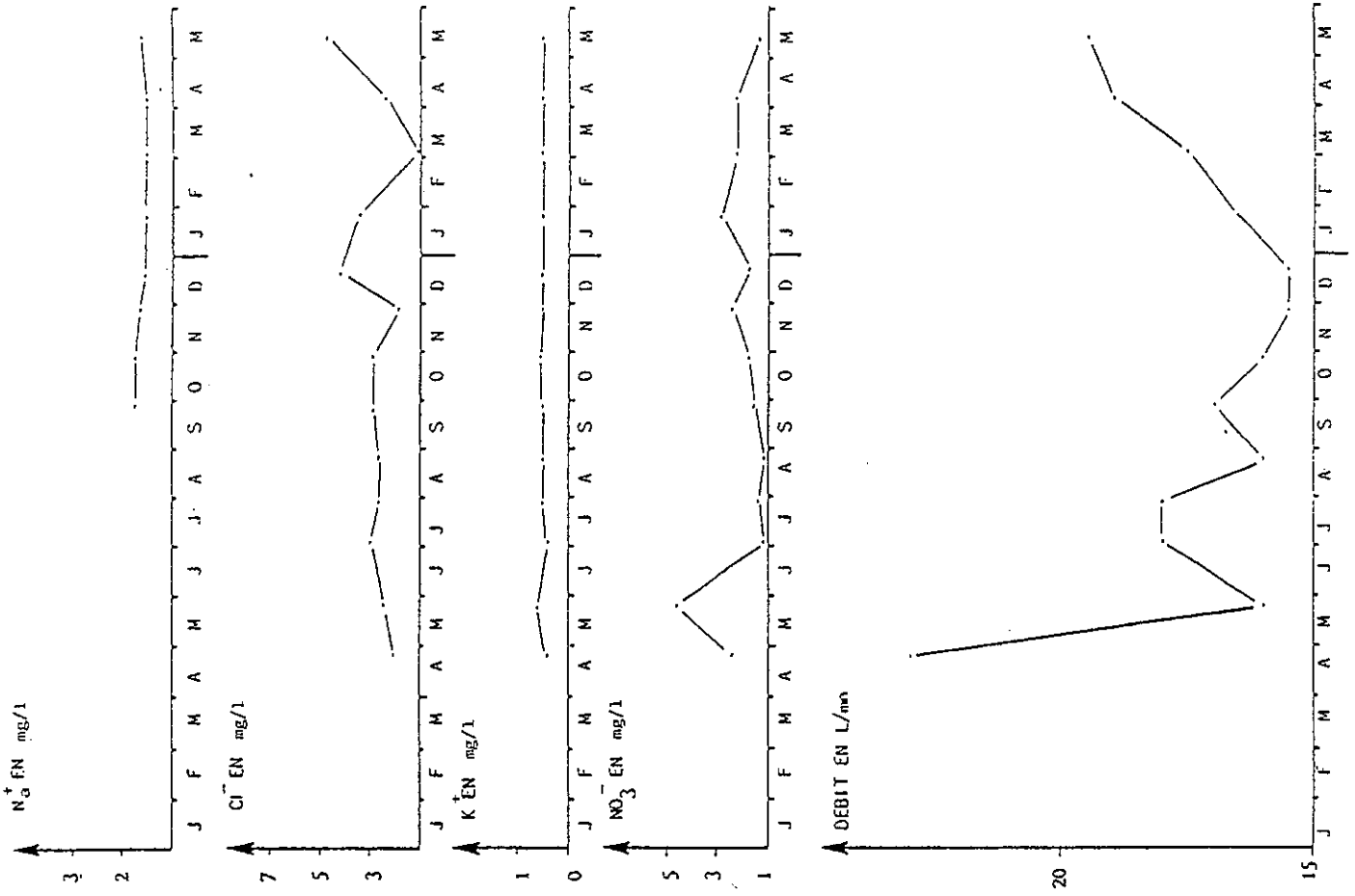
3.1.- Le débit (FIG.87).

Le débit moyen établi sur 25 mesures donne une valeur de 15,6 l/mm avec un écart type de 3,2 l/mm.

Le coefficient de variation (rapport écart type sur moyenne) de 0,20, traduit la faible fluctuation des débits de cette source.

Un cycle se définit cependant, avec une période d'étiage en Eté et à l'Automne (Q le 26/11/86 = 8,4 L/mm) et une période de crue en Hiver et au Printemps (Q 6/05/86 = 20,5 L/mm).

(FIG. 95) VARIATIONS DES CARACTERES PHYSICO CHIMIQUES DE LA SOURCE GOURCIX



(FIG. 94) VARIATIONS DES CARACTERES PHYSICO CHIMIQUES DE LA SOURCE GOURCIX

3.2. Les paramètres physiques

3.2.1. La Température

Les analyses et mesures n'ont pu être faites directement au captage mais sur un bassin implanté 200 mètres en aval.

Nous avons constaté que la température mesurée au bassin possédait de fortes variations provoquées par l'influence des températures extérieures sur les canalisations : les températures relevées varient entre 17,5 °c en Août et 6,3°c en Janvier et ne sont de ce fait pas significatives.

3.2.2. la Conductivité (FIG.88)

La conductivité suit les variations de débits : elle est importante pour des forts débits ($c = 370 \mu\text{S cm}^{-1}$ le 6 mai 1986), lors de l'étiage les valeurs sont plus faibles ($c : 258 \mu\text{S cm}^{-1}$ le 6 août 1986).

La construction de la courbe de distribution de fréquence des valeurs de conductivité, bien que le nombre de mesures soit faible, donne deux pics : (FIG.93)

* Le principal centré sur $350 \mu\text{S.cm}^{-1}$, correspond aux mesures relevées lors du premier semestre pour des valeurs de débits importants.

* le second centré sur $300 \mu\text{Scm}^{-1}$ provient des mesures effectuées pendant l'étiage.

La source Gourgux semble donc posséder une origine complexe qui lui fournit une eau peu minéralisée à l'étiage, la minéralisation augmente lors de la période de crues.

3.3. - Les paramètres chimiques (FIG n° 94 et n° 95)

3.3.1 les Anions :

Les bicarbonates forment la plus grande part de la minéralisation, ils présentent une teneur faible de 250 mg/L de Juillet 1985 à Mars 1986.

Les concentrations en sulfates sont toujours inférieures à 10 mg/L.

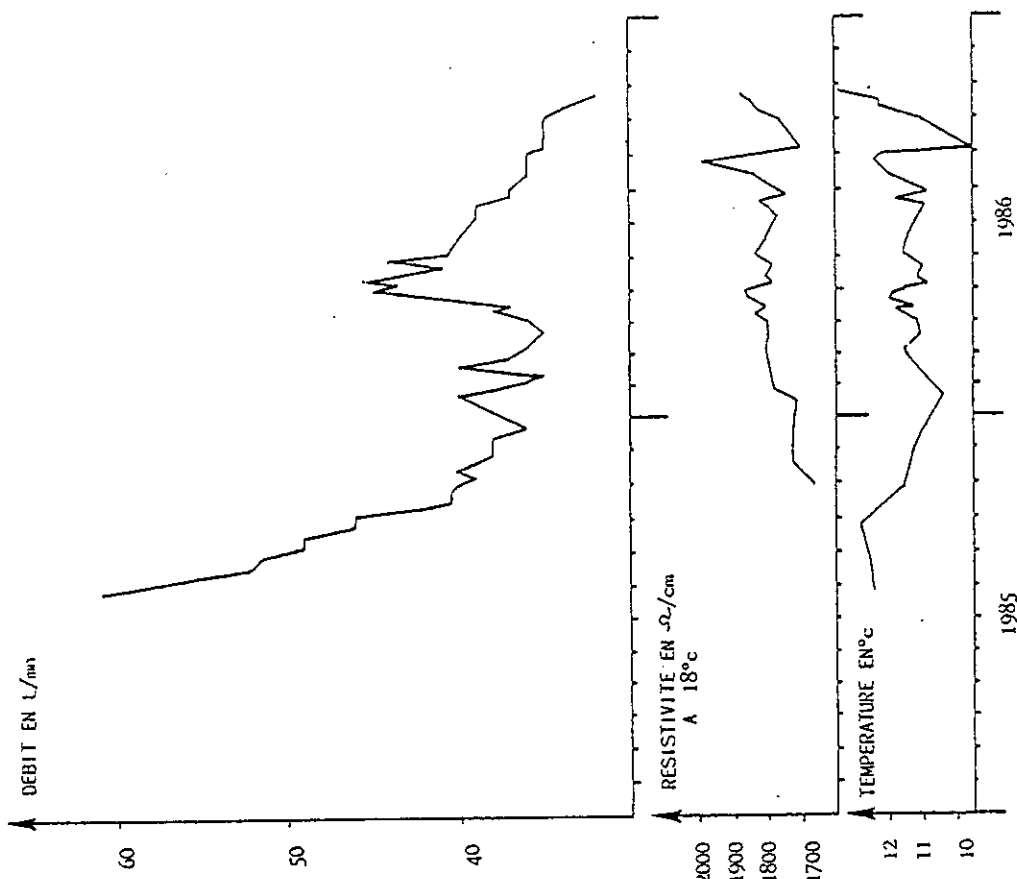
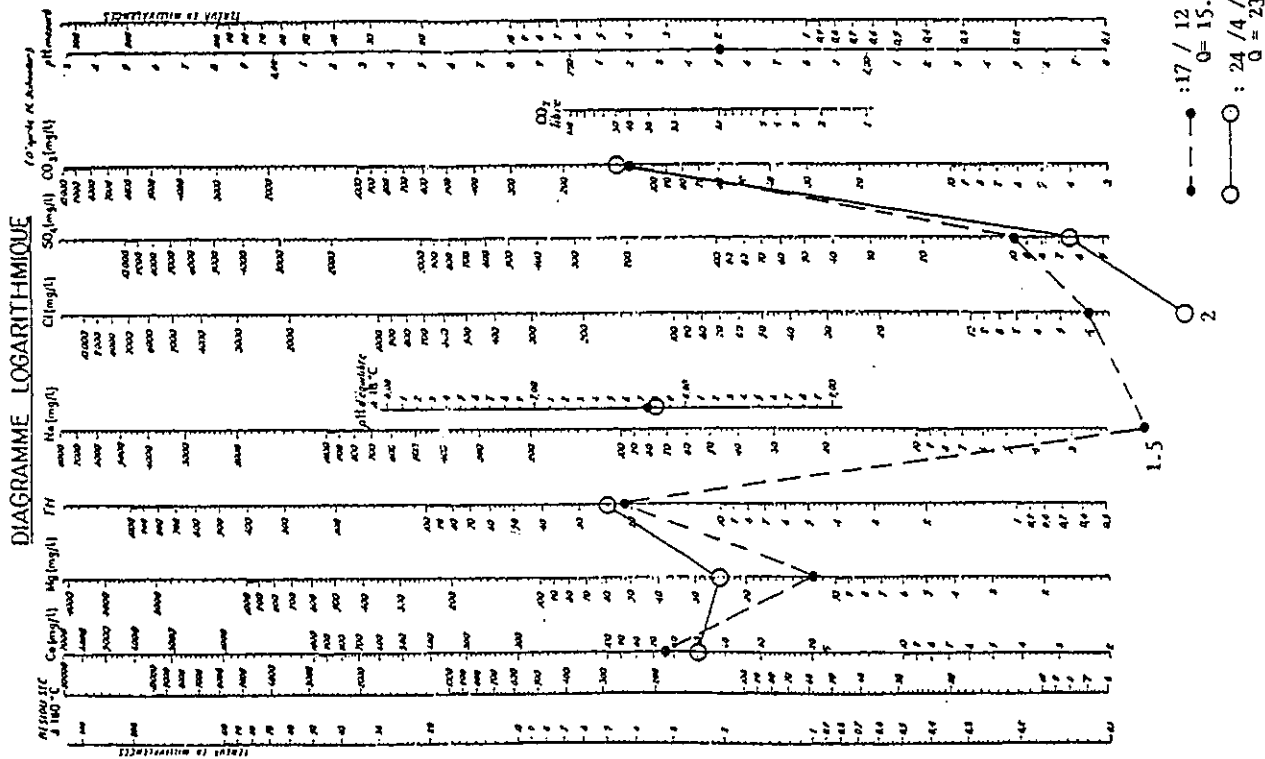
la teneur moyenne en chlorures est de 2,7 mg/L avec deux maxima : * l'un en décembre 1985 de : 4,1 mg/L
* le second en Mai 1986 de : 4,7 mg/L

La concentration moyenne en nitrates est modeste (2 mg/L) avec une teneur plus importante en Mai 1985 (4,6 mg/L).

3.3.2. les Cations :

Le T.H.T. fluctue de façon synchrone avec les teneurs en bicarbonates. Le minimum s'observe fin 1985 alors que les mois de Mai 1985 et 1986 montrent les valeurs maxima .

(FIG. 96) REPRESENTATION GRAPHIQUE DES EAUX DE LA SOURCE COURGUX



(FIG. 97) VARIATIONS DES CARACTERES PHYSIQUES DE LA SOURCE R. N. 1985 1986

Les eaux présentent des teneurs en calcium plus importantes durant l'Été qui coïncident avec une baisse des teneurs en magnésium.

Le rapport moyen $r \text{ Mg/r Ca}$ est de 0,45.

Les valeurs en sodium et potassium sont très faibles et restent constantes durant l'année.

Elles s'établissent à 1,6 mg/L pour le sodium et à 0,5 mg/L pour le potassium.

3.4.-Bactériologie :

Les analyses effectuées lors de débits différents témoignent d'une eau de bonne qualité, exempte de pollutions organiques.

3.5. -Interprétation Conclusion

Cette venue dont les paramètres physico-chimiques à l'étiage correspondent à une circulation rapide dans un aquifère, présente en période de hautes eaux un caractère bicarbonaté calcique accentué, avec augmentation des teneurs en magnésium (FIG.96).

La Source Gourgux peut être interprétée comme issue d'une circulation liée aux chenaux à forte perméabilité de la molasse. Son aquifère est limité à la partie superficielle : un forage effectué à 750 mètres au sud de ce captage à la côte 280 m (X : 860,30 ; Y : 74,75) montre une augmentation des teneurs en argile avec la profondeur des molasses sablogréseuses (rapport géologique J.P. RAMPNOUX 1985 - inédit).

En période hivernale, des venues du karst ou des éboulis situés en amont se manifestent provoquant l'augmentation des débits et de la minéralisation.

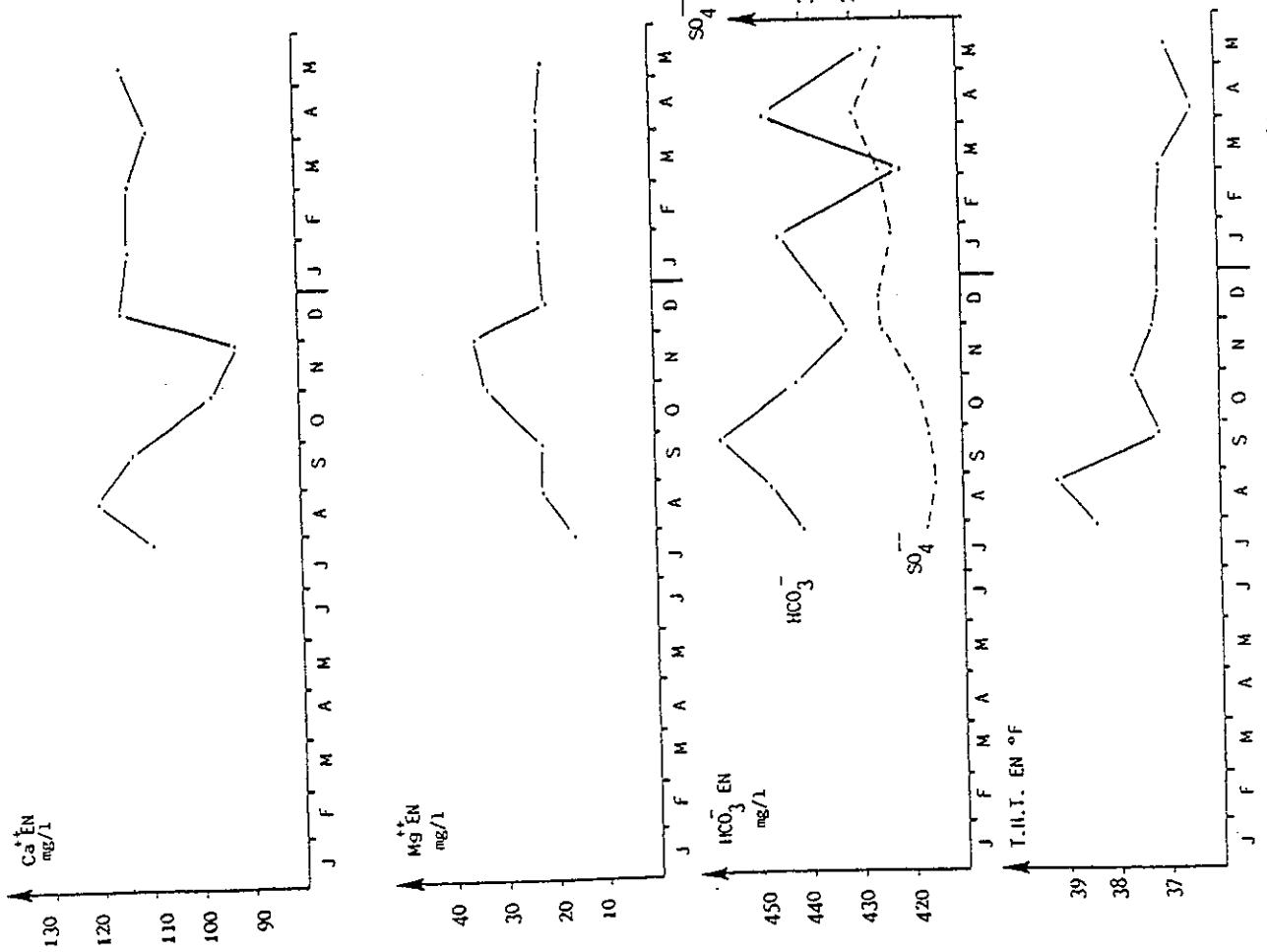
4 - LA SOURCE R.N.

4.1. Le débit (FIG n°87 et n°97)

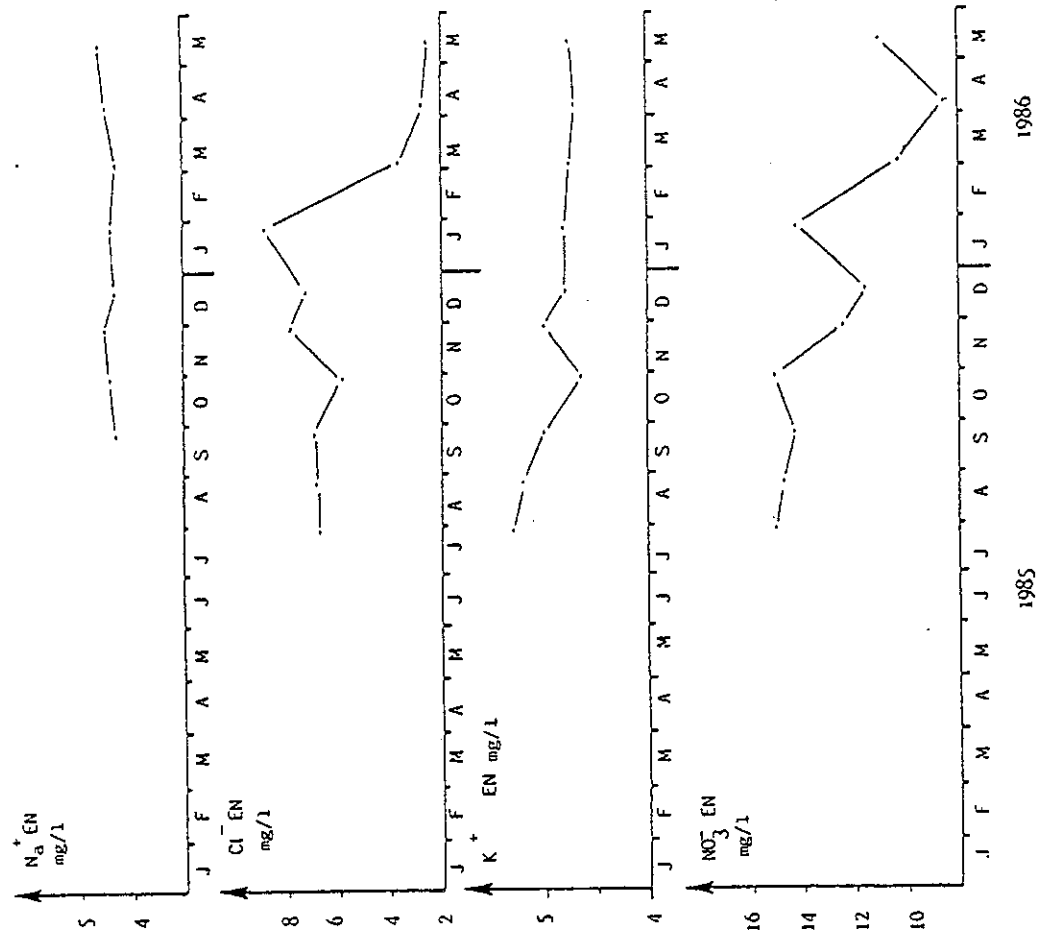
En Juillet 1985, date de nos premières mesures, un débit de 60 L/s fut obtenu sur cette source. Le débit diminua jusqu'à la crue des mois de Mai et Juin 1986 qui n'atteint cependant pas les valeurs observées en 1985.

Les jaugeages effectués durant l'Été et l'Automne 1986 montrèrent une diminution des débits pour atteindre la valeur de 32 L/mm le 21 Octobre 1986.

L'absence de précipitations efficaces durant le deuxième semestre de l'année 1985 provoqua un étiage prolongé qui par épuisement des réserves, se répercute sur les valeurs de débit de 1986. (FIG.97).



(FIG.98) VARIATIONS DES CARACTERES PHYSICO CHIMIQUES DE LA SOURCE R.N. 1985



(FIG.99) VARIATIONS DES CARACTERES PHYSICO CHIMIQUES DE LA SOURCE R.N. 1986

Les réserves de l'aquifère n'ayant pu être entièrement reconstituées lors des précipitations hivernales et printanières qui suivirent l'étiage de 1985.

Le débit moyen en 1986 est de 38,6 L/mm avec un écart type de 3,5 L/mm. Le coefficient de variation est faible ($c = 0,09$) ce qui démontre la faible fluctuation des débits.

4.2. - Les Paramètres physiques

4.2.1. - La Conductivité (FIG.88)

Les valeurs de conductivité sont très fortes, elles fluctuent entre 530 $\mu\text{S cm}^{-1}$ et 630 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

La valeur maximale est obtenue à la fin de l'étiage de 1985, la plus faible fut mesurée le 18 Août 1986 lors d'un très violent orage. (dégâts matériels importants sur ST GENIX SUR GUIERS, avec toits emportés, arbres arrachés : interprétés comme phénomènes de tornades dans le Bulletin Climatologique Mensuel).

En raison de la situation du captage : drains dans la molasse aboutissants à un lavoir où s'effectuaient les mesures, des eaux superficielles lors d'orages exceptionnels peuvent s'infiltrer au niveau de l'exutoire.

La courbe de distribution des valeurs de conductivité possède une forme unimodale, centrée sur 580 $\mu\text{S cm}^{-1}$, qui indique un aquifère simple. (FIG n° 93).

4.2.2. - La température (FIG n° 88)

La valeur moyenne est de 11,5 °c avec un écart type de 0,75 et dont le coefficient de variation est de 0,065.

Elle dépasse la température moyenne de l'air de 1,8 °c (moyenne La Balme 1986) ce qui démontre un cheminement profond de l'eau.

la figure n° 88 montre de faibles fluctuations de température pour les mesures antérieures à septembre 1986. La plus forte amplitude de variations de la température s'observe entre les mesures du 4 Septembre 1986 ($\theta = 9,4$ °c) et du 21 Octobre de la même année ($\theta = 13,4$ °c) sans que des événements météorologiques récents puissent expliquer ces valeurs inhabituelles.

4.3. Les Paramètres chimiques (FIG.98 et 99)

4.3.1. les Anions

Les bicarbonates ont une teneur très importante : valeur moyenne de 439,5 mg/L avec une fluctuation maximum de 20 mg/L.

la teneur moyenne en sulfates est modeste ($= 11$ mg/L), elle a cependant atteint 20 mg/L en Avril ce qui représente la teneur la plus importante observée sur les sources étudiées.

(FIG 101) TABLEAU DES VALEURS REMARQUABLES DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DES SOURCES R.N. : LAVOIR ; GOURGIX . (ANALYSES MENSUELLES 1985 - 1986)

	R.N.			LAVOIR			GOURGIX		
	\bar{X}	σ	C	\bar{X}	σ	C	\bar{X}	σ	C
T.H.T. en °F	37.5	0.74	0.02	25.3	1.5	0.06	21.8	0.75	0.03
Ca en mg/l	109.6	8.1	0.07	84.1	9.2	0.11	60.8	5.6	0.09
Mg en mg/l	23.5	5.6	0.24	10.6	5.9	0.56	16.2	4.1	0.25
Na en mg/l	4.4	0.10	0.02	0.54	0.26	0.48	1.6	0.1	0.06
K en mg/l	4.9	0.02	0.01	0.16	0.07	0.43	0.5	0.04	0.08
HCO ₃ en mg/l	439.5	10	0.02	299.7	24	0.08	256.8	12.9	0.05
Cl en mg/l	5.9	2.1	0.36	2.5	1	0.4	2.7	0.9	0.33
SO ₄ en mg/l	11	5.2	0.47	5.3	3.4	0.64	6.7	2.4	0.36
NO ₃ en mg/l	12.7	2.2	0.17	2	1.1	0.55	2	0.9	0.45
M. T. en mg/l	610			405			350		
rMg/rCa	0.36	0.12	0.33	0.22	0.11	0.5	0.45	0.17	0.38
T. en °C.	11.5	0.75	0.07	10.5	1.1	0.1			
Q en l/mn	38.6	3.5	0.09	8.1	5.6	0.7	15.6	3.2	0.21

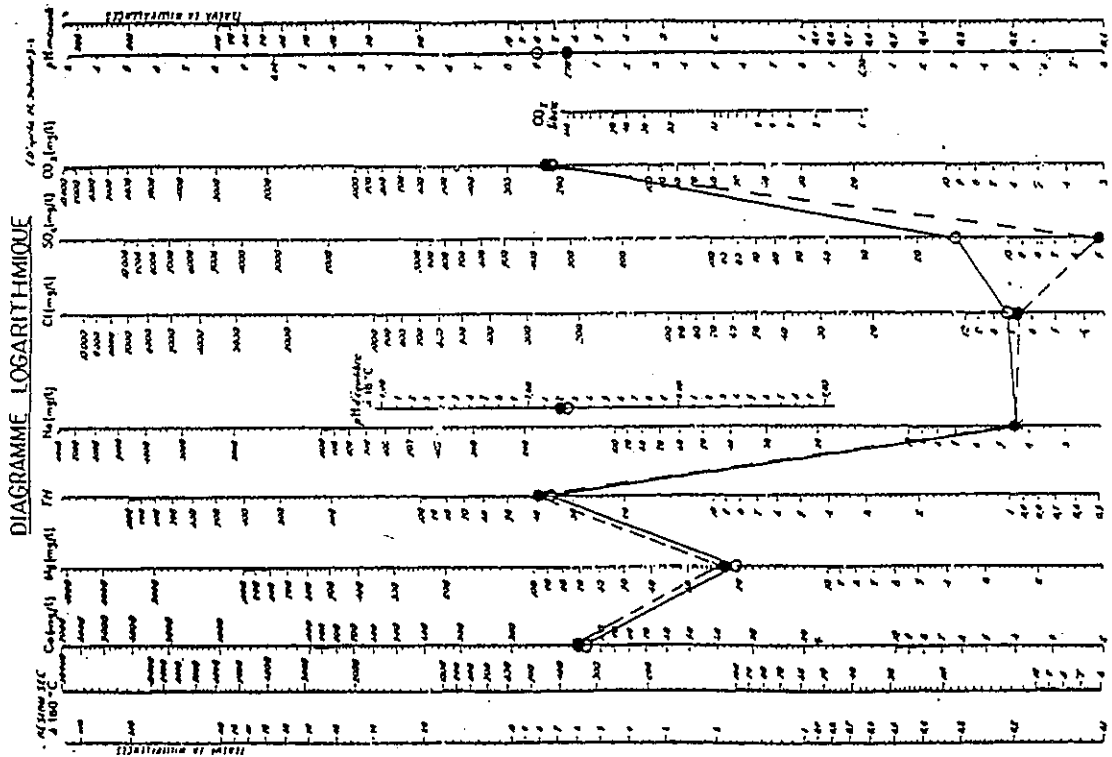
M.T. : MINERALISATION TOTALE EN mg/l

\bar{X} : VALEUR MOYENNE

σ : ECART TYPE

C : COEFFICIENT DE VARIATION = $\frac{\sigma}{\bar{X}}$

(FIG.100) REPRESENTATION GRAPHIQUE DES EAUX DE LA SOURCE R.N.



○ — : 17/12/85 Q = 36 l/mn
 ● — : 21/8/85 Q = 52 l/mn

Elle augmente à partir du mois de Novembre jusqu'à la fin de la période d'analyses.

La concentration en chlorures oscille autour de 7 mg/L de Juillet à Janvier pour diminuer nettement au Printemps 1986.

Les nitrates présentent une forte concentration à l'Automne (15 mg/L) pour ensuite diminuer par saccades et atteindre un minimum de 8,5 mg/L en Avril.

Une activité agricole intense en amont de la source provoque ces valeurs importantes.

4.3.2. Les Cations :

Le T.H.T. est toujours supérieur à 37 °F avec un maximum relevé en Août de 39 ° F. L'amplitude de ces variations est donc très faible.

Le calcium est le cation qui varie le plus : une amplitude de 30 mg/L s'observe entre les valeurs extrêmes.

La teneur moyenne des eaux s'établit à 110 mg/L

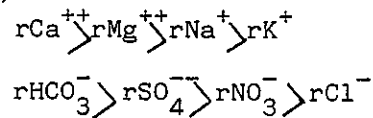
Les teneurs en magnésium sont supérieures à 20mg/L, et montrent un maximum lors de la baisse du calcium.

Le rapport moyen $r \text{Mg}^{++}/r \text{Ca}^{++}$ est de 0,36.

Nous avons relevé pour le sodium et le potassium les valeurs les plus élevées de notre étude sur les sources.

Leurs fluctuations sont faibles : le sodium présente une concentration supérieure à 4 mg/L et le potassium à 4,5 mg/L.

La formule caractéristique de cette eau s'établit comme suit : (FIG n°100).



4.4. Bactériologie

Les analyses bactériologiques n'ont pas montrées la présence d'une pollution organique des eaux de la source malgré un environnement défavorable (Elevages et habitat dispersé).

L'aquifère présente donc une capacité de filtration importante ce qui permet d'obtenir une bonne qualité bactériologique des eaux issues de son émergence.

4.5. Interprétation Conclusion

L'aquifère molassique autorise une circulation lente et profonde, qui permet :

- l'acquisition d'une minéralisation élevée qui se caractérise par l'obtention de valeurs les plus

importantes de toutes les sources étudiées pour les différents paramètres chimiques analysés.

- une température à l'émergence nettement supérieure à la moyenne annuelle de l'air.

L'infiltration des eaux météoritiques provoque un lessivage des nitrates d'origine agricole qui sont entraînés lors de la percolation.

Il possède une capacité de réserve qui autorise un débit relativement constant lors d'une année hydrologique. Ce débit est fixé par les possibilités de recharge à partir des précipitations hivernales et printanières.

En 1986 les précipitations ne purent compenser l'épuisement des réserves lors de l'été de 1985.

La bonne filtration bactériologique des eaux confirme la perméabilité " en petit " importante de cet aquifère.

5 - CONCLUSION A L'ETUDE DES AQUIFERES GRAVITAIRES NON KARSTIQUES.

Le tableau de la figure n°101 récapitule les valeurs remarquables des paramètres physicochimiques obtenues sur les trois sources étudiées.

Ces sources, issues d'aquifères différents, présentent toutes un faciès bicarbonaté calcique conforme à la nature géologique des terrains traversés.

Elles diffèrent, cependant, par les concentrations de leurs éléments chimiques et par les amplitudes de leurs fluctuations qui se produisent à des périodes différentes.

Les éboulis de pieds de versant à la Balme, forment un aquifère très modeste en raison de sa dimension restreinte. Aucune venue du Karst n'a pu être mise en évidence dans ce secteur.

Il fournit une eau presque entièrement composée de bicarbonate et de calcium, les autres éléments sont à une concentration infime.

Les formations molassiques possèdent deux modèles d'aquifères dont les caractères communs sont :

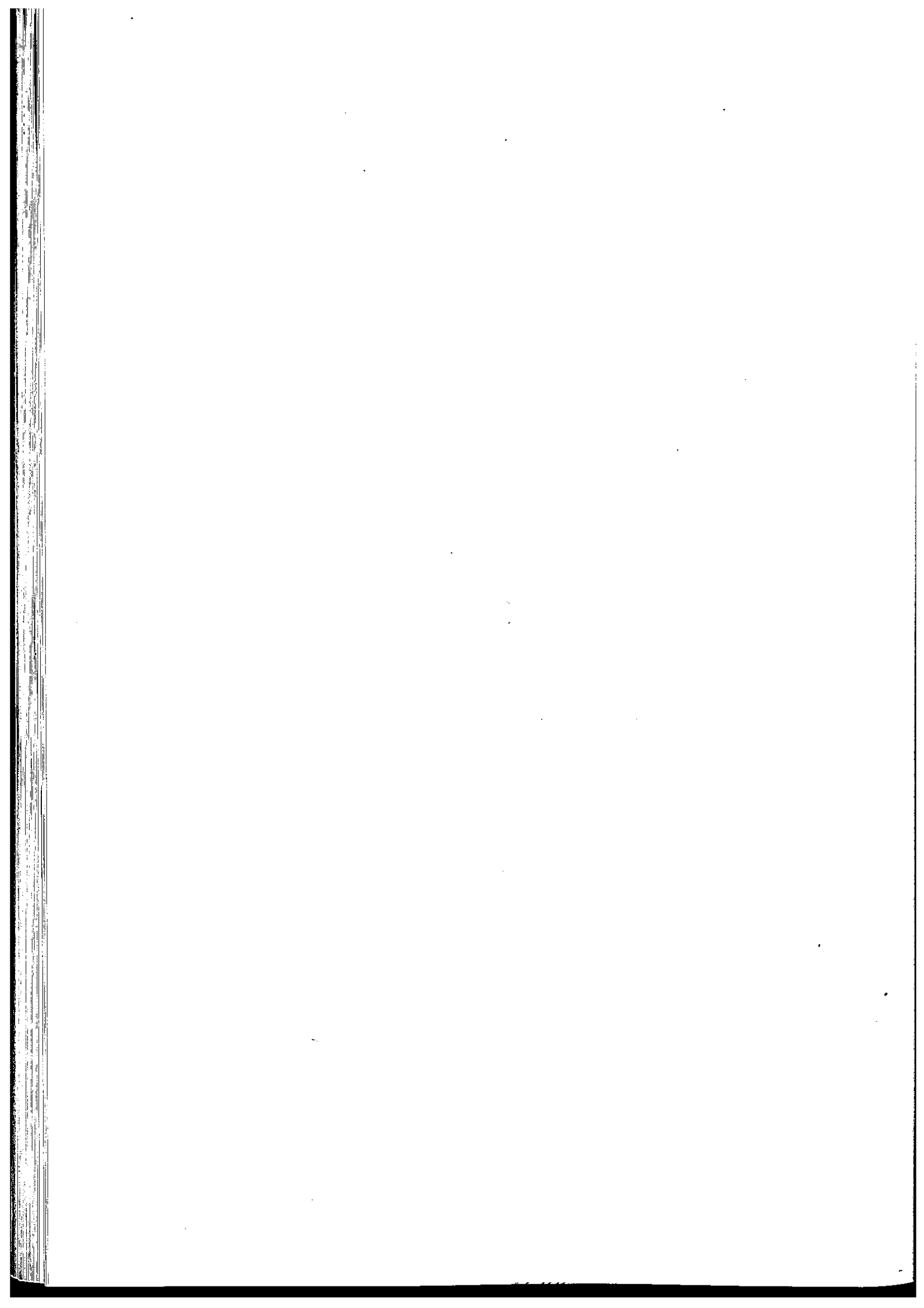
- * un débit relativement constant au cours d'une année hydrologique, due à la bonne perméabilité de ces terrains provoquant une capacité d'emmagasinement important.
- * une agressivité de l'eau (*)
- * une augmentation de la proportion des teneurs en magnésium sur celles du calcium.

(*) Les pH mesurés aux exutoires sont inférieures au pH d'équilibre du bicarbonate de calcium).

Il se développe :

- * soit une circulation superficielle qui donne une eau peu minéralisée. Elle peut subir l'influence de venues en provenance d'autres aquifères durant leurs crues : cas de la source Gourgux.
- * soit une circulation profonde, très minéralisée de type source R.N.

La nappe du Rhône peut donc subir des venues d'eaux à caractères particuliers en fonction de l'aquifère responsable.



CHAPITRE 7

ETUDE PIEZOMETRIQUE

1 - LE RESEAU PIEZOMETRIQUE

2 - LE SECTEUR AMONT

- 2.1. - Etude des cartes piezométriques
- 2.2. - Etude de la carte de battements
- 2.3. - Variations comparées du Rhône et de la nappe
- 2.4. - Conclusion
- 2.5. - Evolution de la surface piezométrique dans le temps
- 2.6. - Conclusion

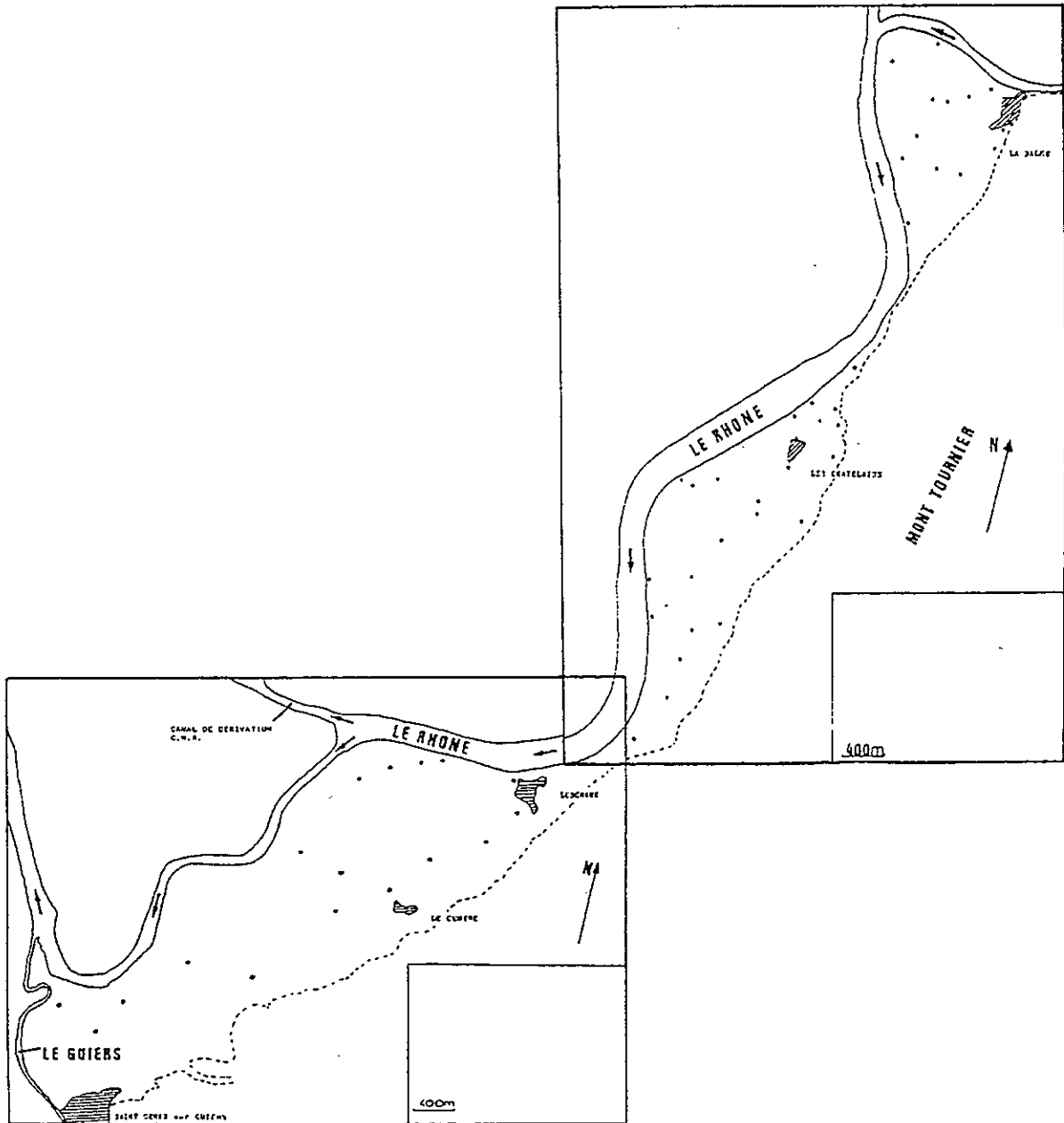
3 - LE SECTEUR MEDIAN

- 3.1. - Etude des cartes piezométriques
- 3.2. - Etude de la carte des battements
- 3.3. - Conclusion
- 3.4. - Evolution de la surface piezométrique
- 3.5. - Conclusion

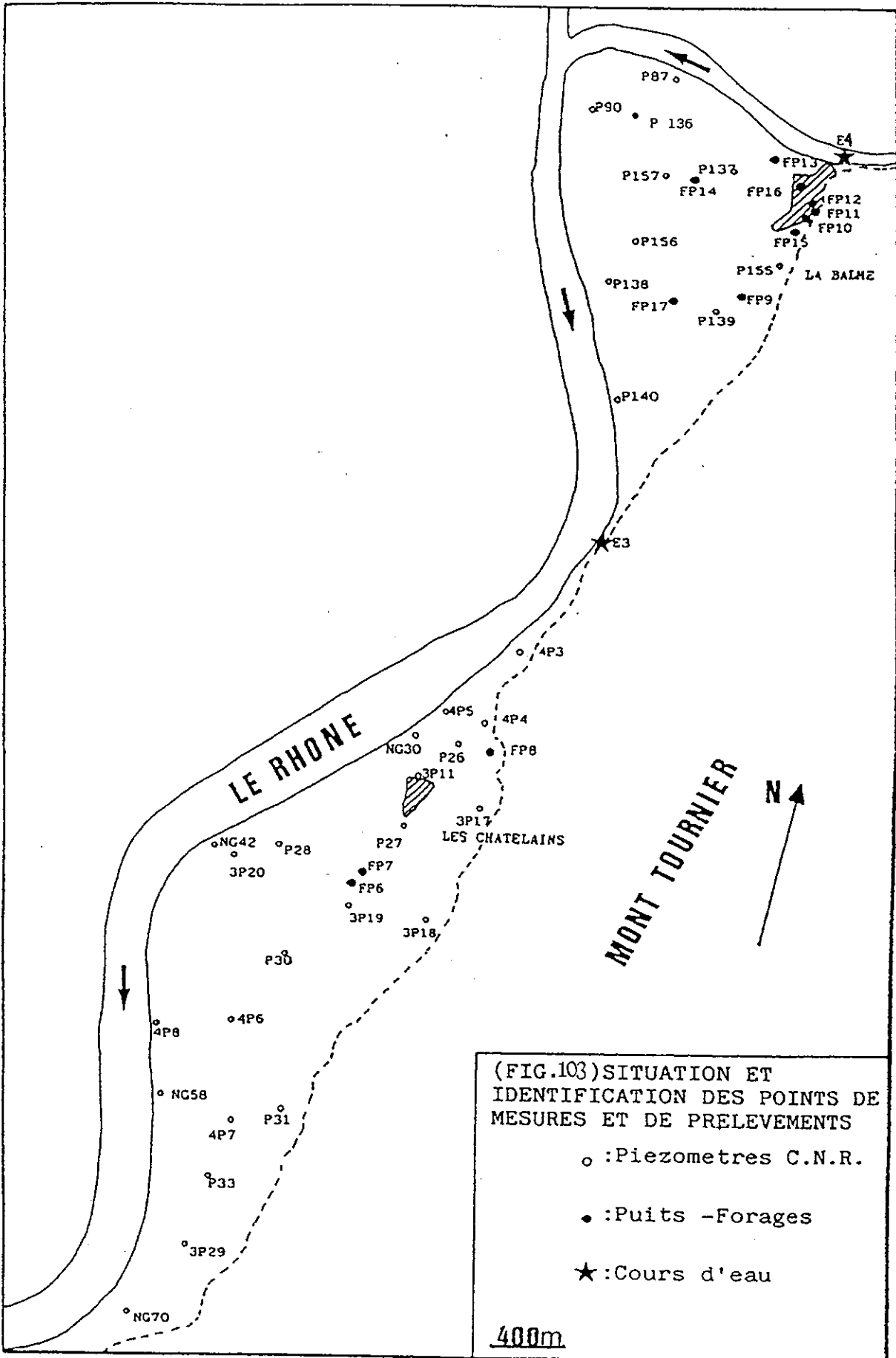
4 - LE SECTEUR AVAL

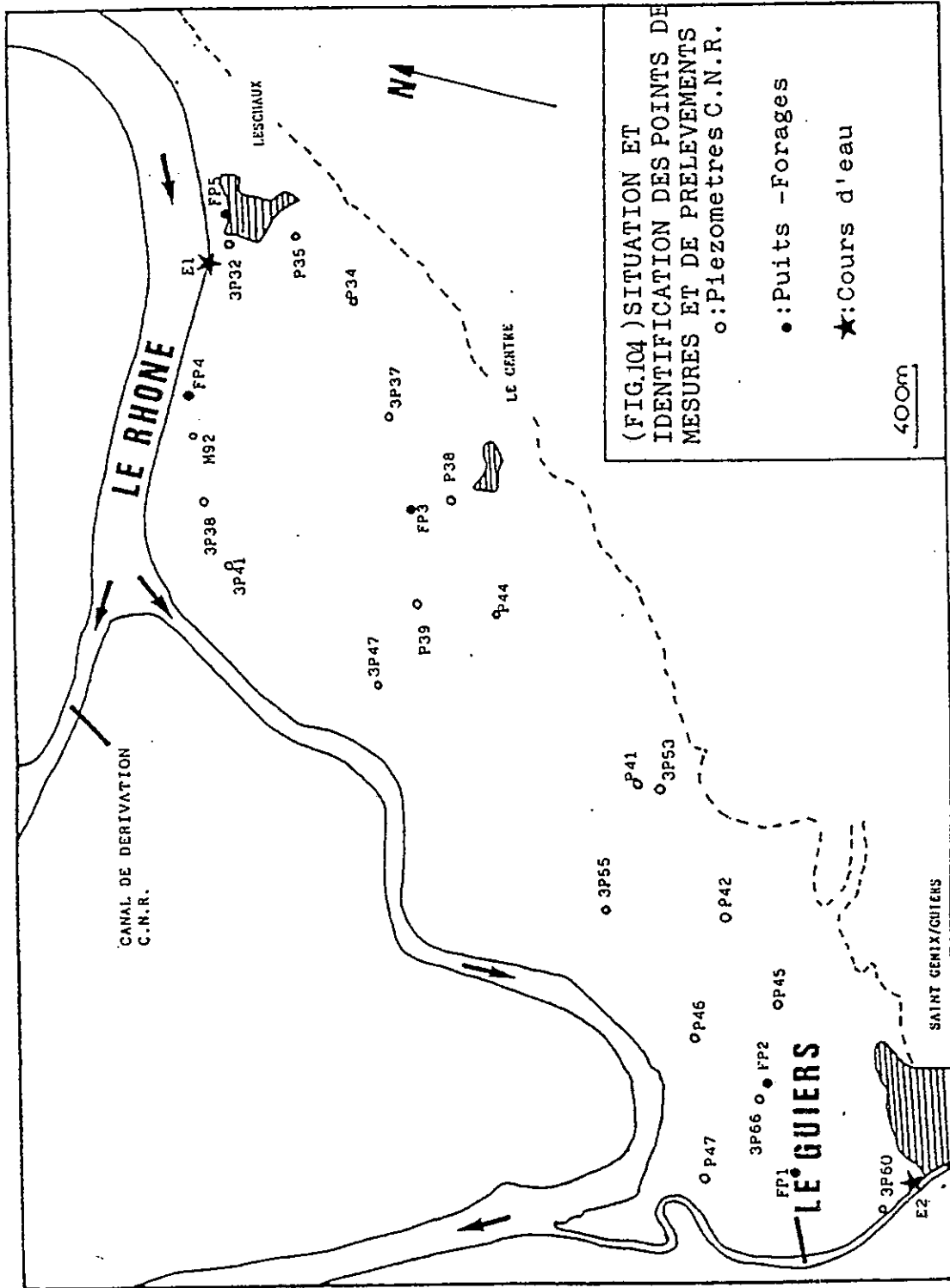
- 4.1. - Etude des cartes piezométriques
- 4.2. - Etude des battements de nappe
- 4.3. - Conclusion
- 4.4. - Variations saisonnières du niveau piezométrique
- 4.5. - Conclusion

5 - CONCLUSIONS



(FIG.102) PLAN D'ASSEMBLAGE DES CARTES UTILISEES POUR L'ETUDE DE LA NAPPE





CH.7 - Etude Piézométrique

1 - Le Réseau Piézométrique

FIG. : 102, 103, 104.

Pour l'étude piézométrique de la nappe phréatique, nous avons utilisé les piézomètres installés par la Compagnie Nationale du Rhône depuis de nombreuses années, dont seulement une cinquantaine permet d'effectuer des mesures.

Les piézomètres sont constitués par des tubes métalliques, généralement de 8 mètres de long, ouverts uniquement à la base. Ils sont rattachés au Nivellement Général de la France.

La méthode par triangulation permet à partir des hauteurs piézométriques de tracer les isopiezés des cartes de nappes, puis les lignes de courant.

Trois campagnes de mesures furent faites avec l'aide des techniciens de la C.N.R. :

- en novembre 1985
- en mai 1986
- en août 1986

Le Rhône délimite sur sa rive gauche trois secteurs qui se distinguent par leurs comportements différents :

- secteur amont : boucle de la Balme
- secteur médian : boucle des Chatelains
- secteur aval : Leschaux - St Génix (limité à l'ouest par le Guiers).

2 - Le Secteur Amont

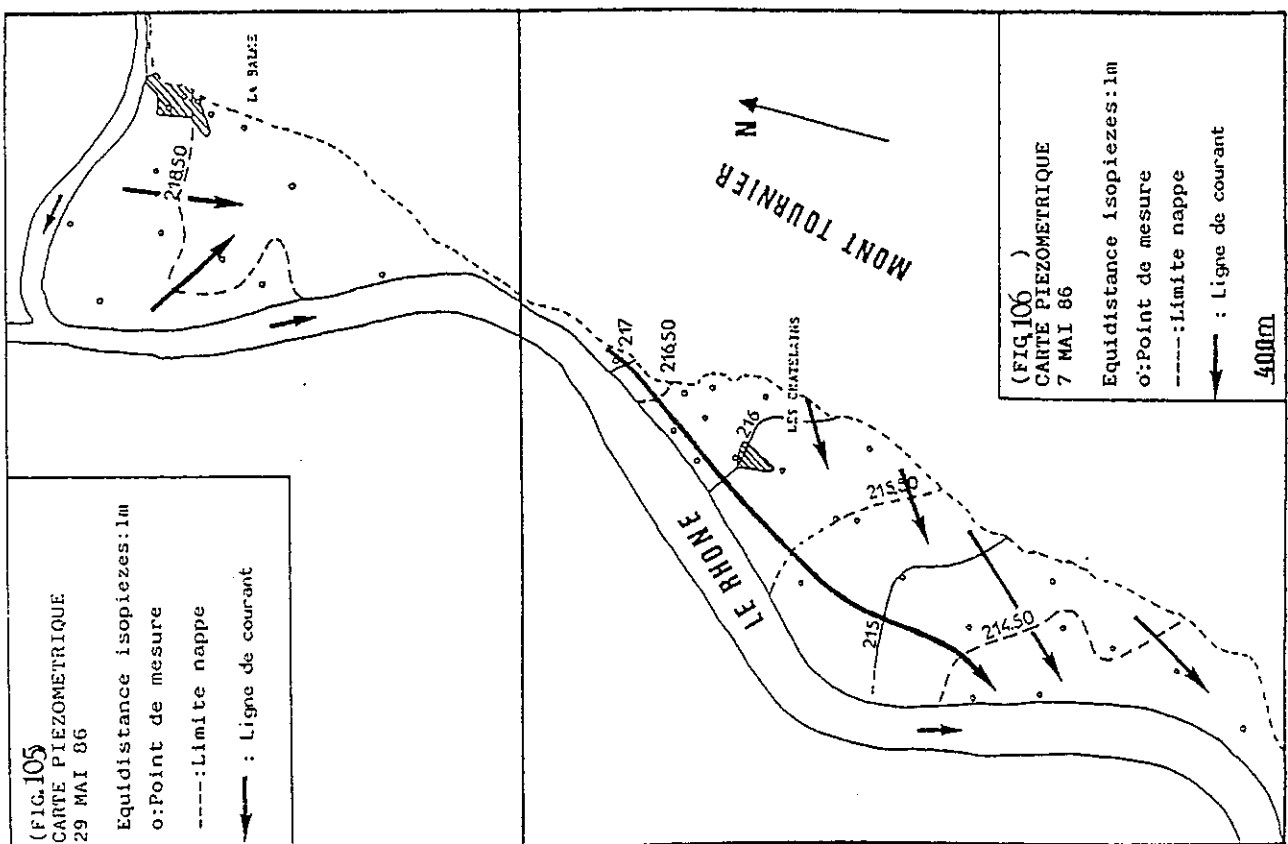
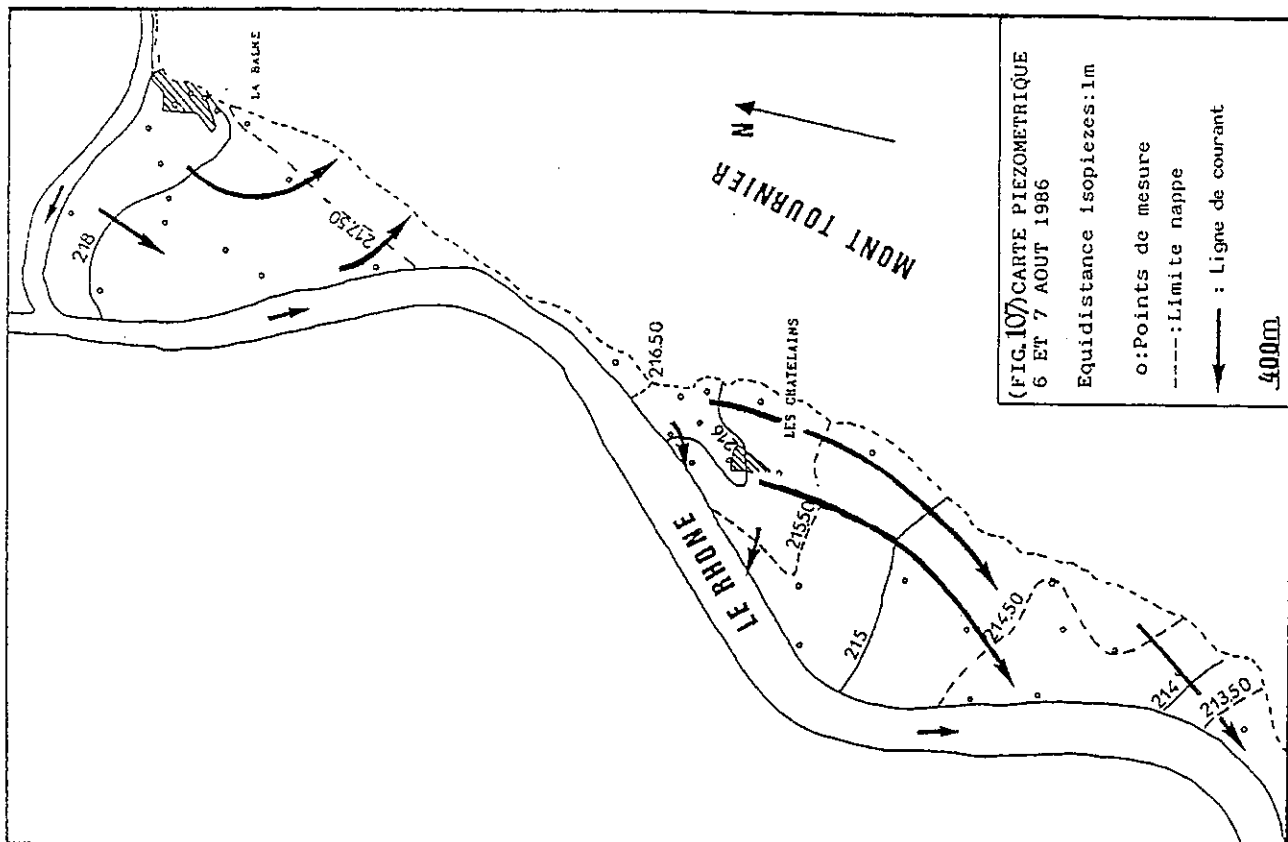
2.1 Etude des Cartes Piézométriques

2.11 Carte du 29 Mai 1986 (FIG.105)

Elle correspond à une période de hautes eaux, le niveau piézométrique décroît du Rhône à l'intérieur de la boucle.

Le tracé de la courbe isopièze 218,50 m est approximativement parallèle à la boucle qu'effectue le Rhône.

L'alimentation de la nappe dans ce secteur s'effectue à partir du Rhône.



(FIG. 105)
CARTE PIEZOMETRIQUE
29 MAI 86

Equidistance isopiezes: 1m

o: Point de mesure
----: Limite nappe
→ : Ligne de courant

2.12 Carte du 6 et 7 août 1986 (FIG.107)

Des deux courbes isopièzes dessinées, l'une (218 m) est sub parallèle au Rhône courcircuité, l'autre (217,50 m) suit la limite orientale de la nappe. A l'Ouest de la boucle, les deux lignes isopièzes sont éloignées de 1800 m (pente de 3 pour 10^4 m) ; au sud du village de la Balme, les deux lignes se rapprochent augmentant la pente de la surface piezométrique.

Les observations faites en période de basses eaux montrent une alimentation de la nappe à partir du Rhône courcircuité avec un écoulement en direction de sa limite orientale.

2.2 - Etude carte de battements (FIG.108)

L'abaissement du niveau du Rhône de l'ordre de 90 centimètres observé entre les deux périodes de mesures permet d'individualiser deux zones sensibles à cette variation de niveau, dont les battements sont supérieurs à 75 centimètres :

- l'une au débouché des gorges de la Balme,
- l'autre en face du Rhône dérivé.

L'amortissement de ces battements s'effectue selon un axe méridien. Les deux secteurs à forte amplitude de battements traduisent la présence de deux chenaux à forte perméabilité.

2.3. - Variations comparées des hauteurs du Rhône et de la Nappe.

La figure n°110 permet de constater une bonne synchronisation entre le niveau du Rhône en amont de la Balme et la nappe : piezomètres P 155, P 136, FP 17.

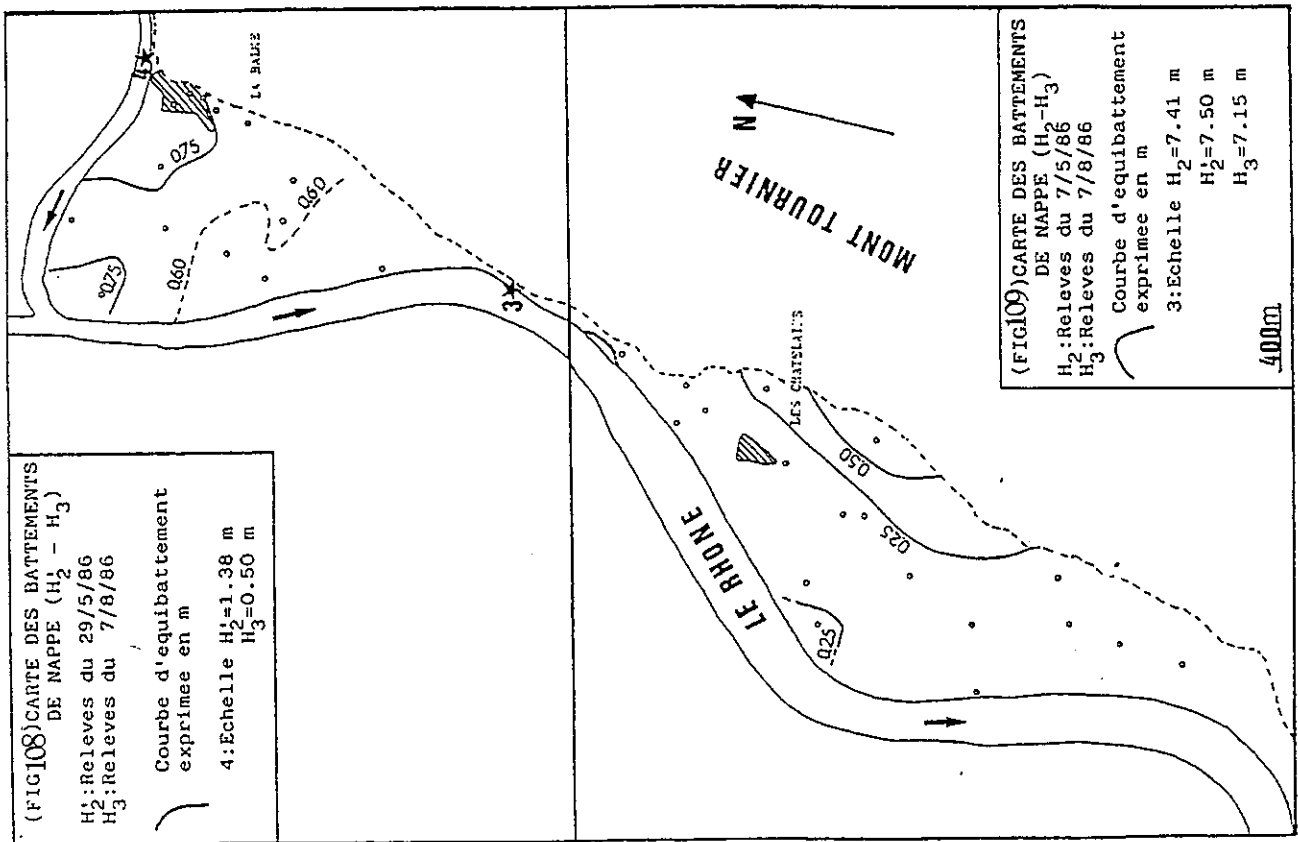
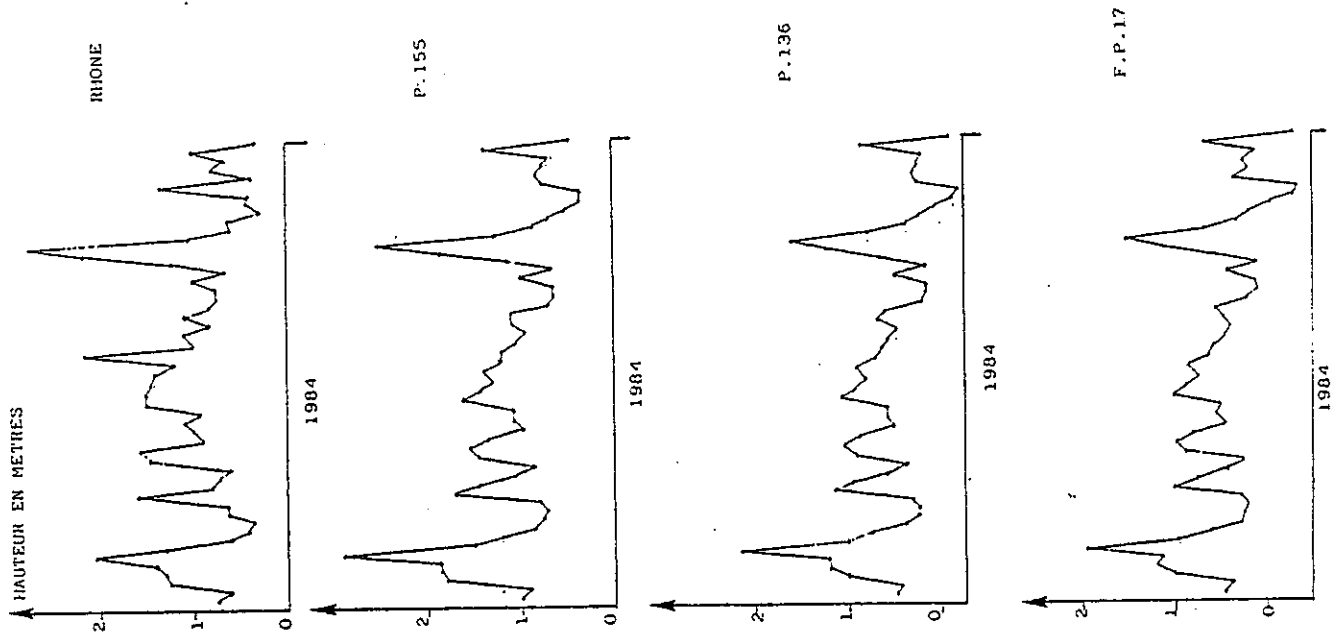
Le Rhône montre ainsi son rôle primordial dans le comportement de la nappe.

2.4. - Conclusion

L'examen des cartes met en évidence une alimentation constante de la nappe à partir de la partie Nord de la Boucle du Rhône. Il dicte l'alimentation de la nappe dans le secteur amont.

En période de basses eaux, une zone de drainage se manifeste le long du Mont Tournier.

(FIG. 110) VARIATIONS COMPAREES DU RHONE (Echelle n°4) ET DE LA NAPPE : SECTEUR AMONT (P: Géomètres n°: P 155, P 136, FP 17) EN 1984



Deux secteurs à forte perméabilité ont pu être mis en évidence, ainsi qu'une zone à fort gradient hydraulique au sud du village de la Balme.

2.5. - Evolution de la surface piezométrique dans le temps

2.5.1 Variations interannuelles : Influence des facteurs anthropiques

2.5.1.1 Valeur moyenne annuelle.

Nous avons pu disposer des relevés hebdomadaires de hauteurs de nappe mesurées sur le piezomètre P 137 depuis 1977, soit neuf années de mesure.

Pour chaque année, la moyenne des hauteurs de nappe et l'écart type ont été calculés et figurent dans le tableau ci-dessous :

Année	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Côte Moyenne	219,22	218,91	218,98	219,24	219,13	219,02	218,59	218,35	218,39
Ecart Type	0,66	0,76	0,59	0,59	0,62	0,56	0,60	0,45	0,59

(valeurs exprimées en mètres).

Tableau des hauteurs moyennes de nappe

Nous constatons de 1977 à 1982, un niveau piezométrique moyen annuel proche de 219,10 mètres oscillant suivant les années d'observation autour de cette valeur avec une amplitude maximum relevée en 1978 de 0,20 mètres.

A partir de 1983, une baisse deux fois plus importante qu'en 1978 se manifeste et se poursuit jusqu'à la fin de nos observations

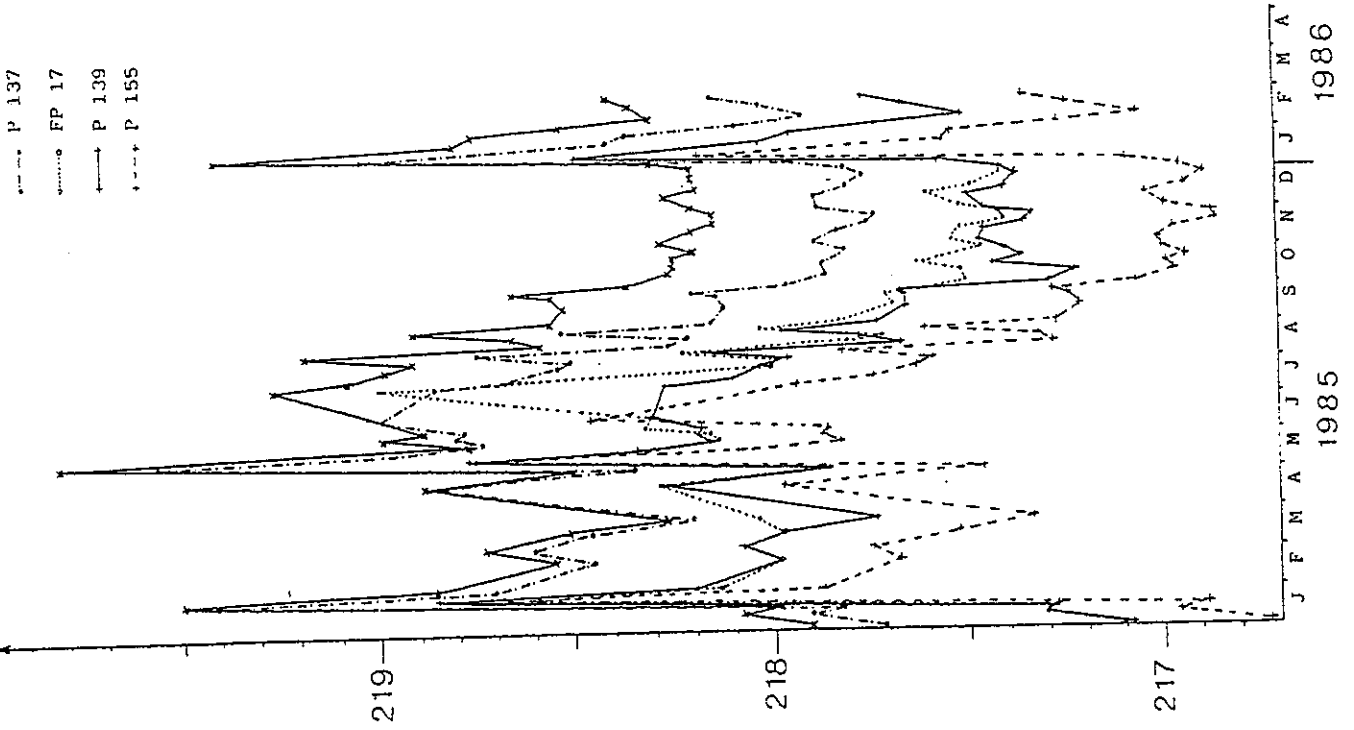
Cette diminution de niveau est consécutif à la mise en service à la fin de l'année 1982, de l'aménagement de Belley. Une partie des eaux du Rhône est alors dérivée dans le canal d'aménagé de l'usine de BRENS (fig. 6). Le Rhône court-circuité connaît une diminution de débit, provoquant dans le secteur amont la baisse observée du niveau de la nappe.

(FIG.112) EVOLUTION HEBDOMADAIRE DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE
SECTEUR AMONT. JANVIER 1985 A MARS 1986.

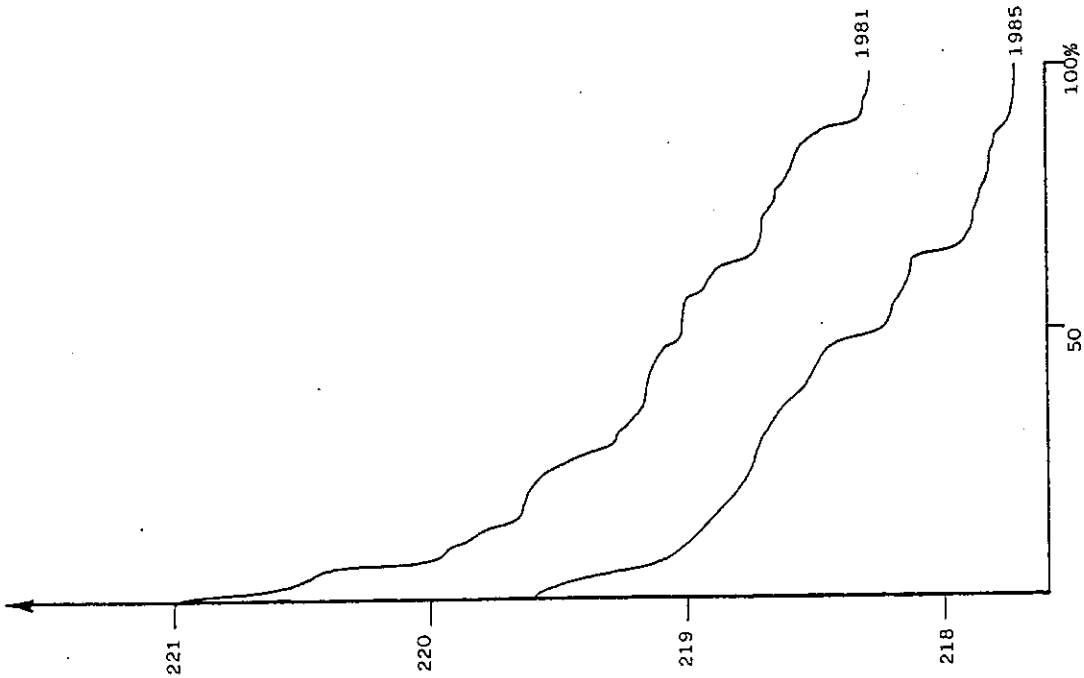
PIEZOMETRES :

- FP 16
- - - P 137
- FP 17
- P 139
- P 155

COTE N.G.F.
EN METRES



COTE N.G.F.
EN METRES



(FIG.111) COURBES DES HAUTEURS HEBDOMADAIRES CLASSEES
POUR LE PIEZOMETRE P.137
EN 1981: AVANT AMENAGEMENT BELLEY
EN 1985: APRES " "

J F M A M J J A S O N D J F M A
1985 1986

2.5.12 - Comparaison des hauteurs classées avant et après aménagement de Belley.

Nous avons voulu vérifier si cette baisse de la cote de la nappe était constante tout au long d'une année.

Pour cela nous avons établi la courbe des hauteurs hebdomadaires classées sur deux années avant et après l'aménagement de Belley (FIG.111).

L'écart entre les deux courbes oscille entre 0,60 et 0,80 m sauf pour les valeurs maxima dont l'amplitude dépasse le mètre.

Parmi les données postérieures à 1982, il n'existe pas de valeurs qui dépassent la cote de 220,32 mètres. Ce qui n'est absolument pas le cas pour les données antérieures où un maximum est relevé en 1977 de 221,27 mètres.

2.5.13 - Conclusion

Malgré neuf années d'observation seulement, nous observons pour le secteur amont, avant l'aménagement de Belley, une hauteur moyenne annuelle de nappe relativement constante.

La dérivation d'une partie du cours du Rhône lors de la mise en service de l'aménagement de Belley provoque une diminution sensible des hauteurs de nappe, plus importante en hautes eaux.

2.5.2 Variations saisonnières de la nappe

2.5.21 : Variation globale.

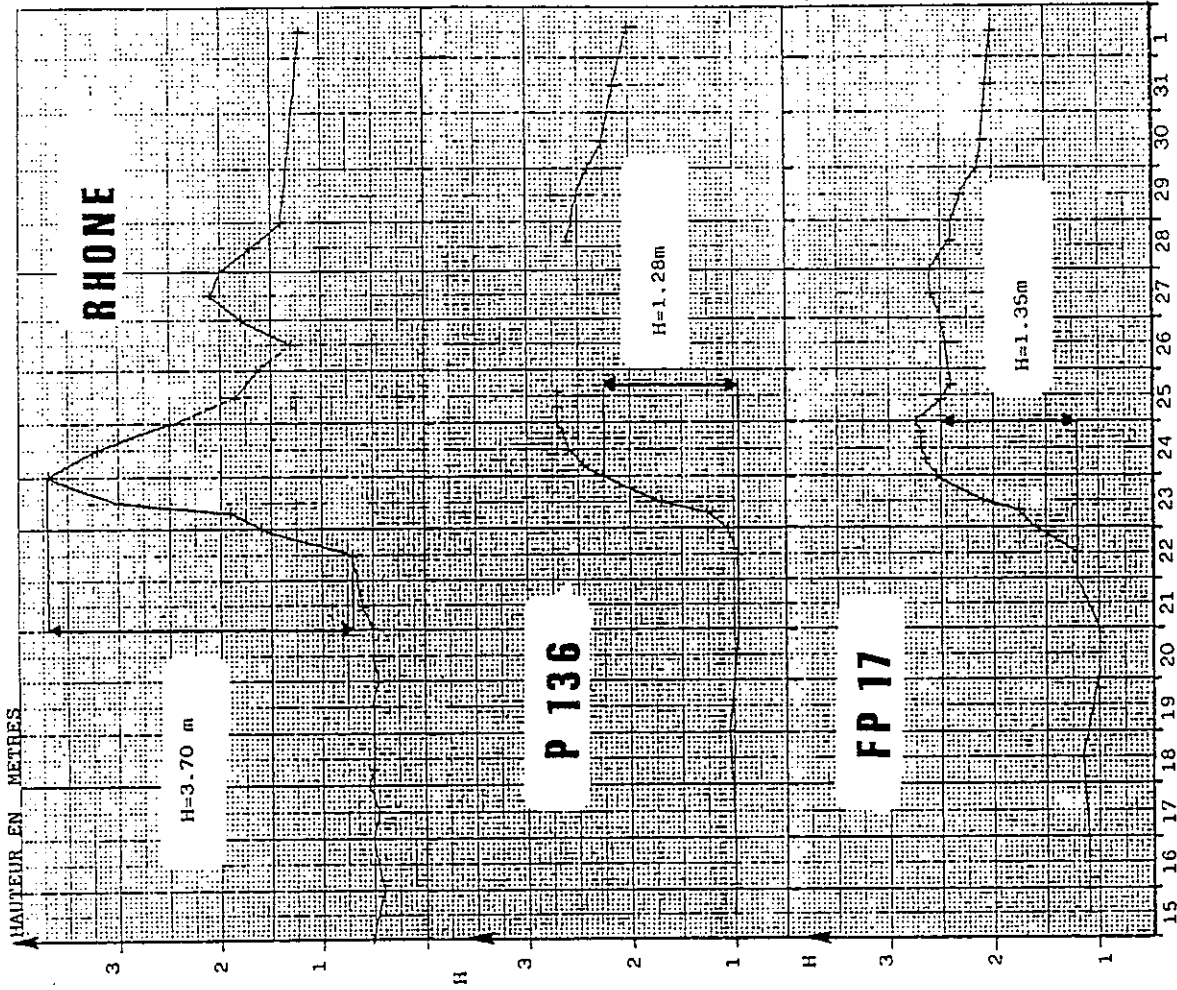
La figure n° 110 permettait déjà de constater une évolution synchrone de trois piezomètres en 1984.

Pour 1985, nous avons reportés dans la figure n° 112 la cote N. G. F. hebdomadaire de la nappe pour cinq piezomètres répartis sur l'ensemble du secteur amont :

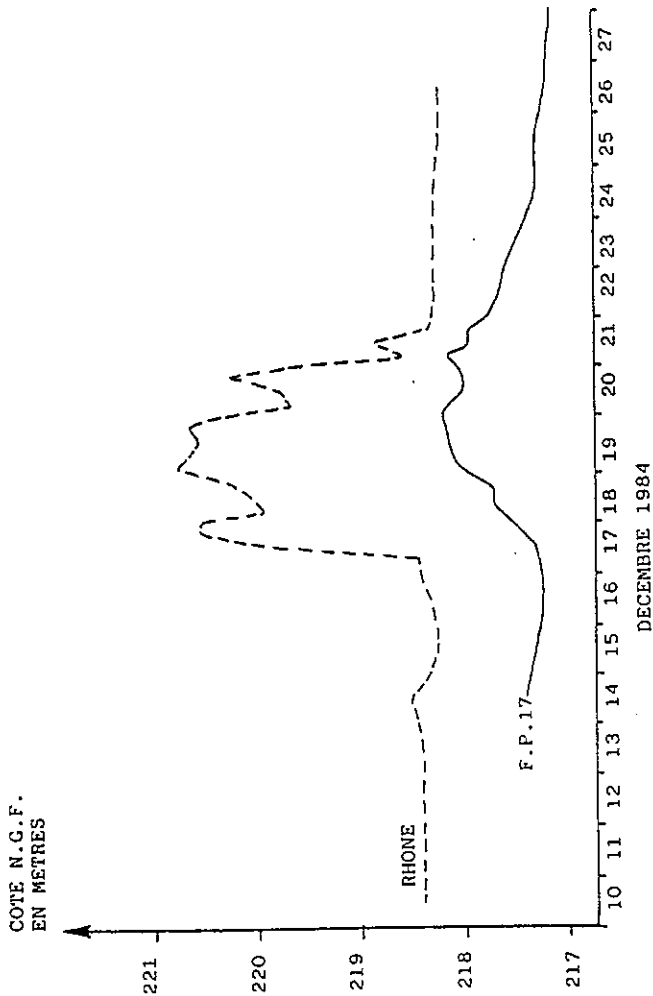
- * Le piezomètre P 155, proche du versant du Mont Tournier,
- * Les piezomètres P 137 et FP 16, voisin du Rhône court-circuité
- * Les piezomètres P 139 et FP 17 situés au coeur de la nappe.

Ceux-ci montrent des variations semblables de hauteurs piezométriques.

En raison des variations importantes de la hauteur



JANVIER 1985
 (FIG.114) VARIATIONS COMPAREES DU RHONE ET DE LA MAPPE
 SECTEUR AVAL



DECEMBRE 1984
 (FIG.113) VARIATIONS COMPAREES DE LA MAPPE (PIEZOMETRE F.P.17)
 ET DU RHONE LORS D'UNE CRUE SIMPLE

piézométrique, il est difficile de déterminer des périodes d'hauteur d'eau bien marquées.

Les cotes des mois d'Octobre, Novembre et de Décembre bénéficient d'une relative stabilité à un niveau inférieur. Ils permettent de définir une période de basses eaux.

2.5.22 : Amplitude des variations.

Le tableau ci-dessous répertorie les hauteurs moyennes, maxima et minima constatées sur cinq piezomètres de Janvier 1985 à Mars 1986.

(valeurs exprimées en mètres)

Piezomètre	Hauteur Moyenne (profondeur/terrain naturel)		Haut. Maxi. (date)	Haut. mini (date)	D (HM -hm)
F.P 16	218,59	(-3,89)	219,82 (10.5.85)	217,90(4.1.85)	1,92
P 137	218,30	(-3,48)	219,56 (10.5.85)	217,71(4.1.85)	1,85
FP 17	217,86	(-2,52)	219,00 (11.7.85)	217,10(4.1.85)	1,90
P 139	217,79	(-3,09)	218,86(25.11.85)	217,08(4.1.85)	1,78
P 155	217,45	(-4,19)	218,75 (10.5.85)	216,73(4.1.85)	2,04

Tableau : variations piézométriques

Nous constatons que le piezomètre FP 16, situé au débouché des Gorges de la Balme, possède la hauteur moyenne la plus élevée ; la plus faible concerne le piezomètre P 155 implanté au pied du massif du Mont Tournier.

Durant cette période, la fluctuation de la nappe approche les 1,90 mètres dont un battement maximum pour les deux piezomètres précédemment cités.

2.5.3 - Evolution des valeurs piézométriques consécutives à une crue du Rhône

2.5.31 : Crue du 16 au 26 décembre 1984.

Le dépouillement des enregistrements du limnigraphe et du piezographe installés à l'échelle numéro 4 et au piezomètre FP 17,

nous a permis après recherches, d'identifier une crue simple du Rhône en Décembre 1984 et son influence sur la nappe (FIG n°113).

Après une période de stabilité à la cote 218,34 m, le niveau du Rhône monte très rapidement à partir du 17 décembre à midi pour atteindre son maximum à la cote 220,74 le 18 à minuit. Son niveau reste élevé entre le 18 et le 20, et redescend le 21 à 6 heures à sa cote de départ.

Le piezomètre F P 17 répercute immédiatement cette variation de niveau du Rhône le 17 décembre. La montée de la nappe est progressive, elle atteint son maximum le 19 à minuit soit un décalage de 24 heures.

La nappe amortit cette variation : son amplitude est de 1,50 m soit 60 % de celle du Rhône.

De même, la descente s'effectue plus lentement, le niveau se stabilise à partir du 26 à sa hauteur initiale.

2.5.32 : Crue du 22 au 23 Janvier 1985: application de l'équation de la diffusivité

A la suite d'un incident de fonctionnement, la totalité du débit du Rhône a été dirigé dans son cours naturel à partir du 22 janvier 1985.

La hauteur du Rhône a augmenté subitement de 3,70 mètres en 24 Heures. (FIG.114).

Rappel Théorique :

G. de Marsily dans son livre Hydrogéologie quantitative donne une solution analytique à l'équation de diffusivité pour un "massif semi-infinie, soumis à une variation brusque de charge".

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

Si la pente de la nappe peut être négligée ($\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$)

ainsi que l'absence de pente suivant l'axe des y, orthogonal au sens de l'écoulement dans le plan horizontal, l'équation peut s'écrire :

$$\frac{\partial h}{\partial x^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

avec : S : coefficient d'emmagasinement

T : Transmissivité de l'aquifère.

h(x,t) hauteur piezométrique de la nappe à une distance x de la berge

et au temps t compté par rapport au niveau et temps origines

Cette équation admet dans le cas d'une remontée h_0 brusque du niveau de la rivière initialement en équilibre à la cote 0 avec la nappe, la solution suivante :

$$h(x,t) = h_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(x \sqrt{\frac{S}{4Tt}} \right) \right]$$

avec $\operatorname{erf}.(u)$ la fonction "d'erreur" connue et tabulée

$$\text{ou } h(x,t) = h_0 \operatorname{erfc} \left(x \sqrt{\frac{S}{4Tt}} \right)$$

$$\operatorname{erfc} . = 1 - \operatorname{erf} .$$

Application

D'après les paragraphes 2.4. et 2.2., nous avons démontré que le Rhône dicte l'alimentation de la nappe et l'amortissement des battements s'effectue selon un axe méridien, c'est à dire perpendiculairement au Rhône courtcircuité.

Les conditions sont donc réunies pour appliquer la solution rappelée précédemment.

$$\text{Nous avons } h_0 = 3,70 \text{ m}$$

$$t = 36 \text{ heures} = 12,96 \cdot 10^4 \text{ secondes.}$$

Pour le piezomètre P 136, implanté à 475 m des berges du Rhône nous obtenons :

$$h_{P.136} = 1.28 \text{ m}$$

$$\text{d'ou } \frac{h_{P.136}}{h_0} = \frac{1.28}{3.70} = 0.346$$

$$\operatorname{erfc} \left(x \sqrt{\frac{S}{4Tt}} \right) = 0.436$$

$$x \sqrt{\frac{S}{4Tt}} = 0.67$$

D'après la table de $\operatorname{erfc}.(u)$ en fonction de u (in G.de Marsily)

$$\Rightarrow \boxed{\frac{S}{T} = 1.03}$$

Pour le piezomètre F P 17

$$h_{FP17} = 1.35 \text{ m} \quad \text{avec } x = 1025 \text{ m}$$

$$\frac{h_{FP17}}{h_0} = \frac{1.35}{3.70} = 0.365$$

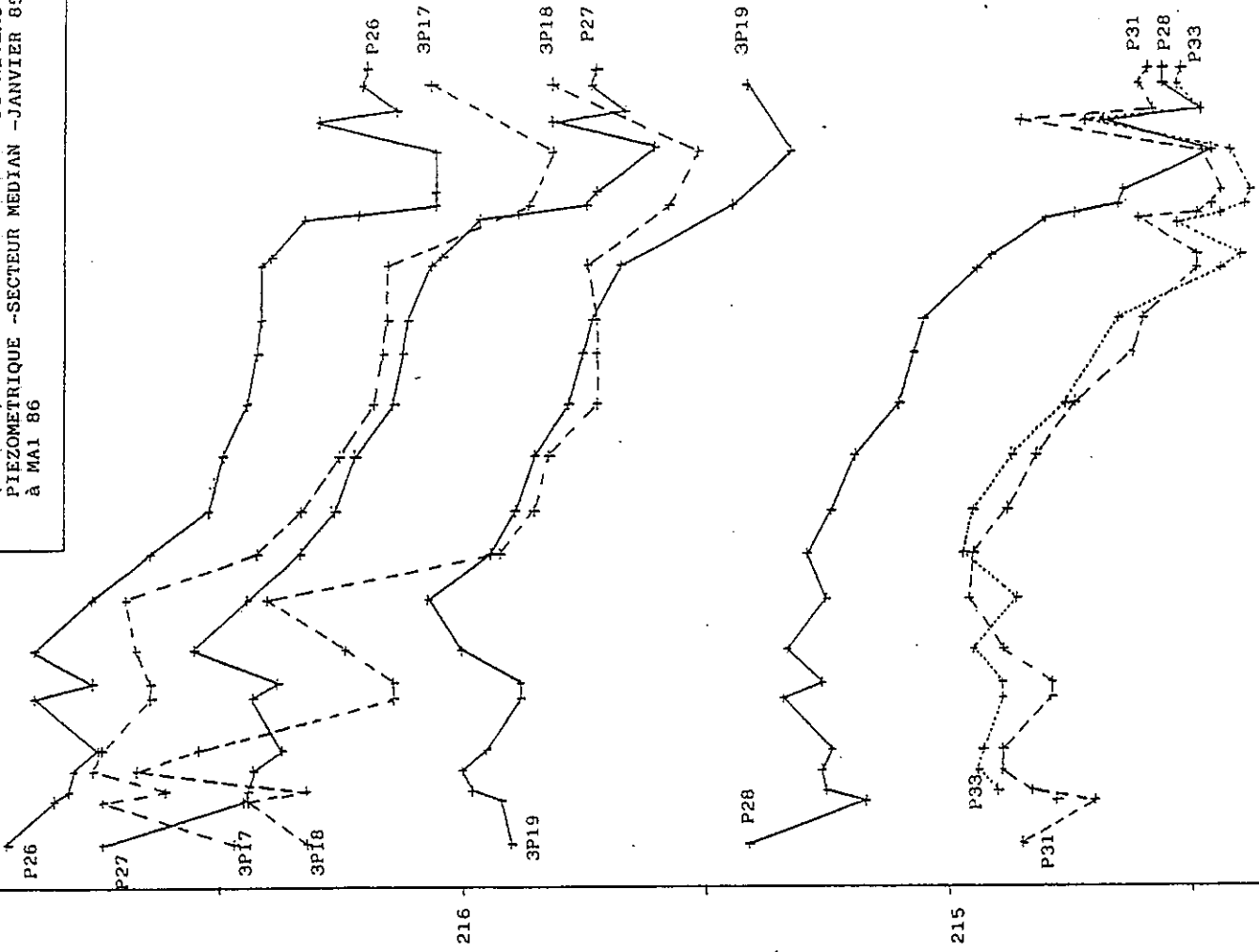
$$\operatorname{erfc} \left(x \sqrt{\frac{S'}{4T't}} \right) = 0.365$$

$$x \sqrt{\frac{S'}{4T't}} = 0.64$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{S'}{T'} = 0.20}$$

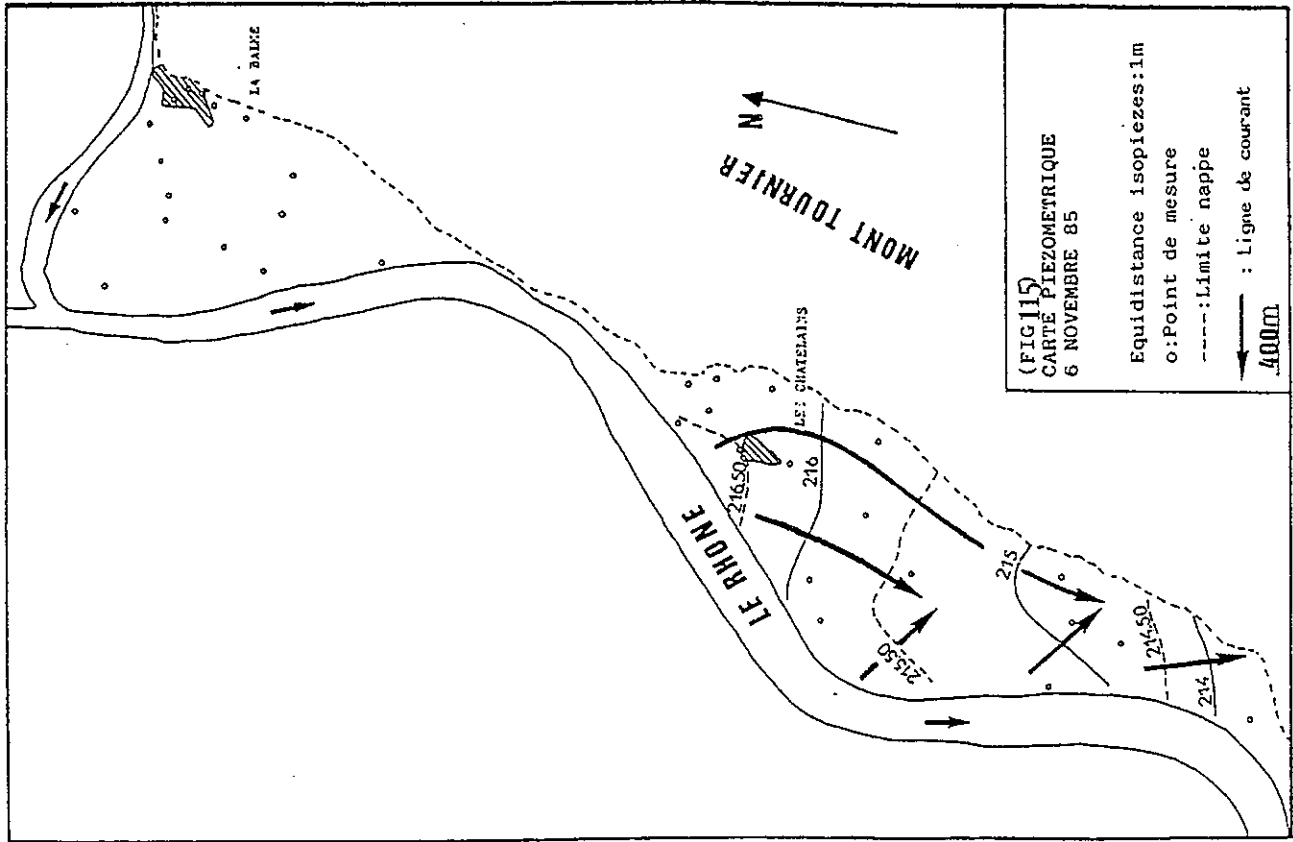
COTE N.G.F. EN METRES

(FIG 116) EVOLUTION HEBDOMADAIRE DU NIVEAU
PIEZOMETRIQUE - SECTEUR MEDIAN - JANVIER 85
à MAI 86



J F M A M J J A S O N D J F M A M J

1985 1986



(FIG 115)
CARTE PIEZOMETRIQUE
6 NOVEMBRE 85

Equidistance isopiezes: 1m
o: Point de mesure
----: Limite nappe
———: Ligne de courant
400m

2.6. Conclusion

Dans le secteur amont, l'alimentation de la nappe est effectuée par le Rhône essentiellement dans sa partie Nord où deux zones de fortes perméabilités apparaissent sur les cartes de battements.

En période de basses eaux une zone de drainage s'individualise le long du Massif du Mont Tournier.

L'aménagement de Belley, en courtcircuitant une partie des débits, provoque une baisse du niveau de la nappe.

Une crue importante du Rhône a permis de calculer le rapport $\frac{S}{T}$ qui est compris entre 0,2 et 1

3 - Le Secteur Médian

3.1 Etude des cartes piezométriques

3.11. Carte du 6 Novembre 1985 (FIG.115)

Les relevés effectués en période de basses eaux, montrent une nappe alimentée par le Rhône tout le long de son parcours.

L'écoulement de la nappe s'effectue sensiblement parallèle à la direction de la vallée, le long de sa limite orientale.

3.12 Carte du 7 Mai 1986 (FIG.106)

Le tracé des lignes de courant permet de définir deux origines d'alimentation différentes

* l'une, dans la partie Nord de la boucle lorsque le Rhône affleure le versant du Mont Tournier.

* la seconde provient du versant du massif du Mont Tournier. Remarquons que le mois d'avril 1986 a connu d'après le bilan de Thornthwaite un excédent de précipitations : lame d'eau de l'ordre de 170 mm (confer climatologie du Mont Tournier) et qu'il fut relevé, la veille des mesures piezométriques, à la source " Fontaine de Lyon " un des cinq débits les plus forts observés en 1986.

Dans la partie aval de ce secteur, le Rhône draine sa nappe.

3.13 Carte du 6 et 7 août 1986 (FIG.107)

L'alimentation de la nappe s'effectue par son extrémité Nord à partir du Rhône.

Elle s'écoule selon un axe méridien pour être à l'aval drainée par le Rhône.

A l'amont et à l'Ouest du village " Les Chatelains ", nous remarquons un drainage en direction du Rhône.

Ce drainage est en fait provoqué par la présence d'un contre-canal qui est alimenté dans sa partie amont par la nappe (confer chapitre hydrologie du Rhône)

3.2. Etude de la carte des battements (FIG 109)

Par soustraction des cotes piezométriques du 7 Mai et du 7 août 1986, nous avons pu établir une carte des fluctuations de nappe.

L'abaissement du niveau du Rhône de 0,25 mètres entre les deux périodes de mesure ne se fait sentir que très ponctuellement le long de sa berge.

Près du pied du versant Est, l'amplitude de la variation est deux fois plus importante et confirme la possibilité à certaines périodes d'une alimentation provenant du massif du Mont Tournier.

3.3. Conclusion

Le Rhône fait subir une double influence à la nappe du secteur médian :

- * il l'alimente dans la partie Nord de la Boucle
- * il la draine à l'aval.

Une alimentation par les versants du Mont Tournier est possible lors de fortes pluies efficaces.

Le contre canal à une influence sur la nappe en amont, celle-ci l'alimentant près des " Chatelains ".

3.4. Evolution de la surface piezométrique : variations saisonnières

3.41 : Tendence globale (FIG .116)

Pour les huit piezomètres représentés dans la figure n°116, nous constatons à partir de l'été 1985 une baisse du niveau piezométrique qui se maintient jusqu'à la fin de nos observations en Mai 1986

3.42 : Evolutions comparées des différents piezomètres

3.42.1 Variation synchrone

En raison de l'absence de mesures sur les piezomètres 3 P 17, 3 P 18, 3 P 19 en avril 1986, le pic enregistré à cette époque dans les autres piezomètres n'est pas représenté.

Au début de l'année 1985, (De Janvier à Avril) les piezomètres 3 P 17 et 3 P 18 tous deux situés au pied du versant présentent une évolution différente. Pendant la suite de nos observations, tous les piezomètres auront une réaction semblable.

3.42.2 Amplitudes des variations

Le tableau ci-dessous repertorie la hauteur moyenne de la nappe, son maximum, son minimum de Janvier 1985 à Mai 1986.

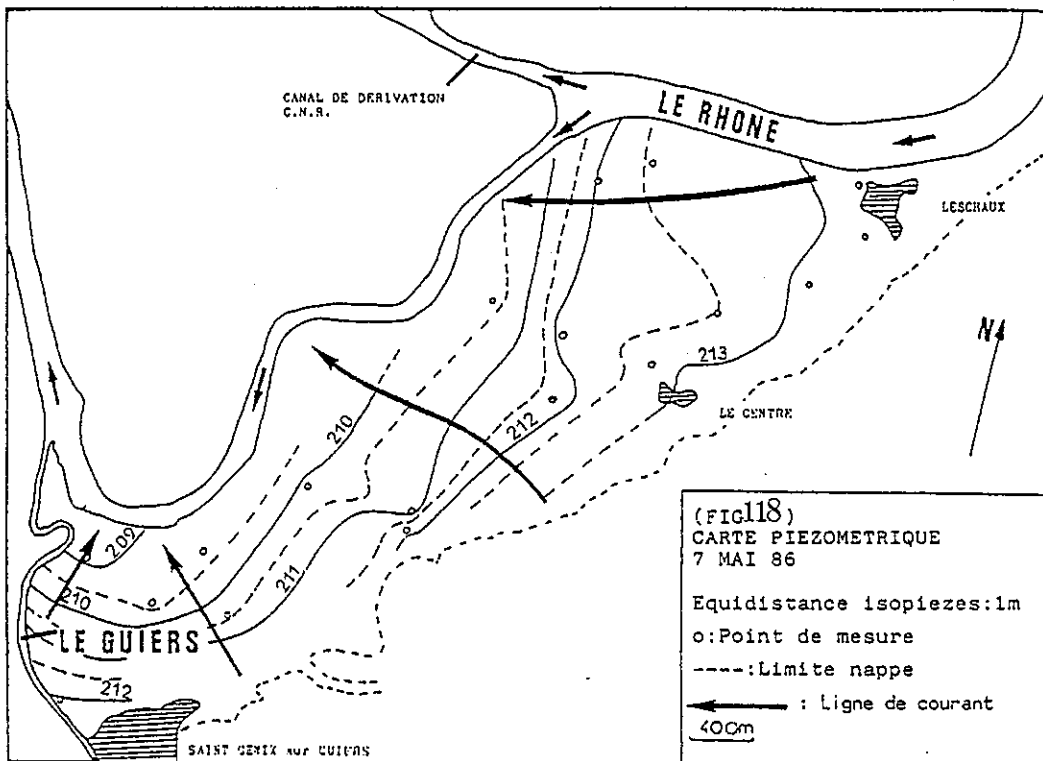
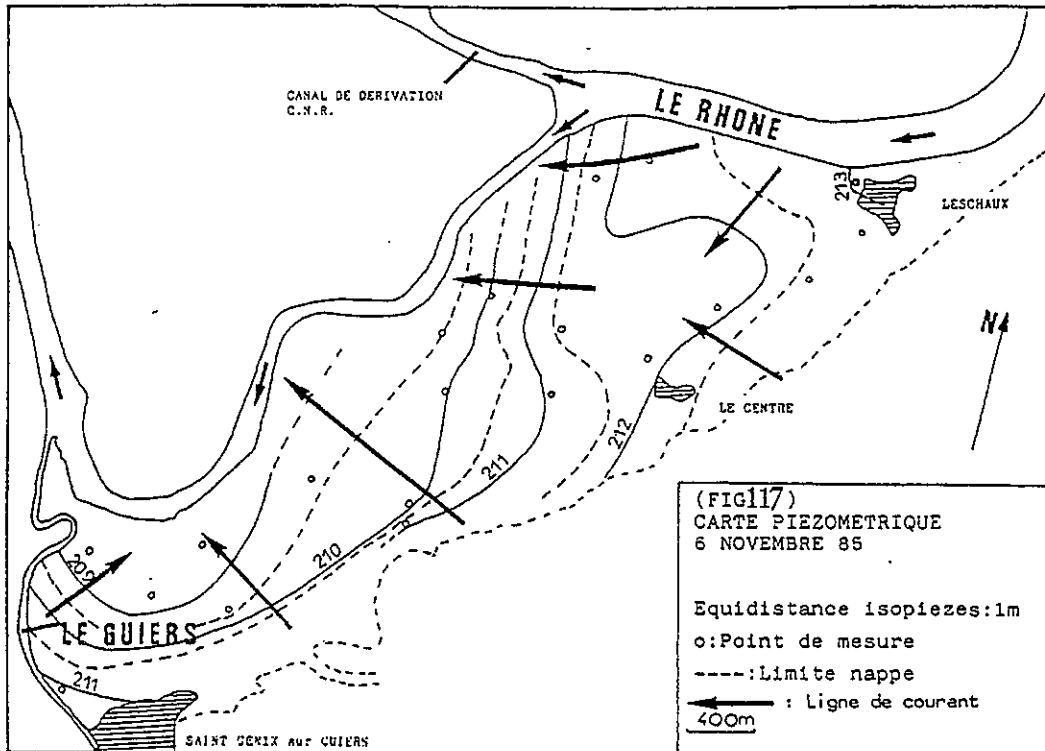
Piezomètres	P 26	P 27	3P 17	3P 18	3P 19	P 28	P 33	P 31
Hauteur moyenne	216,49	216,12	216,40	216,03	215,81	215,00	214,69	214,70
Ecart Type	0,28	0,31	0,30	0,33	0,21	0,30	0,21	0,17
Hauteur maximum (date)	216,94 30.1.85	216,74 30.1.86	216,76 13.3.86	216,67 13.3.86	216,07 26.6.86	215,41 3.1.85	214,97 31.7.85	214,95 31.7.85
Hauteur minimum (date)	216,05 5.3.86	215,60 9.4.86	215,81 9.4.86	215,51 9.4.86	215,32 9.4.86	214,46 9.4.86	214,38 12.3.86	214,44 12.3.86
H _M - h _m	0,89	1,14	0,95	1,16	0,75	0,95	0,59	0,51

Cote N.G.F.
(valeurs exprimées en mètres)

Tableau : Hauteurs piezométriques à partir des relevés hebdomadaires

De ce tableau nous remarquons :

- deux piezomètres possèdent une cote moyenne importante P 26 et 3 P 17
- Les piezomètres du secteur amont : P 28, 3 P 17, 3 P 18, P 26 et P 27 présentent un écart type plus important ainsi que la



plus forte amplitude de fluctuation du niveau de la nappe relevée pendant la période d'étude.

- les piezomètres P 31 et P 33 situés à la partie aval, ont une cote piezométrique moyenne faible avec un écart type peu élevé. Ils enregistrent une fluctuation maximum de la nappe peu élevée.

3.5. Conclusions

Une hauteur de nappe élevée est constatée, pour les piezomètres P 26 et 3 P 17 ce qui témoigne d'une implantation proche des zones d'alimentation de la nappe. A l'inverse les piezomètres P 33 et P 31 sont dans la zone drainée par le Rhône.

Les piezomètres 3 P 17 et 3 P 18 situés près du pied de versant enregistrent au début de l'année 1985 une évolution différente.

L'étude de ces huit piezomètres disséminés sur le secteur médian confirme l'étude des cartes piezométriques :

- . alimentation par le Rhône dans la partie Nord, par le versant à l'Est.

- . Le Rhône draine la partie aval de ce secteur.

4 - Secteur Aval

4.1 : Etude des cartes piezométriques

4.11 Carte du 6 Novembre 1985 (FIG.117)

- . L'alimentation de la nappe provient de trois origines différentes:

- * à partir du Rhône dans sa partie amont entre Leschaux et le canal de dérivation.

- * des versants entre le " Centre " et Saint Génix/Guiers.

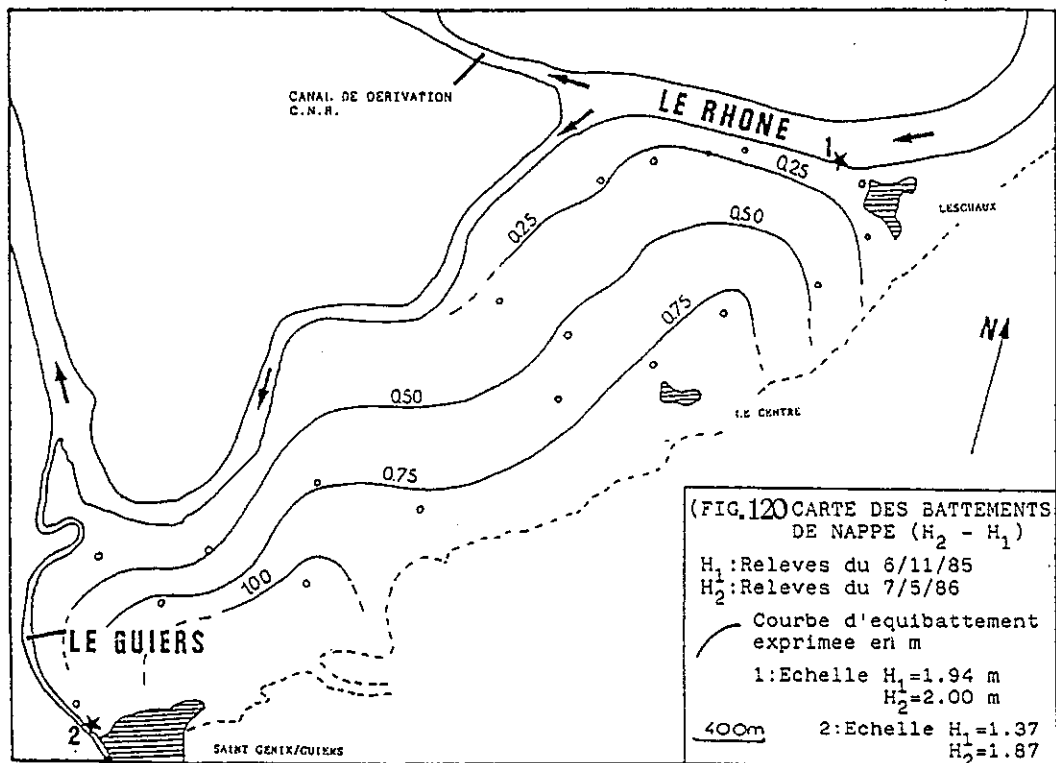
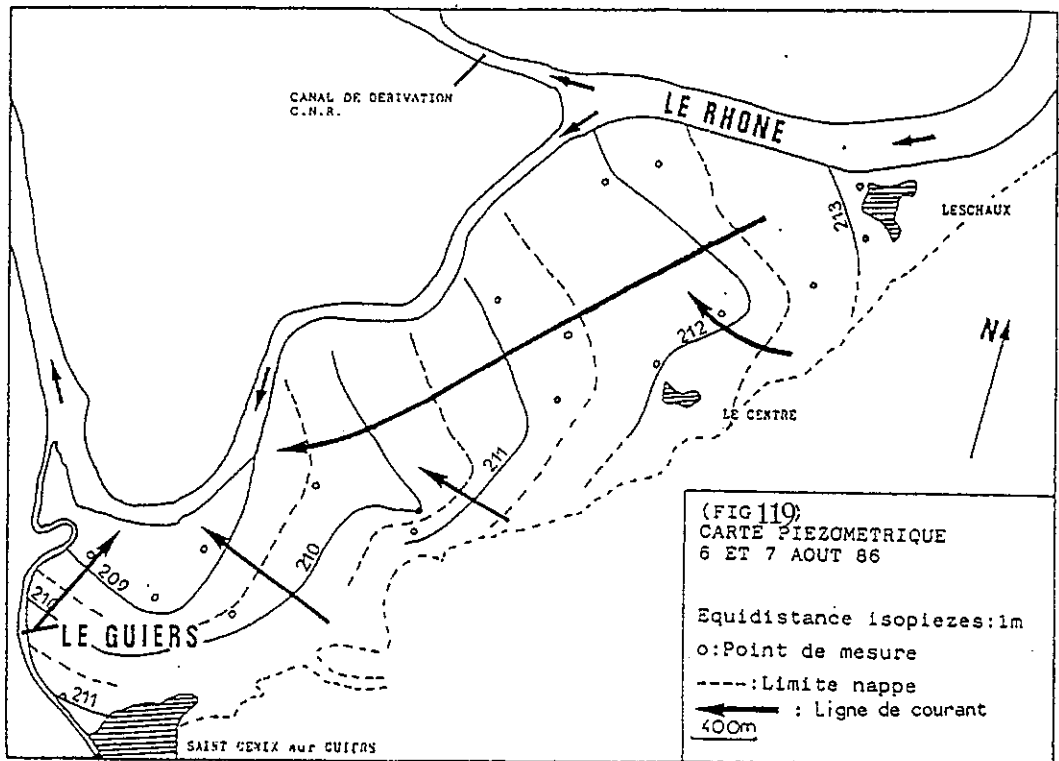
- * du Guiers pour l'extrémité Ouest de la nappe

- . La pente de la nappe est plus importante proche du versant et du Guiers.

- . Cette nappe est drainée par la partie courtcircuitée du Rhône due à l'aménagement de Bregnier-Cordon.

4.12 Carte du 7 Mai 1986 (FIG.118)

On retrouve le même schéma d'alimentation, d'écoulement et de drainage de la nappe que celui évoqué pour la carte du 6 Novembre 1985



4.13 Carte du 6 et 7 août 1986 (FIG.119)

L'alimentation existe toujours à partir du Rhône près du village de Leschaux. Elle semble plus importante que les apports provenant des versants et du Guiers.

Le Rhône courtcircuité modifie peu les lignes piézométriques qui restent perpendiculaires à son tracé. Il draine néanmoins la nappe légèrement en amont de sa confluence avec le Guiers.

4.2. - Carte des Battements de nappe (FIG.120)

La carte de battement a été établie pour un même niveau de hauteur du Rhône.

L'amplitude de la fluctuation de la nappe diminue depuis le pied du versant jusqu'au Rhône courtcircuité, confirmant l'alimentation latérale observée sur les cartes piézométriques.

4.3 - Conclusions

Le Rhône, Le Guiers et le versant molassique participent à l'alimentation de la nappe dans le secteur aval.

On observe un gradient hydraulique plus important près des versants et du Guiers.

Cette nappe est drainée par le Rhône courtcircuité.

4.4. - Variations saisonnières du niveau piézométrique

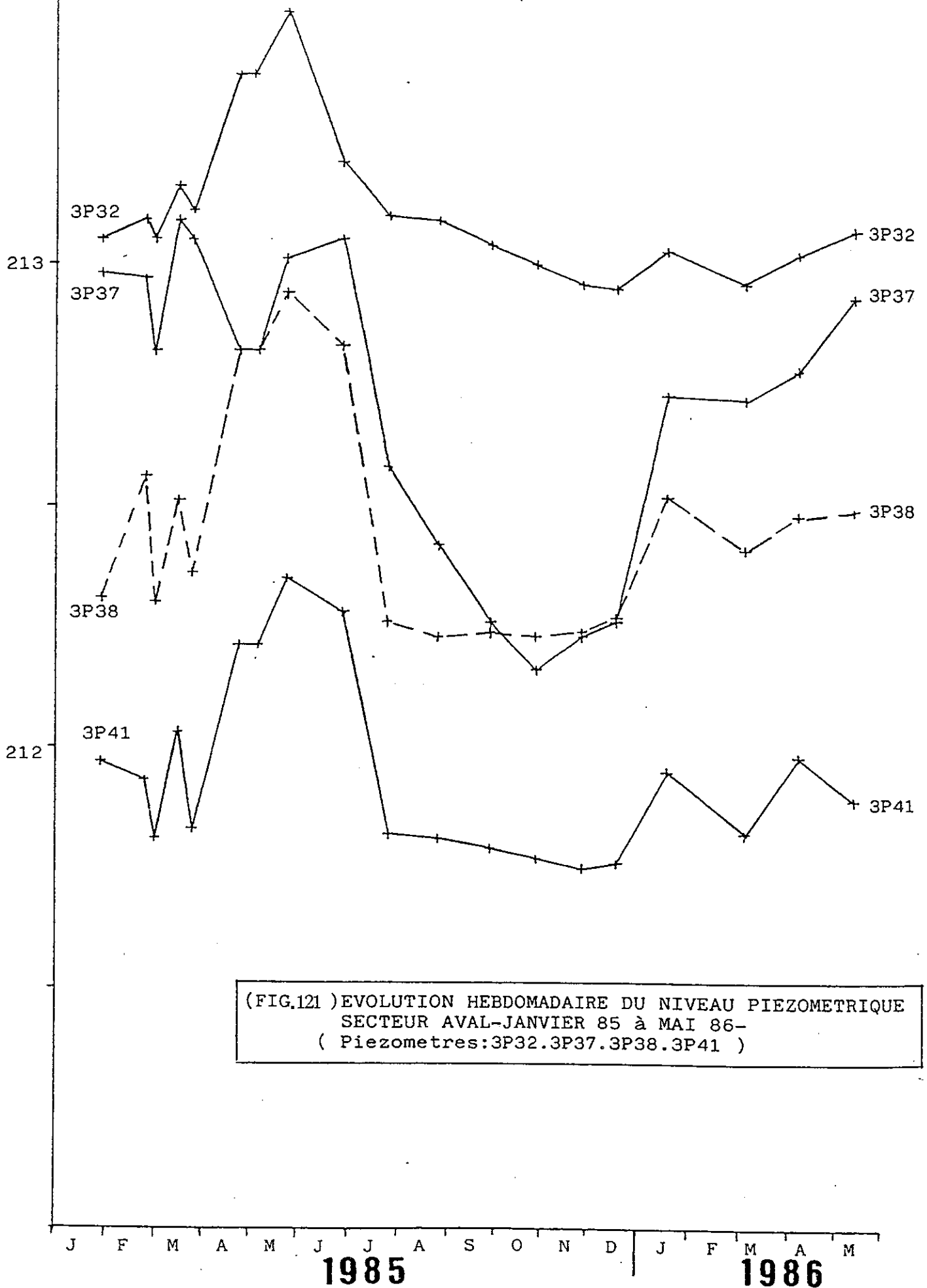
4.4.1 : Variation globale (FIG.121)

Une baisse du niveau de la nappe s'observe à partir du mois de Juin jusqu'au mois de Décembre 1985.

L'année 1986, note une remontée légère de la nappe, plus accentuée pour le piézomètre 3 P 37.

4.4.2 : Evolution comparée des différents piézomètres.

Au printemps 1986, alors que la tendance consiste à une remontée de la nappe, le piézomètre 3 P 37 enregistre une évolution inverse.



(FIG.121) EVOLUTION HEBDOMADAIRE DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE
 SECTEUR AVAL-JANVIER 85 à MAI 86-
 (Piezometres:3P32.3P37.3P38.3P41)

4.4.3 - Amplitudes des variations piezométriques

Le tableau suivant donne la hauteur moyenne de la nappe pour la période de Janvier 1985 à Mai 1986 pour cinq piezomètres.

Piezomètres	3P 32	3 P 37	3 P 38	3 P 41	3 P 66
Hauteur moyenne	213,11	212,72	212,46	211,94	209,16
Ecart type	0,15	0,30	0,23	0,18	0,39
Hauteur Maximum	213,52	213,09	212,94	212,35	209,90
Date	22.5.85	13.3.85	21.5.85	22.5.85	26.6.85
hauteur minimum	212,95	212,16	212,23	211,77	208,51
Date	18.12.85	30.10.85	30.10.85	30.10.85	27.11.85
HM - hm	0,57	0,93	0,71	0,58	1,39

Cotes N.G.F.
(valeurs exprimées en mètres).

Les plus fortes amplitudes concernent les piezomètres 3 P 37 et 3 P 66 situés respectivement près des versants et près du Guiers. Les fluctuations diminuent d'amplitude en direction du Rhône. Le piezomètre 3 P 32, proche du Rhône possède la hauteur moyenne la plus élevée.

4.5. - Conclusion

Les observations effectuées concordent avec les conclusions obtenues d'après les cartes piezométriques, démontrant une continuité dans le comportement de la nappe.

5 - CONCLUSIONS :

Chacun des 3 secteurs possède une nappe dont le comportement est bien individualisé.

La nappe du secteur amont est alimentée uniquement

par le Rhône, principalement par son cours courtcircuité au Nord.

Son écoulement est méridien avec en basses eaux une composante dirigée vers le massif du Mont Tournier.

La Nappe du secteur médian est alimentée par le Rhône ainsi que par le versant du Mont Tournier lorsque celui-ci libère une partie des précipitations reçues.

Son écoulement est aussi méridien, le Rhône drainant la partie aval du secteur.

Le secteur aval possède une nappe alimentée par le Rhône dans sa partie amont, par les versants en son centre et par le Guiers dans son extrémité Ouest. Le Rhône courtcircuité est l'aboutissement de cette nappe.

Pour les trois secteurs, lorsque le cours du Rhône s'approche près des versants du Mont Tournier, le fleuve participe toujours à l'alimentation de la nappe.

On peut penser que ces pertes sont dues à la présence de formations grossières : éboulis aux pieds des versants favorisant cette alimentation.

CHAPITRE 8

ETUDE CHIMIQUE DES EAUX DE LA NAPPE

1 - INTRODUCTION

2 - LES PROBLEMES APPARUS

- 2.1. - Méthodologie des mesures et prélèvements
- 2.2. - Les problèmes relatifs aux analyses chimiques
- 2.3. - Conclusion

3 - EXAMEN DES CARTES DES PARAMETRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

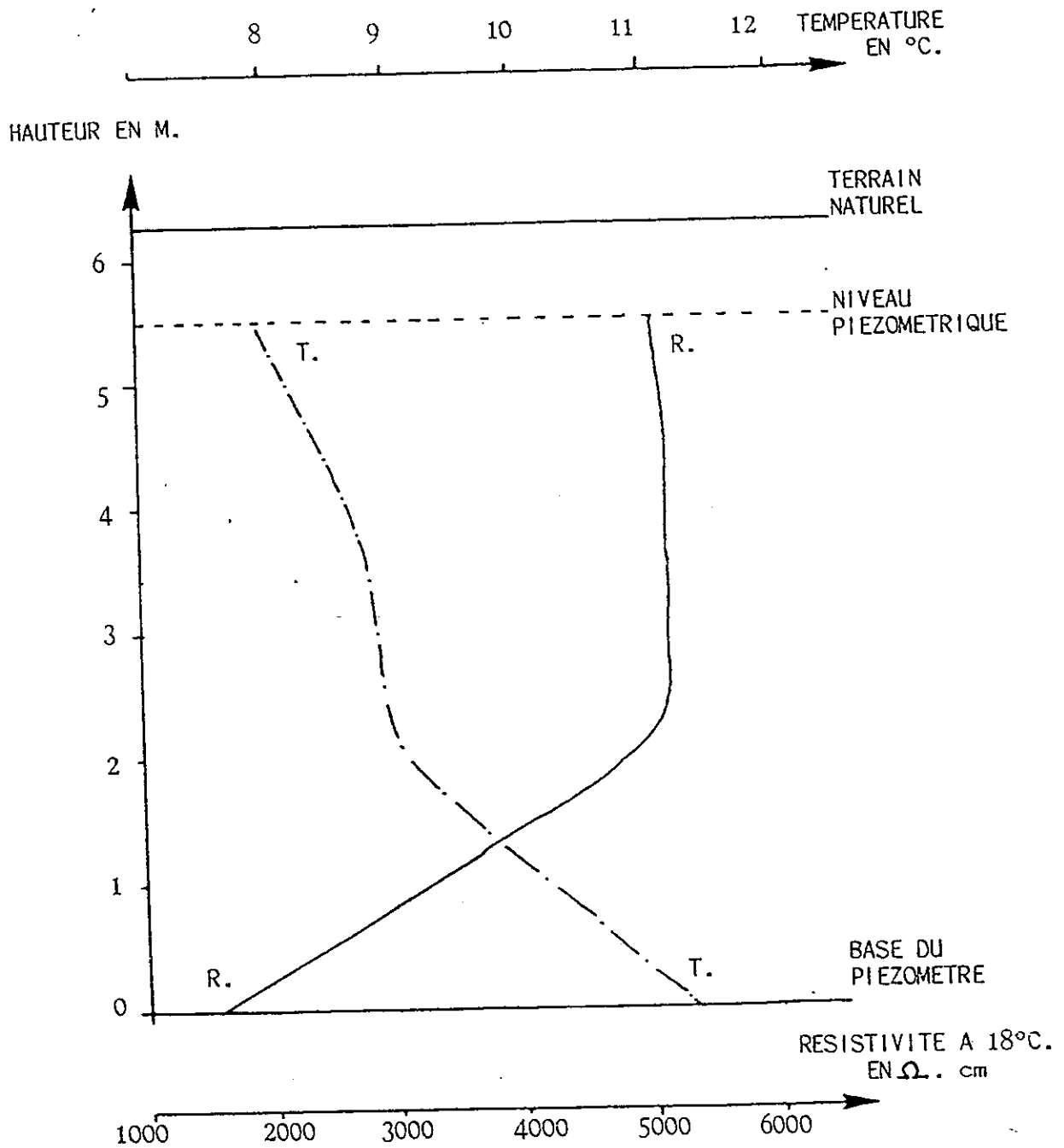
- 3.1. - Cartes de résistivité
- 3.2. - Cartes des températures
- 3.3. - Cartes des ions principaux
- 3.4. - Cartes des ions secondaires

4 - EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DANS LE TEMPS

- 4.1. - Le secteur amont
- 4.2. - Le secteur médian
- 4.3. - Le secteur aval

5 - CONCLUSION

(FIG. 122) EVOLUTIONS DES VALEURS DE RESISTIVITE ET DE TEMPERATURE DE L'EAU DANS UN TUBE PIEZOMETRIQUE (Piezometre P.46 .Secteur aval.)



ETUDE CHIMIQUE DES EAUX DE LA NAPPE
(Aperçu bactériologique)

1 - INTRODUCTION

=====

Afin de connaître les modifications des caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe dans l'espace et dans le temps, des analyses systématiques ont été réalisées sur des échantillons en provenance de nombreux points de prélèvements (piezomètres, puits et forages privés ou communaux).

2 - LES PROBLEMES APPARUS

=====

2.1. Méthodologie des mesures et prélèvements

2.1.1. Mesures "in situ"

2.1.1.1. Méthode

Une campagne de mesure de la température et de la résistivité fut effectuée le 6/11/85 en période de basses eaux. Les mesures étaient prises "in situ" par introduction dans les piezomètres d'une sonde électronique donnant les valeurs de températures et de résistivités (sonde révisée et contrôlée par son concepteur juste avant notre utilisation).

2.1.1.2. Résultats

Trente pour cent des mesures effectuées sur les piézomètres donnèrent nettement des résultats aberrants: résistivité supérieure à 5000 Ω .cm. Cette valeur n'a jamais été atteinte ni par le Rhône, ni par les sources gravitaires.

2.1.1.3 Interprétation

Le crépinage unique à la base des tubes piézométriques dont certains sont d'installations anciennes, empêche un bon renouvellement de l'eau contenue dans ces tubes. Cette eau se déminéralise soit :

- * selon un processus qui entraîne des modifications physico-chimiques
- * en raison d'infiltrations accidentelles d'eau de pluie dans (ou) au voisinage du tube.

remarques : Dans plus de 60 % des cas, nous retrouvons dans les mêmes piézomètres des valeurs anormales de résistivité lors de la campagne de mesures en période de hautes eaux de Mai 1986.

Le schéma de la figure n°122 donne un exemple de l'évolution des températures et des résistivités des eaux selon la profondeur de mesure, dans un tube piézométrique avant tout essai de purge par pompage.

2.1.1.4 - Conclusion

Ce problème provoqua, par précaution, la non exploitation de la totalité des résultats de mesures obtenues selon cette méthode au cours de notre campagne.

2.1.2. Mesures par prélèvements (pompage)

2.1.2.1. Méthode et résultats

Pour la raison évoquée précédemment, nous avons donc choisi d'effectuer les mesures physiques (température et résistivité) ainsi que les prélèvements en vue d'analyses au Laboratoire, après pompage d'une quantité minimum de 24 litres (approximativement le double du volume emprisonné dans le tube) et contrôle continu de la résistivité et de la température des eaux pompées.

Le prélèvement est pris lorsque les mesures physiques se stabilisent.

Des analyses effectuées sur quelques échantillons prélevés au cours du pompage, montrent une augmentation des valeurs des principaux paramètres chimiques associée à une faible diminution du pH. Un exemple est donné ci-dessous pour le piézomètre P 38.

Prélèvement après pompage de :	Résistivité	pH	T.H.T	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	rMg ⁺⁺ /rCa ⁺⁺
8 Litres	4600	7,5	15,4	44,5	10,5	7,6	178	0,39
24 Litres	2130	7,3	29,8	86,5	19,9	9,6	312,3	0,37

T.H.T exprimé en ° F

Résistivité exprimé en Ω .cm

Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ : exprimés en mg/L.

Le pompage s'effectue par une pompe à main, de type pompe à clapet. La prise s'effectue au fond du tube piézométrique lorsque sa profondeur est inférieure à 6 mètres : limite de la hauteur d'aspiration de la pompe.

Des prélèvements n'ont pu être faits sur quelques piézomètres situés en bordure du Guiers (3 P60, P 45) en raison d'une profondeur piézométrique par rapport au terrain naturel supérieure à 6 mètres.

2.1.2.2: Les anomalies

2.1.3.3.1. Les observations

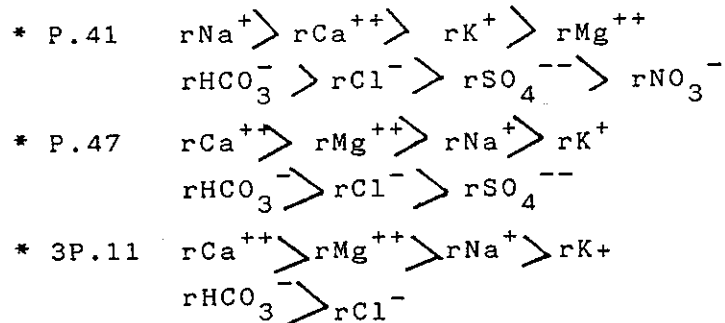
Malgré ces précautions, quelques piézomètres, n'ont pas vu la qualité de leur eau se modifier après un long pompage ; en

particulier les piezomètres P 41 (Résistivité : 7300 Ω .cm), P 47 (R. = 4900 Ω .cm) et 3 P11 (R.= 4400 Ω .cm).

Les analyses chimiques donnent :

	P.41	P.47	3.P.11
T.H.T. en° F	2,75	11,2	9,3
Ca ⁺⁺ en mg/l	9,2	37,5	28,5
Mg ⁺⁺ " "	1,1	4,5	5,4
Na ⁺ " "	22,1	5,1	4,1
K ⁺ " "	4,75	3,71	4,2
HCO ₃ ⁻ " "	90,3	13 97	145,2
So ₄ ⁻⁻⁻ " "	3,5	2,2	0
Cl ⁻ " "	6,2	8,8	9
NO ₃ ⁻ " "	0,9	0	0
Minéralisation totale en mg/L	133,3	211,5	196,4
Somme des cations en m.e.q/L	1,63	2,56	2,15
Somme des anions en m.e.q/L	1,73	2,59	2,67

suivantes : Les formules caractéristiques des eaux sont les



Ces piézomètres possèdent des eaux dont les caractères chimiques communs sont :

- une teneur en calcium inférieure à 40mg/L
- une concentration en sulfates qui passe de 20mg/l (valeur moyenne établie sur 60 analyses d'eaux de la nappe) à des valeurs inférieures à 4mg/L, voire nulles.
- des teneurs relativement élevées en potassium et en chlorures.

Nous constatons pour celui présentant la minéralisation la plus faible (P.41), la prépondérance du sodium sur les autres cations. Cette concentration anormale peut être provoquée par des phénomènes d'échanges de bases.

* 2.1.2.2.2. Etudes des échanges de bases.

H. SCHOELLER définit en 1934 un indice d'échange de base (i.e.b.) qui caractérise les rapports existants entre les chlorures et les alcalins Na^+ et K^+ selon la formule :

$$i.e.b. = \frac{r \text{Cl}^- - (r \text{Na}^+ + r \text{K}^+)}{r \text{Cl}^-}$$

L'auteur considère qu'il y a équilibre entre les ions Cl^- et $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ à l'origine, dans un système clos sans apports extérieurs (sels NaCl et KCl).

L'équilibre peut être modifié par des échanges de bases entre permatolites :

* Certaines argiles vont absorber les ions Na^+ et K^+ de l'eau libérant en échange des ions Ca^{++} qui passeront dans l'eau : i.e.b. positif

* d'autres vont piéger les ions Ca^{++} de l'eau, et libérer en retour des ions Na^+ et K^+ dans l'eau : i.e.b. négatif

Le calcul de l'i.e.b. dans le cas des trois piézomètres donne :

- * P.41, i.e.b. = -5,3
- * P.47, i.e.b. = -0,26
- * 3P.11, i.e.b. = -0,31

*2.1.2.2.3. Conclusion

Au phénomène de déminéralisation des eaux de ces trois piezomètres se surimpose une modification de la minéralisation par enrichissement en sodium au détriment du calcium (i.e.b. négatif)

La forte valeur négative du piezomètre P 41 doit être attribuée à un système ouvert : sa situation, proche de la route nationale 521 (250 m), permet de penser que des arrivées de saumures dues à l'épandage de sel sur la chaussée en hiver, provoquent ce fort taux de sodium.

Les deux autres piezomètres, à l'écart de la route nationale possèdent une eau dont l'i.e.b. négatif traduit leurs implantations dans des secteurs argileux favorables aux échanges de bases.

2.1.2.3 Interprétation - Conclusion

Ce phénomène de déminéralisation des eaux pour certains piezomètres est souvent constaté par différents auteurs lors d'études physicochimiques des eaux de nappes.

F. CORDEAU et al. ont constaté des concentrations chimiques semblables aux nôtres sur certains piezomètres installés dans la plaine de l'Isère et du Drac.

Pour ces auteurs, les modifications chimiques seraient attribuables à des transformations d'origine bactérienne provoquées et intensifiées par une modification des conditions d'équilibre du milieu aquifère lors de la pose du piezomètre dans un milieu sans relation avec l'extérieur (argiles ou limons superficiels).

" Les échanges entre le milieu aquifère et le milieu extérieur deviennent alors possibles et peuvent faciliter, avec le temps, le développement de bactéries et spécialement de thiobactéries dont l'activité entraîne une diminution des sulfates et en bicarbonates de calcium par dégagement de H_2S et précipitation de carbonates. (L. Moret, 1946) in " modification de la composition chimique des eaux de nappes aux abords des piezomètres, en liaison avec leur mise en place ".

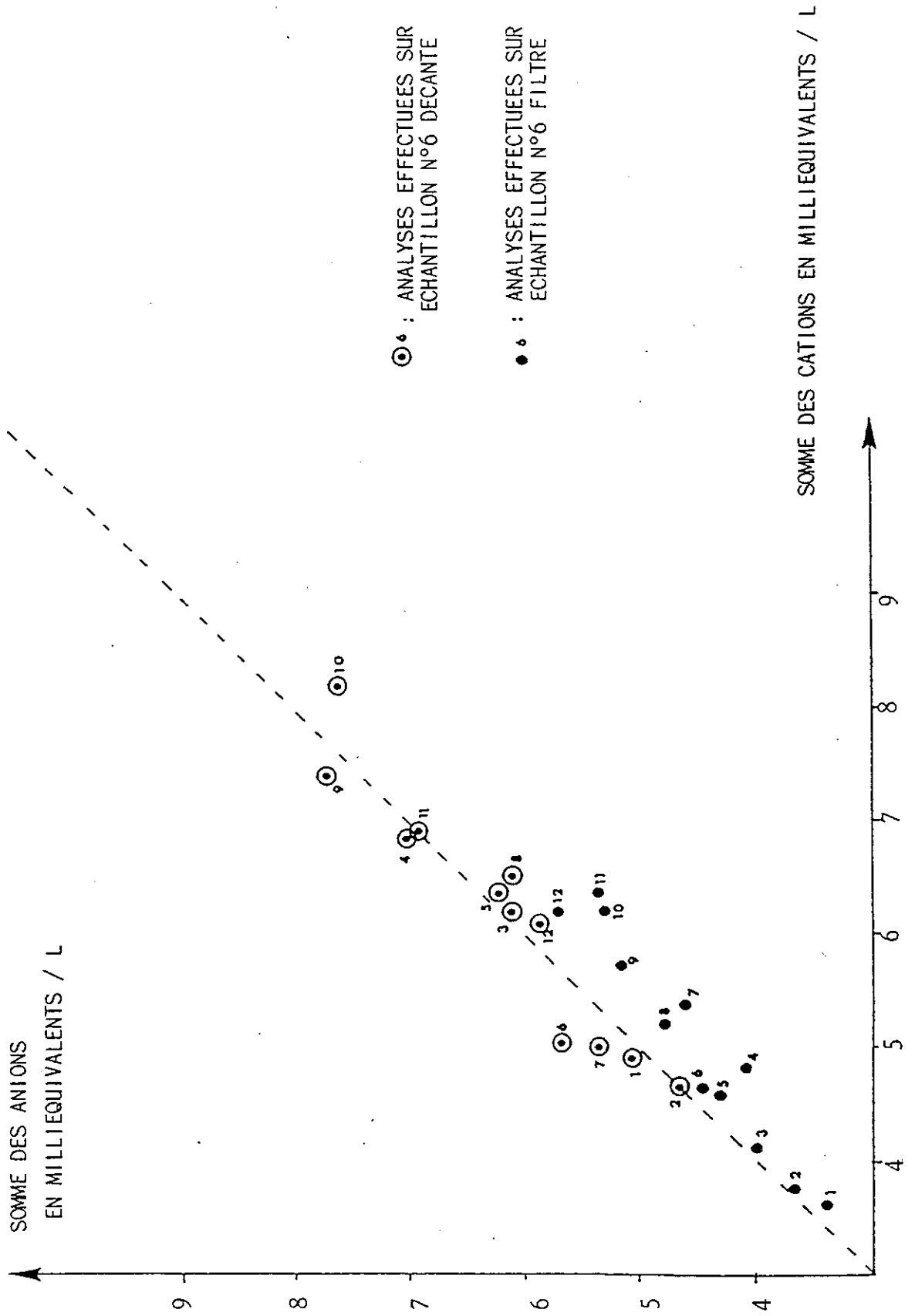
La présence d'une proportion plus forte d'argile dans les sédiments contribue par le seul fait d'une plus grande surface de contact, à une prolifération supérieure des populations bactériennes.

2.2. - Les problèmes relatifs aux analyses chimiques : les matières en suspension - Filtration ou Décantation

2.2.1. Introduction

Malgré un temps de pompage important avant la prise d'échantillons ; les eaux remontent avec elles des particules fines,

(FIG. 123.) VARIATIONS DE L'EQUILIBRE IONIQUE ET DE LA MINERALISATION
 POUR DES ECHANTILLONS D'EAUX SOUMIS : A DECANTATION
 A FILTRATION



voire même sableuses, dans un certain nombre de cas.

Les analyses chimiques que nous effectuons au laboratoire d'Hydrogéologie de l'Institut Dolomieu se font soit par titrages basés sur des virages d'indicateur colorés (Ca, Mg, Cl), soit par colorimétrie ou nephelométrie (NO_3 , SO_4).

Elles demandent donc pour s'effectuer une eau limpide sans particules en suspension.

2.2.2. Les protocoles employés,

Deux protocoles furent employés pour clarifier l'eau en vue d'analyses :

* par décantation, après un temps de repos de l'échantillon ce qui permet de prélever l'eau dans la partie supérieure du flacon au dessus du dépôt.

* par filtration de l'ensemble du contenu du flacon. Cette méthode fut effectuée avec l'aide des moyens techniques mis à notre disposition par Madame USELLE

Une double filtration fut réalisée par un système de pompe à vide :

- la première sur filtres papiers classiques qui permet d'éliminer les particules les plus grossières.
- Elle fut suivie d'une seconde sur filtres Millipores dont les diamètres des pores retiennent les particules de taille supérieure à 0,22 μm .

2.2.3. Etude Comparative

2.2.3.1 Variation de la minéralisation (FIG.123)

La figure numéro 123 permet de comparer la somme des cations et des anions exprimée en milliequivalents par litre et donc la minéralisation de douze échantillons, pour des analyses soumises aux deux protocoles précédemment décrits.

Remarque : • les numéros de 1 à 11 de la figure correspondent respectivement aux piezomètres :
4 P 3, 4 P 5, P 27, 3 P 41, P 31, P 30, P 38,
P 138, 3 P 37, 3 P 19 et 3 P 66

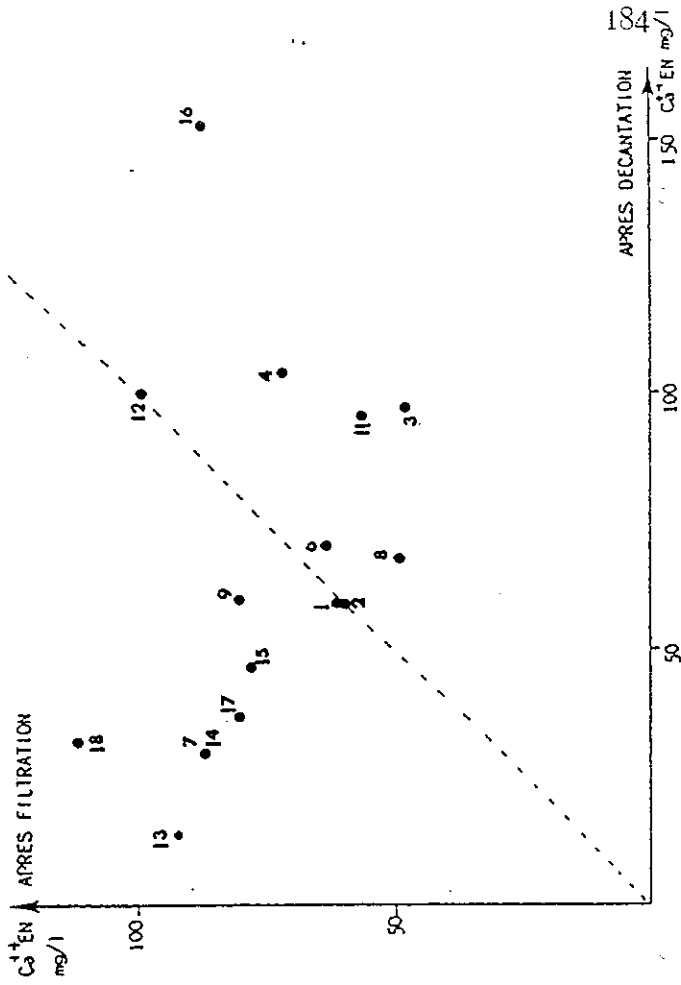
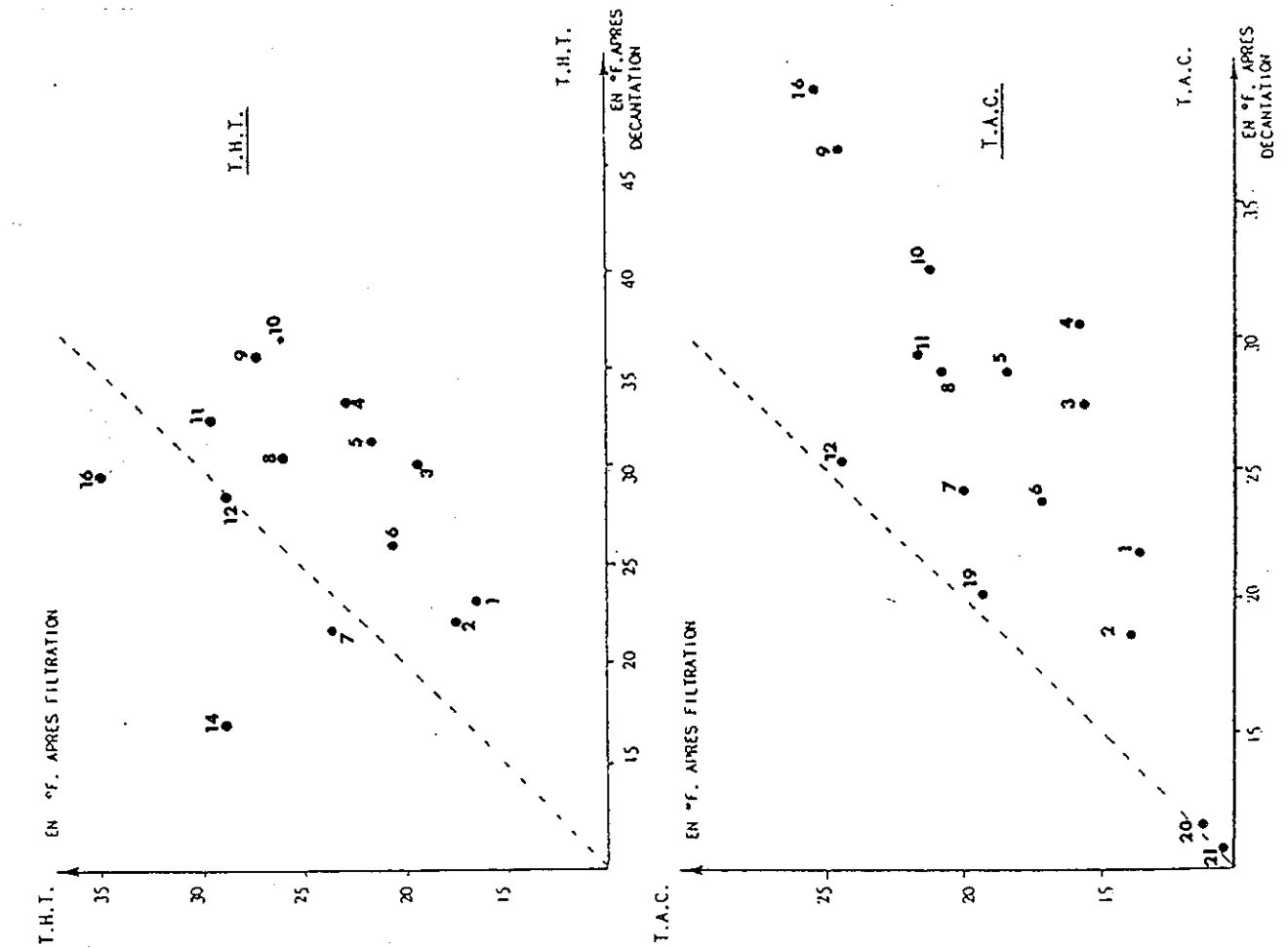
• le numéro 12 provient d'un prélèvement dans un puits qui sert de témoin : F.P. 8

La comparaison entre les deux protocoles montre une diminution de la minéralisation pour l'ensemble des analyses effectuées après la double filtration. Elle est très modeste pour l'échantillon provenant du puits.

Les eaux filtrées présentent aussi un déséquilibre de leur balance ionique en faveur des cations, plus important pour les eaux minéralisées, d'une valeur moyenne de 10 %.

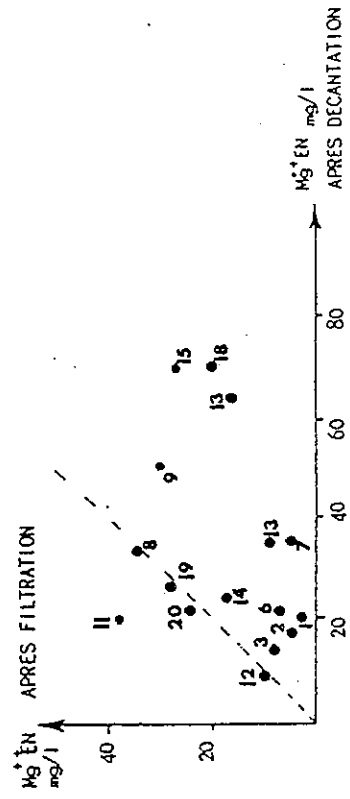
Alors que les eaux décantées possèdent un très bon équilibre ionique moyen.

(FIG. 124) COMPARAISONS DES VALEURS DU T.H.T. ET DU T.A.C. POUR DES ÉCHANTILLONS D'EAUX SOUMIS: A FILTRATION A DECANTATION



(FIG. 125) COMPARAISONS DES CONCENTRATIONS EN CALCIUM ET MAGNESIUM POUR DES ÉCHANTILLONS SOUMIS AVANT ANALYSES A: FILTRATION A DECANTATION (Dosages titrimétriques)

••• : ÉCHANTILLON N°6



Cette baisse de minéralisation après filtration provient principalement d'une diminution des concentrations en bicarbonates, et des valeurs de Dureté Totale (FIG. 124). 20 pour cent des échantillons subissent cependant après filtration un accroissement de leur valeur de T.H.T.

La correspondance entre les numéros et les piezomètres de cette figure est semblable à celle de la figure numéro 123

D'autres points sont ajoutés : n° 14 (P 35), n° 16 (P 46), n° 19 (3 P 32), n° 20 (3 P 20), n° 21 (3 P 38)

2.2.3.2 Variations des teneurs en Ca^{++} et Mg^{++}

2.2.3.2.1. Analyses par complexométrie (FIG.125)

Les résultats des analyses des teneurs en calcium et magnésium effectuées par complexométrie pour un même échantillon selon les deux protocoles (filtration ou décantation) sont représentés dans la figure n° 125 (n° 13 = P 39 ; n° 15 = NG 58 ; n° 17 = P 155; n° 18 = Ng 70).

Les teneurs en magnésium et en calcium fluctuent selon le piezomètre considéré.

La filtration coïncide soit :

- * avec une augmentation de la concentration en calcium avec diminution de celle du magnésium. C'est le cas le plus général, il concerne les numéros : 7, 9, 13, 14, 15, 18.
- * avec une diminution de la concentration des deux ions : numéro 3.
- * avec une diminution de la teneur en calcium : numéro 8
- * avec une diminution de la teneur en magnésium : numéros 1 et 2.

Les concentrations en Mg^{++} et Ca^{++} ne varient pas dans les eaux du puits témoin (n° 12)

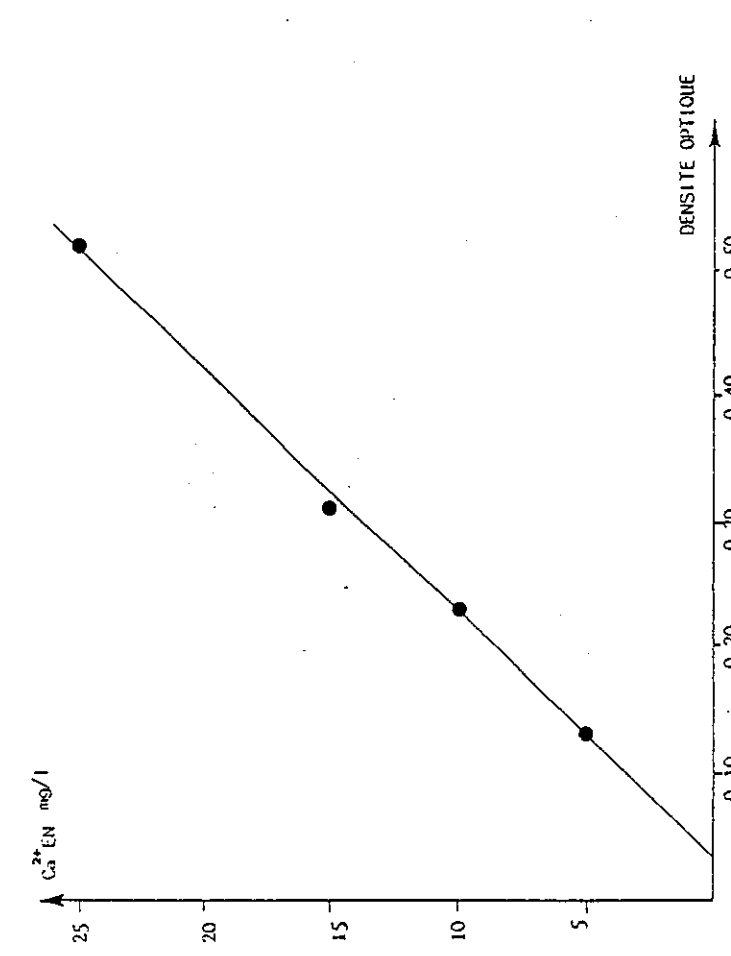
Les eaux de certains piezomètres montrent avant filtration (P.31, P.39, P.35, NG.76) une teneur anormalement faible en calcium compensée par une teneur plus importante en magnésium.

Au vue de ces résultats très différents selon le protocole employé pour clarifier l'eau des échantillons présentant un certain trouble, nous avons essayé d'utiliser une autre méthode d'analyse pour déterminer les concentrations de ces deux cations.

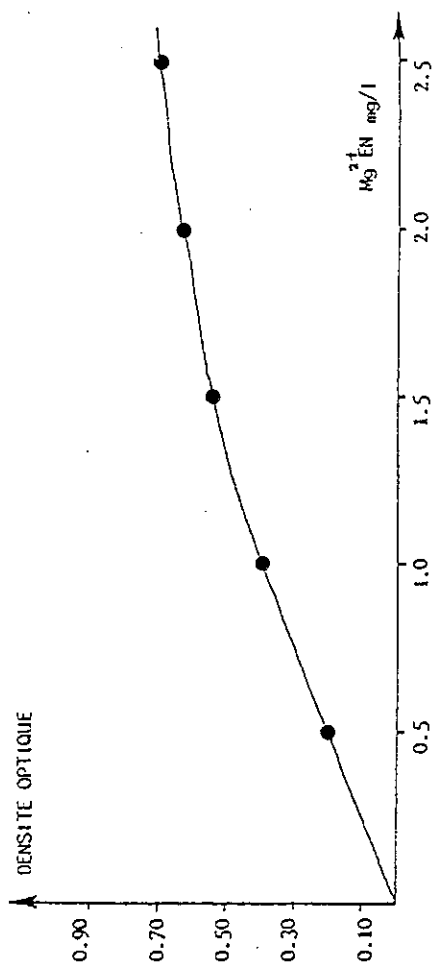
2.2.3.2.2. Analyses par Absorption Atomique

Nous avons effectué ces analyses au Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Grenoble.

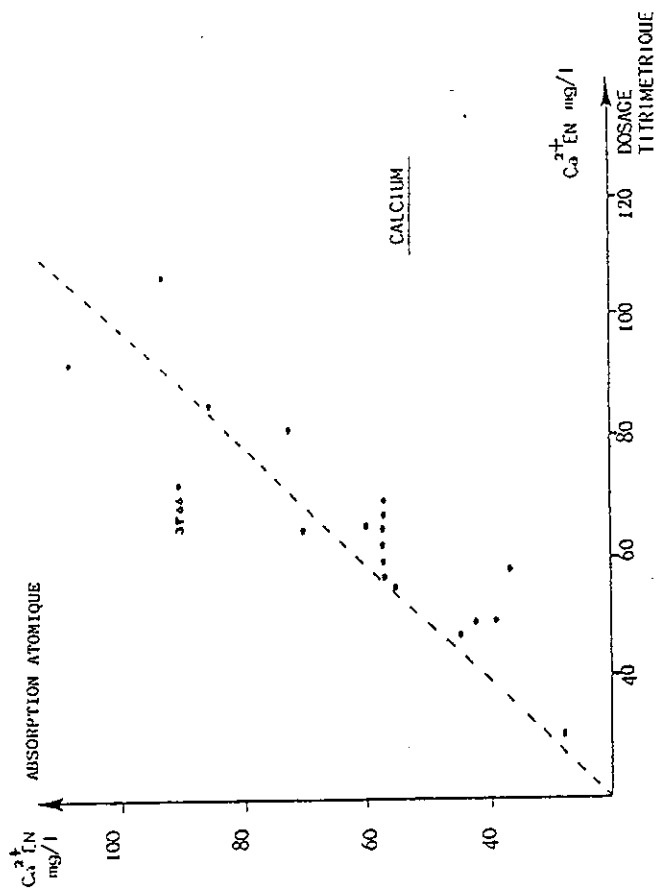
Le principe de la méthode consiste à mesurer l'absorption d'un faisceau lumineux traversant un nuage d'atomes.



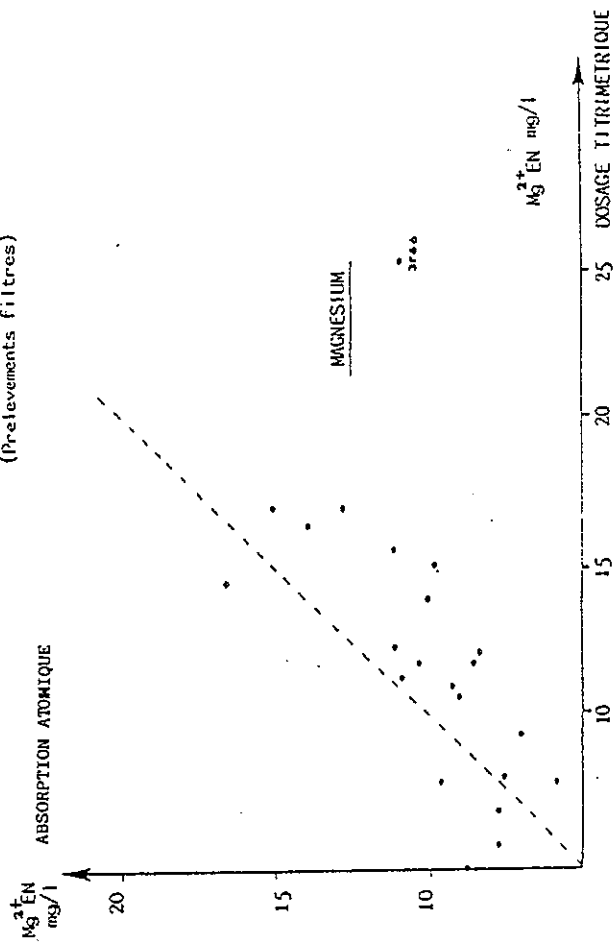
(FIG. 126) CORRESPONDANCE ENTRE DENSITE OPTIQUE ET CONCENTRATION EN CALCIUM - GAMME ETALON - ABSORPTION ATOMIQUE



(FIG. 127) CORRESPONDANCE ENTRE DENSITE OPTIQUE ET CONCENTRATION EN MAGNESIUM - GAMME ETALON - ABSORPTION ATOMIQUE



(FIG. 128) COMPARAISON DES TENEURS EN CALCIUM ET MAGNESIUM APRES ANALYSES PAR ABSORPTION ATOMIQUE ET DOSAGE TITRIMETRIQUE (E.D.T.A.) (Prélevements filtrés)



MAGNESIUM

L'excitation des atomes se fait par pulvérisation de l'échantillon dans une flamme.

La densité optique mesurée est proportionnelle à la concentration en atomes.

Les gammes de mesures des concentrations en Ca^{++} et Mg^{++} selon cette méthode sont faibles, de l'ordre du mg/litre ; ce qui nécessite en fonction des concentrations présumées, de nombreuses dilutions de nos échantillons.

L'appareil employé est de marque UNICAM SP 90 A. On utilise une flamme air-acétylène oxydante, la lecture s'effectue aux longueurs d'ondes de 422,7 n.m. pour le calcium et de 285,2 n.m pour le magnésium.

La gamme pour le calcium est de 5 à 25 mg/L, celle du magnésium est habituellement de 0 à 0,8 mg/L. Cependant afin d'éviter un trop grand nombre de dilution de nos échantillons augmentant les incertitudes de mesures, nous avons choisi une gamme d'étalonnage comprise entre 0 et 2,5 mg/L.

La concentration de nos échantillons s'obtient par comparaison avec les valeurs de densité optique obtenues sur la gamme réalisée : * pour le calcium à partir d'une solution mère de 100 mg/L diluée avec de l'eau déminéralisée (FIG.126)

* pour le magnésium la solution mère est de 10mg/L la dilution s'effectue avec une eau déminéralisée (FIG.127). le dépassement de la gamme habituelle provoqua l'obtention d'une courbe à la place d'une droite D.O / concentration en magnésium.

2.2.3.2.3. Résultats comparatifs entre les deux méthodes

Les figures 128 et 128bis, permettent de comparer pour un même échantillon filtré les teneurs en calcium et en magnésium obtenues par complexométrie et par absorption atomique.

Nous constatons, après filtration, que les analyses par titrimétrie donnent des teneurs en Mg^{++} et Ca^{++} légèrement supérieures à celles obtenues par spectrométrie de flamme.

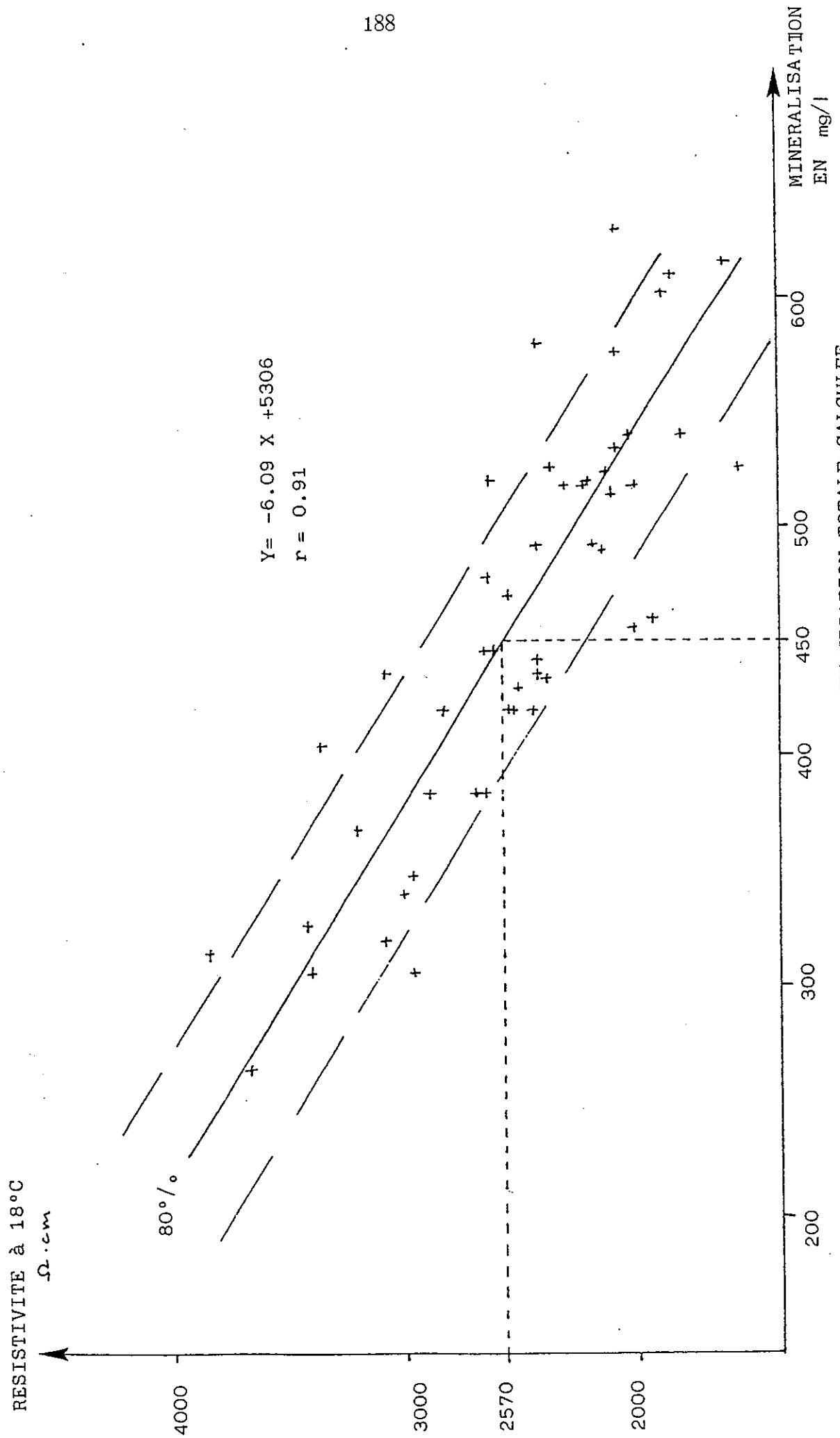
Cette remarque concerne aussi bien les fortes que les faibles teneurs de ces deux cations.

Un seul point, celui attribué à l'analyse de l'échantillon du piezomètre 3 P.66, montre une forte différence de teneur en magnésium suivant le processus d'analyse

2.2.3.2.4. Conclusion

Les analyses effectuées par absorption atomique confirment les valeurs obtenues par titrimétrie.

L'utilisation d'une filtration ou d'une décantation, nécessaire aux processus d'analyses dans le cas d'un échantillon d'eau turbide prélevée dans un piezomètre, provoque une disparité pour un même échantillon des concentrations en Ca^{++} et Mg^{++} selon le processus utilisé.



(FIG.129) RELATION RESISTIVITE - MINERALISATION TOTALE CALCULEE
DES EAUX DE LA NAPPE DU RHONE (Prelevements du 6 et 7/8/86)

2.2.4 Conclusion

la filtration coïncide avec une baisse de la minéralisation et un déséquilibre ionique.

Une précipitation des éléments minéraux de l'eau lors du passage sur filtre doit être évoquée, ce qui engendre une diminution des éléments dissous dans l'eau filtrée.

Le fait que cette précipitation ne se constate pas pour les échantillons de puits, sans turbidité, permet de supposer que " le gâteau " de filtration est responsable de la baisse de la minéralisation.

les modifications spécifiques à chaque échantillon des concentrations en calcium et magnésium montrent les possibilités d'échanges ioniques, entre les minéraux piégés sur le "gâteau" et les sels minéraux dissous de l'eau, lors de la filtration.

2.3. Conclusion

En fonction de ces observations, nous avons choisi, de ne pas représenter sur une carte les teneurs séparées en calcium et magnésium des eaux prélevées. Une carte d'isovaleur de Dureté Totale a été réalisée (T.H.T.) d'après les analyses titrimétriques.

Toutes les mesures représentées sur les cartes suivantes sont faites à partir des résultats d'analyses après décantation des eaux prélevées par pompage.

La nature métallique de la majorité des piezomètres à par ailleurs empêché l'établissement d'une carte des teneurs en fer des eaux de la nappe.

3 - EXAMEN DES CARTES DES PARAMETRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

3.1. Cartes de résistivité

3.1.1. Correspondance résistivité minéralisation

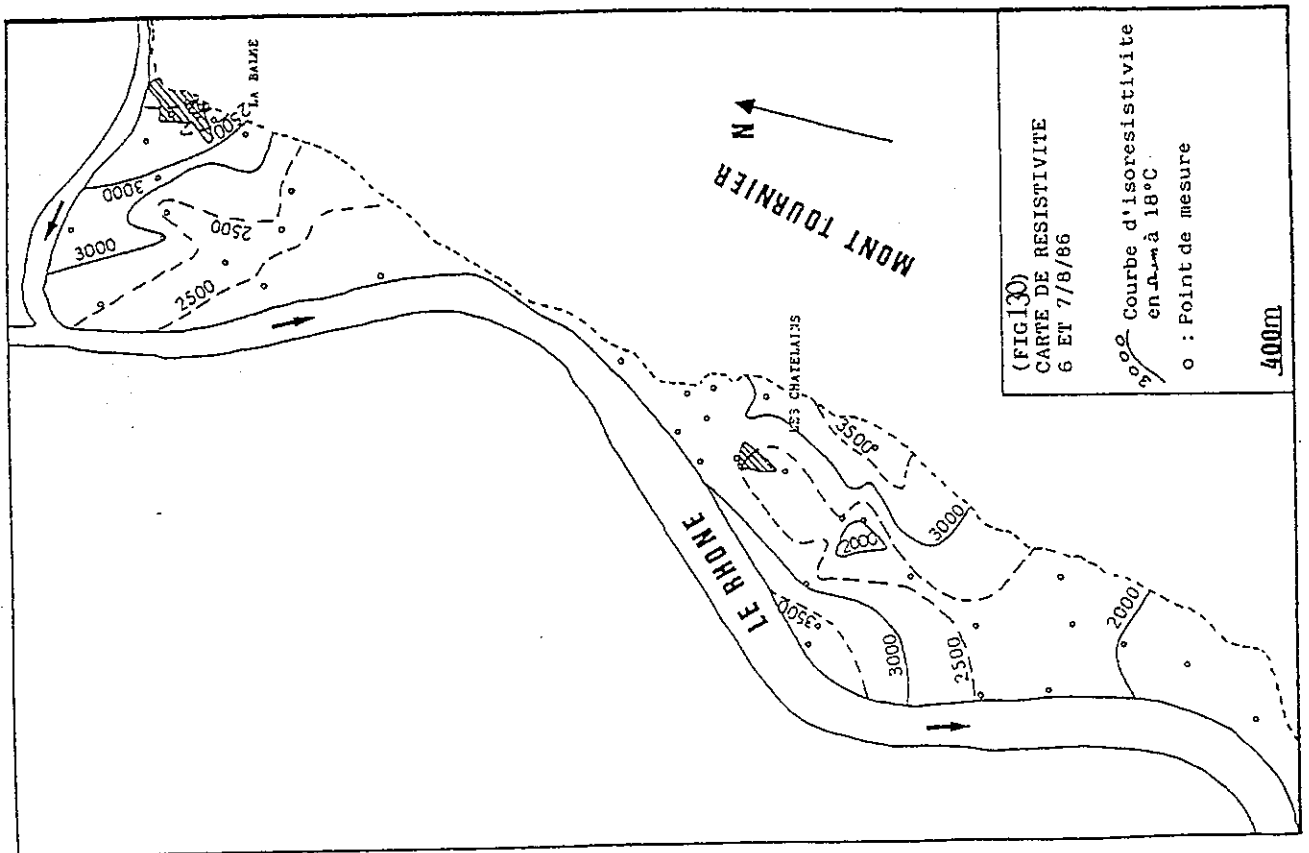
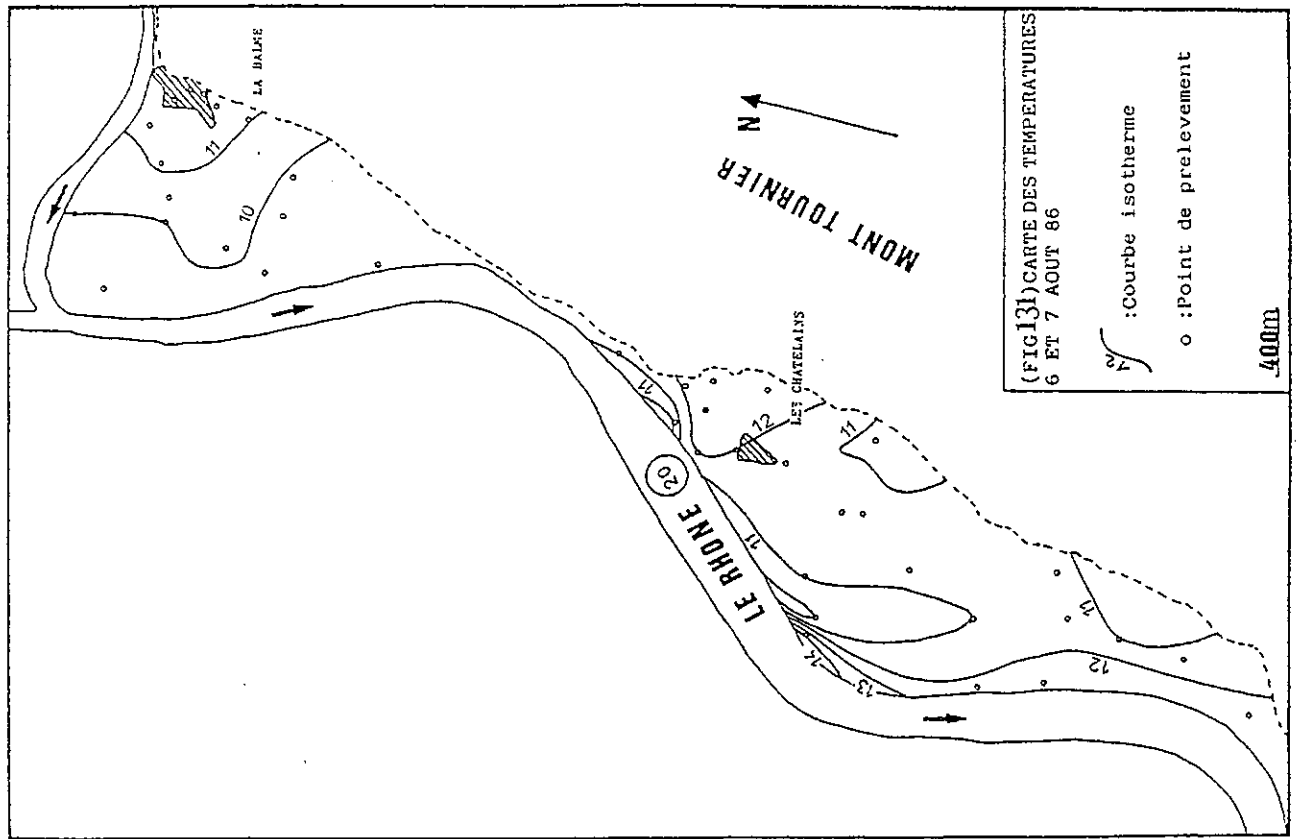
A partir des mesures et analyses des échantillons d'eaux prélevées au mois d'août 1986, nous avons déterminé l'équation de la droite de regression linéaire entre la résistivité (R) et la minéralisation (M) :

$$R = -6,09 M + 5306$$

R : en Ω . cm

M : en mg/L.

Le coefficient de corrélation est égal à 0,91.



La résistivité donne donc une évaluation fiable de la minéralisation totale.

Lors des mesures la résistivité des eaux du Rhône s'établissait à 4640 Ω .cm, celle des eaux du Guiers à 3580 Ω .cm.

Rappelons que la directive C.E.E. du 15 Juillet 1980 recommande un niveau guide de 2500 Ω .cm pour les eaux de consommation.

3.1.2. Le secteur amont (FIG.130)

Deux bandes parallèles d'orientation N.W - S.E, se dessinent sur cette boucle, la résistivité de l'eau de la nappe diminue de l'amont vers l'aval.

Cette disposition est troublée :

- * à l'emplacement du chef lieu de la Balme où la résistivité est plus faible
- * à proximité des berges du Rhône : le secteur d'implantation des piezomètres P 138 et P 140 présente une légère augmentation des valeurs de résistivité.

3.1.3. Le secteur médian (FIG.130)

Une zone de forte minéralisation (inférieur à 2000 Ω .cm) située en aval et au sud du village des "Chatelains" est entourée par deux secteurs à faible minéralisation :

- * l'un proche du Rhône
- * le second près du versant (F P 8 et 3 P 17)

3.1.4. Le secteur aval (FIG.132)

Les valeurs de résistivité sont fortes, près du Rhône au Nord du village de Leschaux. Elles diminuent en direction du sud pour atteindre un minimum dans le secteur d'implantation du piezomètre 3 P 34.

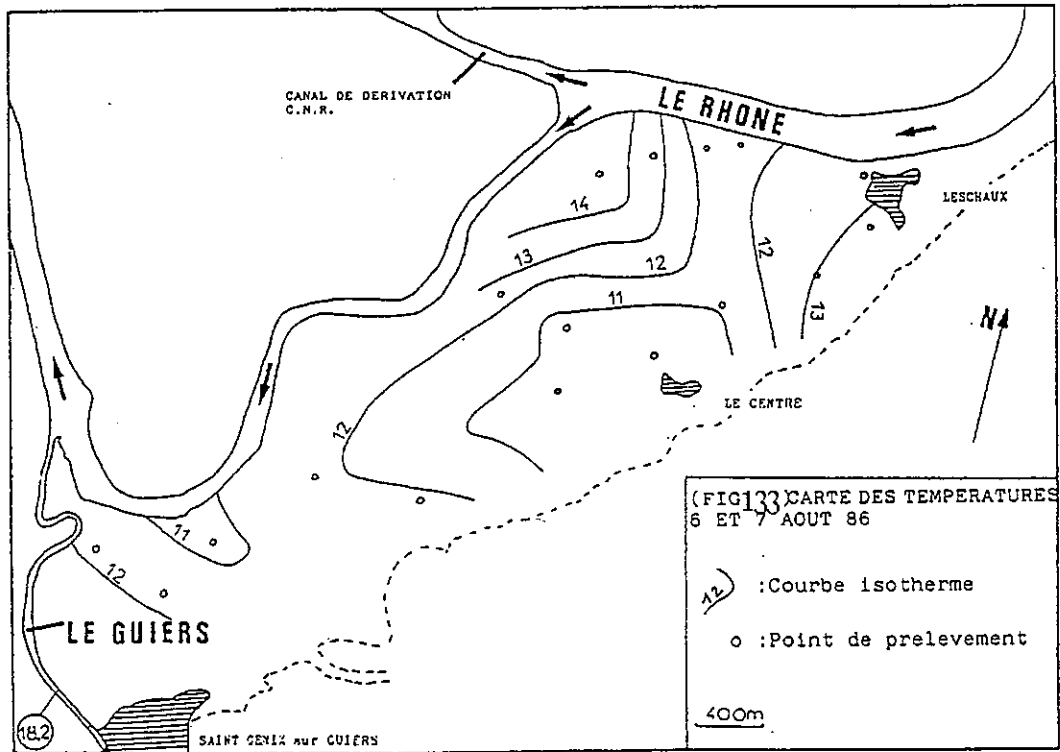
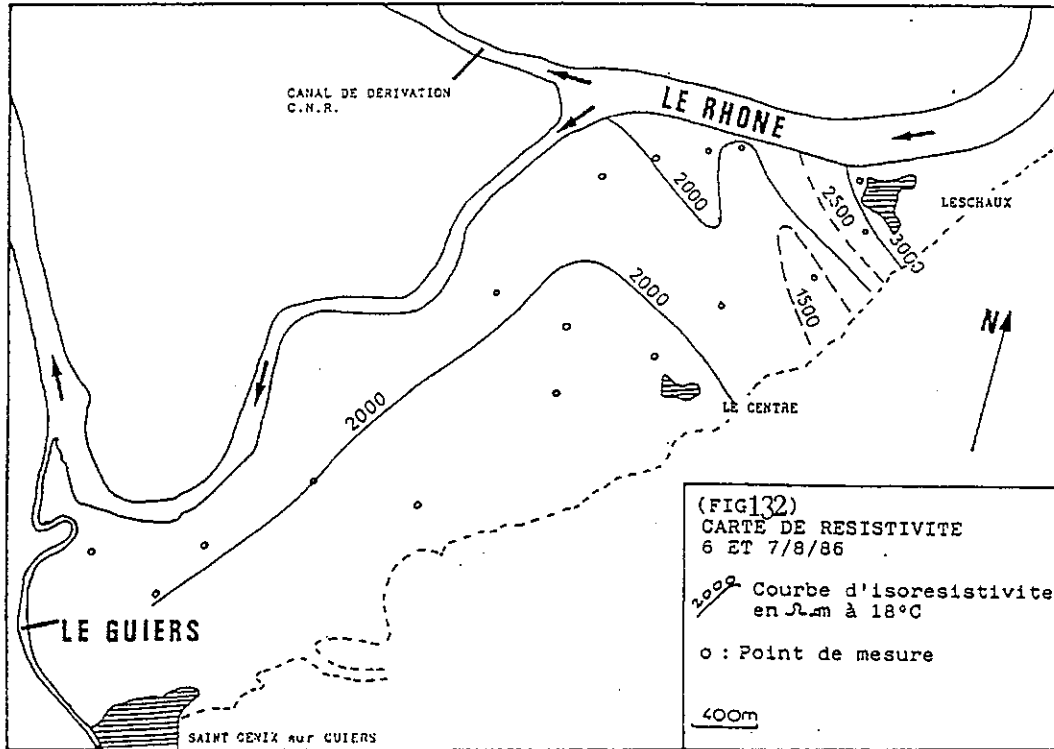
Entre le village du " Centre " et St Génix sur Guiers, le long du versant molassique s'étend un vaste secteur où les valeurs de résistivité de l'eau fluctuent entre 2000 et 2500 Ω .cm. Elles diminuent en direction du Rhône court-circuité.

3.2. cartes des températures

Lors des mesures, les températures du Rhône et du Guiers étaient respectivement de 20°C et de 18,2°C, ce qui correspond à des valeurs légèrement inférieures à la température moyenne de l'air durant les deux décades précédant les mesures (confer chapitre climatologie).

3.2.1. Le secteur amont (FIG.131)

Une décroissance nette des températures des eaux de la nappe du Chef lieu au Rhône se manifeste.



3.2.2. Le secteur médian (FIG.131)

Le coeur de cette boucle possède des eaux dont la température est comprise entre 11 et 12 °c.

Celle-ci augmente pour certains points de mesure proches des versants et du Rhône.

La température maximum concerne le piezomètre N.G.42 situé à une dizaine de mètres du Rhône. (T = 14,2°c).

3.2.3. Le secteur aval (FIG.133)

Les températures les plus froides sont observées à l'intérieur d'un périmètre centré sur le village du "Centre".

Les valeurs de température diminuent dans la partie Nord de ce secteur : du Rhône vers le coeur de la nappe.

Dans la partie Sud du secteur, un gradient négatif de température s'établit du Guiers vers le Rhône court-circuité.

3.3. Cartes des ions principaux (HCO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{--})

3.3.1. Observation

3.3.1.1. Cartes des bicarbonates

La fraction bicarbonatée de la minéralisation est la plus importante : ce qui explique la forte concordance entre les cartes de résistivité et celles des bicarbonates.

Une exception est relevée dans le secteur aval.

3.3.1.1.1. Le secteur amont (FIG.134)

Une zonation s'établit autour du coeur de cette boucle. Les concentrations les plus faibles (inférieures à 250mg/L) sont relevées dans la partie nord, proche du Rhône court-circuité.

3.3.1.1.2. Le secteur médian (FIG.134)

Deux zones possèdent des eaux dont la concentration est supérieure à 350 mg/L ;

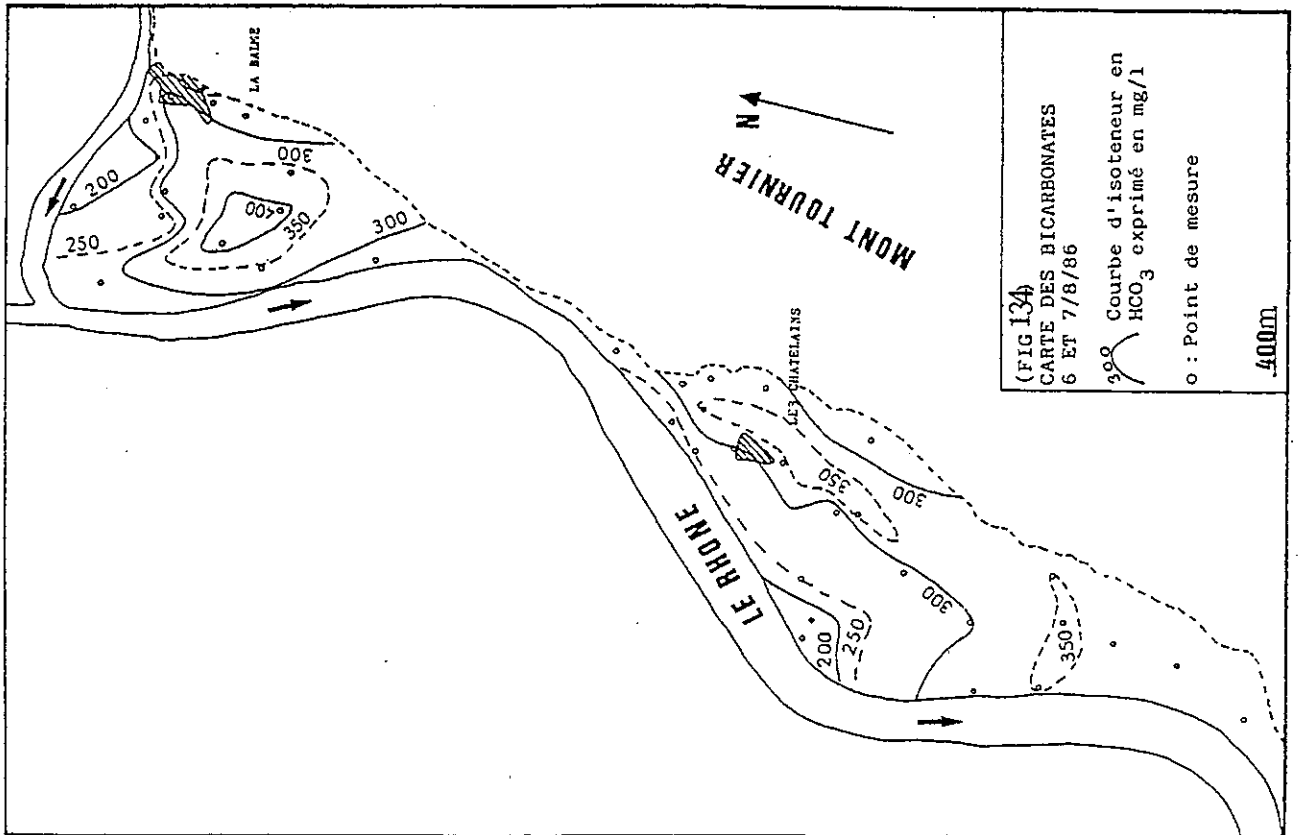
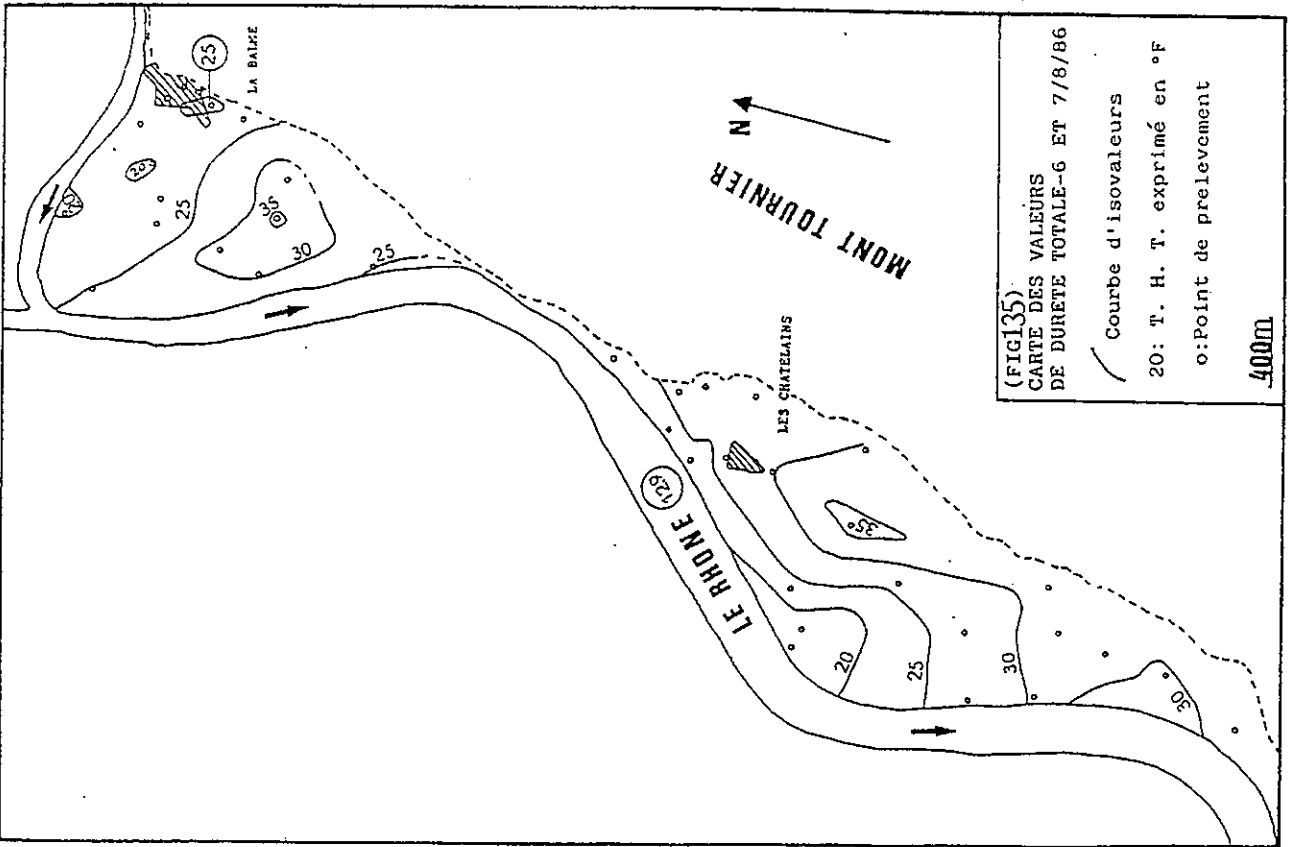
- une orientée Nord-Sud près du village des "Chatelains "
- l'autre en aval de la nappe.

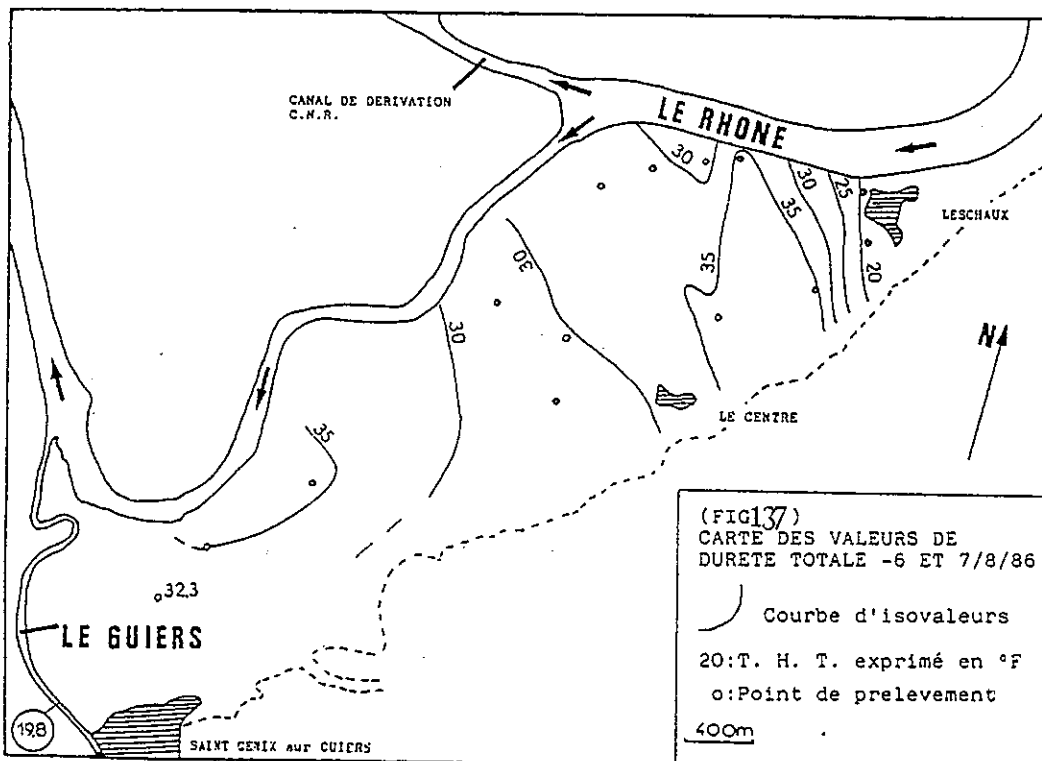
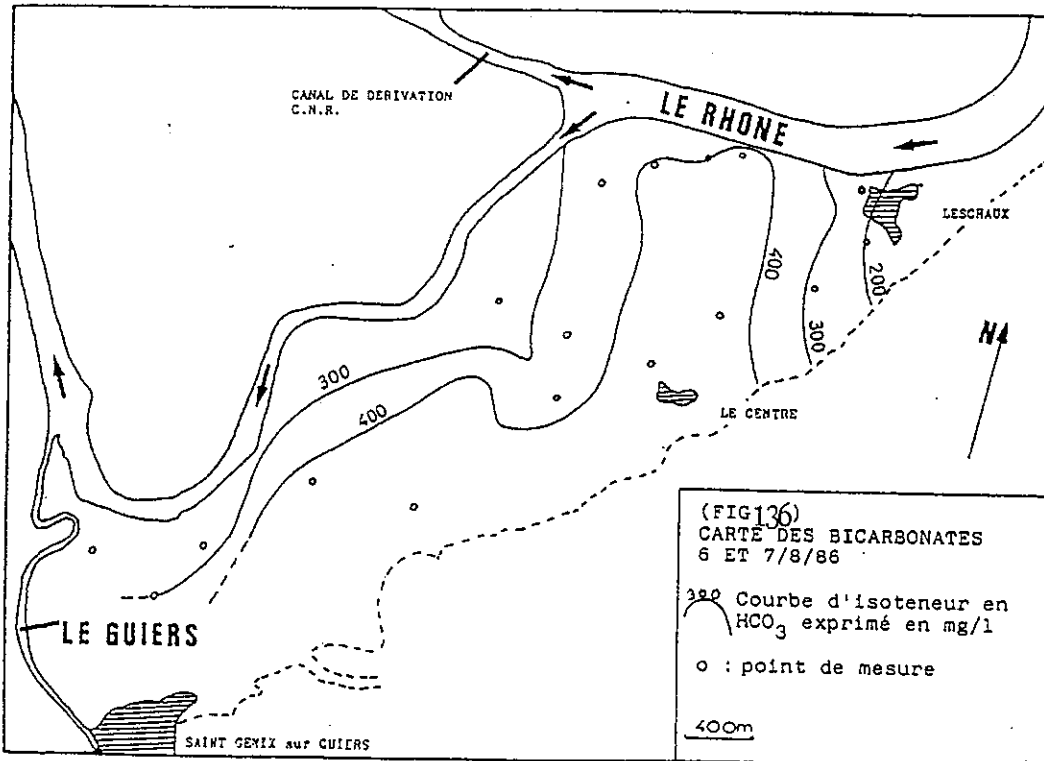
Près de la rive Nord Ouest du Rhône et parallèle à celui-ci, se profile une bande à faible teneur en bicarbonates.

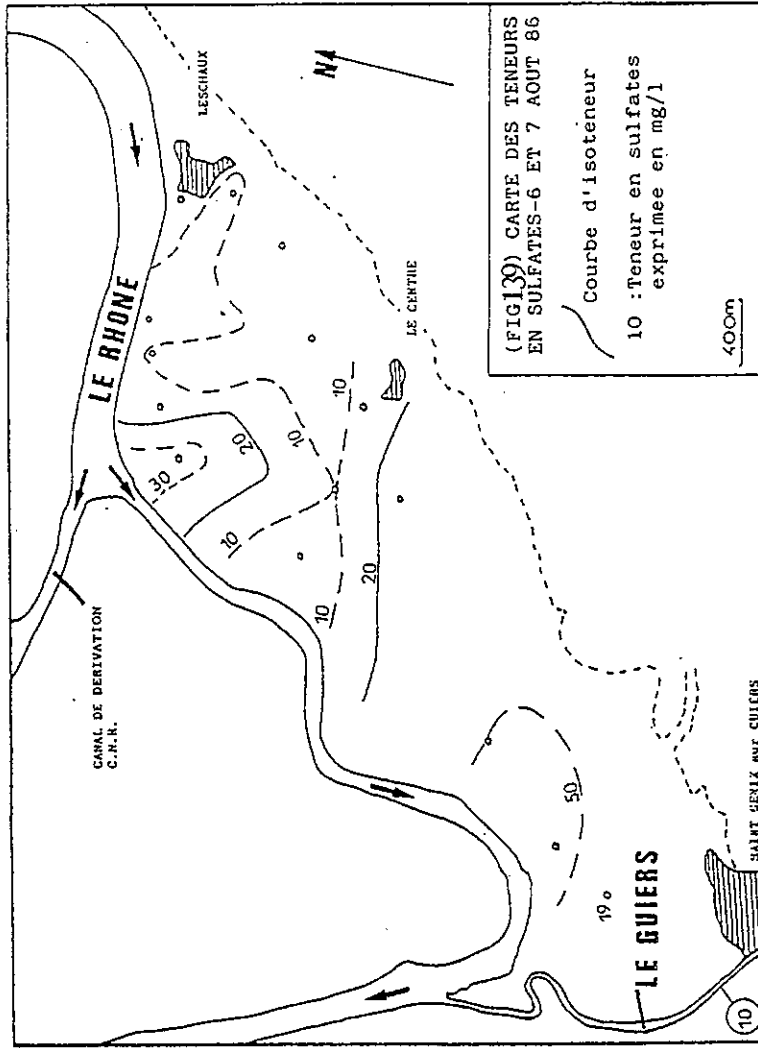
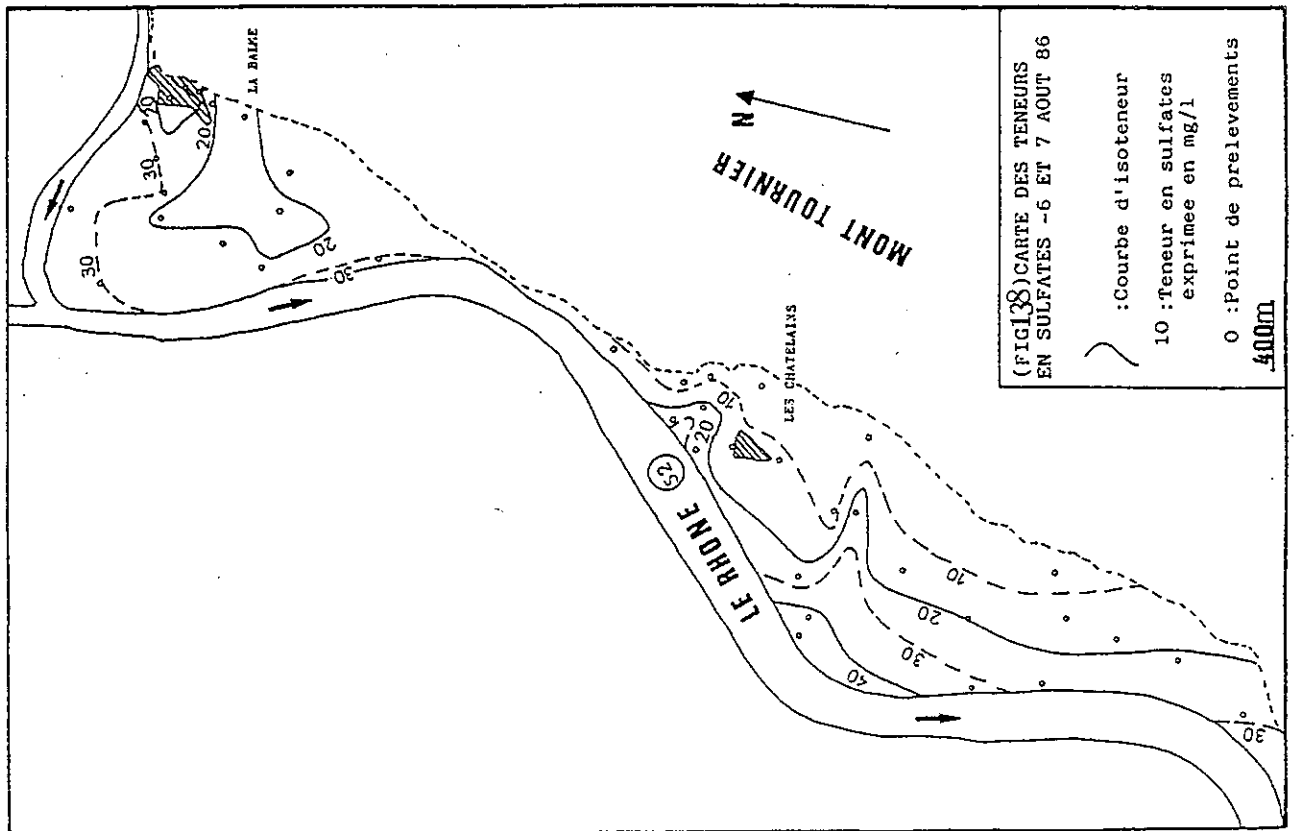
3.3.1.1.3. Le secteur aval (FIG.130)

A partir du village de Leschaux, une augmentation des teneurs se manifeste en direction du village du "Centre "

Les eaux à forte concentration sont relevées près du versant molassique. Les concentrations diminuent près du Rhône. Cette disposition ne correspond pas avec celle établie par la carte







de résistivité. la diminution des valeurs de résistivité près du fleuve provient d'une augmentation des teneurs d'autres sels minéraux.

3.3.1.2. Cartes des valeurs de dureté totale

3.3.1.2.1. Le secteur amont (FIG.135)

La carte de la dureté totale coïncide avec la carte des bicarbonates : les valeurs maxima apparaissent au coeur de ce secteur, elles diminuent vers la périphérie.

3.3.1.2.2. Le secteur médian (FIG.135)

Les eaux sont les plus dures dans un périmètre qui s'étend au Sud du village des " Chatelains ".

La valeur du T.H.T. augmente à partir du Rhône vers l'aval.

3.3.1.2.3. Le secteur aval (FIG.137)

Dans la partie Nord le schéma d'acquisition de la dureté pour les eaux de la nappe correspond avec celui de la diminution de la résistivité et par conséquent avec celui de l'augmentation des teneurs en HCO_3^- .

Entre le " Centre " et St Genix sur Guiers, les eaux montrent une teneur relativement constante comprise entre 30 et 35 ° F avec un accroissement près du Rhône.

3.3.1.3. Cartes des sulfates.

Lors des prélèvements, les eaux du Rhône possédaient une teneur supérieure à 50 mg/l qui correspond à la valeur maximum lors de période d'étiage (confer chapitre le Rhône)

La concentration des eaux du Guiers était faible : 10 mg/l.

3.3.1.3.1. Le secteur amont (FIG.138)

Nous constatons une diminution des teneurs en sulfates depuis le Rhône vers le coeur de la nappe.

3.3.1.3.2. Le secteur médian (FIG.138)

Les courbes d'isoconcentrations sont parallèles, d'orientation Nord-Sud, avec des valeurs maximales près du Rhône qui diminuent en direction de la limite orientale de la nappe.

3.3.1.3.3. Le secteur aval (FIG.139)

Deux zones à réactions différentes s'individualisent

* près de l'entrée du canal de dérivation, les teneurs en SO_4^{--} diminuent du Rhône vers le village du " Centre "

* entre le Guiers et le " Centre ", le nombre de mesures est faible.

Les analyses montrent cependant un accroissement des teneurs pour les piezomètres installés près du Rhône qui possèdent effectivement les plus fortes valeurs (supérieures à 50 mg/L) mesurées lors de cette campagne d'analyses. Ces fortes valeurs sont responsables

de la diminution de la résistivité constatée précédemment.

3.3.2. Interprétation

3.3.2.1. Acquisition de la minéralisation

3.3.2.1.1. Equilibre calco-carbonique

L'infiltration dans des terrains calcaires d'une eau agressive provoque la dissolution du CaCO_3 des terrains traversés.

Le déplacement de l'équilibre calco-carbonique entraîne alors une augmentation des teneurs en calcium et en bicarbonate dissous dans les eaux.

Cette réaction est modulée par le temps de transit des eaux.

Celui-ci varie en fonction de la perméabilité de l'aquifère : une zone de faible perméabilité permettra un temps de réaction important, mais aussi une surface de contact eau/milieu plus grande qui provoquera un accroissement de la minéralisation des eaux.

Des échanges de bases avec des permatolites peuvent aussi se réaliser plus facilement dans des secteurs argileux.

3.3.2.1.2. Les sulfates

Les travaux de laboratoire de W.W.WOOD (1978) cités dans " Contribution de l'hydrochimie aux études hydrogéologiques d'une nappe alluviale en exploitation " par F.A. CHOUTEAU et confirmés par les travaux de l'auteur, montrent que l'acquisition ou la perte de sulfates d'une eau lors de son transit souterrain sont liées à des phénomènes de sorption :

- * les quantités de sulfates absorbés sont d'autant plus grandes que le diamètre des pores de l'aquifère est petit.
- * la granulométrie des sables à un rôle plus important que sa composition chimique.
- * l'absorption est réversible mais la désorption est un phénomène lent, ralenti par la présence d'hydroxyde de fer et favorisé par la présence de phosphates.

3.3.2.2. Applications à la nappe

Rappelons que les eaux du Rhône, du Guiers en période de crues ainsi que les eaux du karst (Arcanière) lors des crues et celles issues de la molasse possèdent toutes une agressivité au carbonate de calcium.

Ces eaux se chargeront au fur et à mesure de leurs progressions dans les formations alluviales en bicarbonate de calcium et de magnésium.

La minéralisation sera la plus intense dans les zones les plus éloignées des apports.

La minéralisation des eaux de la nappe dépend de la constitution physico-chimique des terrains traversés ainsi que de la minéralisation initiale des eaux infiltrées.

3.3.2.2.1. Le secteur amont

L'augmentation de la minéralisation dans le sens NE-SW en direction de l'aval, traduit une circulation des eaux dans la nappe provenant d'infiltrations des eaux du Rhône principalement à sa sortie des gorges de la Balme.

Ce schéma d'alimentation est perturbé par quelques anomalies provoquées :

- * par l'influence qu'exerce le Rhône près de ses berges le long de cette boucle, qui entraîne l'apparition d'un noyau à fortes teneurs en bicarbonates et de duretés élevées, décentré vers le Sud-Ouest. Cette influence est confirmée par la diminution des concentrations en sulfates en direction du noyau (phénomène d'absorption).
- * par les rejets d'eaux très minéralisées provenant de l'activité humaine qui provoquent une augmentation de la résistivité sur un secteur restreint à l'emplacement du Chef-Lieu.

Ce modèle de circulation des eaux dans le cas d'une influence unique du Rhône devrait conduire à une augmentation des concentrations en sels minéraux près du versant.

Or près de celui-ci, les eaux sont moins chargées en bicarbonates et moins dures alors que les teneurs en sulfates sont plus importantes.

Ces modifications sont dues à une élévation de la granulométrie des formations de la nappe par apports de matériaux détritiques grossiers issus certainement des versants (éboulis), qui provoque un transit plus rapide et une diminution des surfaces de réactions (moindre adsorption des sulfates) ; plutôt qu'à des venues d'eaux moins minéralisées en provenance des éboulis dont nous avons démontré dans le chapitre n° 6 leur très faible capacité de réserves et donc d'influence.

3.3.2.2.2. Le secteur médian

La carte de résistivité se superpose fidèlement aux cartes des bicarbonates et du T.H.T. montrant l'importance de la part de ces ions dans la minéralisation totale de l'eau.

Par contre, l'évolution des concentrations en sulfates des eaux au sein de cette nappe semble être indépendante.

Le mécanisme d'acquisition de la minéralisation est probablement le suivant :

- * les eaux du Rhône diffusent à travers cette boucle principalement à partir de son angle ouest où furent relevées les plus faibles valeurs en sels minéraux ainsi que les températures les plus élevées.

Cette diffusion s'effectue ensuite vers l'aval parallèlement aux rives du Rhône.

L'augmentation de la minéralisation vers l'Est traduit l'existence d'un transit des eaux en direction des versants.

- * Les teneurs maximales sont relevées au Sud des " Chatelains " en raison de nouveaux apports d'eaux peu minéralisées qui font sentir leur influence près des versants.
- * La carte des sulfates permet de préciser ces deux influences : - diminution par adsorption des sulfates lors du transit des eaux du Rhône vers le coeur minéralisé de la nappe
- absence de sulfates dans les eaux proches du versant.

L'interprétation des cartes chimiques établies au mois d'Août correspond au schéma d'alimentation observé sur la carte piezométrique établie en Mai.

La carte piezométrique construite à partir des relevés du mois d'Août n'indique pas d'alimentation par les versants à cette période de l'année.

Nous devons envisager soit :

- * un décalage important entre la transmission de l'onde de pression et celle de l'onde de matière.
Ce décalage temporel entre l'onde chimique et l'onde dynamique est constaté sur des piezomètres de la cluse de l'Isère par G. BELLEVILLE.
- * l'existence d'apports profonds non détectés sur les cartes piezométriques.

Les deux secteurs à faible minéralisation correspondent aux secteurs dont l'amplitude de battements est la plus forte (confer chapitre Étude Piezométrique).

Ces deux réponses témoignent de l'existence d'un même phénomène : Infiltrations préférentielles dans des secteurs perméables d'apports d'eaux peu minéralisées.

3.3.2.2.3. Le secteur aval

Les cartes mettent en évidence :

- * un secteur à fort gradient de minéralisation près du village de Leschaux;
La progression de la minéralisation s'effectue à partir du Rhône en direction du village du "Centre" ; elle témoigne de la présence d'une zone d'infiltration du Rhône. L'influence de ce dernier décroît rapidement vers le Sud-Ouest.

- * Entre le " Centre " et St Genix sur Guiers, une augmentation de la minéralisation totale entre le versant et le Rhône.

Elle provient d'une alimentation par les versants molassiques dont les eaux sont agressives et très chargées initialement en sels minéraux (confer chapitre n° 6)

Le Rhône fait sentir son influence près de son lit court circuité en provoquant une baisse des teneurs en bicarbonates compensée par l'augmentation de celles des sulfates.

- * Dans la partie Nord de la boucle, en face du canal de dérivation, une modification du tracé des courbes d'isovaleurs (température, T.H.T., résistivité, HCO_3^-), plus nette sur la carte des isoconcentrations en sulfates.

Leurs formes en "doigt de gant " à l'intérieur de la boucle pourraient correspondre à un chenal de plus forte perméabilité (ancien méandre du Rhône ?) qui favoriserait dans ce secteur les infiltrations du Rhône, provoquant une perturbation dans l'alimentation de cette nappe à partir des versants.

3.4. Cartes des ions secondaires (Na^+ , Cl^- , K^+ , NO_3^-)

3.4.1. Introduction

Nous avons choisi de séparer l'étude de ces ions de celle précédente en raison de leurs concentrations généralement faibles mais aussi de la diversité de leurs origines : certaines sont liées à des événements ponctuels (pollutions liées à l'activité humaine).

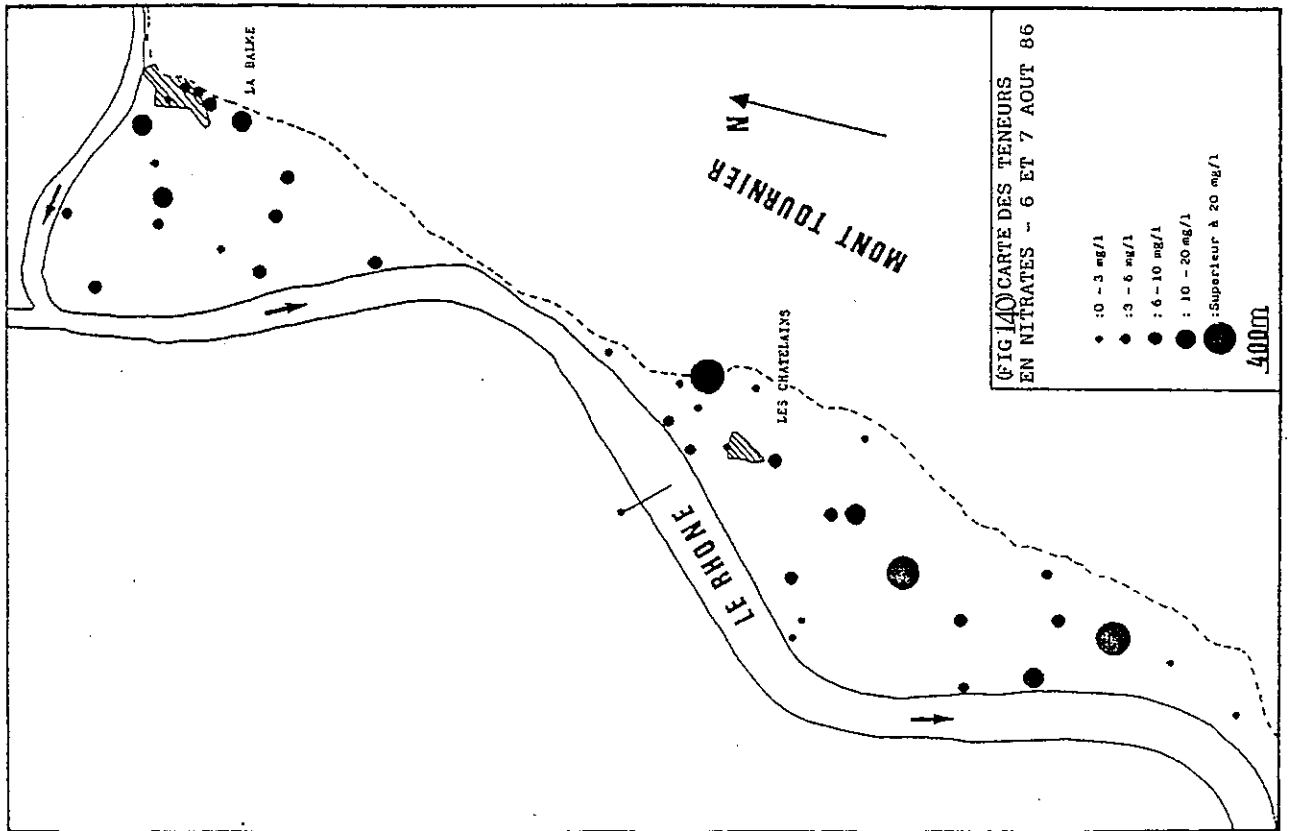
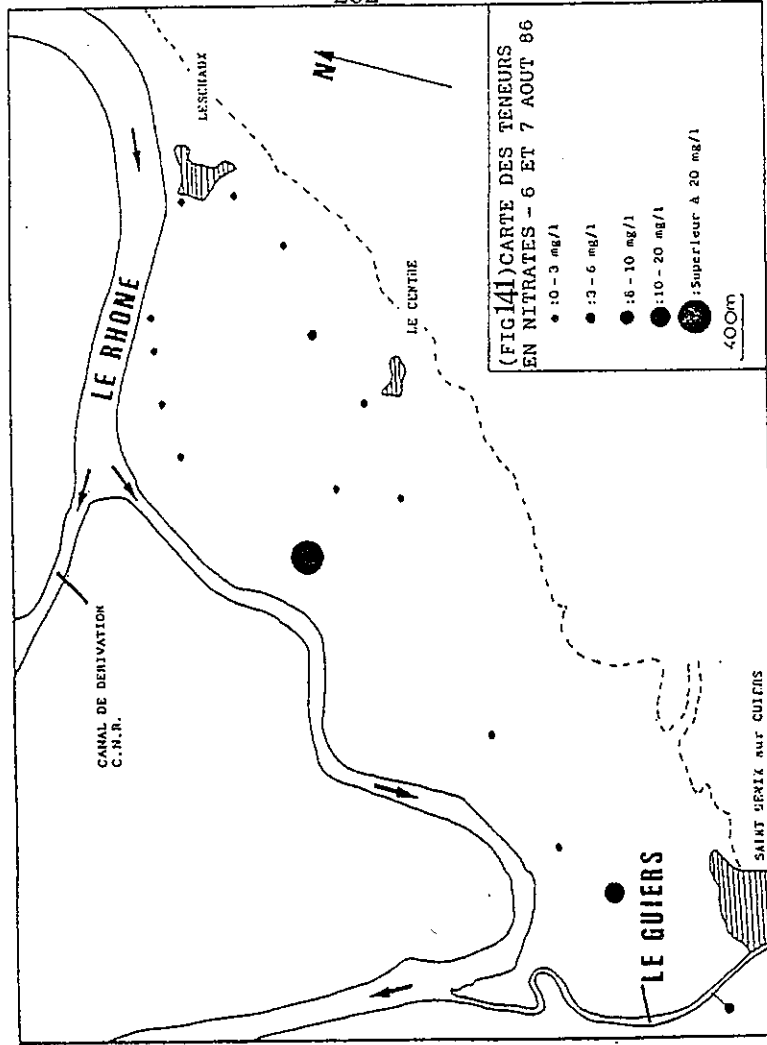
Nous avons donc abandonner la représentation par courbes d'isoconcentrations au profit d'une représentation par points plus conforme à des modifications localisées des teneurs.

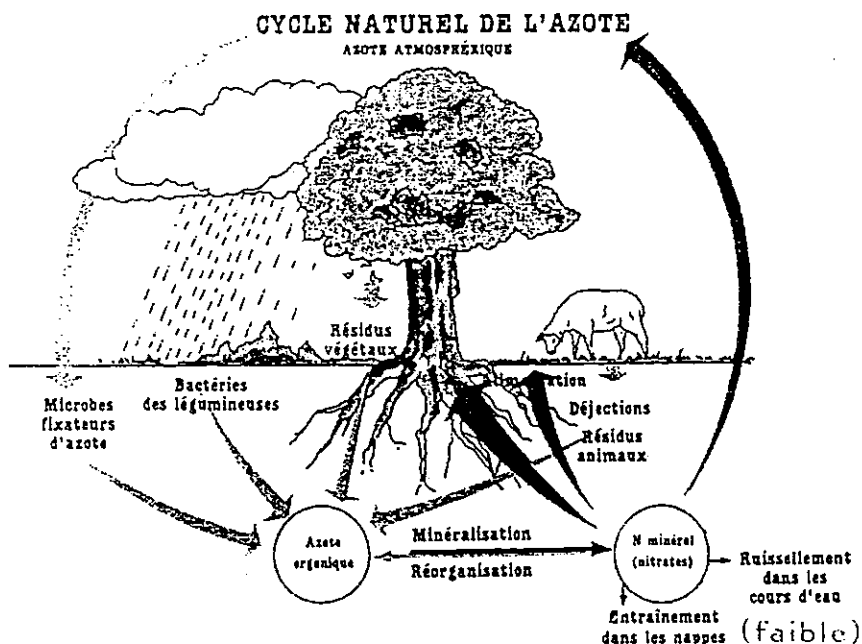
3.4.2. Les Nitrates (FIG 140 et 141)

3.4.2.1. Généralités : cycle de l'azote, normes.

Le cycle de l'azote dans des conditions naturelles, sans influence de l'homme, présente un équilibre entre l'utilisation de l'azote de l'air par les organismes vivants et son retour dans l'atmosphère.

La figure ci-dessous schématise ce cycle :
(in " Les nitrates " dans l'eau)





Afin d'améliorer les rendements des cultures et lutter contre l'épuisement des sols, l'utilisation d'engrais azotés s'est largement développé dans les régions agricoles.

Or l'apport d'azote sous la forme de nitrates est souvent excédentaire par rapport aux besoins des plantes.

L'excédent n'est pas retenu dans le sol en raison de la forte solubilité des nitrates dans l'eau, il est lessivé par les précipitations et entraîné souvent vers une nappe.

La concentration maximale admissible dans les eaux de consommation est fixée par la directive C.E.E. du 17 Juillet 1980 à 50 mg/L, avec un niveau guide de 25 mg/L.

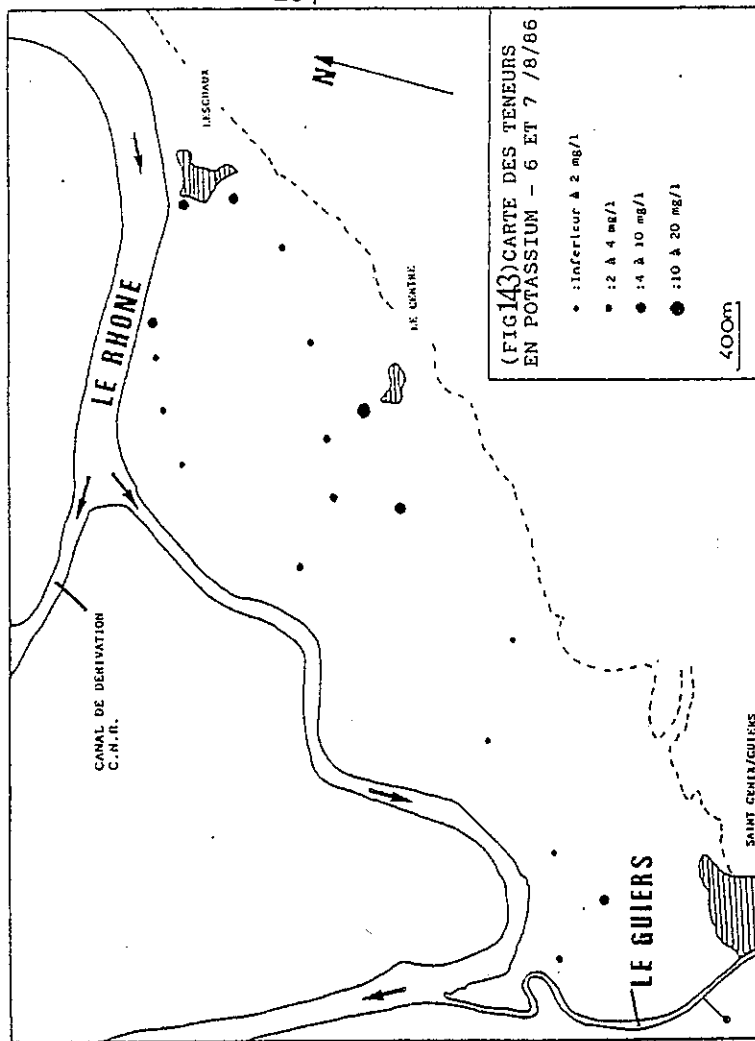
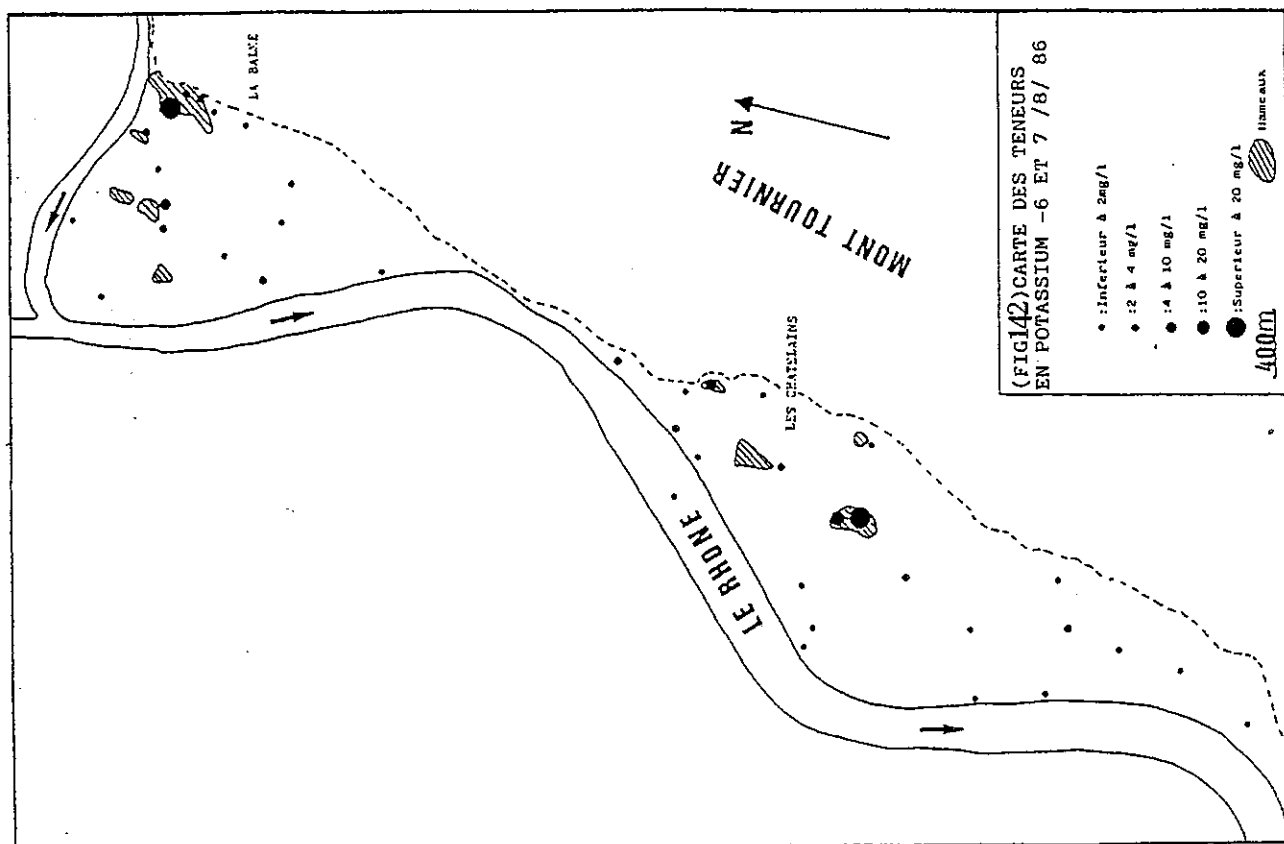
3.4.2.2. Observations des cartes : conclusion.

Un contraste nette dans les teneurs en nitrates, apparait entre les deux boucles des secteurs amont et médian à vocation agricole importante et le secteur aval dont une grande superficie des terres est inexploitée par l'agriculture (activité forestière et taillis).

Les cartes prouvent l'origine agricole des nitrates: par déversement excessif d'engrais azotés sur les cultures intensives (Maïs, Tabac, Soja) qui rejoignent la nappe et l'enrichissent en nitrates.

La teneur maximale relevée lors de la campagne de prélèvements est de 60 mg/L pour le piezomètre P 33 (secteur médian) Une telle concentration devrait limiter l'utilisation de l'eau pour l'alimentation humaine et du bétail.

Or, malgré la réalisation d'adductions d'eaux communales de nombreux habitants de cette plaine, préfèrent utiliser leurs



propres forages sans se douter que les eaux pompées ont subi avec le temps et l'usage d'engrais une détérioration de leur potabilité chimique.

3.4.3. Le Potassium (FIG 142 et 143)

Le potassium est généralement issu des processus d'altération des terrains.

Les teneurs en potassium sont globalement faibles sur l'ensemble de la plaine du Rhône : inférieure à 2 mg/l ce qui correspond à la teneur moyenne des eaux du Rhône.

Quelques points, situés uniquement près des hameaux, possèdent des teneurs plus importantes pouvant dépasser 20 mg/l (piezomètres 3 P 19 - secteur médian et F P 16 - secteur amont).

Cette augmentation des concentrations doit être provoquée par le rejet des eaux usées des habitations.

3.4.4. Les teneurs en chlorures et sodium (FIG.144, 145, 146, 147)

Le Rhône lorsqu'il traverse votre secteur d'étude possède une teneur moyenne en sodium de 5 mg/l et de 8 mg/l pour les chlorures.

Les modifications des teneurs dans les eaux de la nappe peuvent être dues à la présence de zones argileuses qui piègent les chlorures et relarguent le sodium qui participe à leur constitution.

L'examen des cartes montre une forte concordance entre les teneurs en sodium et en chlorure pour un même point de prélèvement.

Leurs teneurs sont généralement très fortes près du versant sur lequel a été construit initialement le chemin reliant la Balme à St Génix sur Guiers pour le mettre à l'abri des inondations du Rhône.

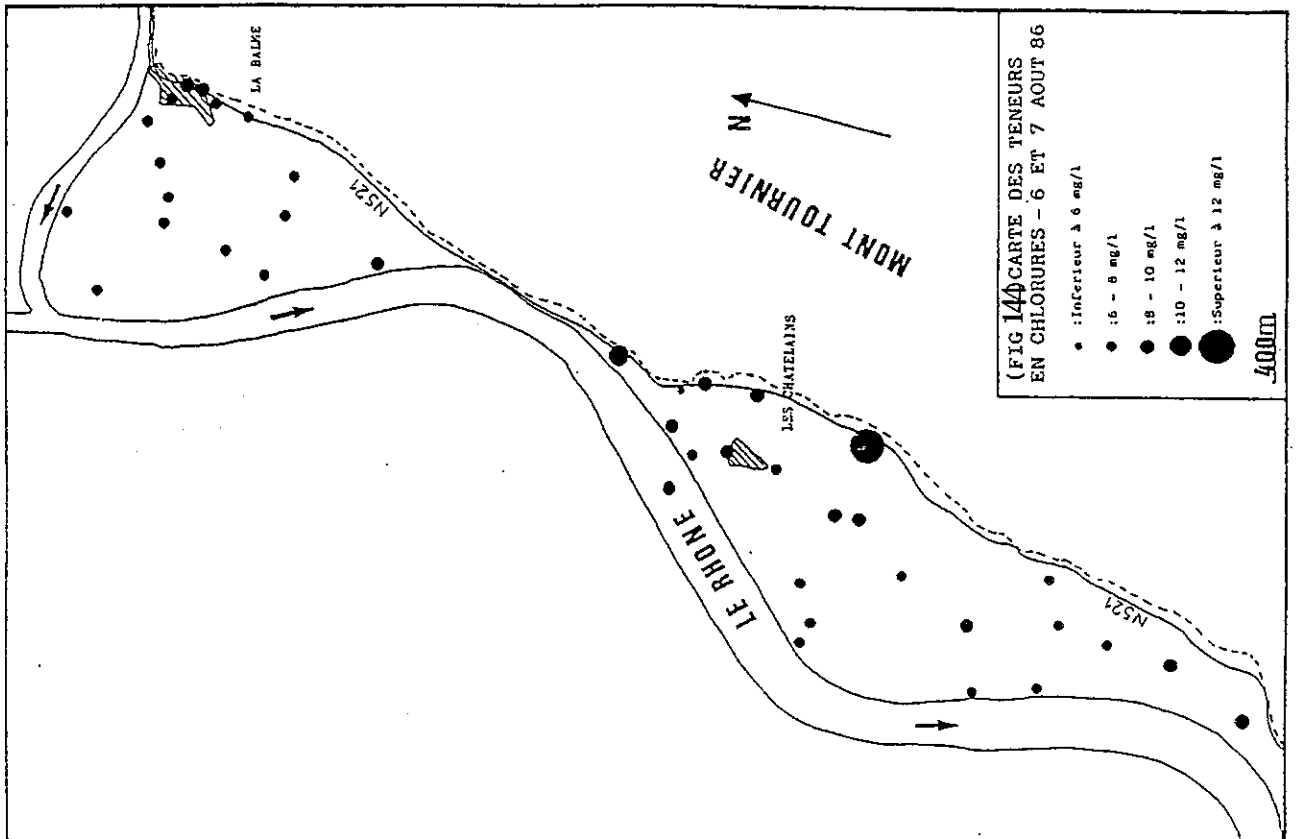
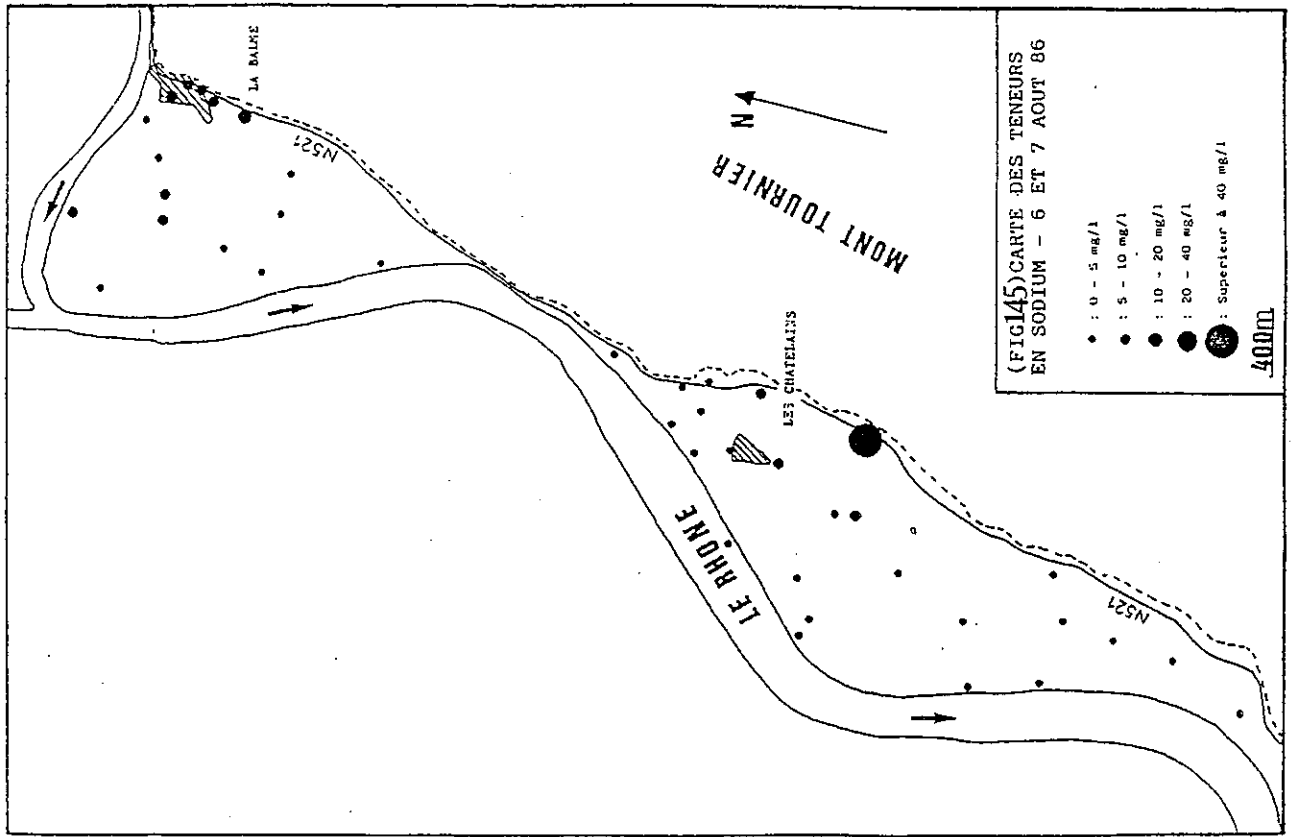
La route nationale 521 suit l'emplacement de ce chemin et subit durant l'hiver un salage important composé uniquement de chlorure de sodium (renseignement D.D.E.).

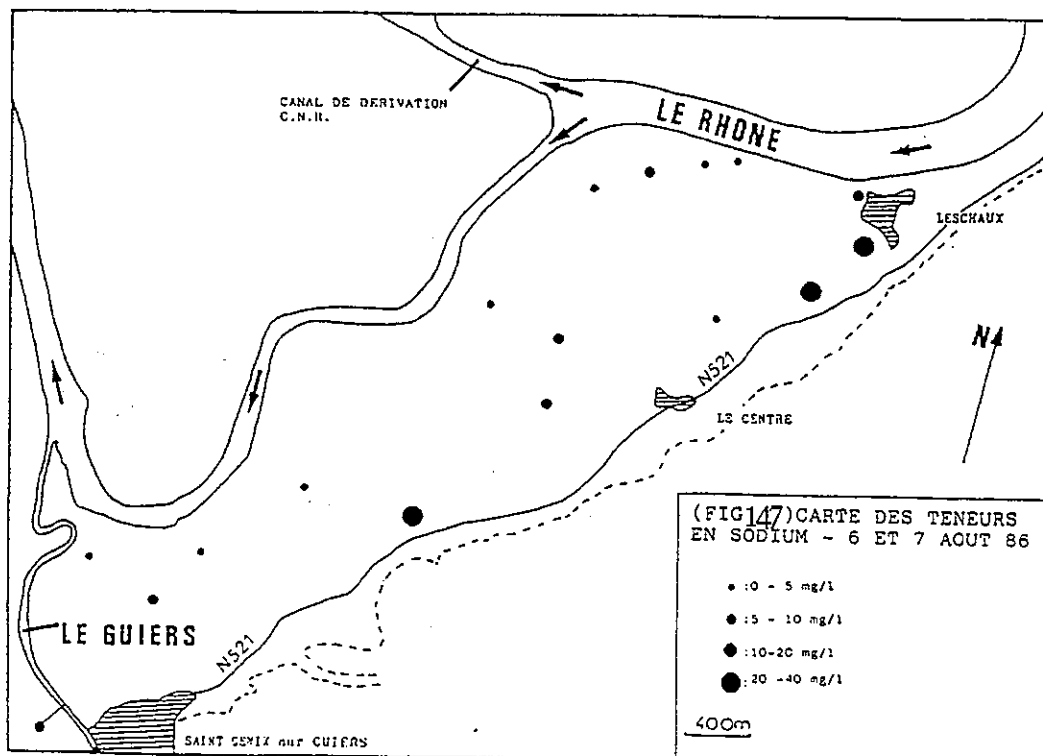
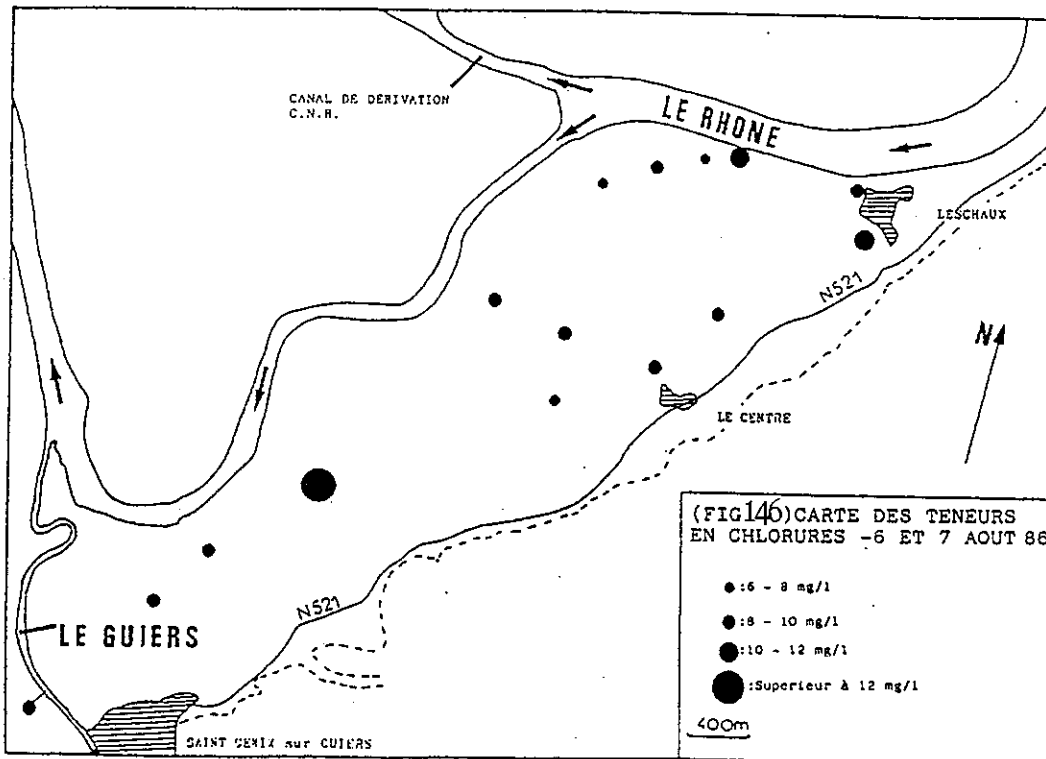
Les phénomènes de modification de concentration liés à la présence d'argile dans les sédiments alluviaux sont occultés par l'apport de cette saumure répandue sur les chaussées et qui s'in-filtre dans la nappe lors du lessivage des routes par les précipitations.

Elle provoque encore au mois d'Août des concentrations importantes dans les eaux des piezomètres et des puits proches de la route.

Les teneurs en sodium dépassent 50 mg/l pour le piezomètre 3 P 18, ainsi que pour le puits privé de Monsieur BATELIER prélevé en août 1985 (X : 84,10, Y : 863,35, Z : 224)

Les teneurs en chlorures pour ces mêmes points sont respectivement de 13 mg/l et de 87 mg/l.





Ces constatations ainsi que l'étude que nous avons effectuée sur les eaux du Karst s'opposent formellement à l'hypothèse publiée dans "Etude de l'évolution de la qualité physico-chimique de la nappe de la Balme" (1985) qui en se basant sur l'élévation anormale du taux de chlorures dans le secteur du P 155 par rapport au autres points de mesures, l'interprétait comme "des apports provenant probablement du Mont Tournier (qui) modifient fortement les teneurs en sodium et chlorures."

4 - EVOLUTION DES CONCENTRATIONS DANS LE TEMPS

Des prélèvements mensuels furent effectués de Janvier 1985 à Mai 1986.

Afin d'éviter les problèmes évoqués en début de chapitre, nous avons prélevé uniquement nos échantillons dans des puits ou forages souvent utilisés.

4.1. Le Secteur Amont (FIG. 148 , 149 , 150)

Les trois puits sont disposés selon une ligne Nord-Sud : le FP₁₂ et FP₁₁ sont situés à l'amont de la nappe, le FP₉ à l'aval. Celui-ci correspond à la station de pompage communale qui est protégée par des périmètres de protection.

4.1.1. Observations et interprétations

● La comparaison des teneurs et des évolutions des différents ions analysés pour ces trois points de prélèvements nous montre :

- * une concentration en bicarbonates qui augmente ainsi que la dureté des eaux de l'amont vers l'aval. La concentration en magnésium reste semblable, sans fluctuation importante.
- * une différence des concentrations en sulfates inexistante en 1985, très faible en 1986.
- * une teneur faible et constante en potassium, avec des valeurs minimales pour le FP 9.
- * des concentrations en nitrates modestes : elles sont semblables pour les deux puits situés dans le village. Le FP 9 présente une teneur plus faible.
- * une teneur importante en chlorures pour le FP 12 qui augmente durant les deux hivers. Le pic de l'hiver 1986 se retrouve avec un décalage de trois mois dans l'évolution des concentrations en sodium de ce même puits alors qu'elles étaient de même ordre auparavant pour les trois points d'étude.

- Ces variations peuvent être interprétées comme suit :

- L'alimentation de la nappe qui s'effectue à partir du Rhône dans un sens Nord-Sud provoque l'augmentation des teneurs des principaux ions (HCO_3^- et Ca^{++}) en raison de leurs fortes proportions dans les sédiments et de l'agressivité des eaux du Rhône.

La concentration constante en magnésium des eaux de la nappe, semblable à celle des eaux du Rhône, permet de supposer une teneur trop faible dans les sédiments alluviaux pour qu'elle puisse enrichir les eaux lors de leurs transits.

- Les sulfates semblent être absorbés très rapidement : absence de gradient de concentration.

- Les nitrates et le potassium sont liés à l'activité humaine qui influence légèrement les puits du village. Le F.P. 9 situé plus à l'écart présente de faibles teneurs.

- Le lessivage des chaussées provoque des infiltrations massives de sodium et de chlorures à leurs voisinages. Le F.P. 12 témoigne d'une sensibilité plus importante.

Les chlorures migrent plus rapidement et diffusent de façon homogène : les points de mesure présentent tous des concentrations supérieures à 5mg/L.

Le sodium semble diffuser plus lentement : seul le F P 12 montrait au mois de Mai une augmentation de concentrations.

- Le forage le moins minéralisé (F P 11) subit les plus faibles fluctuations, alors que le F P 12 (distant de moins de 100 mètres du précédent) présente de fortes variations de concentrations.

Cette différence de comportement doit provenir de l'hétérogénéité du remplissage alluvial.

Le piezomètre F P 11 est implanté dans un secteur où les éboulis provenant des versants doivent s'imbriquer dans les formations alluviales.

La faible minéralisation de ses eaux provient d'une relation rapide avec le Rhône, qui permet cependant de faibles variations de ses caractères chimiques et une filtration suffisante pour qu'aucune pollution bactériologique n'y soit détectée.

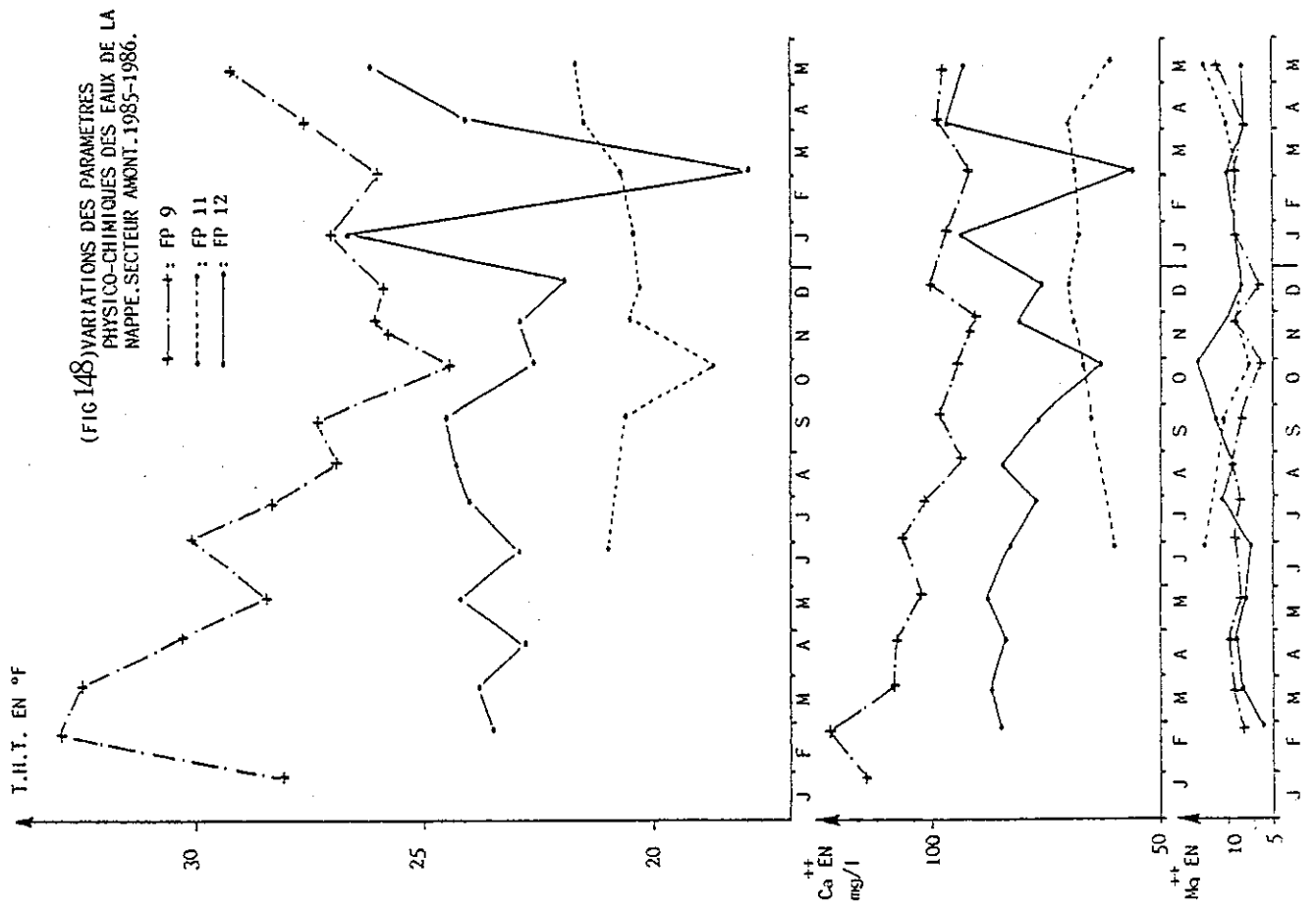
4.1.2. Conclusion

Les observations mensuelles confirment et précisent les différentes influences observées lors de l'établissement des cartes de composition chimique des eaux de la nappe au mois d'Août.

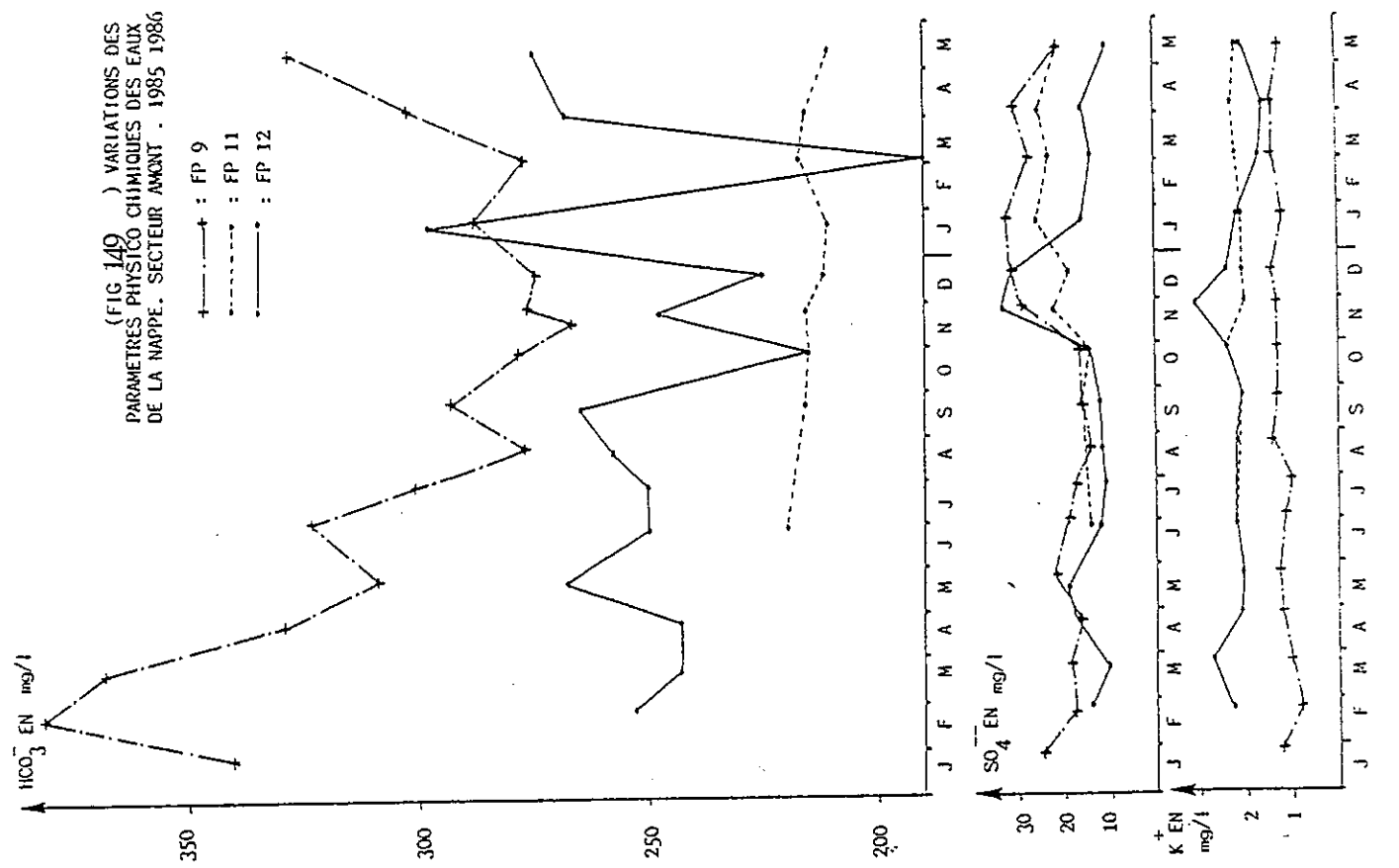
L'alimentation s'effectue totalement à partir du Rhône dont les eaux lors de leurs transits dans les alluvions s'enrichissent en bicarbonate et en calcium.

L'augmentation des teneurs en nitrates et en potassium se limite au village, elle montre une faible pollution par les eaux

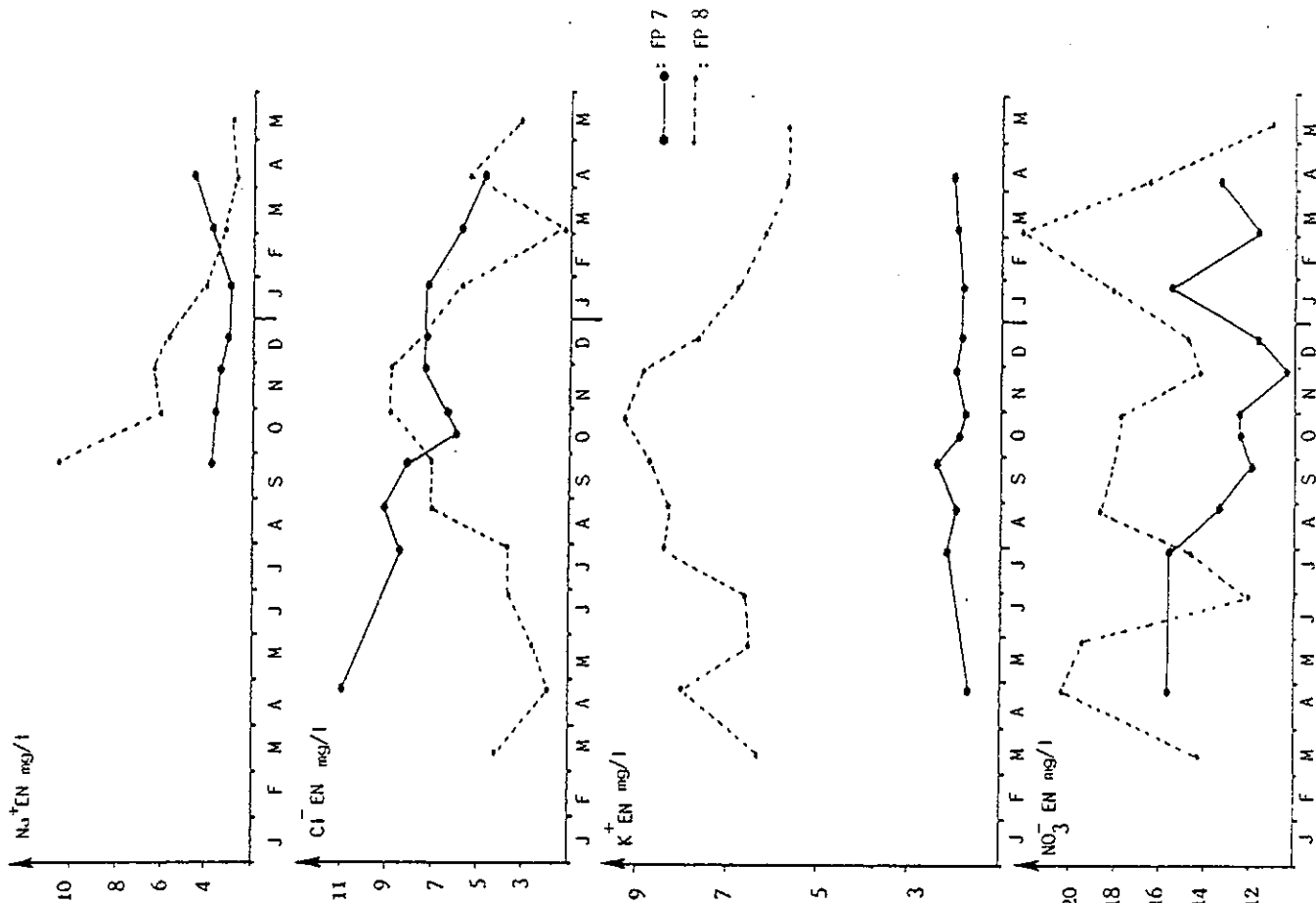
(FIG 148) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHEMIIQUES DES EAUX DE LA NAPPE. SECTEUR AMONT. 1985-1986.



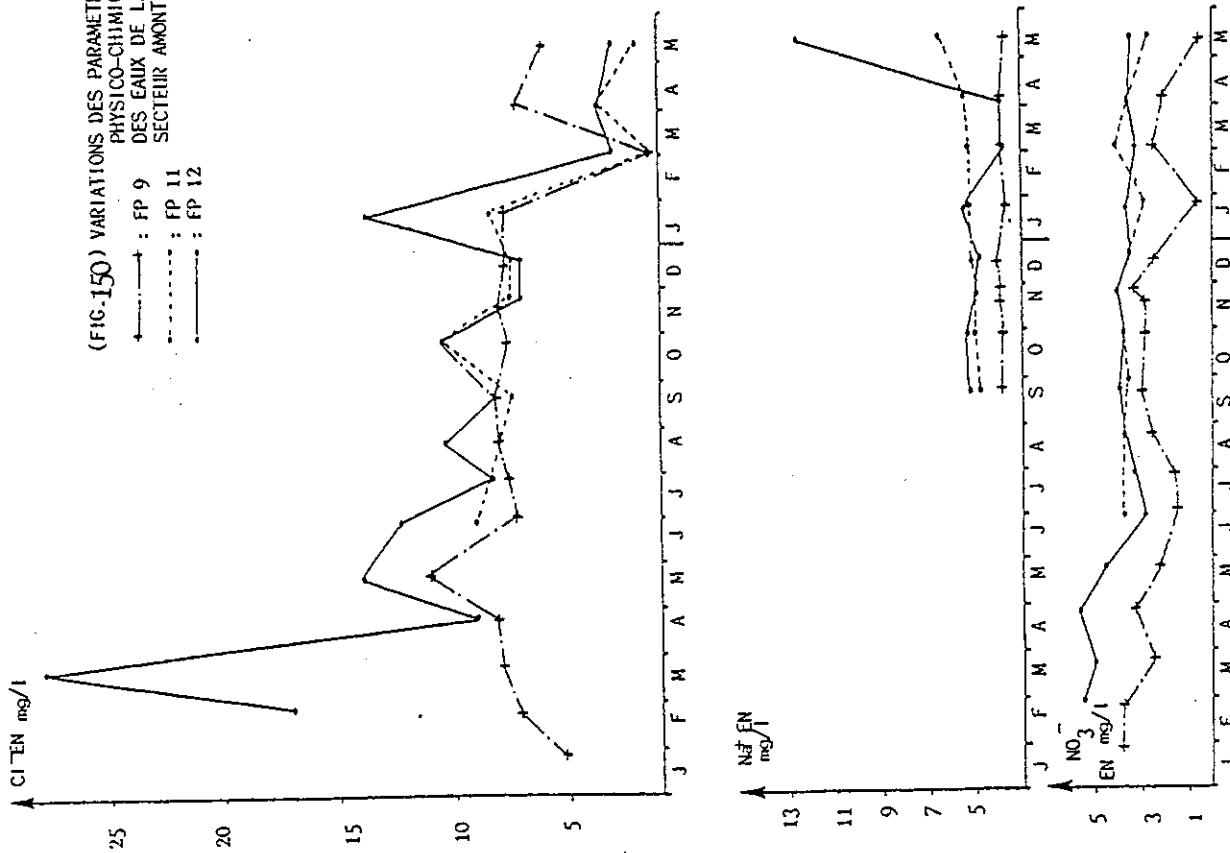
(FIG 149) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO CHEMIIQUES DES EAUX DE LA NAPPE. SECTEUR AMONT . 1985 1986 .

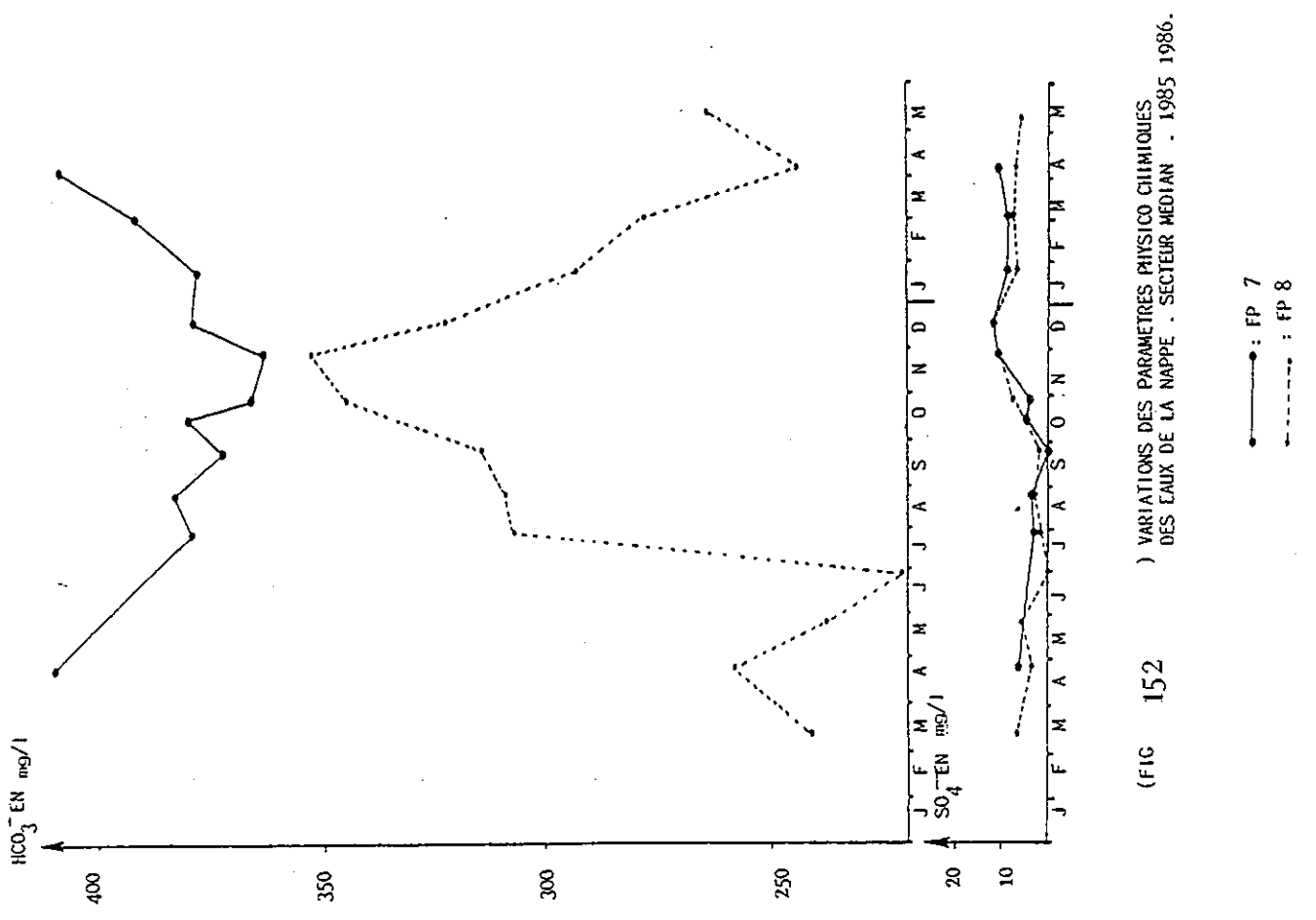
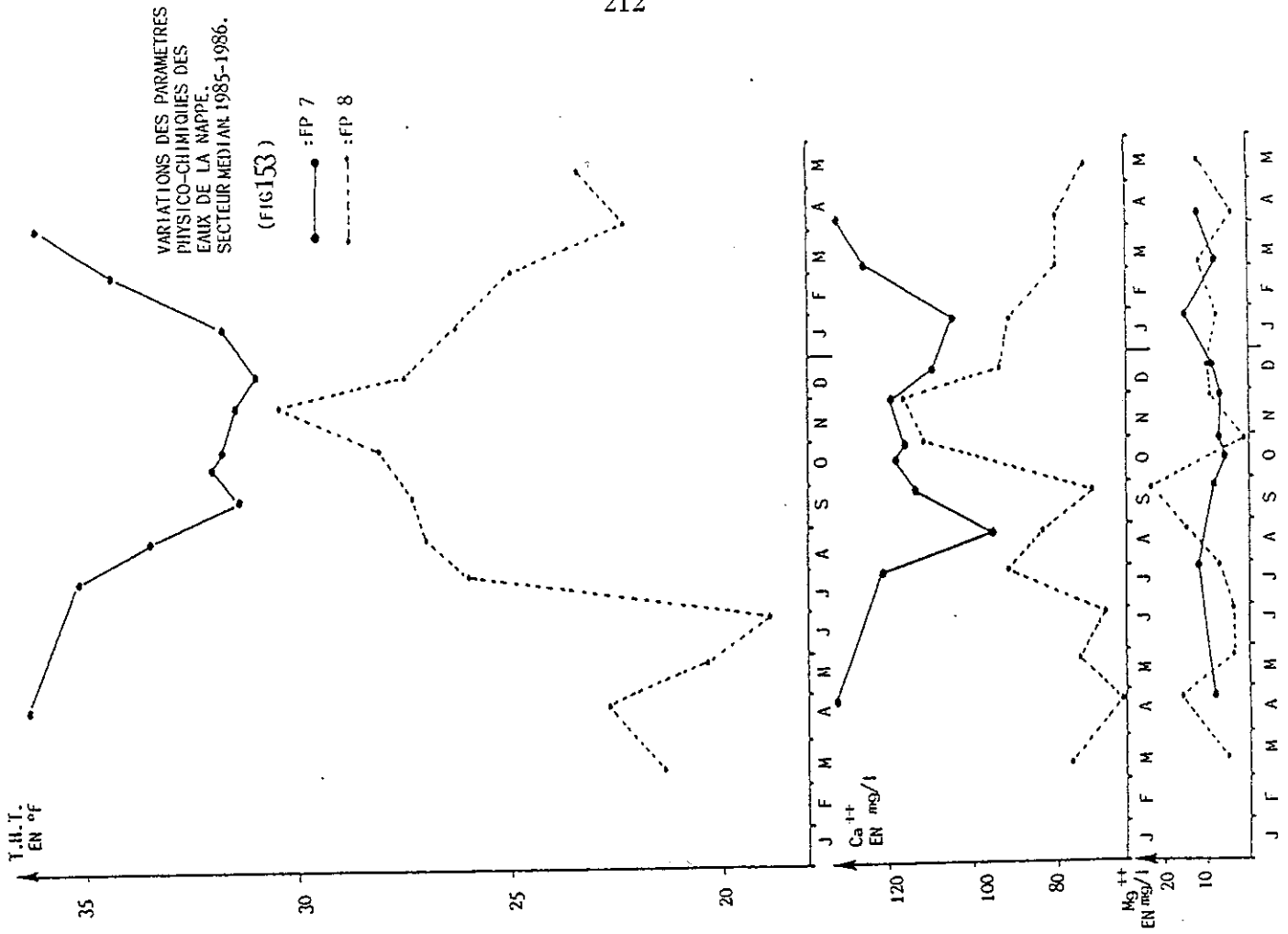


(FIG.151) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE. SECTEUR MEDIAN. 1985-1986.



(FIG.150) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE SECTEUR AMONT. 1985-1986.





(FIG 152) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO CHEMIIQUES
DES EAUX DE LA NAPPE - SECTEUR MEDIAN - 1985 1986.

usées dans ce secteur.

Le sel répandu sur la chaussée se retrouve dans l'eau de la nappe.

Un cycle de minéralisation (HCO_3^- et T.H.T.) se manifeste plus particulièrement pour le F P 9 avec des concentrations minimales d'Août 1985 à Mars 1986. Il coïncide avec la période de basses eaux de la nappe phréatique dans ce secteur.

4.2. Le secteur médian (FIG 151, 152, 153)

Les qualités chimiques des eaux furent suivies aux forages :

- * F P 7 : implanté au coeur de la nappe en aval du village des " Chatelains ", il est entouré par des exploitations agricoles.
- * F P 8 : situé près des versants et donc de la route nationale, il est entouré par des habitations avec une activité de paturage en amont.

4.2.1. Observations - Interprétations

Nous remarquons une très nette opposition de comportement des concentrations en bicarbonates, calcium et magnésium des eaux des deux puits durant la période d'étude.

Le F P 7 présente des minima des valeurs de T.H.T., et de concentration en HCO_3^- de Septembre à Janvier, alors que durant cette période le F P 8 présente des maxima.

La concentration en magnésium des eaux du puits F P 7 est pratiquement constante autour d'une valeur moyenne de 10 mg/l. Le puits F P 8 présente de fortes variations de teneur en magnésium avec un maximum de 23 mg/l en Septembre. Ces augmentations coïncident avec une diminution des teneurs en calcium.

Le T.H.T. et les bicarbonates fluctuent de façon nettement plus importante pour le puits installé près des versants que pour celui implanté au coeur de la nappe.

Les particularités de variations de minéralisation, relevées pour le puits F P 8 ressemblent aux réactions du système karstique.

Elles permettent de confirmer l'hypothèse émise lors de l'étude des cartes chimiques d'une alimentation en provenance des versants et dont les caractéristiques chimiques principales permettent de l'attribuer à une origine karstique.

L'évolution de la minéralisation (HCO_3^- , Ca^{++} , et Mg^{++}) présente un décalage des minima de l'ordre de trois mois avec celle des eaux du Karst. Nous avons observé la même valeur de

décalage entre les cartes piézométriques du mois de Mai qui montraient l'alimentation d'une partie de la nappe par les versants et celle du mois d'Août où ce type d'alimentation n'était pas visible bien que les cartes chimiques montrent des caractéristiques d'alimentation par les versants.

Les teneurs en ions secondaires (Na^+ , Cl^- , K^+ , NO_3^-) sont importantes pour les deux puits, le F P 7 présente les valeurs les plus élevées en potassium, nitrates et sodium, avec un pic des concentrations en chlorures associé à celui du potassium.

4.2.2. - Conclusion

La situation du puits F P 7 dans un environnement défavorable entraîne des pollutions chimiques et organiques d'origine agricoles et humaines (Les analyses bactériologiques pratiquées sur les eaux de ce puits concluent à la présence de germes fécaux).

Ces apports pollués se greffent à l'alimentation provenant du massif karstique du Mont Tournier.

Les analyses mensuelles ont permis de préciser l'origine des apports modifiants les cartes chimiques au voisinage des versants.

4.3. Le Secteur aval (FIG.154,155,156,157)

Quatre puits furent surveillés :

- * F P 1 : proche du Guiers, il alimente une ferme.
- * F P 2 : entre St Genix sur Guiers et le Rhône, il est utilisé par la ville pour son alimentation en eau potable.
- * F P 3 : Au nord du village du "Centre ", deux habitations l'entourent.
- * F P 5 : près du Rhône, il est situé dans la partie amont du village de "Leschaux".

4.3.1. les variations chimiques des eaux du puits F P 5 (Rhône)

Les eaux de ce puits, implanté près du Rhône, présentent des variations importantes de dureté et de teneurs en bicarbonates avec des minima respectifs de $23,2^\circ \text{F}$ et de 253 mg/L à la fin de l'année 1985, soit un décalage de trois mois avec ceux du Rhône.

La baisse des teneurs en calcium relevée au mois d'août 1985 est compensée par une augmentation de la concentration en magnésium. Cette diminution pourrait être liée à celle que subissait en juillet le Rhône qui ne présente cependant pas de modification de ses teneurs en magnésium.

Le Pic des teneurs en sulfates enregistré sur les eaux du Rhône en Novembre et Décembre, se retrouve à la même période mais de plus faible importance sur les eaux de la nappe.

Les teneurs en potassium fluctuent en synchronisme avec les teneurs en chlorures :

Elles présentent deux maxima, l'un en janvier, l'autre en Avril qui correspondent aussi à des brusques élévations des teneurs en nitrates.

Ces variations sont certainement provoquées, de par la situation du puits dans un secteur maraîcher, par l'arrivée de produits de décomposition d'engrais et de traitements agricoles (chlorate de potassium azoté ?) dans la nappe.

La concentration en sodium évolue entre 4,5mg/L en septembre et 7,8mg/L en janvier sans qu'il soit possible d'attribuer une cause particulière à cette faible variation.

4.3.2. Les variations chimiques des eaux du puits F P 1 (Guiers)

En raison de la proximité du Guiers, nous avons essayé de comparer son évolution chimique avec celle de la rivière

Les eaux de ce puits possèdent les plus faibles concentrations d'ions principaux (HCO_3^- et Ca^{++}) des quatre points étudiés dans ce secteur.

Le T.H.T. et le T.A.C. fluctuent de concert durant les mois d'hiver et de printemps, une opposition apparaît dans les évolutions des taux de calcium et de magnésium des eaux : une baisse du calcium est compensée par une augmentation du magnésium.

La valeur moyenne des teneurs en sulfates s'établit à 9 mg/L, soit une valeur légèrement supérieure à celle du Guiers (7mg/L).

Les minima sont observés durant l'été, à l'inverse des eaux du Guiers.

Le sodium reste à une concentration faible et constante (inférieure à 5 mg/L).

L'évolution des teneurs en chlorure semble être différente selon les années : en 1985 le mois de février correspond à la plus forte teneur annuelle (13 mg/L) alors qu'en 1986 il présente la plus faible teneur (4mg/L).

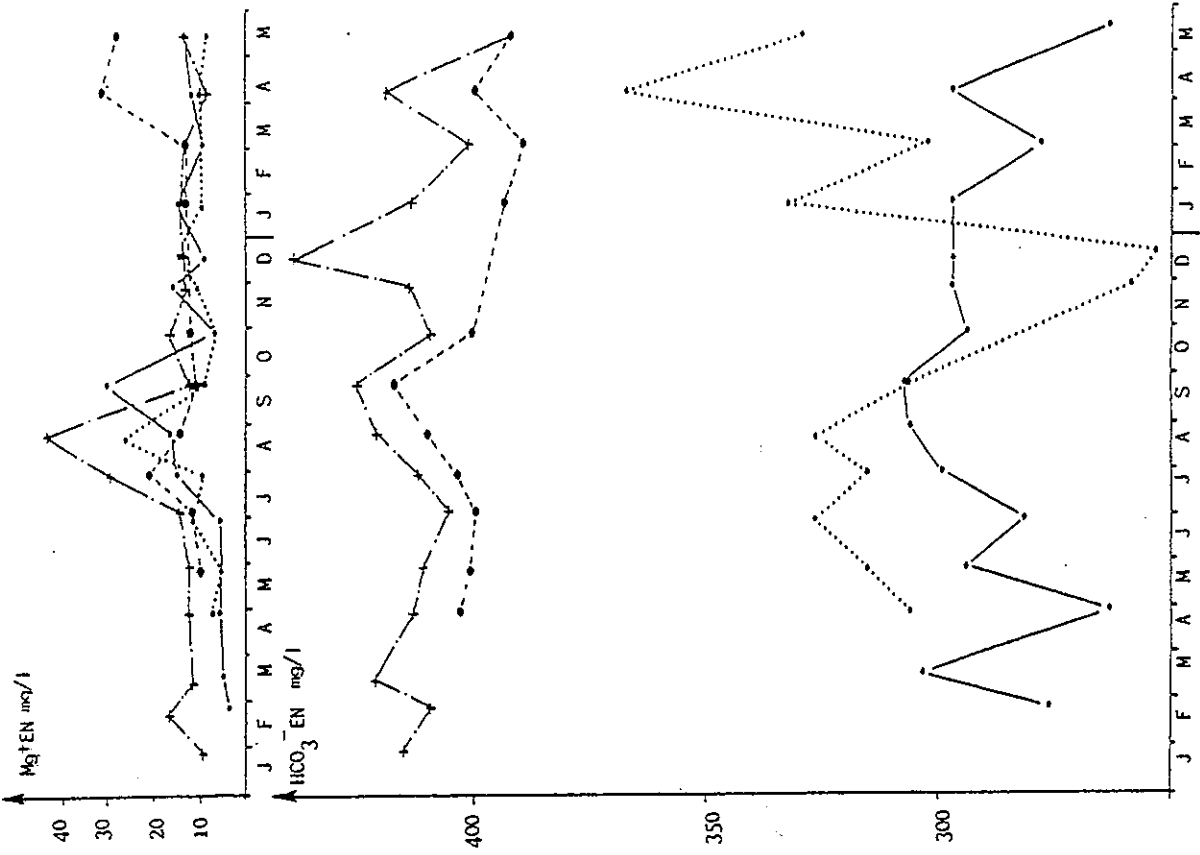
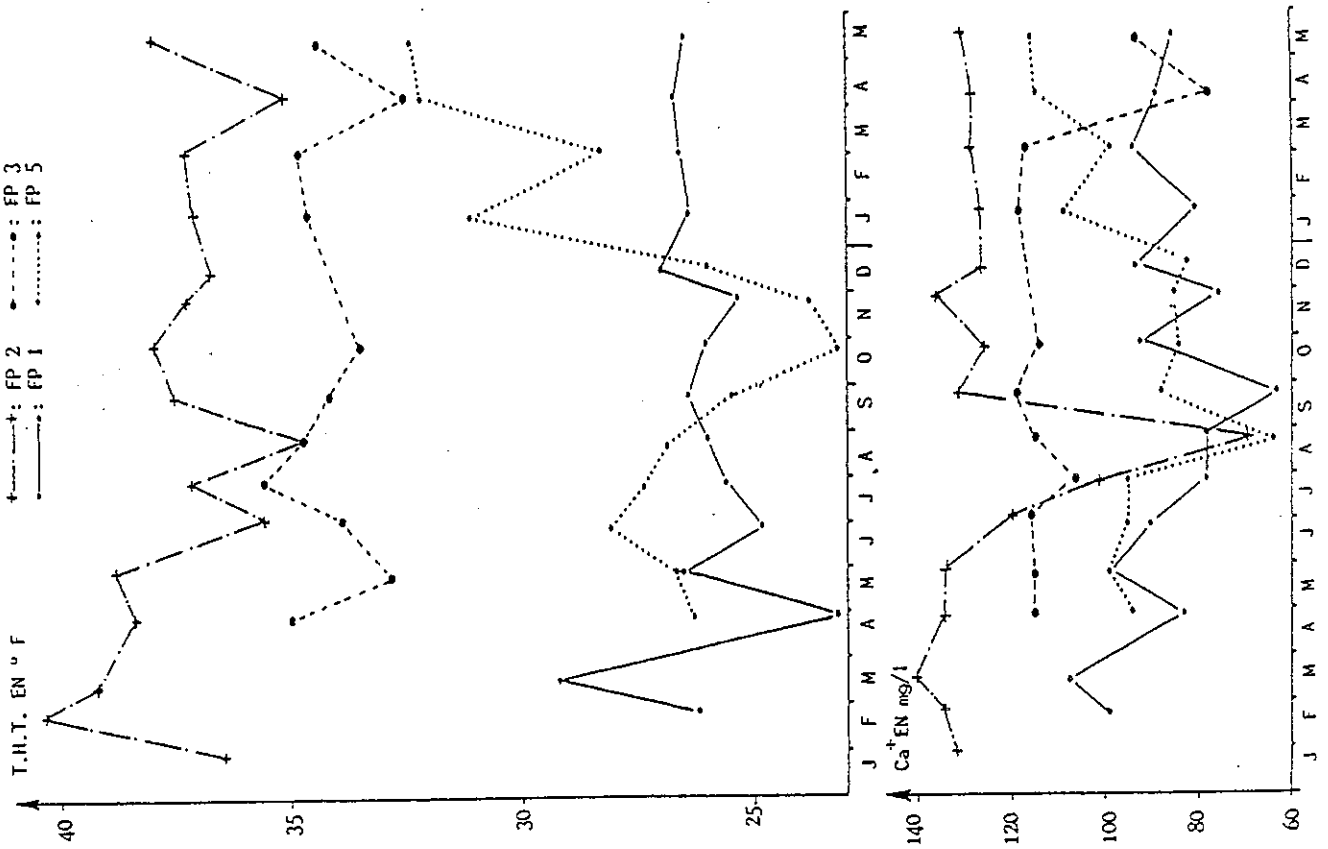
Les valeurs de potassium sont constantes sur la période d'étude (\bar{x} : 3 mg/L, σ = 0,4 mg/L).

Les teneurs en nitrates augmentent chaque printemps dont un maximum relevé le 13 Mai 1986 de 20 mg/L.

4.3.3. Les variations chimiques au coeur de la nappe

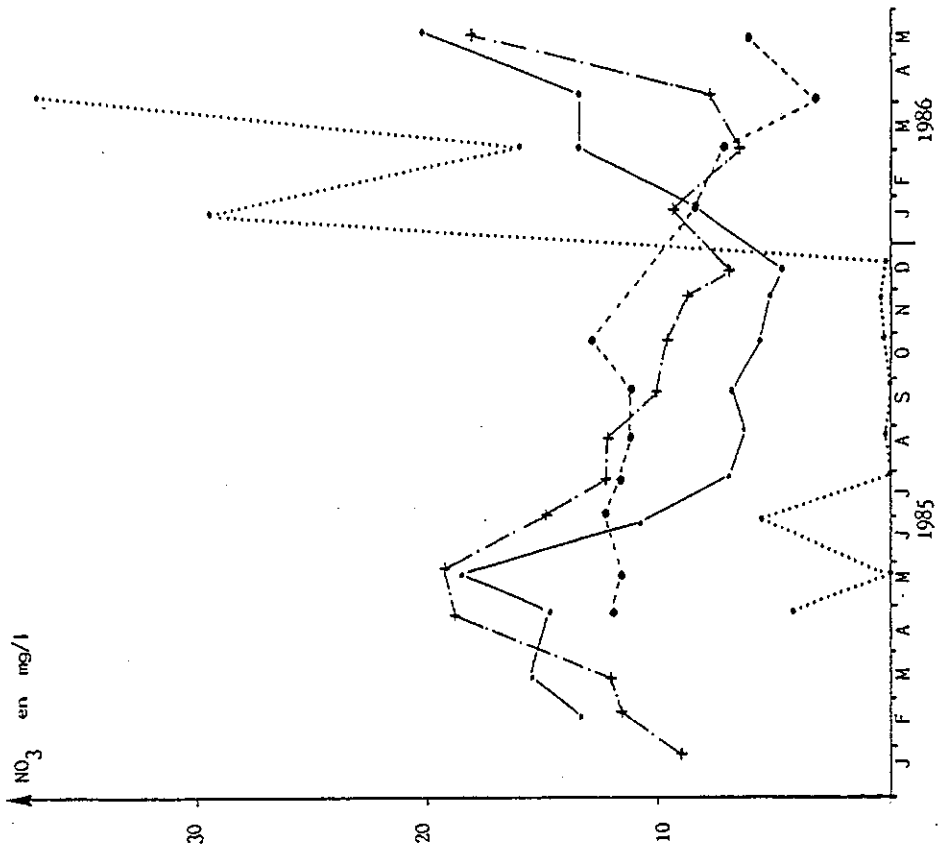
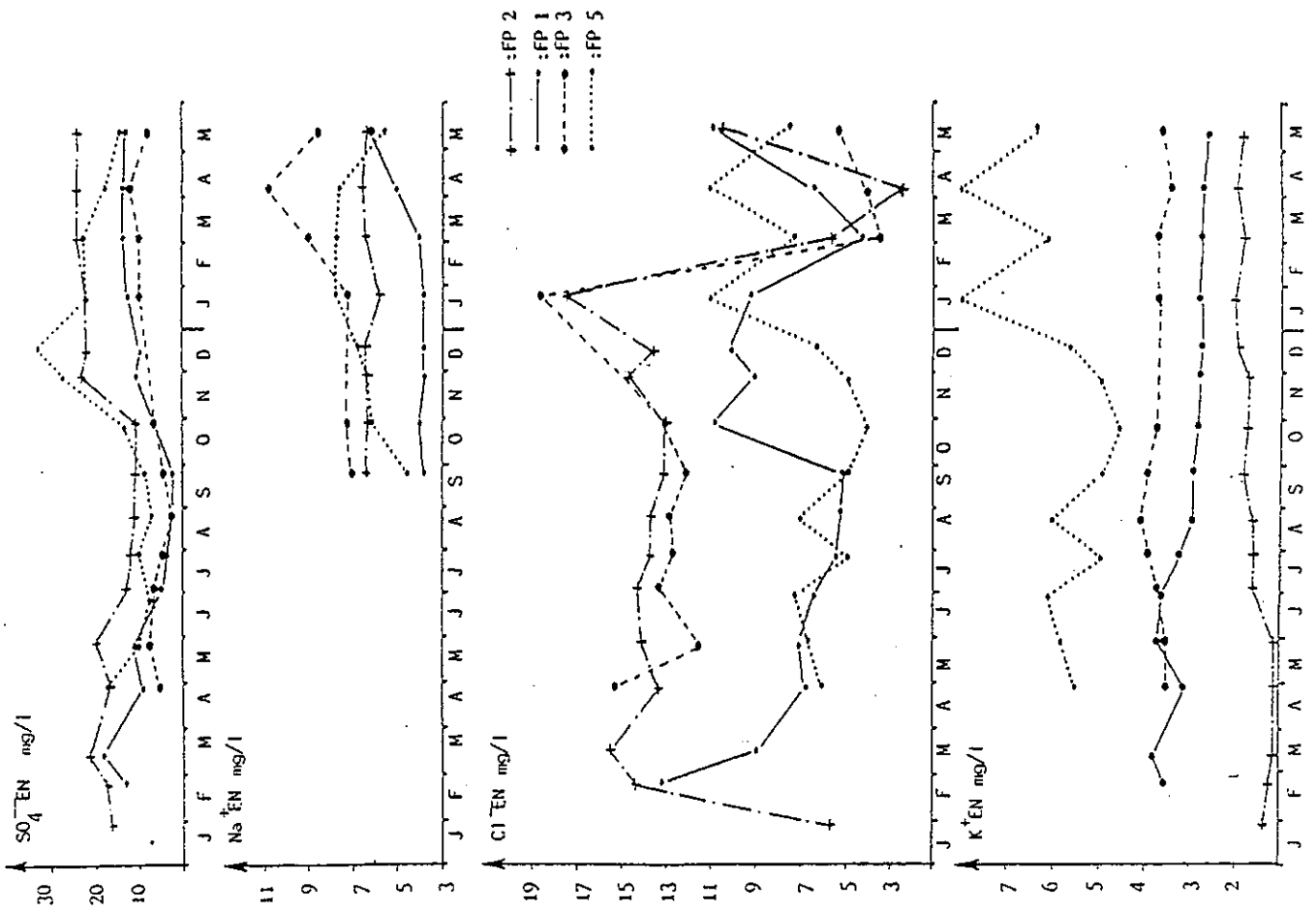
Les deux puits FP 2 et P F 3 possèdent les eaux les plus dures et les plus chargées en bicarbonates avec de faibles

(FIG. 154) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE - SECTEUR AVAL - 1985 1986



(FIG. 155) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE SECTEUR AVAL - 1985-1986.

(FIG 150) VARIATIONS DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE LA NAPPE. SECTEUR AVAL. 1985-1986



(FIG 157) VARIATIONS DES TENEURS EN NITRATES DES EAUX DE LA NAPPE SECTEUR AVAL. 1985 1986.

- FP 2
- FP 1
- FP 3
- FP 5

amplitudes de variations.

Les valeurs moyennes sont :

* <u>F P 2</u> :	T.H.T. = 34, 1 ° F, σ = 0,9 ° F.
	HCO_3 = 401 mg/L, σ = 7,4 mg/L
* <u>F P 3</u> :	T.H.T. = 37, 3 ° F, σ = 1,4 ° F
	HCO_3 = 414 mg/L, σ = 10,2 mg/L

Nous constatons une diminution des teneurs en calcium avec une élévation des teneurs en magnésium durant l'été 1985 pour les eaux prélevées dans le puits FP 2, au printemps 1986 pour le F P 3.

Ces deux puits présentent sur la majeure partie de cette étude, une teneur en chlorures importantes et semblable ($\bar{X}_{\text{FP2}}=11,9\text{mg/L}$; $\bar{X}_{\text{FP3}}=11,1\text{mg/L}$) qui chute durant le mois de Février 1986.

Les teneurs en nitrates du F P 2 présentent un pic au printemps 1985 qui semble se renouveler en 1986, alors que le F P 3, voit la concentration en nitrates de ses eaux diminuer progressivement.

Le potassium a une concentration constante durant l'année, elle est plus élevée pour le puits FP 3 ($\bar{X}_{\text{FP3}}=3,7\text{mg/L}$)

Le puits situé près du village du centre (F P 3) possède les teneurs les plus faibles en sulfates (inférieures à 10 mg/L)

4.3.4. Interprétation conclusion

En raison de leur situation au coeur de la nappe qui permet un amortissement des fluctuations chimiques des apports extérieurs ainsi qu'un temps de transit important, les eaux des puits F P 2 et F P 3 acquèrent une forte minéralisation constante.

La teneur élevée en chlorures relevée sur ces deux puits, situés pourtant à l'écart immédiat de toutes routes subissant un salage en hiver, témoigne des facilités de migration de cet ion qui se concentre de l'amont vers l'aval.

Dans le secteur influencé par le Rhône (Leschaux), les eaux de la nappe subissent avec un amortissement les fluctuations des teneurs des principaux éléments chimiques du fleuve.

Le puits à proximité du Guiers (F P 1) subit son influence lors de la période de crue en hiver. L'été le caractère incrustant des eaux du Guiers (pH mesurée supérieur au pH d'équilibre du bicarbonate de calcium) freineses infiltrations à partir de son lit : le caractère très minéralisé de ses eaux durant cette période ne se répercute pas sur la qualité chimique de la nappe.

Les fortes teneurs en nitrates simultanément relevées aux puits F P 1 et F P 2 dans la région de St Genix sur Guiers au printemps, doivent provenir d'amendements agricoles réalisés dans ce secteur.

Les teneurs en potassium sont plus importantes près des habitations et restent constantes. Des apports continus d'eaux

usées les provoquent, sauf à Leschaux où des augmentations simultanées en K, Cl et No_3 mettent en évidence une pollution induite par un traitement agricole.

En relation avec le faible taux de nitrates et de potassium relevé au puits F P 3, il n'a jamais été mis en évidence une pollution bactériologique lors des prélèvements mensuels.

5 - CONCLUSION

=====

L'étude de la chimie des eaux de la nappe dans l'espace et dans le temps, nous a permis de confirmer et de préciser les alimentations différentes qu'elle subit dans les différents secteurs : alimentations détectées lors de l'étude piézométrique.

- Le secteur amont est caractérisé par une alimentation provenant du Rhône court circuité qui provoque une augmentation de la minéralisation vers le coeur de la nappe.

Dans la partie aval une influence provenant de ses berges se remarque.

- Le secteur médian subit une double alimentation : l'une en provenance du Rhône, l'autre provient des versants du Mont Tournier et apparait d'origine karstique.

- Le secteur aval : sa nappe est alimentée par les versants molassiques ce qui provoque une forte minéralisation des eaux.

Le Rhône joue un rôle dans le secteur de Leschaux avec une anomalie en face du canal de dérivation qui pourrait marquer la trace d'un ancien méandre facilitant le transit des eaux.

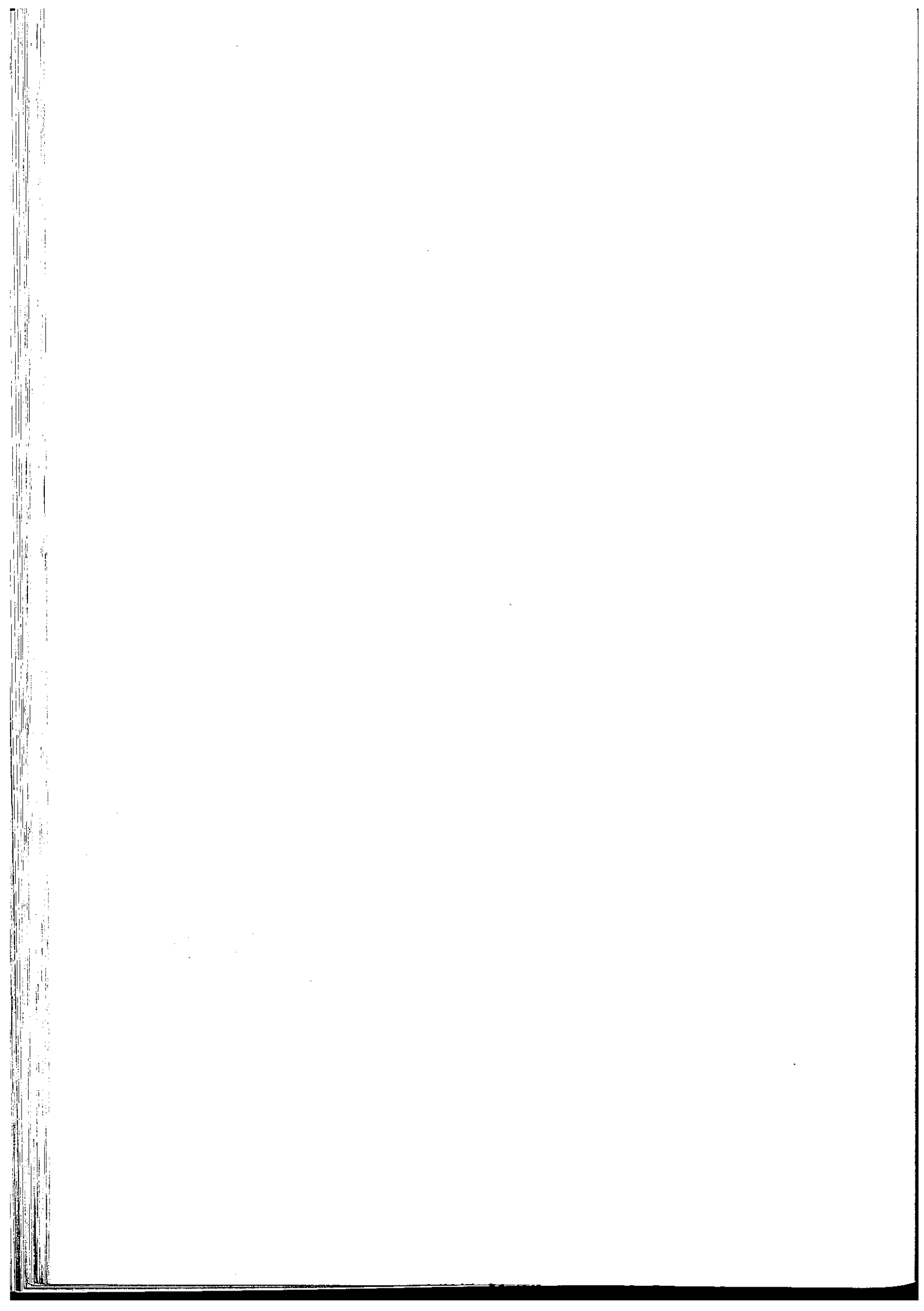
Le Guiers influence peu la nappe en raison d'un débit modeste par rapport à celui du Rhône mais aussi par le caractère incrustant de ses eaux en étiage qui diminue les communications entre son lit et la nappe.

La nappe présente une fragilité de sa qualité chimique naturelle.

Elle subit : *

- * une pollution de nitrates provenant d'une activité agricole intense, mais aussi des rejets d'eaux usées des habitations. Celles-ci provoquent une élévation des teneurs en potassium.
- * en provenance de la "route nationale " qui la borde à l'est, une arrivée de sodium et de chlorure.

La qualité bactériologique des eaux semble encore bonne, à condition de s'éloigner suffisamment des hameaux et des zones de pâturages pour que la filtration naturelle par les alluvions puisse être efficace.



CHAPITRE 9

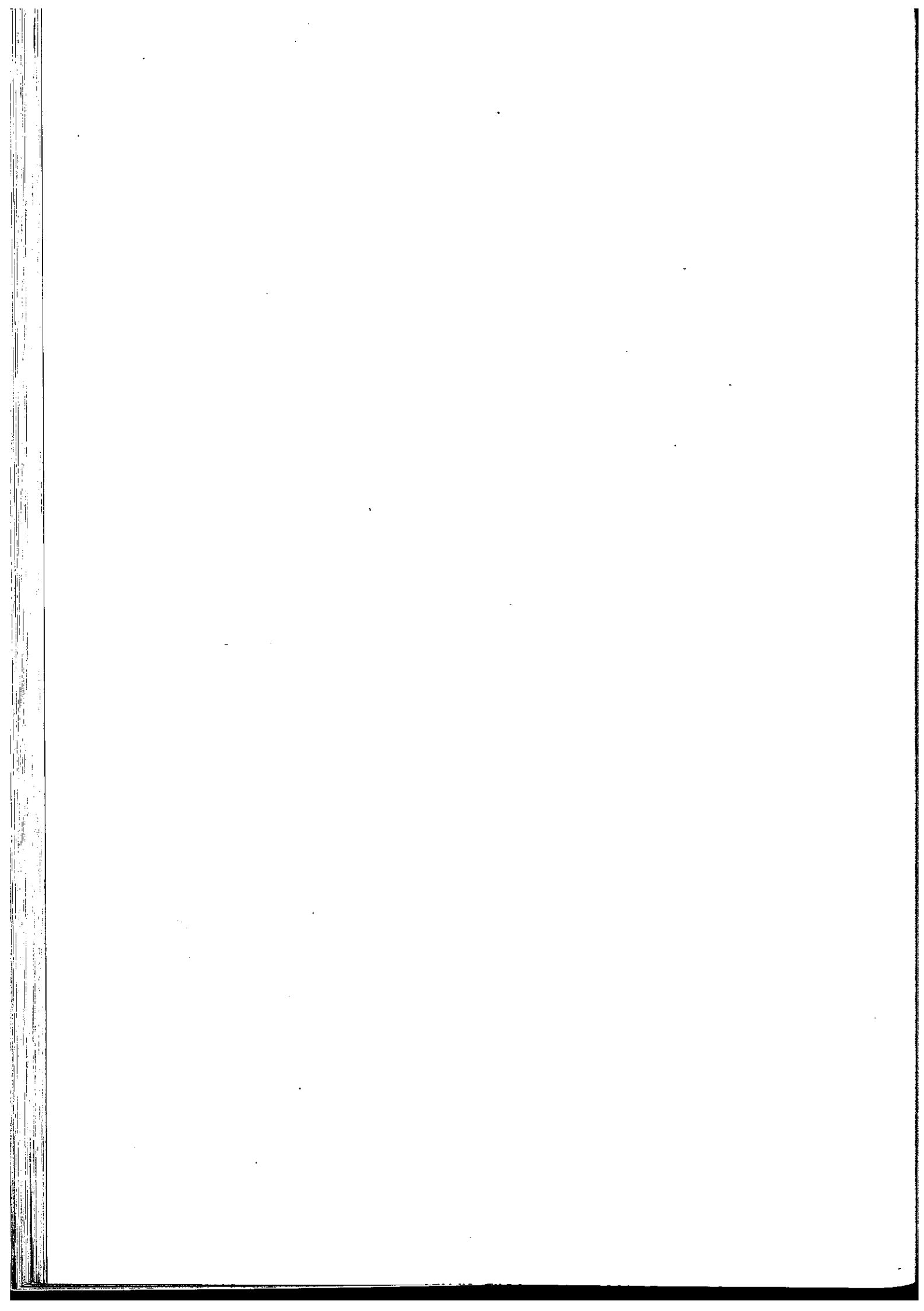
ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

1 - INTRODUCTION

2 - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

- 2.1. - En régime d'équilibre
- 2.2. - En régime de non-équilibre
- 2.3. - Détermination des coefficients de perméabilité
- 2.4. - Critique des résultats

3 - COMPARAISON DES RESULTATS SUIVANT LES SECTEURS D'IMPLANTATION- CONCLUSIONS



ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES.1 - INTRODUCTION

Quelques forages importants sont implantés sur des secteurs de notre étude afin de répondre à des besoins industriels, ou à l'augmentation de la consommation d'eau potable de communes dont les ressources gravitaires sont insuffisantes.

Ces forages ont fait l'objet d'essais de pompage avant leur emploi par les différents utilisateurs.

Nous avons pu obtenir les " comptes rendus " de ces essais sous la forme soit :

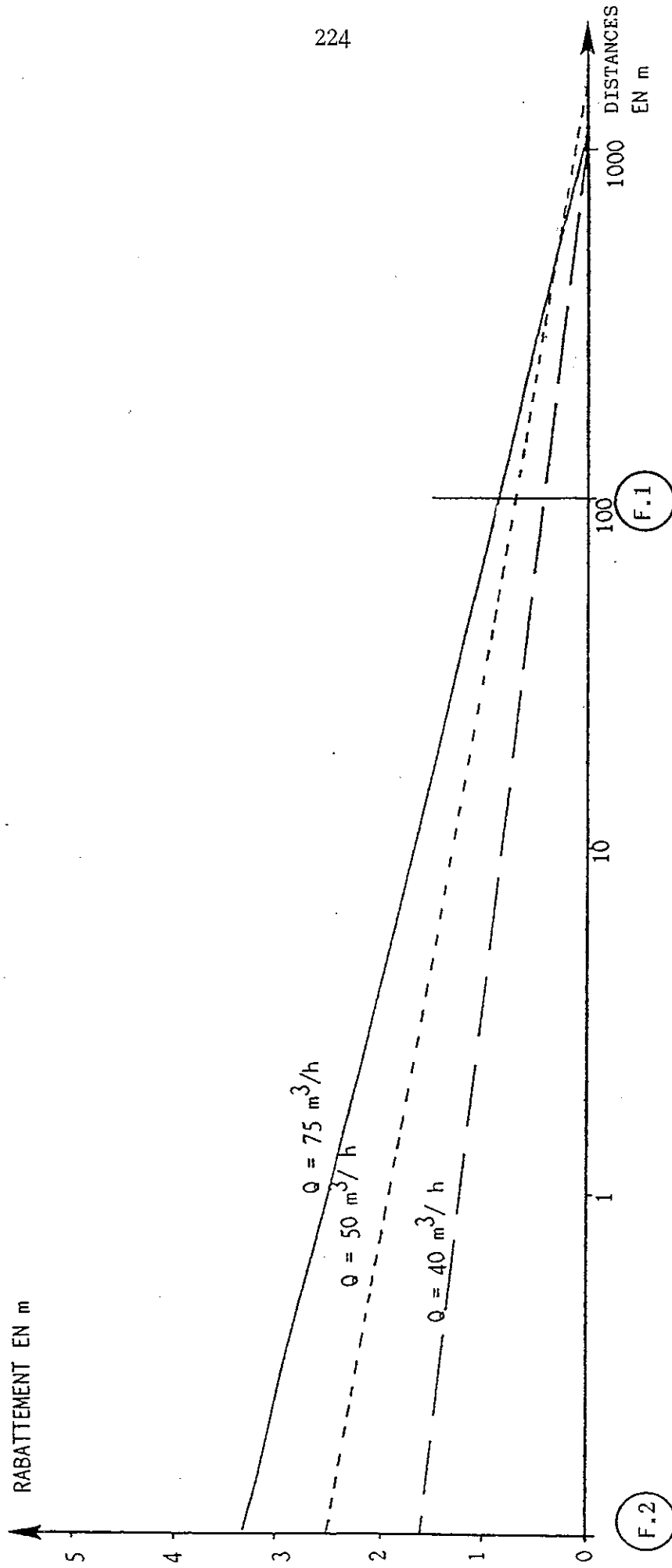
- * de résultats de mesures brutes (tableaux de pompage). Cas des forages utilisés par l'entreprise J.Blanchin sur la commune de Champagneux que nous avons alors interprétés selon diverses méthodes.
- * de résultats interprétés : cas des forages alimentant les communes de St Génix sur Guiers et de la Balme.

Les ouvrages étudiés sont définis dans le tableau ci-dessous (confer carte figure n°86).

Forages	Secteur	Date	Maître d'ouvrage	Maître d'oeuvre
F P 2	Aval	1974	SONDARALP	St Genix/Guiers
F P 9	Amont	1980	SONDALP	La Balme
F 1	Aval	1981	"	Ets J.Blanchin
F 2	"	1982	"	" "

Lors des essais de pompage, les niveaux piezométriques des forages sont restés à des côtes supérieures au mur de la formation superficielle argileuse (confer chapitre précédent) à l'exception de l'essai par paliers du 4,5 et 6 Mars 1981 sur le forage F₁ : Lors du débit final de pompage (115 m³/h) le niveau piezométrique est descendu à - 9,07 m par rapport au terrain naturel pour une épaisseur de limons argileux de 5,2 m.

La détermination des paramètres hydrodynamiques sera donc effectuée d'après les formules des nappes captives.



(FIG. 158) DROITES RABATTEMENTS/LOGARITHME DES DISTANCES
FORAGES F.1 , F.2 . SECTEUR AVAL ($r_{F.1}$ F.2 = 100 m)

2 - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

2.1. En régime d'équilibre

2.1.1. Méthode : Rabattements - logarithme des distances (Méthode de Thiem)

L'application des formules de Dupuit donne pour un piézomètre situé à une distance x de l'axe du puits, une valeur de rabattement (Δ) :

$$\Delta = \frac{0,366 Q}{T} \text{Log} \left(\frac{R}{x} \right)$$

Cette équation est de la forme $y = a \log(x)$, l'obtention de la valeur de T s'effectue par la méthode de résolution graphique suivante :

Sur un graphique semi-logarithmique, on porte en ordonnée les valeurs de rabattements et en abscisse le logarithme des distances ; ce qui permet de représenter la fonction $y = a \log(x)$ sous la forme d'une droite.

La pente de la droite (c) est égale à $\frac{0,366 Q}{T}$, elle représente la valeur du rabattement pour un cycle logarithmiques.

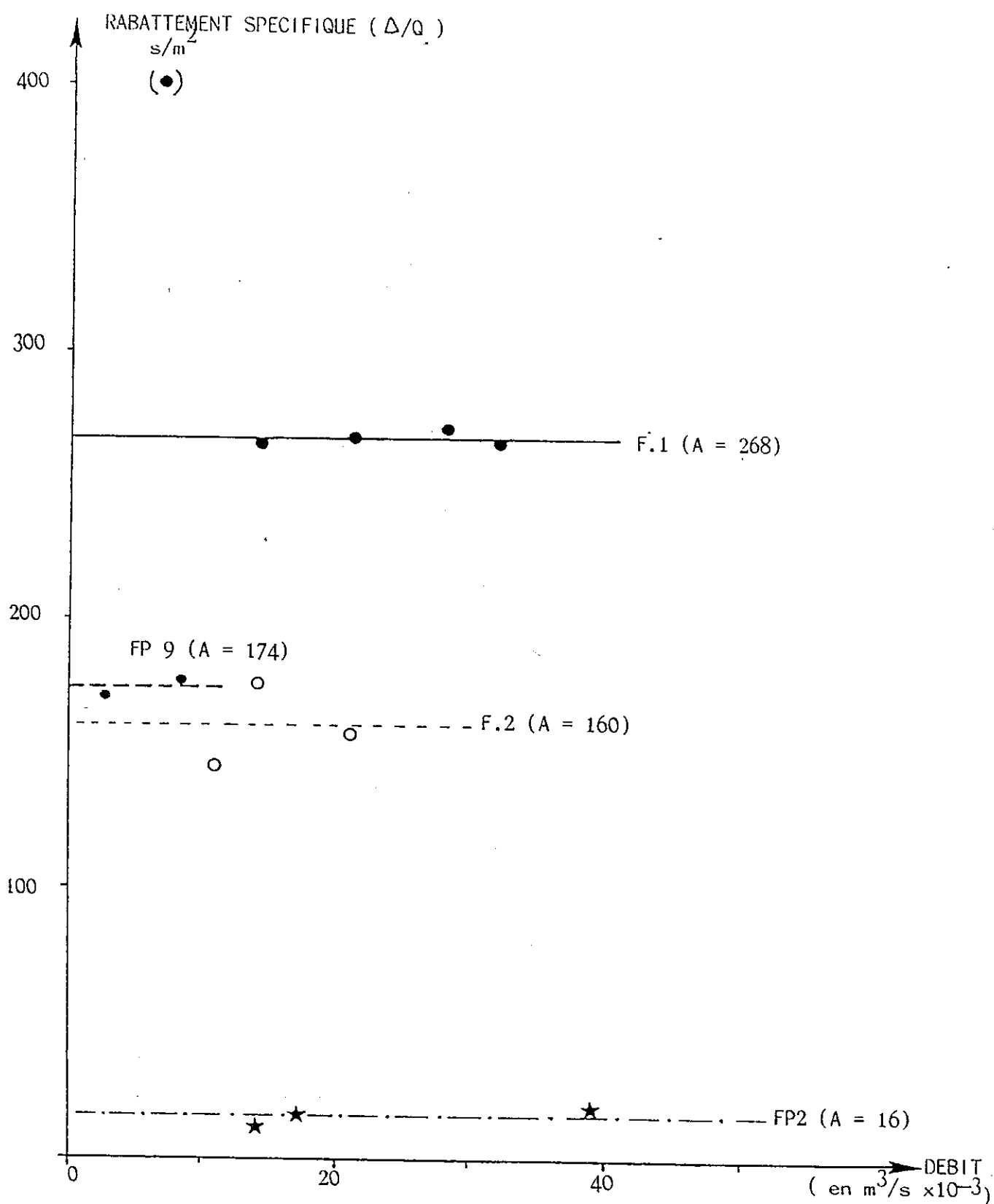
Nous avons reporté dans la figure n°158 les rabattements observés dans les forages F_1 et F_2 pour différents paliers de pompage effectués dans le forage F_2 .

Les trois paliers de pompage bien que de durées différentes (entre 3 et 12h) ont permis d'observer une stabilisation du niveau piézométrique dès la fin de la première heure de pompage.

Nous obtenons les résultats suivants :

Débit en m ³ /h	Rabattements en m		C	T en m ² /s	Rayon d'action fictif en m
	F ₂	F ₁			
40	1,60	0,40	0,40	10-2	1000
50	2,46	0,70	0,60	8,5.10-3	1500
75	3,30	0,80	0,83	9,6.10-3	1100

Pour les trois valeurs de débits de pompage, nous obtenons un même ordre de grandeur pour les valeurs de transmissivité et les valeurs du rayon d'action fictif du forage F_2 .



(FIG. 159) DROITES RABATTEMENTS SPECIFIQUES / DEBITS
DES FORAGES ENTRE LA BALME ET SAINT GENIX/GUIERS

2.1.2. Méthode Rabattements spécifiques - débits (Méthode de LOGAN)

2.1.2.1. - Rappel théorique

Les essais de pompages des forages cités en début de chapitre ont été conduits sans implantation de piezomètres d'observation permettant d'établir la relation " Rabattements-logarithmes des distances."

Cela nous a amené à utiliser la méthode d'approximation proposées par Logan :

A partir de la formule.

$$\textcircled{1} \quad T = \frac{2,3 Q \log R/r}{2 \pi \Delta} \quad R, r \text{ et } \Delta \text{ exprimés en mètres.}$$

avec R : rayon d'influence (= rayon du cône de dépression)

r : rayon du puits de pompage

Δ : rabattement maximal dans le puits de pompage.

Logan considère que même si R et r subissent de grandes variations, le logarithme de leur rapport reste faible "

Par conséquent, considérant les valeurs moyennes de ces deux rayons, l'auteur admet que la valeur de 3,3 constitue une bonne approximation du logarithme du rapport.

L'équation devient :

$$T = 1,22 Q/\Delta$$

$$\textcircled{2} \quad T = 1,22 / A \quad \text{avec } A : \text{rabattement spécifique} = \Delta/Q$$

La valeur de T n'est qu'une approximation pouvant donner des résultats ayant 50 % d'erreur ou même plus (in G.P. Kruseman et al.)

2.1.2.2. : Vérification des hypothèses simplificatrices

La formule simplifiée de Logan admet une valeur de rabattement spécifique (A) constante pour un forage donné . Elle signifie que les rabattements observés sont proportionnels aux débits.

Cela se vérifie lorsque l'on reporte les valeurs de rabattements en fonction des débits dans un graphique rabattement spécifique/débits, où nous obtenons pour chaque forage une droite d'équation $y = A$ parallèle à l'axe des débits (FIG.159)

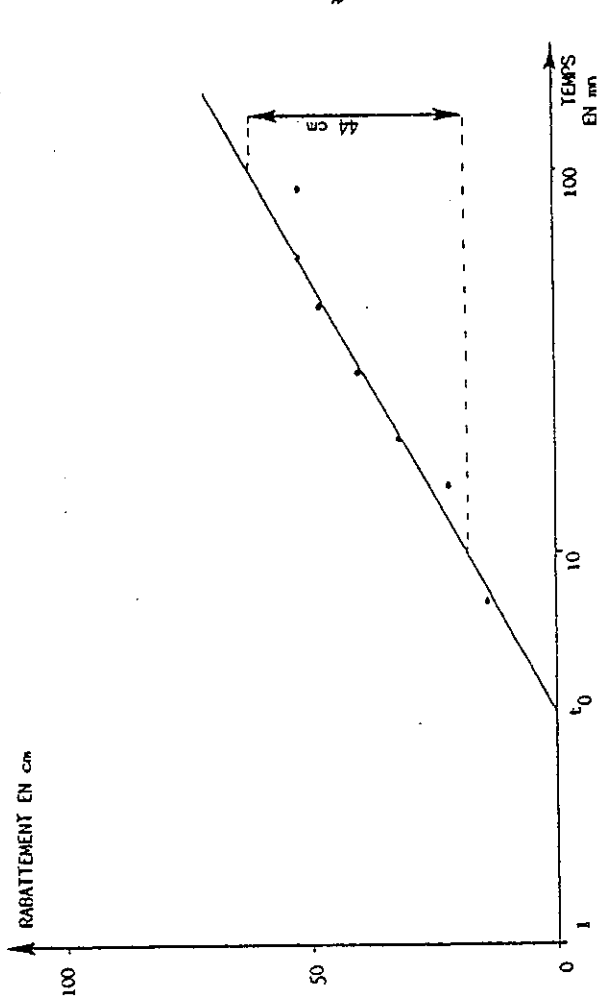
2.1.2.3. : Application

La formule n° 1 nous donne

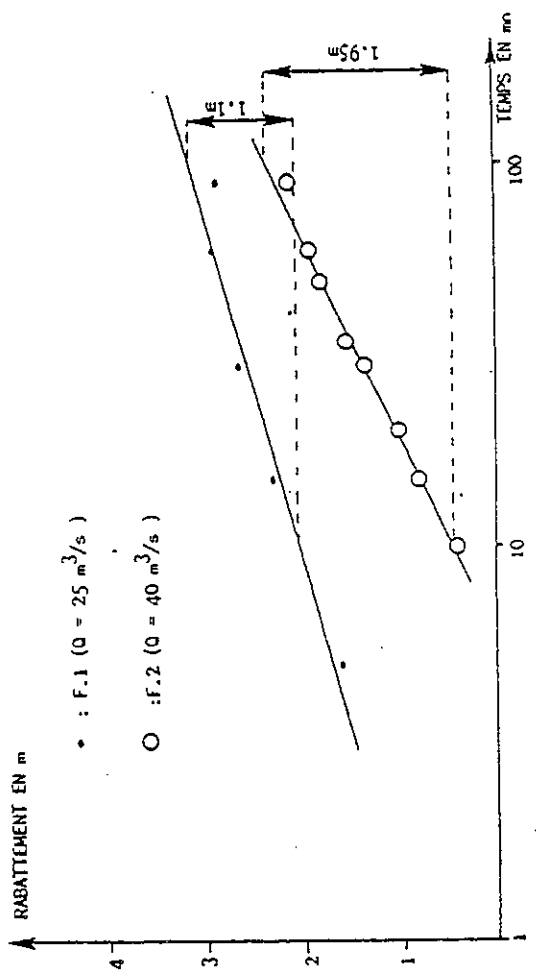
$$\textcircled{3} \quad T = \frac{1}{A} (0,37 \log R/r)$$

En fonction de l'ordre de grandeur du rayon d'action fictif obtenu dans le paragraphe précédent et des diamètres des forages étudiés (entre 20 et 60 cm) le rapport R/r s'établit entre 10^4 et 10^5 ce qui provoque la fluctuation du rapport $(0,37 \cdot \log R/r)$ entre les valeurs de 1,48 et 1,85 soit des valeurs légèrement supérieures à celle proposée par Logan.

(FIG. 160) DROITE RABATTEMENTS/TEMPS DE DESCENTE
DU FORAGE D'OBSERVATION F.1 (DEBIT F.2 = 40 m³/h)
(r F.1 F2 = 100 m)



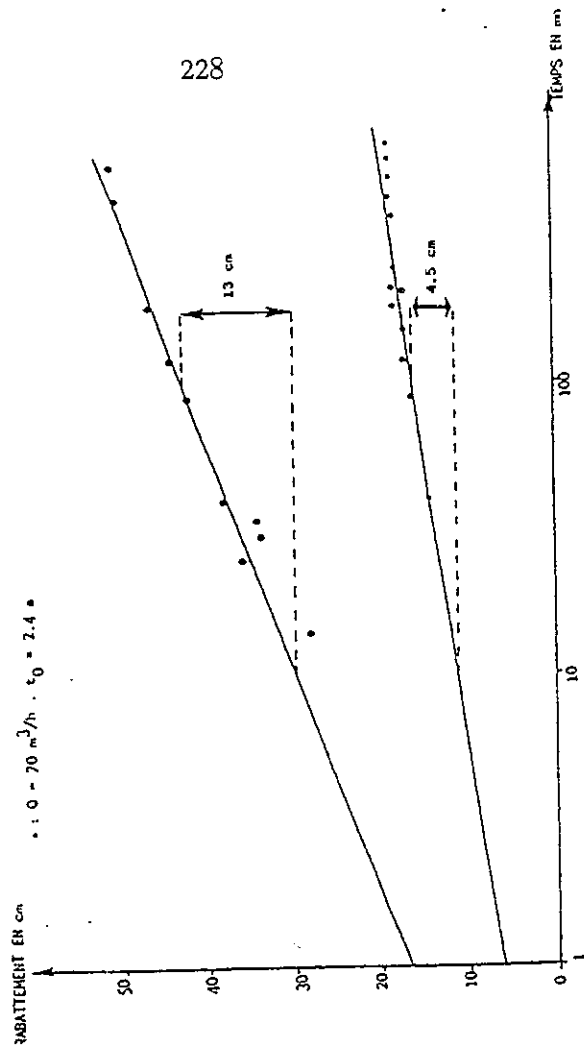
(FIG. 161) DROITES RABATTEMENTS /TEMPS DE DESCENTE
POUR LE 1^{er} PALIER DE DEBIT



- : F.1 (Q = 25 m³/s)
- : F.2 (Q = 40 m³/s)

(FIG. 162) DROITES RABATTEMENTS/TEMPS DE DESCENTE
FORAGE FP2 - SECTEUR AYAL.
(Observation sur piezometre situe à 6.8m de FP2)
(Archives mairie de Saint Genix/Guilera.)

- : Q = 140 m³/h . t₀ = 3 s
- : Q = 70 m³/h . t₀ = 2.4 s



Après leurs remplacements dans l'équation numéro ③ et en fonction des valeurs obtenues pour les différents forages nous en déduisons les valeurs approximatives de transmissivité suivantes :

Forages 0,37 log R/r	FP ₂	F.1	F.2.	FP ₉
1,48	$T=9,3 \cdot 10^{-2}$	$T=5,5 \cdot 10^{-3}$	$T=9 \cdot 10^{-3}$	$T=8,5 \cdot 10^{-3}$
1,85	$T=11,6 \cdot 10^{-2}$	$T=6,9 \cdot 10^{-3}$	$T=1,2 \cdot 10^{-3}$	$T=1,1 \cdot 10^{-2}$
Ordre de grandeur de T	10^{-1}	$6 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}	10^{-2}

T : Transmissivité exprimée en m²/s

Les calculs des valeurs de transmissivité effectués par cette méthode permettent d'obtenir des valeurs semblables à celles trouvées précédemment par la méthode " rabattement/logarithme des distances " ce qui justifie l'approximation du rapport R/r que nous avons effectuée.

2.2. En régime de " non-équilibre "

Soumis à un temps de pompage important, malgré un débit constant, le rayon d'action d'un forage tend seulement vers une limite ou un régime de pseudo-équilibre.

La compressibilité des couches aquifères devient importante dans les nappes captives.

Ces deux critères ne correspondent pas aux hypothèses émises par J. Dupuit, si bien que d'autres méthodes furent proposées qui tiennent compte du régime de "non équilibre " de l'écoulement des eaux en milieu isotrope.

2.2.1. - Méthode de la courbe de descente de C.V. Theis et C.E. Jacob

C.V. Theis en 1935 compare par analogie en milieu isotrope, l'écoulement des eaux souterraines avec la propagation de la chaleur.

A la suite de ces travaux, C.E. Jacob donne une formule d'approximation logarithmique de la courbe de dépression réelle d'autant plus précise que le point de mesure est proche du puits de pompage et que le temps de pompage est important.

La formule donnée est :

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 Tt}{r^2 S}$$

- Δ : Rabattement en m
 Q : Débit de pompage en m³/s
 T : Transmissivité en m²/s
 S : Coefficient d'emmagasinement
 r : Distance en m du puits d'observation à l'axe du puits de pompage.
 t : Temps écoulé depuis le début du pompage.

La résolution de cette équation se fait par une méthode graphique en portant en ordonné le rabattement observé durant le pompage et en abscisse le logarithme du temps. Ce qui permet d'obtenir une droite dont la pente (c) égale à $0,183 Q/T$, représente la valeur du rabattement pour un cycle logarithmique.

Lorsque la pente coupe l'axe des abscisses en un point (t_0), le rabattement est égal à zéro ce qui implique une valeur nulle pour le terme logarithmique et donne par conséquence :

$$\frac{2,25 T t_0}{r^2 S} = 1 \text{ soit } S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

Le coefficient " S " ne pourra être calculé que si l'on dispose près du forage d'un piezomètre d'observation.

L'application de cette méthode nous donne les résultats suivants (d'après les résolutions graphiques des figures n°160, 161 et 162).

Points d'observation	(Forages) et débit en m ³ /s	Rabattement pour 1 cycle log. en m	t_0 en s.	T en m ² /S	S
F ₁	(F ₁) 0,007	1,1	/	$1,2 \cdot 10^{-3}$	/
F ₁	(F ₂) 0,011	0,44	228	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
F ₂	(F ₂) 0,011	1,95	/	$1,0 \cdot 10^{-3}$	/
Piezomètre à 6,3m de FP ₂	(FP ₂) 0,0194	0,045	2,4	$7,9 \cdot 10^{-2}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$
"	(FP ₂) 0,039	0,13	3	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$

Remarques : Les courbes rabattements/log(t) sont établies à partir des courbes de descente du premier palier de débit pour les forages F₁ et F₂.

En raison de l'absence de piezomètres d'observations lors des essais en régime de "non équilibre", nous avons utilisé les valeurs de rabattements observées dans le forage F_1 , lors de l'essai de pompage du forage F_2 . Le forage F_1 est situé en effet à l'intérieur du périmètre délimité par le rayon d'action fictif du forage F_2 [périmètre admis comme limite d'application de la formule d'approximation logarithmique (●)] que nous avons trouvé précédemment, par la méthode de Dupuit, de l'ordre de 1000 mètres.

(●) in "Méthodes d'études et de recherches des nappes aquifères".

2.2.2. - Méthode de la "remontée" de Theis-Jacob

Lorsque le pompage cesse, la nappe reprend son équilibre dynamique initial.

Tout ce passe comme si un sondage absorbant de débit $-Q$ se superposait simultanément à l'écoulement précédent en provoquant un rabattement Δ'

Le rabattement résiduel mesuré (Δ'') est la conséquence de ces deux rabattements.

$$\Delta'' = \Delta - \Delta' = 0,183 \frac{Q}{T} \left(\log \frac{2,25 Tt}{r^2 S} - \log \frac{2,25 Tt'}{r^2 S} \right)$$

d'où l'équation de la remontée de Teiss-Jacob.

$$\Delta'' = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

Δ'' : en mètre : rabattement résiduel.

Q : débit en m^3/s

T : Transmissivité en m^2/s

t : temps écoulé depuis le début du pompage en s.

t' : " " " l'arrêt du pompage en s.

Application de la méthode :

On représente la courbe $\Delta'' = f(\log \frac{t}{t'})$ sur un diagramme semi-logarithmique avec les rabattements résiduels en ordonnées et le logarithme t/t' en abscisse.

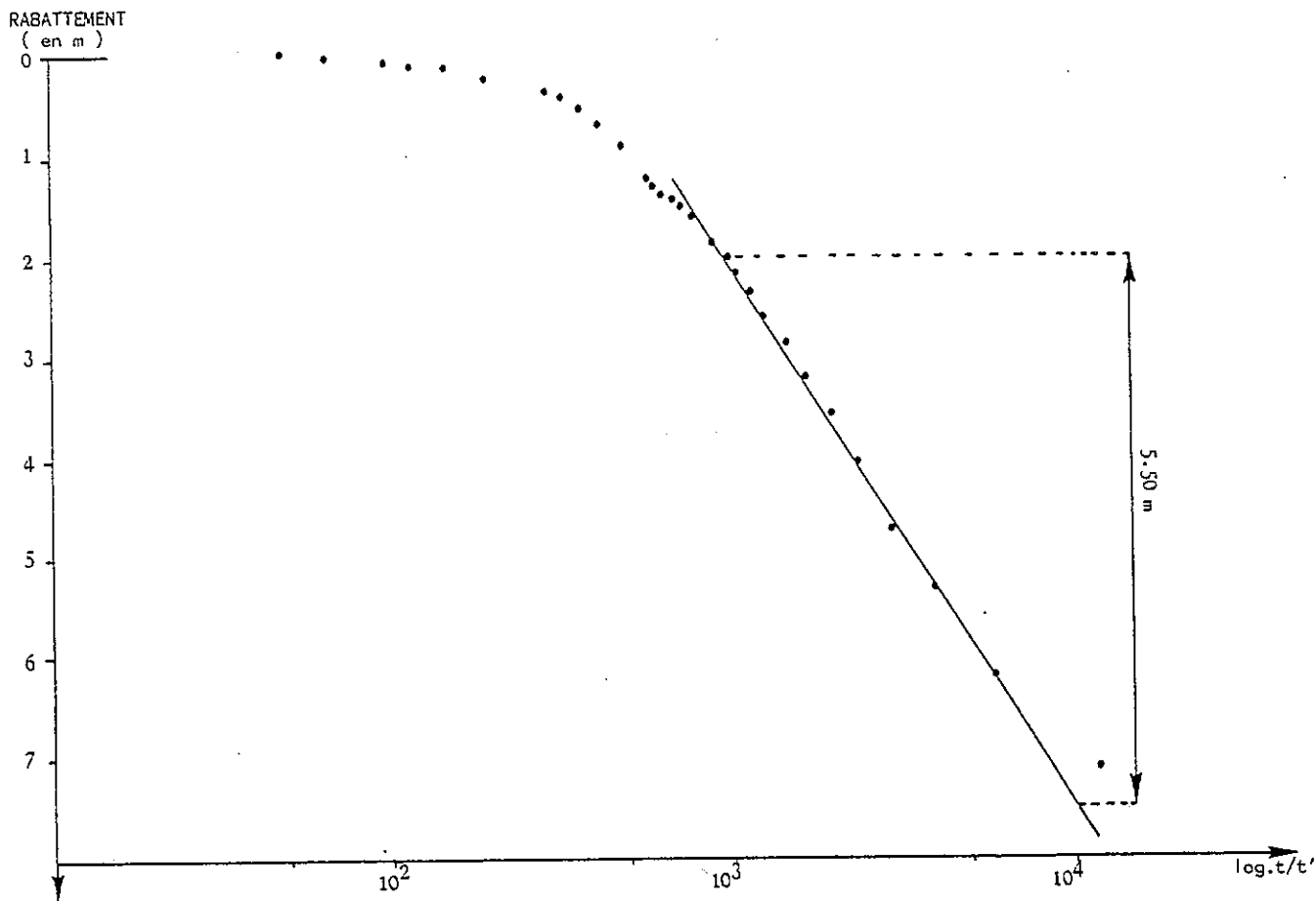
Les points de mesure se répartissent selon une droite dont la pente (C'), égale à $\frac{0,183 Q}{T}$ est obtenue par la valeur du rabattement résiduel pour un cycle logarithmique :

$$T = \frac{0,183 Q}{C}$$

Nous avons appliqué cette méthode pour les valeurs de la remontée de la nappe dans le forage F_1 après un essai de pompage par paliers de 48 heures (FIG.163) ce qui nous a conduit à calculer la moyenne pondérée (Q'') du débit lors de cet essai :

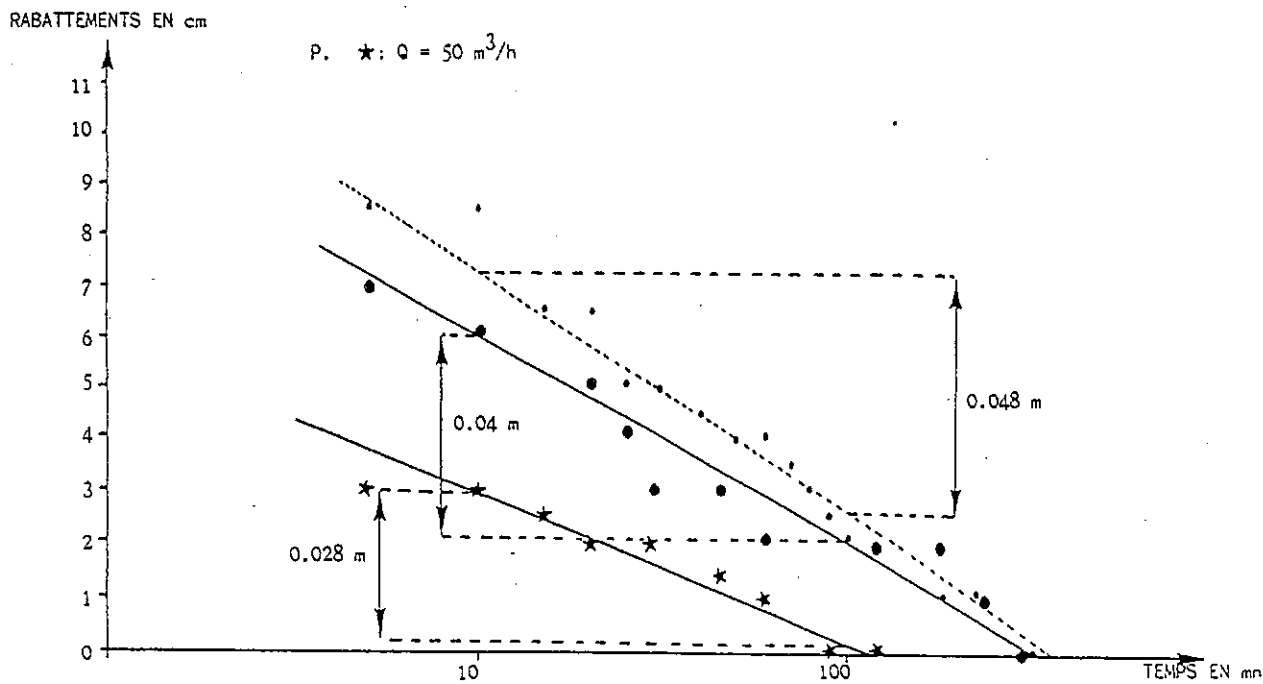
$$Q'' = \frac{\sum Q \cdot t}{\sum \Delta t} = \frac{(25.2) + (50.4) + (18.75) + (7.100) + (17.115)}{48}$$

(FIG.163) COURBE DE REMONTEE DE LA NAPPE . SECTEUR AVAL . FORAGE F.1
 APRES UN ESSAI DE POMPAGE PAR PALIER DE 48h A UN DEBIT MOYEN DE 0.0246 m³ / s



(FIG.164) DROITES RABATTEMENTS / TEMPS DE REMONTEE
 APRES POMPAGES DE 18h (Archives mairie de Saint Genix/Guiers)

- : Q = 50 m³/h
- FP2 ● : Q = 62 m³/h
- P. ★ : Q = 50 m³/h



$$Q'' = 88,6 \text{ m}^3/\text{h} \text{ soit } 0,0246 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Le rabattement résiduel pour un cycle logarithmique est de 5,50 m ce qui donne une valeur de transmissivité (T_r) :

$$T_r = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}.$$

L'interprétation des rabattements en fonction du temps de remontée du forage FP_2 , effectuée par la société SOUDARALP a permis pour des débits différents, d'obtenir les valeurs de transmissivité suivantes: (FIG.164)

	Débit en m^3/h	Δ'' pour un cycle log. en mètres	Transmissivité en m^2/s
Forage FP_2 piezomètre	50	0,04	$6,4 \cdot 10^{-2}$
		0,028	$9,1 \cdot 10^{-2}$
Forage FP_2	62	0,048	$6,6 \cdot 10^{-2}$

2.3. Détermination des coefficients de perméabilité

Les coefficients de perméabilité sont déduits des valeurs de transmissivité en connaissant l'épaisseur de la couche aquifère (e) pour un puits de type complet, ou la longueur crépinée (l.c) si le forage n'atteint pas le substratum imperméable (puits incomplets) par les formules : $T = K \times e$.

$$T = K \times \text{l.c.}$$

Les épaisseurs ou longueurs sont :

Forages	Type	e. ou l.c. en m.
F.1	P.C.	13,8
F.2	P.C.	13,9
FP_2	P.C.	9
FP_9	P.I.	8

P.C. : Puits complet.

P.I. : Puits incomplet.

Les valeurs de perméabilité sont répertoriées dans le tableau de la figure n° 165

2.4. Critiques des résultats

2.4.1. Forages F_1 et F_2

Les valeurs de transmissivité établies pour les forages F_1 et F_2 fluctuent d'une puissance de 10 entre les valeurs extrêmes selon la méthode de calcul.

FORAGES	METHODES	DEBIT en m ³ /h	TRANSMISSIVITE en m ² /s	COEFFICIENT d'emmagasinement	PERMEABILITE en m/s
F.1	THEIS D	25	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$2.4 \cdot 10^4$	$8.7 \cdot 10^5$
	THEIS .JACOB R	88.6	$8.2 \cdot 10^4$		$5.9 \cdot 10^5$
	THEIS D	40	$4.6 \cdot 10^3$		$3.3 \cdot 10^4$
	R.S./D.		$6 \cdot 10^3$		$4 \cdot 10^4$
F.2	THEIS D	40	$1.0 \cdot 10^3$		$7.2 \cdot 10^5$
	R.S./D.		10^{-2}		$7 \cdot 10^4$
SECTEUR F1 F2	DUPUIT	75	$9.6 \cdot 10^3$		$6.9 \cdot 10^4$
	RABATTEMENT/log.x	50	$8.5 \cdot 10^3$		$6.1 \cdot 10^4$
		40	10^2		$7.2 \cdot 10^4$
FP2 (P)	THEIS D	70	$7.9 \cdot 10^2$	$9.2 \cdot 10^3$	$8.2 \cdot 10^3$
	" D	140	$5.5 \cdot 10^2$		$8 \cdot 10^3$
	THEIS .JACOB R	50	$6.4 \cdot 10^2$		$7.1 \cdot 10^3$
	" (P) R	50	$9.1 \cdot 10^2$		10^2
	" R	62	$6.6 \cdot 10^2$		$7.3 \cdot 10^3$
	R.S./D.		10^{-1}	$1.1 \cdot 10^2$	
FP9	R.S./D.		10^2	$5 \cdot 10^3, 1 \cdot 10^2$	$1.3 \cdot 10^3$

Abréviations: R.S./D. =RABATTEMENT SPECIFIQUE/DEBIT
D = DESCENTE
R = REMONTEE
(P)= PIEZOMETRE

(FIG.165) PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES DES FORAGES ETUDIES
F.1,F.2,FP2 :SECTEUR AVAL
FP9 : " AMONT

Nous remarquons que les valeurs les plus faibles de transmissivité pour les deux forages proviennent de l'interprétation des mesures effectuées lors du premier palier de débit, ce qui semble indiquer un décolmatage incomplet avant la réalisation des essais par paliers.

Lors de l'essai du forage F_2 , effectué un an après la mise en service du forage F_1 , nous constatons une amélioration de la transmissivité et par conséquent du coefficient de perméabilité autour du forage F_1 .

La méthode de Dupuit, donne les valeurs les plus importantes de transmissivité ($T : 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$). Rappelons que son emploi s'effectue avec des hypothèses simplificatrices non réalisables dans les faits (En particulier, elle admet la non-compressibilité des terrains aquifères même pour une nappe captive) et que la droite " rabattement- $\log(x)$ " n'a été tracée qu'avec un seul piezomètre d'observation.

La valeur du coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 10^{-4} confirme la captivité de la nappe.

Nous retiendrons un ordre de grandeur de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la transmissivité et de 10^{-4} m/s pour la perméabilité dans ce secteur.

Cette valeur de perméabilité correspond aux valeurs observées habituellement dans des aquifères formés de sables grossiers (K compris entre $1,2 \cdot 10^{-5}$ et $2,3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ d'après H. Schoeller in G.P. Kruseman).

2.4.2. Forage FP_2

Quelque soit la méthode employée, les résultats des calculs de la transmissivité donnent tous une valeur proche, comprise entre $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$; ce qui provoque des valeurs de perméabilités oscillant entre $6,1 \cdot 10^{-3}$ et $1 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$.

Ces valeurs importantes de perméabilité sont attribuables d'après H. Schoeller à des formations de graviers.

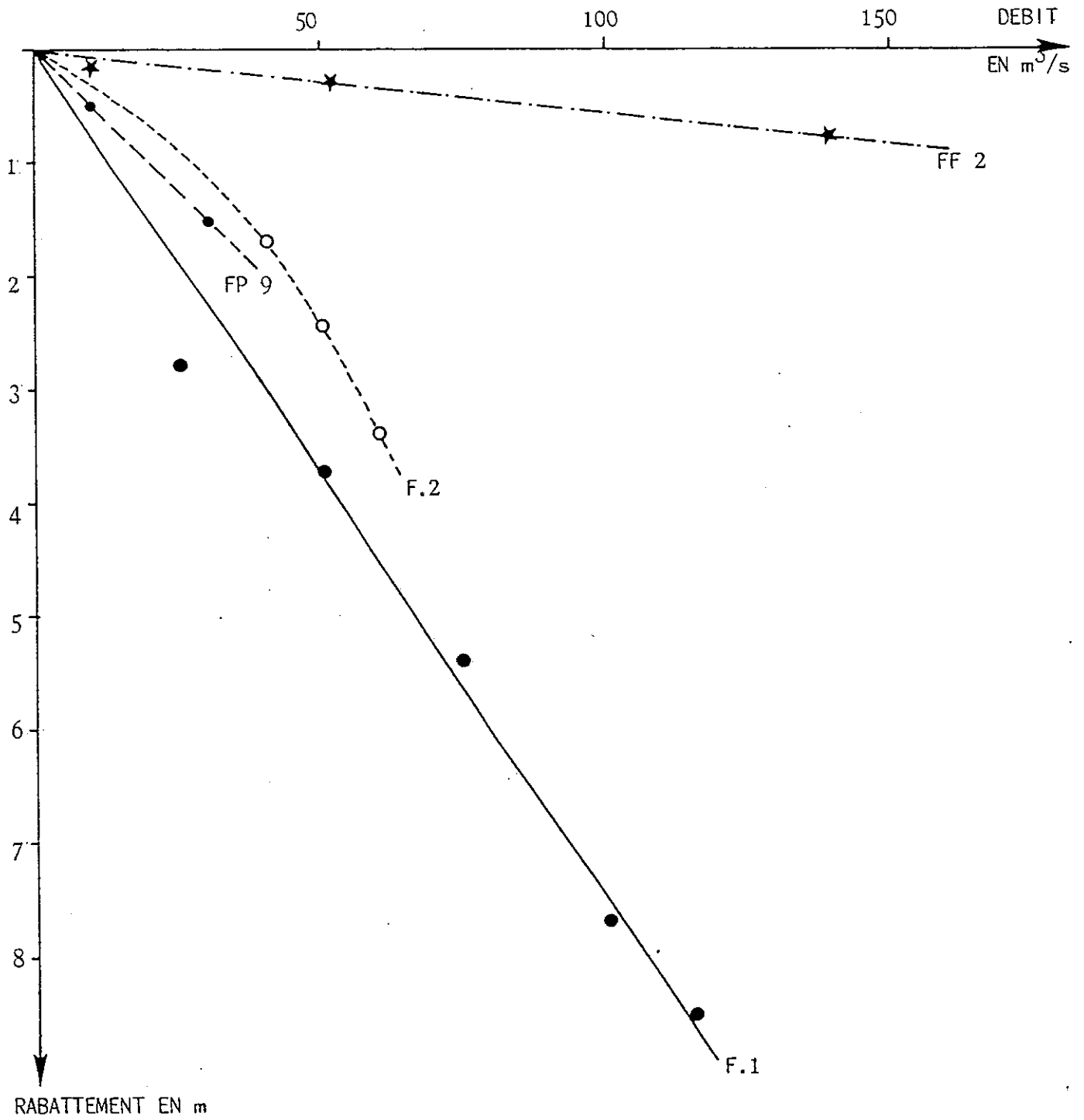
Le coefficient d'emmagasinement, proche de $8,5 \cdot 10^{-3}$, est assez élevé pour une nappe captive par comparaison avec les valeurs citées habituellement par les auteurs (10^{-3} à 10^{-6} in G.Castany).

Il est cependant plus proche de ces dernières que celles données pour une nappe libre circulant dans une formation alluviale de vallée (1 à $2 \cdot 10^{-1}$)

La faible épaisseur de terrains argileux recouvrant la formation aquifère doit provoquer cette valeur sensiblement importante du coefficient d'emmagasinement.

2.4.3. Forage FP_9

L'essai de débit effectué sur ce forage a été très succinct : il a consisté en la réalisation de deux paliers de débits avec étude de la descente uniquement dans le forage. Ceux-ci ont été troublés par de nombreux arrêts, sans l'étude de la remontée de la nappe lors de ces arrêts.



(FIG. 166) COURBES CARACTERISTIQUES DES FORAGES
ENTRE LA BALME ET SAINT GENIX/GUIERS

La méthode " rabattements spécifiques-débits" permet d'estimer la transmissivité à 10^{-2} m²/s et le coefficient de perméabilité à 10^{-3} m /s.

Le coefficient d'emmagasinement obtenu après rapport de la valeur estimée de transmissivité dans les rapports S/T trouvés lors de l'application de l'équation de diffusivité au chapitre " étude piezométrique" confirme la captivité de la nappe.

3-COMPARAISON DES RESULTATS SUIVANT LES SECTEURS D'IMPLANTATION

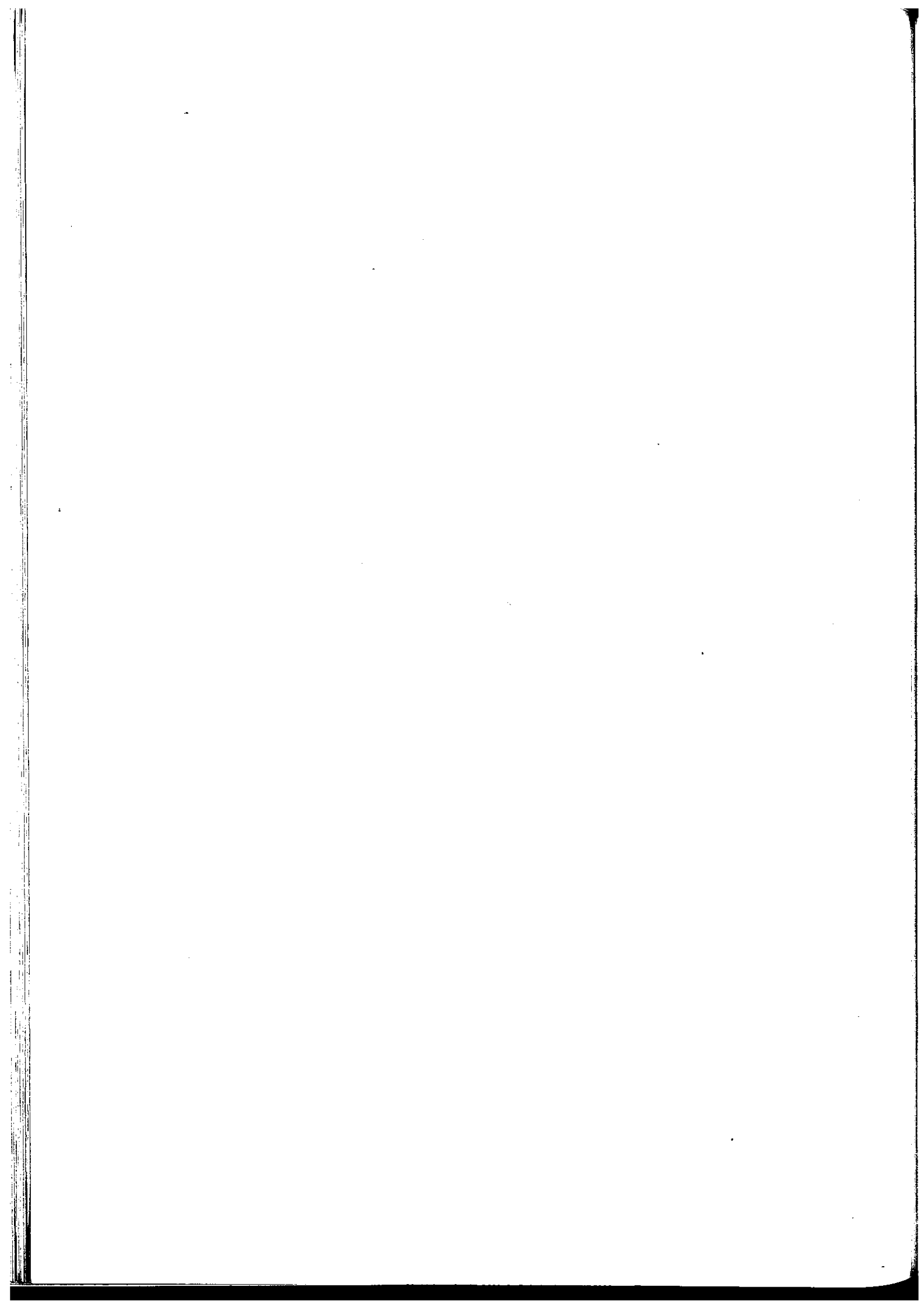
CONCLUSION

Bien qu'il soit délicat de comparer des essais de débits réalisés par différentes entreprises à des dates diverses, nous remarquons des transmissivités différentes suivant les secteurs, en accord avec les caractéristiques du remplissage alluvial : les secteurs présentant un matériel alluvial comportant une forte proportion en éléments grossiers obtiennent les meilleurs résultats (secteurs d'implantation des forages FP₀ et FP₂).

Les trois forages F₁, F₂, FP₀, possèdent des courbes caractéristiques de pentes semblables alors que le puits FP₂ présente une faible pente qui confirme sa très bonne perméabilité en montrant même pour des débits conséquents (supérieurs à 130 m³/h) de faibles rabattements (FIG 196).

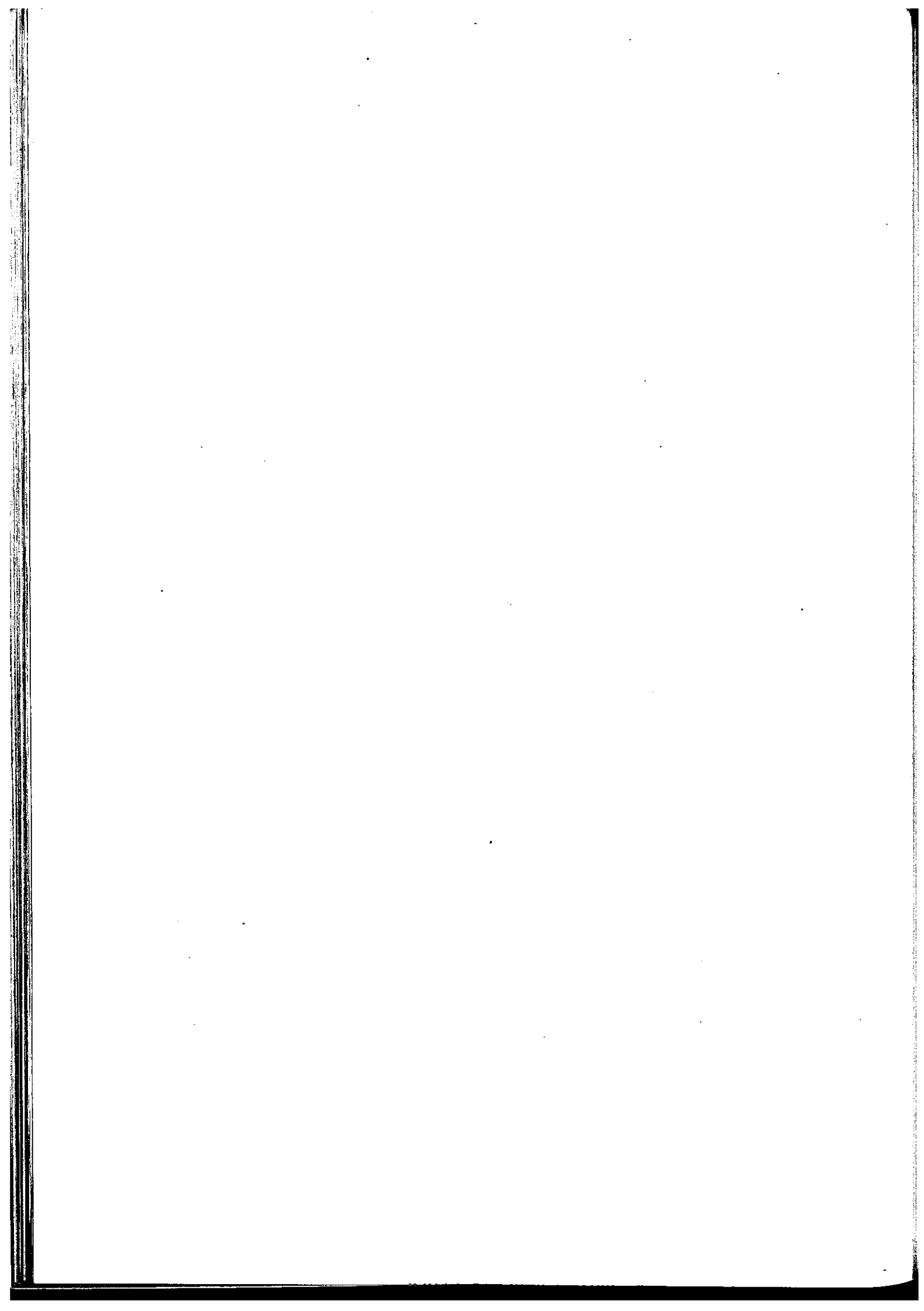
Cette bonne valeur de perméabilité par rapport à celles des trois autres forages provient de l'absence d'horizon sableux dans ce forage.

La courbe du forage F₂ s'accroît en fonction de l'augmentation du débit pompé ce qui indique un rabattement devenant trop important et donc une valeur de débit devenant excessive.



CHAPITRE 10

CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION GENERALE

=====

La plaine de la rive savoyarde du Rhône est bordée à l'Ouest par le massif du Mont Tournier. Celui-ci d'altitude moyenne modeste (470 m) est constitué d'un chaînon essentiellement calcaire dont les formations s'étendent de l'Oxfordien au Barremien, sur lequel s'appuient à l'Est et au Sud Ouest des formations détritiques miocènes (Molasses).

La structure actuelle du chaînon, à valeur d'anticlinal faillé très dyssimétrique, et son orientation résultent d'une tectonique polyphasée due à la reprise de l'ébauche de la chaîne jurassienne lors de la phase de plissement des massifs subalpins.

Le remplissage alluvial de la plaine du Rhône est constitué d'une forte épaisseur d'argiles lacustres (supérieure à 50 mètres) dont le début de la sédimentation est antérieure à 18000 ans.

Ce dépôt lacustre qui est influencé par des apports plus grossiers en rive droite de type fluvio-glaciaire est surmonté d'un réservoir aquifère où s'observe une sédimentation sableuse voire graveleuse avant l'arrivée d'alluvions fluviales Rhodaniennes et localement du Guiers (région de St Genix) qui les recouvrent d'une dizaine de mètres d'épaisseur de dépôts caillouteux. Localement, il semble que des sillons plus profonds, détectés par géophysique, peuvent dépasser cette épaisseur. Des limons argileux recouvrent généralement les ensembles précédents.

Situé perpendiculairement aux vents dominants d'Ouest, la plaine du Rhône et le massif du Mont Tournier reçoivent, d'après les moyennes effectuées sur vingt cinq années de mesures, respectivement 1200 et 1500 mm (altitude 600 m) de précipitations annuelles. Le gradient altimétrique ressort à 73 mm/100 m.

L'année 1985 est déficitaire en précipitations (-18%) en raison d'un automne particulièrement sec (-70 %) alors que les valeurs relevées en plaine en 1986 correspondent à la moyenne annuelle.

Malgré un automne plus chaud, les températures annuelles moyennes de 1985 et 1986 sont restées inférieures à la moyenne annuelle (T = 10,2 °c).

En 1986, les calculs d'évapotranspiration démontrent que 60 % des 1420 mm de précipitations reçues par le Mont Tournier (Alt 600 m) sont disponibles principalement pour l'infiltration.

Le chaînon du Mont Tournier présente un karst bien développé dans les formations supérieures au Portlandien basal (calcaires à Nerinées), alors que les travaux du tunnel des eaux usées ont permis de mettre en évidence un karst plus ancien, développé dans les assises du Kimméridgien, entièrement colmaté par des argiles rouges.

L'inventaire des sources montre que deux exutoires principaux : l'Arcanière et la Fontaine du Lyon dont l'émergence karstique est cachée par le placage d'éboulis, drainent 25 % des précipitations infiltrées. Ce qui implique l'existence de pertes

importantes vers les systèmes aquifères voisins.

En accord avec la nature chimique des roches, l'eau circulant dans le karst est de type bicarbonaté-calcique, sans sulfates et dont la tendance magnésienne s'affirme en période d'étiage.

La minéralisation est inversement proportionnelle au débit sauf après une période d'étiage où apparaît un phénomène de "Piston-Flow."

Deux types de circulation sont possibles dans les terrains molassiques :

- * une circulation superficielle, rapide et peu minéralisée,
- * une circulation profonde, lente provoquant une minéralisation des eaux très accentuée ainsi qu'une température moyenne supérieure à la température moyenne annuelle atmosphérique.

Elles provoquent une minéralisation des eaux de type bicarbonatée-calcique à teneur non négligeable en sulfates

Les éboulis constituent des aquifères très modestes lorsqu'ils ne sont pas alimentés par des pertes issues du karst et leurs apports à la nappe sont négligeables.

Le Rhône dont le régime est de type nivoglaciaire (débit caractéristique moyen = 380 m³/s) présente une forte fluctuation des caractéristiques chimiques de ses eaux en raison de la forte variation des apports de ses affluents.

En 1985, le débit caractéristique moyen est de 385 m³/s, les excédents du premier semestre ayant compensé le déficit automnal.

Le Guiers possède un débit caractéristique moyen de 12 m³/s. Durant sa période estivale d'étiage l'eau du Guiers présente un caractère incrustant.

Le Rhône délimite trois boucles à schémas d'alimentation différents :

- * Le secteur amont (boucle de la Balme) est alimenté par les infiltrations du Rhône le long de ses berges, principalement dans sa partie Nord au débouché de la cluse de la Balme. La dérivation d'une partie des eaux de son cours naturel par la mise en eau de l'aménagement hydraulique de Belley, a provoqué une diminution moyenne d'un mètre du niveau de la nappe. La présence d'éboulis intriqués dans les formations alluviales améliore la perméabilité près des versants.
- * Le secteur médian (boucle des Chatelains) possède une nappe alimentée par le Rhône dans sa partie Nord. Son écoulement méridien est complété par des apports orientaux d'origine karstique qui perturbent la forme des courbes piezométriques et la zonation chimique des eaux.

* Le secteur aval (boucle Leschaux-St Genix) montre une alimentation de la nappe par le Rhône uniquement près du village de Leschaux et principalement par les versants molassiques. La partie court-circuitée du Rhône par les aménagements de Bregnier-Cordon draine la nappe.

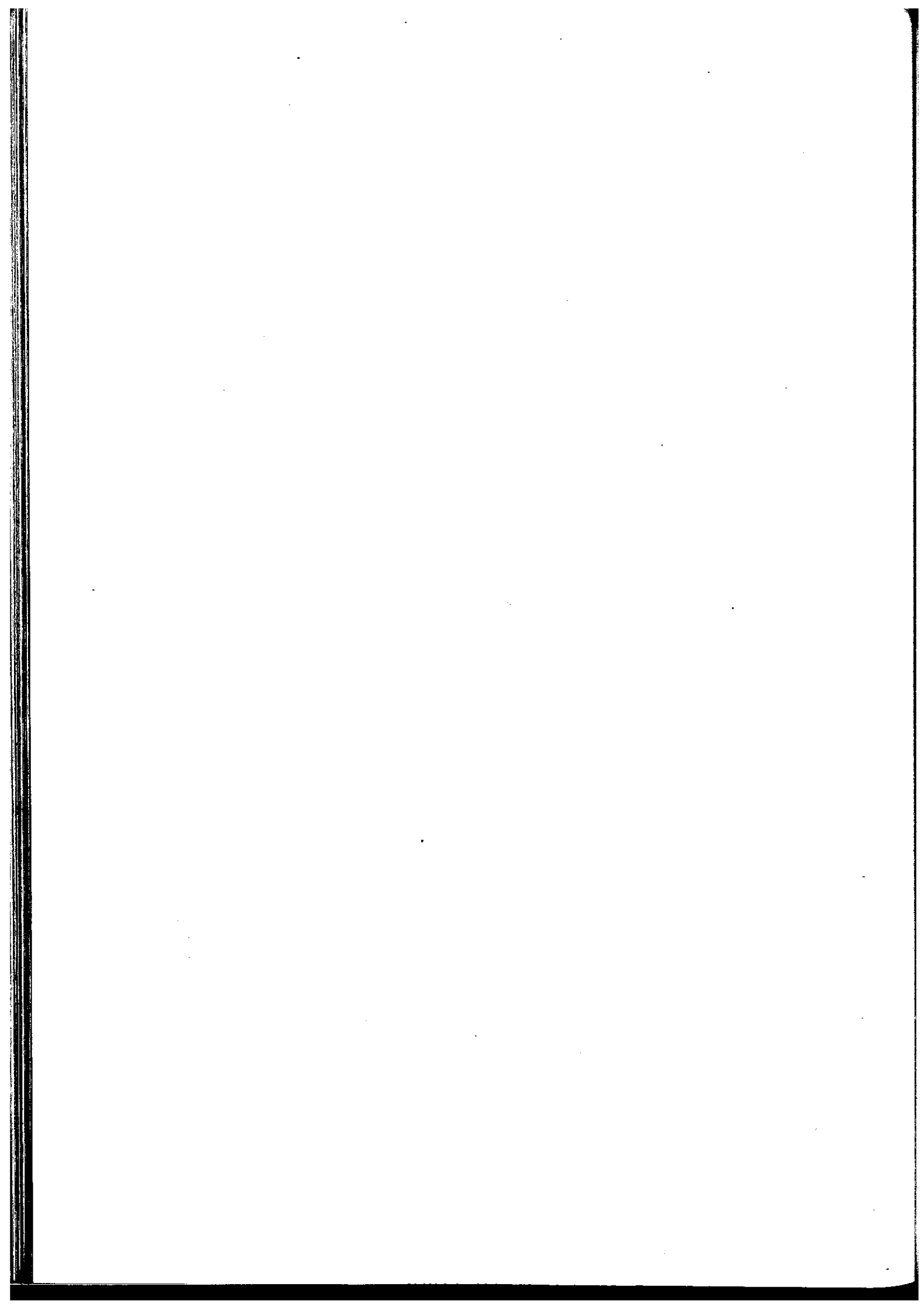
Les zones de transmissivité et de perméabilité élevées ($10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ et $10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) correspondent à la présence de matériel grossier fluviatil (galets et graviers). Ces valeurs diminuent pour les forages implantés dans des formations à dominante sableuse ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$).

La captivité de la nappe est assurée par la couverture argileuse bien que sa faible épaisseur se traduit par des valeurs du coefficient d'emmagasinement assez élevées (10^{-3}).

L'implantation de nouveaux forages devra être conduite dans les secteurs possédant des formations fluviatiles Rhodaniennes, si possible dans les points bas des sillons, loin de l'influence de la route pour éviter un taux anormalement élevé de chlorure de sodium ainsi que des zones à fort potentiel agricole ou urbanisée afin de soustraire les captages aux pollutions organiques et aux nitrates.

Le réseau dense d'observation mis en place par la C.N.R., pour étudier les modifications de la nappe alluviale induite par l'aménagement du Haut-Rhône, nous a permis d'obtenir par deux approches différentes (Etude piezométrique et hydrochimique) les mêmes schémas d'alimentation et de circulation des eaux de la nappe.

L'étude de nouvelles nappes dans des conditions moins favorables pourra être effectuée selon l'approche la plus facile à mettre en oeuvre.

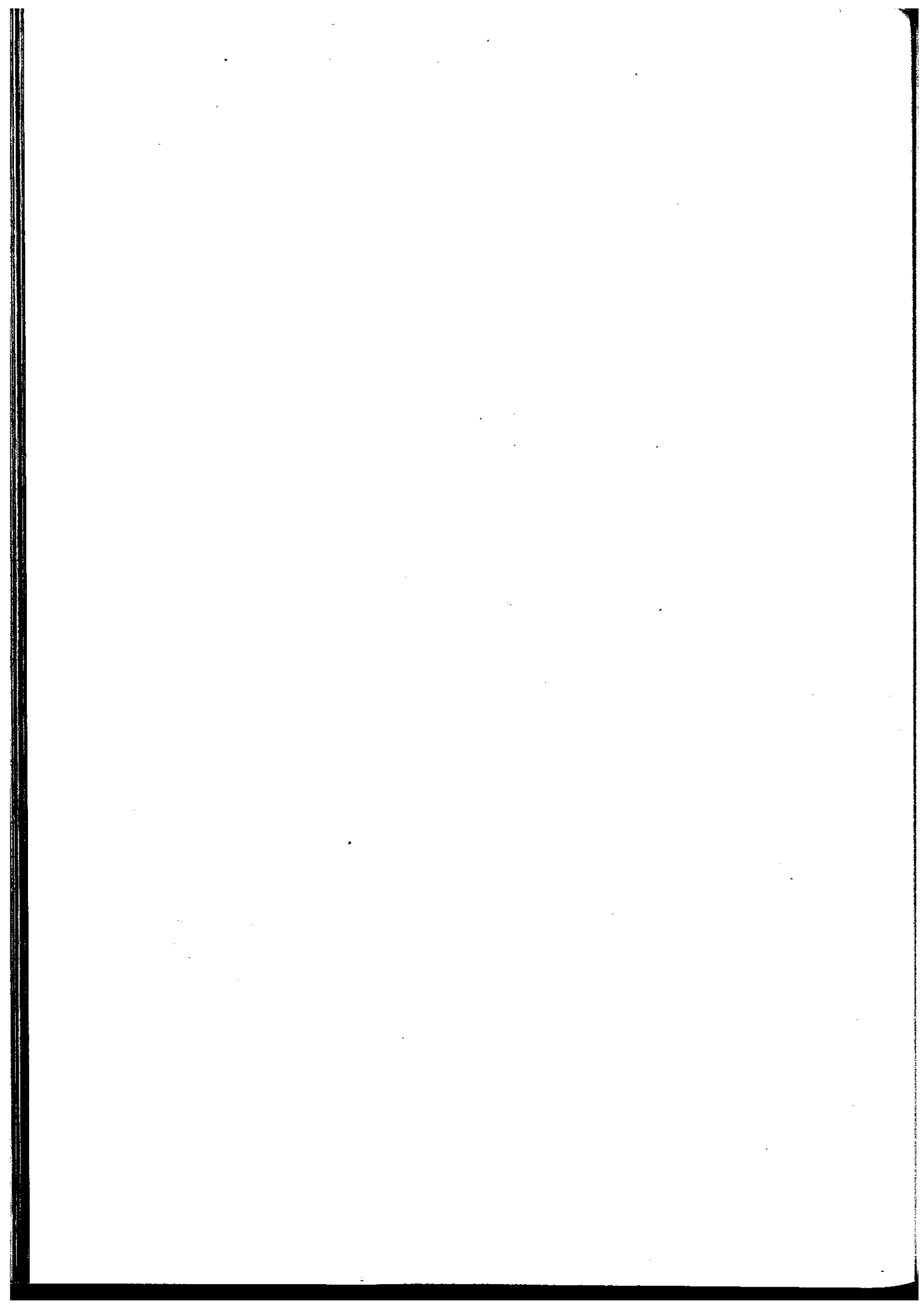


BIBLIOGRAPHIE

- ANTOINE P., CHOQUET C., PAIRIS J.L. (1978) - Sur une particularité structurale du Mont du Chat, révélée par la galerie du Bourget du Lac (Savoie) - C.R. Ac. Sc. Paris, t.286, série D, p.1241-1244.
- ARMAND C., DELAQUAIZE B. (1977) - Analyse physico-chimique des eaux. Mémento pratique - Laboratoire d'Hydrogéologie, Institut Dolomieu, Grenoble, 22 p.-
- BACONNAIS G., DOUDOUX B., NICLOUD G. (1981). - Les dépôts quaternaires des principales vallées alpines et de l'avant-pays molassique de Haute-Savoie. Conséquences hydrogéologiques - C.R. Ac. Sc. Paris, t 292, série 2, p. 1313-1318.
- BAUDOIN F. (1984) - Hydrogéologie de l'Avant-pays de Chartreuse (Isère) Thèse 3ème cycle, Université de Grenoble I. 264 p.
- BELLEVILLE G. (1983) - Etude des transferts de masse en milieu alluvial. Application à la moyenne vallée de l'Isère - Thèse 3ème cycle, Université de Grenoble I.
- BERNIER P. (1981) - Rapport géologique sur les périmètres de protection du forage, commune de Lavours (Ain) - Inédit.
- BILLAUD Y. (1981) - Le Karst de la partie médiane du chaînon Parves - Mont Tournier. Approche hydrogéologique - Inédit.
- BRAVARD J.P. (1983) - Une autocapture du Rhône par déversement dans les basses terres du Bas-Dauphiné. Isère, Ain - Revue de géographie de Lyon, tome 4, p. 369-381.
- B.R.G.M. (1962) - Méthodes d'études et de recherches des nappes aquifères - Paris Publida.
- BURKARD P., COTTET C. et ETTER Cl. (1987) - Un exemple de contrôle automatique de la qualité des eaux - Aqua, Grande Bretagne, n° 1 p. 11-21.
- CARFANTAN J. C. (1974) - Rapport sur les conditions géologiques d'un puits de captage destiné à fournir de l'eau potable. Saint Genix sur Guiers - Inédit.
- CASTANY G. (1967) - Traité pratique des eaux souterraines - Dunod, Paris, 2ème édition.
- C.E.R.G.E. (1985) - Etude de l'évolution de la qualité physico-chimique de la nappe de la Balme, Savoie - C.N.R. 82-89-69-CER, Université de Savoie.
- CHARAMEL G. (1983) - Morphologie et stratigraphie du quaternaire de Belley à Bregnier-Cordon - Mémoire de D.E.A. de géologie de Grenoble I inédit.
- CHOQUET C. (1978) - Tunnel du Bourget. Aspects géologiques, géotechniques et hydrologiques (Note après percement). Inédit.
- CHOUTEAU F.A. (1982) - Contribution de l'hydrochimie aux études hydrogéologiques d'une nappe alluviale en exploitation. La nappe de Jouchy dans la vallée de la Romanche. Isère - Thèse de Docteur Es Sciences naturelles, Université de Grenoble I.

- CORDEAU F., CORDEAU J.Y., FOURNEAUX J.C. et SARROT-REYNAULD J. (1972)
Modification de la composition chimique des eaux des nappes
aux abords des piezomètres en liaison avec leur mise en
place. 2ème Colloque sur la pollution et la protection des
eaux de la région Rhône-Alpes, Lyon.
- COMMISSION METEOROLOGIQUE DEPARTEMENTALE DE LA SAVOIE -
Bulletin climatologique mensuel - Préfecture de la Savoie-
- COMPAGNIE NATIONALE DU RHONE - Relevés piezométriques, plans, docu-
ments concernant l'aménagement du Haut Rhône.
- DOUDOUX B. (1964) - Rapport sur les conditions géologiques de
sources destinées à l'alimentation en eau potable de la
commune de Gerbaix (Savoie) - Inédit -.
- DOUDOUX B. (1966) - Rapport sur les conditions géologiques d'une
source destinée à l'alimentation en eau potable de la
commune de Rochefort (Savoie)- Inédit -.
- FOURNEAUX J.C. (1975) - Etude des échanges nappe-rivière. La
nappe de la plaine de l'Isère dans l'ombilic de
Grenoble - Thèse de Docteur Es Sciences, Université de
Grenoble
- GENIX F. - Relevés météorologiques sur la commune de la Balme-
Savoie - Inédit.
- GIDON P. (1963) - Géologie Chambérienne - Annales du Centre
d'Enseignement Supérieur de Chambéry, numéro hors-
série.
- GIGOUT M., PIERRE G., RAMPNOUX J.P. (1975) - Sur la géologie des
confins de la Savoie et du Bas Bugey - Annales du C.U.S.,
tome 2, Chambéry, p 131-146.
- GUIGON F. (1976) - Géologie et travaux souterrains. Etude d'avant
projet du tunnel du Bourget. Bilan des observations sur
cinquante tunnels ferroviaires dans la région Rhône-Alpes
Thèse 3ème cycle Géologie, Université de Grenoble I.
- KRUSEMAN G.F., DE RIDDER N.A. (1973) - Interprétation et discussion
des pompages d'essai - I.L.R.I. Wageninen, 2ème édition.
- LAMIRAUX C. (1977) - Géologie du Miocene des chainons jurassiens
méridionaux et du Bas Dauphiné Nord Oriental entre
Chambéry et la Tour du Pin - Thèse 3ème Cycle, Université
de Grenoble I.
- LAMY. P. (1986) - Comportement hydrogéologique des terrains karstiques
et molassiques du Sud du Bugey savoyard. Thèse de Doctorat
de U.S.M.G. Université de Grenoble I.
- LEMOINE (1949) - Rapport géologique sur un projet d'adduction d'eau
potable pour la commune de la Balme - Inédit -.
- MANGIN A. (1970) - Contribution à l'étude des aquifères karstiques à
partir de l'analyse des courbes de décrue et tarissement
Annales de spéléologie, Tome 25, Fascicule 3, p. 581.610.
- MANGOLD C. (1969) - Rapport géologique sur le projet d'alimentation
en eau potable par puits dans la nappe du Rhône. Culoz
(Ain). Inédit -.

- DE MARSILY G. (1981) - Hydrogéologie quantitative - Paris.Masson.
Collection Sciences de la Terre.
- MARTINEZ J.F. (1986) - Etude du fonctionnement d'aquifères complexes
Pays de Gex. Ain - Thèse 3ème Cycle, Université de GRENOBLE I.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE - MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT (1987)
Les Nitrates dans l'eau . Un défi relevé - Groupe d'infor-
mation du C.O.R.P.E.N.
- NICOUD G. (1973) - Hydrogéologie de la haute vallée du Cheran.
Massif des Bauges (Savoie) - Thèse 3ème cycle, Université
de Grenoble I.
- NICOUD G. (1981) - Les dépôts Pleistocènes du bassin chambérien
et du Nord-Grésivaudant. Enseignements paléogéographiques
C.R. Ac Sc.Paris, t 292, série 2, p. 101-104.
- RAMPNOUX J.P. (1980) - Rapport géologique sur l'implantation d'un
forage pour l'alimentation en eau potable de la commune
de la Balme (Savoie)- Inédit -.
- RAMPNOUX J.P. (1982) - Rapport géologique sur la protection du
captage de la source de Barbollion. Vions - Inédit -.
- RAMPNOUX J.P. (1985) - Rapport géologique sur les captages alimen-
tant la colonie de la ville de Vénissieux. Champagneux
(Savoie) - Inédit -
- SAPEY-TRIOMPHE Y. (1984) - Géomorphologie et hydrogéologie de la
Région d'Aoste (Isère) - Thèse de 3ème cycle, Université
de Grenoble I.
- SERVICES INDUSTRIELS DE GENEVE (1986) - Résultats des analyses
bactériologiques, physiques et chimiques. Station du
Prieure - Station de Vessy - Inédit -
- SOL-PROGRES RHONE ALPES (1986) - Rapport sur la pose de piezomètres.
Champagneux - Etude n° 86 10 845 B - Inédit -
- S.O.N.DALP (1980) - Rapport des travaux : commune de la Balme -
Inédit -
- TARDY M. (1982) - Rapport hydrogéologique sur la définition des
aires de protection du forage de Chanaz (Savoie) réalisé
par le syndicat des eaux Lucey-Chanaz - Inédit -
- TRENARD L. (1984) - Pierre-Chatel, Haut lieu d'histoire -
Le Bugey n° 71, p. 700-729.
- THORAL (1952) - Rapport géologique concernant l'utilisation d'un
puits-filtrant pour l'alimentation en eau potable de la
commune de Massignieu de Rives (Ain) - Inédit-
- CARTE GEOLOGIQUE DETAILLEE DE LA FRANCE 1/50 000 ème :
- | | |
|---------------------------|------|
| Feuille de Chambéry | 1969 |
| Feuille de la Tour du Pin | 1976 |
| Feuille de Rumilly | 1970 |
- CARTE TOPOGRAPHIQUE I.G.N. :
- | | |
|---------------|-----------------------------|
| 1/100 000 ème | * Lyon Grenoble, n° 55 |
| 1/50 000 ème | * La Tour du Pin n° 32.32 |
| | * Rumilly n° 33.31. |
| | * Aix les Bains et environs |
| 1/25 000 ème | * 32 32. 7-8 |
| | * 32 32. 3-4 |
| | * 32 31. 7-8 |
| | * 33 31. Ouest |
| | * 33 30. Ouest |



T A B L E D E S M A T I E R E S

=====

INTRODUCTION.....	7
CHAPITRE 1 : GEOGRAPHIE ET GEOLOGIE DE L'AVANT PAYS-SAVOYARD.....	9
1. Cadre géographique.....	11
1.1. Géographie physique.....	11
1.2. Géographie humaine.....	11
2. Cadre géologique.....	17
2.1. Stratigraphie.....	19
2.1.1. Le chaînon du Mont Tournier.....	19
2.1.2. Les formations détritiques tertiaires : les molasses.....	19
2.2. Tectonique.....	22
2.2.1. Observations.....	22
2.2.2. Interprétations.....	23
3. Les formations quaternaires.....	25
3.1. Les dépôts glaciaires.....	25
3.2. Les dépôts fluvioglaciaires.....	25
3.3. Les éboulis.....	25
3.4. Les formations alluviales.....	27
3.4.1. Les données : le secteur aval.....	27
3.4.1.1. Structure du remplissage.....	27
3.4.1.2. Les données de forages.....	27
3.4.1.2.1. Une formation inférieure imperméable.....	27
3.4.1.2.2. Une formation aquifère.....	29
3.4.1.2.3. Une formation superficielle.....	29
3.4.2. Le secteur amont.....	29
3.4.3. Les données des forages de la Plaine du Rhône en amont de la Balme.....	31
3.4.3.1. Commune de Massignieu de Rives.....	31
3.4.3.2. Commune de Lavour.....	31
3.4.3.3. Commune de Chanaz.....	31
3.4.3.4. Commune de Culoz.....	31
3.4.4. Interprétation.....	33
CHAPITRE 2 : CLIMATOLOGIE.....	35
1. Le réseau météorologique.....	37
2. Etude climatique de la Plaine du Rhône.....	37
2.1. Les précipitations.....	37
2.1.1. Etude des données antérieures.....	37
2.1.1.1. Les données annuelles.....	37
2.1.1.1.1. Les valeurs observées.....	37
2.1.1.1.2. Comparaison.....	37
2.1.1.1.3. Ajustement à une loi statistique.....	37

2.1.1.2. Les données mensuelles et saisonnières.....	39
2.1.1.2.1. Les données mensuelles.....	39
2.1.1.2.2. Les données saisonnières.....	39
2.1.2. Etude de la période 1985-1986.....	41
2.1.2.1. Les données annuelles et mensuelles.....	41
2.1.2.2. Les précipitations moyennes décadaires.....	43
2.1.2.3. Intensité et fréquence.....	43
2.1.2.4. La neige.....	43
2.2. Les températures.....	47
2.2.1. Etude des données antérieures.....	47
2.2.2. Etude de la période 1985-1986.....	47
2.3. L'insolation.....	50
2.4. L'évapotranspiration.....	50
2.4.1. L'évapotranspiration réelle (E.T.R.).....	50
2.4.1.1. Formule de Turc.....	50
2.4.1.2. Formule de Coutagne.....	51
2.4.1.3. Diagramme de Wurdts.....	51
2.4.2. L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.).....	51
2.4.2.1. Formule de Turc.....	51
2.4.2.2. Formule de Thornthwaite.....	52
2.4.3. Bilan hydrique de Thornthwaite.....	53
2.4.4. Comparaison des résultats de l'E.T.R.....	55
2.4.4.1. Les résultats.....	55
2.4.4.2. Critiques des résultats.....	55
2.4.5. Conclusion.....	57
3. Etude climatique du Mont Tournier.....	57
3.1. Précipitations et températures.....	57
3.1.1. Les précipitations.....	57
3.1.2. Les températures.....	57
3.2. L'évapotranspiration.....	59
3.2.1. L'évapotranspiration réelle.....	59
3.2.2. L'évapotranspiration potentielle.....	59
3.2.3. Bilan de Thornthwaite.....	62
3.3. Critique des résultats et conclusions.....	62
4. Conclusion.....	62
CHAPITRE 3 : LE RHONE.....	65
1. Hydrologie.....	67
1.1. Débit du Rhône du Lemane au Guiers.....	67
1.2. Le régime du Rhône.....	67
1.2.1. période de référence.....	67
1.2.2. L'année 1985.....	69
1.3. Conclusions.....	69
2. Caractères physicochimiques.....	71
2.1. Relation résistivité-minéralisation totale.....	71
2.2. Variations des caractères physiques du Fier au Guiers...	71
2.3. Variations annuelles.....	71
2.3.1. Variations de la conductivité et de la tempéra- ture.....	71
2.3.2. Variations des paramètres chimiques.....	73
2.3.2.1. Les cations.....	76
2.3.2.2. Les anions.....	76
2.3.2.3. Conclusion.....	76

2.3.3. Modification de la composition chimique des eaux du Rhône le long de son cours.....	76
2.3.4. Conclusion.....	79
3. Le Rhône et son contre canal.....	79
4. Conclusions.....	80
CHAPITRE 4 : LE GUIERS.....	81
1. Le régime du Guiers.....	83
1.1. Période de référence.....	83
1.2. L'année 1986.....	85
1.3. Conclusions.....	85
2. Variations des paramètres physico-chimiques.....	87
2.1. Relation résistivité - minéralisation.....	87
2.2. Variations des paramètres physiques.....	87
2.3. Variations de la composition chimique.....	87
2.3.1. Les cations.....	87
2.3.2. Les anions.....	90
2.4. Conclusion.....	90
3. Conclusions.....	90
CHAPITRE 5 : LE KARST DU MONT TOURNIER.....	93
1. Introduction.....	95
2. Les observations.....	95
2.1. Les observations de surface.....	95
2.1.1. Les sources.....	95
2.1.2. Les autres indices.....	97
2.2. Les observations souterraines.....	97
2.2.1. Les explorations spéléologiques.....	97
2.2.2. Les observations dans le tunnel des eaux usées.....	98
2.3. Conclusion.....	99
3. Les opérations de traçages.....	101
4. Etude des sources : Arcanière et Fontaine du Lyon.....	101
4.1. Les variations annuelles.....	101
4.1.1. Etude hydrodynamique.....	101
4.1.1.1. Les débits.....	101
4.1.1.1.1. Méthodologie.....	101
4.1.1.1.2. Evolution : définition d'un cycle.....	101
4.1.1.1.3. Relation pluie-débit.....	103
4.1.1.1.4. Conclusion.....	103
4.1.1.2. Les courbes des débits classés.....	103
4.1.1.3. Les courbes de tarissement.....	105
4.1.1.3.1. L'Arcanière.....	105
4.1.1.3.2. La Fontaine du Lyon.....	105
4.1.1.3.3. Comparaison et conclusion.....	105
4.1.2. Etude physicochimique.....	107
4.1.2.1. Relation conductivité-minéralisation.....	107
4.1.2.2. Variations de la température et de la conductivité.....	107
4.1.2.2.1. La température.....	107
4.1.2.2.2. La conductivité.....	109

4.1.2.3.	Variations des paramètres chimiques.....	111
4.1.2.3.1.	Les cations.....	111
4.1.2.3.2.	Les anions.....	111
4.1.2.3.3.	Conclusion.....	117
4.1.3.	Etude bactériologique.....	117
4.1.3.1.	Méthode.....	117
4.1.3.2.	Evolution - relation avec les débits.....	118
4.1.3.3.	Comparaison Arcanière et Fontaine du Lyon..	118
4.1.3.4.	Conclusion.....	119
4.1.4.	Conclusion.....	119
4.2.	Les crues.....	119
4.2.1.	Crue de début de cycle.....	119
4.2.1.1.	Evolution des débits.....	121
4.2.1.2.	Evolution des températures et de la conductivité.....	121
4.2.1.3.	Interprétation conclusion.....	121
4.2.2.	Crue en période hivernale.....	123
4.2.2.1.	Evolution des caractères physico-chimiques.	123
4.2.2.2.	Interprétation-conclusion.....	123
4.2.3.	Crue du 7 au 14 Juillet 1987.....	125
4.2.4.	Conclusion.....	125
5.	Conclusion- Etablissement d'un bilan.....	125
 CHAPITRE 6 : ETUDE DES AQUIFERES GRAVITAIRES NON KARSTIQUES		129
1.	Introduction.....	131
2.	La source " Lavoisier".....	131
2.1.	Le débit.....	131
2.2.	Les paramètres physiques.....	133
2.2.1.	La température.....	133
2.2.2.	La conductivité.....	133
2.3.	Les paramètres chimiques.....	133
2.3.1.	Les anions.....	133
2.3.2.	Les cations.....	133
2.4.	Bactériologie.....	137
2.5.	Conclusion.....	137
3.	La source " Gourgux ".....	137
3.1.	Les débits.....	137
3.2.	Les paramètres physiques.....	139
3.2.1.	La température.....	139
3.2.2.	La conductivité.....	139
3.3.	Les paramètres chimiques.....	139
3.3.1.	Les anions.....	139
3.3.2.	Les cations.....	139
3.4.	Bactériologie.....	141
3.5.	Interprétation - conclusion.....	141
4.	La source " R.N.".....	141
4.1.	Le débit.....	141
4.2.	Les paramètres physiques.....	143
4.2.1.	La température.....	143
4.2.2.	La conductivité.....	143
4.3.	Les paramètres chimiques.....	143
4.3.1.	Les anions.....	143

4.3.2. Les cations.....	145
4.4. bactériologie.....	145
5. Conclusion.....	146
CHAPITRE 7. ETUDE PIEZOMETRIQUE.....	149
1. Le réseau piezométrique.....	153
2. Le secteur amont.....	153
2.1. Etude des cartes piezométriques.....	153
2.1.1. Carte du 29 Mai 1986.....	153
2.1.2. Carte du 6 et 7 août 1986.....	155
2.2. Etude de la carte de battements.....	155
2.3. Variations comparées du Rhône et de la nappe.....	155
2.4. Conclusion.....	155
2.5. Evolution de la surface piezométrique dans le temps....	157
2.5.1. Variations interannuelles.....	157
2.5.1.1. Valeur moyenne annuelle.....	157
2.5.1.2. Comparaison des hauteurs classées avant et après aménagement de Belley.....	159
2.5.1.3. Conclusion.....	159
2.5.2. Variations saisonnières de la nappe.....	159
2.5.2.1. Variations globales.....	159
2.5.2.2. Amplitude des variations.....	161
2.5.3. Evolution des valeurs piezométriques lors d'une crue du Rhône.....	161
2.5.3.1. Crue du 16 au 26 décembre 1984.....	161
2.5.3.2. Crue du 22 au 23 Janvier 1985 - applica- tion de l'équation de diffusivité.....	162
2.6. Conclusion.....	165
3. Le secteur médian.....	165
3.1. Etude des cartes piezométriques.....	165
3.1.1. Carte du 6 Novembre 1985.....	165
3.1.2. Carte du 7 Mai 1985.....	165
3.1.3. Carte du 6 et 7 août 1986.....	165
3.2. Etude carte de battements.....	166
3.3. Conclusion.....	166
3.4. Evolution de la surface piezométrique.....	166
3.4.1. Tendance globale.....	166
3.4.2. Evolution comparée des différents piezomètres....	167
3.4.2.1. Variations synchrones.....	167
3.4.2.2. Amplitude des variations.....	167
3.5. Conclusions.....	169
4. Le secteur aval.....	169
4.1. Etude des cartes piezométriques.....	169
4.1.1. Carte du 6 novembre 1985.....	169
4.1.2. Carte du 7 Mai 1986.....	169
4.1.3. Carte du 6 et 7 août 1986.....	171
4.2. Etude de la carte des battements.....	171
4.3. Conclusion.....	171
4.4. Variations saisonnières du niveau piezométrique.....	171
4.4.1. Variation globale.....	171
4.4.2. Evolution comparée des différents piezomètres....	171
4.4.3. Amplitude des variations piezométriques.....	173

4.5. Conclusion.....	173
5. Conclusions.....	173
CHAPITRE B - ETUDE CHIMIQUE DES EAUX DE LA NAPPE	175
1. Introduction.....	177
2. Les problèmes apparus.....	177
2.1. Méthodologie des mesures et prélèvements.....	177
2.1.1. Mesures " in situ".....	177
2.1.1.1. Méthode.....	177
2.1.1.2. Résultats.....	177
2.1.1.3. Interprétation.....	177
2.1.1.4. Conclusion.....	178
2.1.2. Mesures par prélèvements.....	178
2.1.2.1. Méthode et résultats.....	178
2.1.2.2. Les anomalies.....	178
2.1.2.2.1. Les observations.....	178
2.1.2.2.2. Etude des échanges de bases.....	180
2.1.2.2.3. Conclusion.....	181
2.1.2.3. Interprétation - conclusion.....	181
2.2. Les problèmes relatifs aux analyses chimiques.....	181
2.2.1. Introduction.....	181
2.2.2. Les protocoles employés.....	183
2.2.3. Etude comparative.....	183
2.2.3.1. Variation de la minéralisation.....	183
2.2.3.2. Variations des teneurs en Ca ⁺⁺ et Mg ⁺⁺	185
2.2.3.2.1. Analyses par complexométrie.....	185
2.2.3.2.2. Analyses par absorption atomique..	185
2.2.3.2.3. Résultats comparatifs.....	187
2.2.3.2.4. Conclusion.....	187
2.2.4. Conclusion.....	189
2.3. Conclusion.....	189
3. Examen des cartes des paramètres physiques et chimiques.....	189
3.1. Cartes de résistivité.....	189
3.1.1. Correspondance résistivité minéralisation.....	189
3.1.2. Le secteur amont.....	191
3.1.3. Le secteur médian.....	191
3.1.4. Le secteur aval.....	191
3.2. Cartes des températures.....	191
3.2.1. Le secteur amont.....	191
3.2.2. Le secteur médian.....	193
3.2.3. Le secteur aval.....	193
3.3. Cartes des ions principaux.....	193
3.3.1. Observations.....	193
3.3.1.1. Cartes des bicarbonates.....	193
3.3.1.1.1. Secteur amont.....	193
3.3.1.1.2. Secteur médian.....	193
3.3.1.1.3. Secteur aval.....	193
3.3.1.2. Cartes du T.H.T.....	197
3.3.1.2.1. Secteur amont.....	197
3.3.1.2.2. Secteur médian.....	197
3.3.1.2.3. Secteur aval.....	197

3.3.1.3. Cartes des sulfates.....	197
3.3.1.3.1. Secteur amont.....	197
3.3.1.3.2. Secteur médian.....	197
3.3.1.3.3. Secteur aval.....	197
3.3.2. Interprétation.....	198
3.3.2.1. Acquisition de la minéralisation.....	198
3.3.2.1.1. Equilibre calco-carbonique.....	198
3.3.2.1.2. Les sulfates.....	198
3.3.2.2. Applications à la nappe.....	198
3.3.2.2.1. Le secteur amont.....	199
3.3.2.2.2. Le secteur médian.....	199
3.3.2.2.3. Le secteur aval.....	200
3.4. Cartes des ions secondaires.....	201
3.4.1. Introduction.....	201
3.4.2. Les nitrates.....	201
3.4.2.1. Généralités : cycle de l'azote, normes.....	201
3.4.2.2. Observation - conclusion.....	203
3.4.3. Le potassium.....	205
3.4.4. Les chlorures et le sodium.....	205
4. Evolution des concentrations dans le temps.....	208
4.1. Le secteur amont.....	208
4.1.1. Observations et interprétations.....	208
4.1.2. Conclusion.....	209
4.2. Le secteur médian.....	213
4.2.1. Observations et interprétations.....	213
4.2.2. Conclusion.....	214
4.3. Le secteur aval.....	214
4.3.1. Variations chimiques des eaux du puits FPS.....	214
4.3.2. Variations chimiques des eaux du puits FP1.....	215
4.3.3. Variations chimiques au coeur de la nappe.....	215
4.3.4. Interprétations - conclusion.....	218
5. Conclusion.....	219

CHAPITRE 3 - ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE L'AQUIFERE ALLUVIAL 221

1. Introduction.....	223
2. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques.....	225
2.1. En régime d'équilibre.....	225
2.1.1. Méthode " rabattements- logarithme des distances".....	225
2.1.2. Méthode " rabattements" spécifiques-débits".....	227
2.1.2.1. Rappel théorique.....	227
2.1.2.2. Vérification des hypothèses simplifi- trices.....	227
2.1.2.3. Application.....	227
2.2. En régime de non-équilibre.....	229
2.2.1. Méthode de la courbe de descente de C.V. THEISS et C.E. JACOB.....	229
2.2.2. Méthode de la remontée de THEISS-JACOB.....	231
2.3. Détermination des coefficients de perméabilité.....	233
2.4. Critique des résultats.....	233
2.4.1. Forage F1 et F2.....	233
2.4.2. Forage FP2.....	235

2.4.3. Forage FP9.....	235
3. Comparaison des résultats suivant les secteurs d'implantations - Conclusion.....	237
<u>CHAPITRE 10 - CONCLUSION GENERALE.....</u>	239
<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>	245
<u>TABLE DES MATIERES.....</u>	249
<u>LISTE DES FIGURES.....</u>	257
<u>ANNEXES.....</u>	263

LISTE DES FIGURES

PAGES

Figure numéro	1	: Situation géographique.....	10
"	"	2 : Courbe hypsométrique. Massif du Mont Tournier.	12
"	"	3 : Tableau de répartition des altitudes.....	12
"	"	4 : Passage des plis jurassiens aux plis Sub- alpins.....	12
"	"	5 : Réseau hydrographique.....	13
"	"	6 : Aménagement de Belley.....	14
"	"	7 : Aménagement de Bregnier-Cordon.....	15
"	"	8 : Aménagement type.....	15
"	"	9 : Carte géologique simplifiée.....	16
"	"	10 : Colonne stratigraphique synthétique des terrains mésozoïques.....	18
"	"	11 : Coupe géologique du massif du Mont Tournier le long du tunnel des eaux usées.....	20
"	"	12 : Coupes géologiques du chaînon du Mont Tournier	20
"	"	13 : Coupe en bordure Nord-Orientale du synclino- rium du Bas-Dauphiné.....	21
"	"	14 : Coupe géologique de la fouille du barrage de Champagneux.....	21
"	"	15 : Côtes du mur de l'aquifère.....	24
"	"	16 : Coupes géologiques des forages - secteur aval.	26
"	"	17 : Coupes géologiques des forages - secteur amont	28
"	"	18 : Granulométrie de la formation superficielle...	30
"	"	19 : Le remplissage alluvial de la vallée du Rhône entre Culoz et St Genix sur Guiers.....	32
"	"	20 : Localisation du réseau météorologique.....	36
"	"	21 : Relation entre les stations de la Balme et de Yenne.....	38
"	"	22 : Variations interannuelles des précipitations..	38
"	"	23 : Ajustement à la loi normale des précipita- tions annuelles.....	40
"	"	24 : Valeurs des précipitations en 1985, 1986.....	40
"	"	25 : Précipitations moyennes décennales 1985, 1986..	42
"	"	26 : Evolution mensuelle de l'intensité et de la fréquence des précipitations.....	44
"	"	27 : Températures mensuelles. La Balme 1985.....	45
"	"	28 : Températures mensuelles. La Balme 1986.....	45
"	"	29 : Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales en 1985 et 1986. La Balme.....	46
"	"	30 : Températures La Balme 1985.....	48
"	"	31 : Températures la Balme 1986.....	48
"	"	32 : Valeurs extrêmes des températures 1985. La Balme.....	49
"	"	33 : Valeurs extrêmes des températures 1986. La Balme.....	49
"	"	34 : Bilan hydrologique de Thornthwaite pour la plaine du Rhône : 1985.....	54
"	"	35 : Bilan hydrologique de Thornthwaite pour la plaine du Rhône : 1986.....	54

Figure numéro 68 :	Etude de tarissement de la source Fontaine du Lyon.....	106
" "	69 : Relation conductivité - Minéralisation totale calculée des eaux des sources Arcanière et Fontaine du Lyon.....	108
" "	70 : Variation de la température et de la conductivité 1986 - sources Arcanière et Fontaine du Lyon.....	108
" "	71 : Catalogue de distributions de fréquence des Valeurs de la conductivité des eaux.....	110
" "	72 : Distributions de fréquence des valeurs de la conductivité des eaux des sources du massif du Mont Tournier.....	110
" "	73 : Variations des paramètres physicochimiques des sources karstiques.....	112
" "	74 : " " " ".....	112
" "	75 : " " " ".....	113
" "	76 : Tableau des valeurs remarquables des paramètres physico-chimiques des sources d'origine karstique.....	113
" "	77 : Représentation graphique de l'eau de L'Arcanière.....	114
" "	78 : Représentation graphique de l'eau de la Fontaine du Lyon.....	114
" "	79 : Variation annuelle de la pollution organique relation avec le débit, source Arcanière.....	116
" "	80 : Relation nombre de germes avec le débit (Arcanière)	116
" "	81 : Variation des valeurs de conductivité, de débit et de température pour les sources Arcanière et Fontaine du Lyon lors d'un épisode pluvieux.....	120
" "	82 : Débit de l'Arcanière et précipitations à la Balme (16/2-5/3).....	122
" "	83 : Variation des caractères physico-chimique de la source Arcanière lors d'une crue(18/2-5/3).....	122
" "	84 : Etude de la variation de la conductivité, lors d'une phase de tarissement de la source Arcanière (7/7/1987).....	124
" "	85 : Etude de la variation de la pollution organique de la source Arcanière (7/7/1987).....	124
" "	86 : Situation et identification des forages et sources étudiées.....	130
" "	87 : Variations des débits des sources : R.N. Lavoir, Gourgux.....	132
" "	88 : Variations de la température, de la conductivité pour les sources : R.N., Lavoir, Gourgux.....	132
" "	89 : Distribution de fréquence des valeurs de la conductivité pour la source Lavoir.....	134
" "	90 : Représentation graphique des eaux de la la source Lavoir.....	134
" "	91 : Variations des caractères physico-chimiques de la source Lavoir.....	135

Figure numéro 149 :	Variations des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe secteur amont.....	210
" "	150 : " " " "	211
" "	151 : Variations des paramètres physico-chimiques des eaux de la nappe secteur médian.....	211
" "	152 : " " " "	212
" "	153 : " " " "	212
" "	154 : Variations des paramètres physicochimiques des eaux de la nappe secteur aval.....	216
" "	155 : " " " "	216
" "	156 : " " " "	217
" "	157 : Variations des teneurs en nitrates des eaux de la nappe secteur aval.....	217
" "	158 : Droites rabattements/log des distances - Forages F1 et F2.....	224
" "	159 : Droites rabattements spécifiques/débits.....	226
" "	160 : Droites rabattements/temps de descente - Forage F 1.....	228
" "	161 : Droites rabattements/temps de descente - Forage F 1 F 2.....	228
" "	162 : Droites rabattements/temps de descente Forage FP 2.....	228
" "	163 : Courbe de remontée de la nappe - Forage F 1.....	232
" "	164 : Droites rabattements/temps de remontée Forage FP 2.....	232
" "	165 : Paramètres hydro dynamiques des forages étudiés.....	234
" "	166 : Courbes caractéristiques des forages.....	236

ANNEXES

=====

6 NOVEMBRE 1985							
PIEZOMETRES	COTE PIEZOMETRIQUE	PIEZOMETRES	COTE PIEZOMETRIQUE	PIEZOMETRES	COTE PIEZOMETRIQUE	PIEZOMETRES	COTE PIEZOMETRIQUE
3P 18	215.78	3P 55	210.45	P 30	214.96	P 45	210.46
3P 17	216.19	P 47	208.51	4P 7	214.45	29 MAI 1986	
P 26	216.44	3P 60	212.18	P 31	214.64	P 137	218.85
3P 11	216.52	3P 66	208.52	P 33	214.56	P 87	218.81
P 27	216.15	3P 32	213.03	3P 29	214.21	P 90	218.77
P 28	215.93	3P 47	210.11	P 35	213.16	P 157	218.63
3P 20	214.16	3P 48	209.49	P 34	213.22	P 156	218.29
3P 19	215.82	P 46	208.59	P 36	213.90	P 138	218.56
3P 30	215.38	P 45	209.35	3P 38	212.55	P 139	218.45
P 31	214.83	7 MAI 1986		3P 41	212.04	P 155	218.03
P 33	214.82	3P 18	215.92	P 38	212.78	P 140	218.28
P 35	212.93	3P 17	216.08	3P 37	212.49	PUITS 1	218.37
P 34	212.67	4P 4	216.34	P 39	212.21		
P 36	213.53	4P 3	217.05	P 44	211.73		
3P 38	212.24	P 26	216.22	P 41	210.65		
3P 41	211.80	4P 5	216.06	3P 53	211.88		
P 38	211.95	3P 11	216.06	3P 55	211.20		
3P 37	211.70	P 27	215.75	3P 32	213.15		
P 39	211.65	P 28	215.39	3P 47	210.41		
P 44	211.06	3P 20	213.59	P 47	208.92		
P 40	209.94	3P 19	215.46	3P 60	212.18		
P 41	209.88	4P 6	214.60	3P 66	209.36		
3P 53	210.87	4P 8	214.34	P 46	209.18		

Cote piezometrique N.G.F. en m

TABLEAU DES RELEVES PIEZOMETRIQUES -1985 .1986 -
LA NAPPE DU RHONE ENTRE LA BALME ET SAINT GENIX/GUIERS

DATE	DEBIT	C	T	DATE	DEBIT	C	T	DATE	DEBIT	C	T
21/1	72	327	9.3	6/5	164	325	9.8	26/8	12	387	10.4
28/1	38			7/5	128	341	9.6	28/8	16	392	10.2
4/2	38			12/5	100	351	8.4	3/9	6	385	10.6
11/2	24			13/5	92	345	9.7	12/9	6	402	10
18/2	25.5			14/5	65	334	9.9	20/9	10.5	375	10.8
19/2	560	286	9.3	15/5	52	353	9.8	1/10	21	399	11.6
20/2	240	301	9	16/5	52	357	10.3	9/10	8	364	10.8
21/2	154	311	8.9	17/5	48	355	10	15/10	8	372	10.9
22/2	118	319	8.9	18/5	122	359	8.6	16/10	6	382	11
24/2	380	298	8.6	19/5	100	352	9	19/10	7	372	11.3
25/2	256	301	8.9	20/5	78	356	8.9	21/10	5	350	11.4
26/2	158	307	9	21/5	60	357	9.6	22/10	7.5	393	11
4/3	96	326	10.4	27/5	52	359	9.7	27/10	148	396	11.3
5/3	96			28/5	78	356	10.1	28/10	88		
12/3	96			29/5	60	356	10.1	29/10	45	395	11.3
18/3	50	327	10.2	4/6	32	371	10.3	30/10	48	410	10.6
25/3	294			16/6	18	392	10.4	5/11	93	371	11.4
1/4	190	315	9.9	8/7	94	368	11	13/11	18	423	10.8
7/4	225	324	9.3	15/7	16	378	10.1	18/11	78		
8/4	160	329	9.8	23/7	8	389	10	26/11	98	432	10.8
15/4	50	346	10.3	24/7	7			3/12	26		
22/4	700	327	10.2	29/7	7	387	9.9	9/12	22		
29/4	136	331	10.3	1/8	7	390	10.2	18/12	386		
30/4	108	329	10.1	5/8	7	389	10.4				
1/5	100	342	9.6	12/8	8	401	9.2				
5/5	206	332	9	19/8	10	389	10.8				

(FIG) TABLEAU DES MESURES PHYSIQUES -SOURCE ARCANIERE-1986-
 DEBIT EN l/s
 CONDUCTIVITE EN $\mu\text{S.cm}^{-1}$ à 20°C (C)
 TEMPERATURE EN °C (T)

DATE	DEBIT	C	T	DATE	DEBIT	C	T
30/7 85	61		11.1	20/1	361		10.2
21/8	52		11.7	21/1	132	385	10.6
28/8	51.5		11.2	28/1	132		10.7
11/9	49		11.9	4/2	100		10.7
17/9	49		11.8	11/2	62		10.1
23/9	46		11.5	19/2	305		10.6
1/10	46		10.8	21/2	147		9.9
8/10	42		11.1	24/2	286	350	10.4
15/10	40.5		10.9	25/2	216		10.5
22/10	40.5		11.2	26/2	157	359	11.1
29/10	40	631	11.5	4/3	113	373	11.4
5/11	39		11.4	5/3	112	380	11.1
12/11	40		11	12/3	117		11.1
18/11	39		10.9	18/3	109	364	10.7
26/11	38	608	11.1	25/3	230	346	10.6
10/12	38		10.8	1/4	117	382	9.8
17/12	36	600	12	8/4	211	375	10.8
21/1 86	40	588	12.4	15/4	150	374	10.8
28/1	37.5		12.1	22/4	200	350	11
4/2	36		9.4	29/4	206	357	11
11/2	35		11.1	30/4	206	364	10.9
19/2	40		12.2	1/5	198	376	9.9
20/2	38		12.2	5/5	265	356	9.9
25/2	37		13.4	6/5	229	357	10.5
5/3	36	581		7/5	206	359	10.7
18/3	35	583		12/5	165	374	10

DATE	DEBIT	C	T	DATE	DEBIT	C	T
13/5	157	379	10.2	20/5	133	384	9.9
14/5	149	376	10.6	21/5	133	382	10.4
15/5	141	380	10.7	21/5	149	372	10.6
17/5	200	374	10.7	22/5	147		9.9
18/5	170	370	10.1	22/5	117	387	10.5
19/5	149	372	10.6	28/5	117	383	11.1
21/10	20	382	12.6	29/5	109	385	11.4
22/10	12	380	12.3	4/6	105	385	11.1
23/10	20	416	10	16/6	100	390	11.1
27/10	90	390	11.6	8/7	100	368	11.7
28/10	64			15/7	30	399	11
29/10	50	390	12.4	23/7	29.5	398	11.3
30/10	50	401	11.2	24/7	29.5	405	10.6
31/10	94	370	11.8	30/7	29.5	423	9
5/11	94	370	11.8	1/8	30	399	11.1
13/11	45	407	11.7	5/8	22	385	11.5
18/11	96			12/8	36	386	11.2
26/11	109	429	11.2	19/8	44	369	11.6
3/12	80			26/8	30	383	11.7
9/12	50			28/8	36	393	11
16/12	200			3/9	22	413	9.4
				12/9	20	389	11.9

TABEAU DES MESURES PHYSIQUES-SOURCE FONTAINE DU LYON-1986-
 DEBIT EN l/s
 CONDUCTIVITE EN $\mu S \cdot cm^{-1}$ a 20°C (C)
 TEMPERATURE EN °C (T)

TABEAU DES MESURES PHYSIQUES-SOURCE R.N.-1985-1986-
 DEBIT EN l/mn
 CONDUCTIVITE EN $\mu S \cdot cm^{-1}$ a 20°C (C)
 TEMPERATURE EN °C (T)

DATE	DEBIT	C	T	DATE	DEBIT	C	T	DATE	DEBIT	C	T	DATE	DEBIT	C	T
29/10/85	1.2	427	9.85	14/5	9.2	410	10.7	17/4/85	24			28/1	17		12.4
26/11	1.1	405	6.45	15/5	8.2	405	11	7/5	22			4/2	17		
17/12	0.8	386	7.5	16/5	8	392	11.4	14/5	26			11/2	16.5		
21/1/86	6	378	8.2	17/5	8.5	408	11.2	21/5	16			19/2	18		
28/1	8.7			18/5	8.5	405	10.7	25/2	18			25/2	18		
20/2	20.5	349	9.9	19/5	7.2	415	10.3	5/3	17.5	348	6.4	5/3	17.5	348	6.4
22/2	9.5	376	9.2	20/5	7.2	418	10	11/6	21			12/3	17		
24/2	20.5	346	10	21/5	6.8	410	10.9	3/7	18			1/4	17.5	347	8.2
25/2	20.5	354	10.2	27/5	6.8	410	10.7	30/7	18			8/4	19	349	8.6
26/2		376	8.9	28/5	8	404	11.4	21/8	16			15/4	18.5	347	8.2
4/3	13	392	8.9	29/5	7.5	401	11.5	24/8	16.5			29/4	20	354	9.3
5/3	11	386	9.6	3/6	5.2	402	11.3	11/9	18			6/5	20.5	370	9.6
12/3	6.2			16/6	4	408	11.4	17/9	16			13/5	19.5		
18/3	5	393	9.5	8/7	5	405	11.8	23/9	17			20/5	19.5	356	11.7
25/3	13.5	386	9.6	15/7	3	415	11.5	1/10	16			28/5	19.5	359	11.5
1/4	10.5	367	10.4	23/7	2.7	415	11.2	8/10	16			4/6	18	343	11.2
8/4	15	382	10.9	29/7	2.5	413	11	15/10	15.5			16/6	15.5	349	12.1
15/4	7.5	385	9.9	1/8	2.3	415	11.6	22/10	15			8/7	10.5	338	13.8
22/4	14.5	367	11.2	5/8	2.5	395	11.9	29/10	16	341	10.6	15/7	11	341	13.3
29/4	17.5	387	11.6	12/8	1.5	400	10.6	5/11	15			23/7	9	336	14.2
30/4	15	398	11.3	18/8	2	374	11.6	12/11	15.5			30/7	11.2	302	17
1/5	13	412	10.6	28/8	2.5	421	11.3	18/11	15			6/8	12.3	258	17.5
6/5	18	392	11.1	4/9	2			26/11	15.5	331	8.2	28/8	11.7	296	16
7/5	16	402	11	1/10	2.2	451	9.5	10/12	15.5			4/9		302	15
12/5	11.5	410	10.2	9/10	1.5	413	11.7	17/12	15.5	327	8	9/10	11.6	303	14.5
13/5	10.5	410	10.7	21/10	1	363	11.9	21/1/86	16.5	347	6.3	15/10	14.5	320	12.5

TABLEAU DES MESURES PHYSIQUES-SOURCE LAVOIR-1985-1986-
 DEBIT EN l/min
 CONDUCTIVITE EN $\mu S \cdot cm^{-1}$ à 20°C (C)
 TEMPERATURE EN °C (T)

TABLEAU DES MESURES PHYSIQUES-SOURCE COURGUX-1985-1986-
 DEBIT EN l/min
 CONDUCTIVITE EN $\mu S \cdot cm^{-1}$ à 20°C (C)
 TEMPERATURE EN °C (T)

DATE	DEBIT	C	Y	DATE	DEBIT	C	T	DATE	HAUTEUR LIMNIM.	I	C	DATE	HAUTEUR LIMNIM.	T	C
6/11 85	15.5	372	10.2	12/8	35.5	249	11	6/1	217.05			27/5	217.50	13.7	241
26/11	3			18/8	6	312	16.4	21/1	217.01			28/5	217.55	13	266
10/12	7.5			26/8	6.5	332	10.8	28/1	217.10	5.25	320	29/5	217.50	11	252
17/12	3	410	4.1	28/8	6	308	12.7	4/2	217			4/6	217.50	12.8	267
21/1 86	24	365	4.3	4/9	4	388	10	11/2	217			16/6	216.85	13.9	257
4/2	11.5			12/9	2	360	14.1	19/2	217.10			8/7	217.30	12.2	242
19/2	44			20/9	2	361	14	24/2	217.25			15/7	217.05	17.8	253
25/2	24			1/10	2	375	10.9	25/2	217.10			23/7	216.90	18.3	260
5/3	20.5	356	5.2	9/10	2	381	13.5	26/2	216.95	4.1	330	30/7	216.85	15.1	268
18/3	17			15/10	2	368	14.7	4/3	217.35			1/8	217.20	19.5	235
1/4	31	310	7.5	21/10	2	343	11.7	5/3	217.02	4.5	320	5/8	216.90	19.9	231
8/4	51	292	7.2	22/10	2	318	12.4	12/3	217.12			12/8	217.30	19	231
15/4	20.5	338	7.8	23/10	77			18/3	216.90			18/8	217.20	18.1	229
22/4	59	280	7.7	5/11	8	281	6.3	25/3	217.35			26/8	217.20	10.4	255
5/5	50.5	279	9.3	13/11	5.5	251	5.2	8/4	217.34	6.4	314	28/8	217.27	11.7	256
6.5	50.5	271	8	18/11	11.5			15/4	217.30	6.1	309	4/9	217.05	15	264
7.5	50	260	8.7	26/11	15	368	5.6	22/4	217.36	8	303	12/9	216.90	16.5	250
13/5	41			3/12	6.5			29/4	217.26	7.6	289	20/9	216.96	13.5	243
19.5	27	265	12.3	9/12	5.5			30/4	217.15	7.2	287	1/10	216.97	12.6	284
27.5	22	285	14.4	18/12	17			1/5	217.25	7.1	300	9/10	217.10	15.5	256
4.6	15	290	11.4					5/5	217.45	9.2	271	15/10	216.90	15.9	255
26/6	15	324	15.4					6/5	217.25	9.3	271	21/10	216.66	15	250
8/7	27	279	10					7/5	217.41	9	265	22/10	217.02	14.3	257
15/7	5.5	332	17.3					13/5	217.42	10.9	264	23/10	217.15		
23/7	4	336	18.4					18/5	217.45	8.7	252	5/11	216.70	9.2	263
30/7	2.5	372	17.6					19/5	217.40	10.4	246	13/11	216.88	8.8	279

TABLEAU DES MESURES PHYSIQUES - LE RHONE-LA BALME-1986-
 HAUTEUR LIMNIMETRIQUE-COTE N.G.F. EN m
 C: CONDUCTIVITE EN $\mu S.cm^{-1}$ à 20°C
 T: TEMPERATURE EN °C

TABLEAU DES MESURES PHYSIQUES - LE GUIERS
 S GENIX-1985-1986-
 DEBIT EN m^3/s
 CONDUCTIVITE EN $\mu S.cm^{-1}$ (C)
 TEMPERATURE EN °C. (T)

DATE	DEBIT	C	T	DATE	DEBIT	C	T	DATE	HAUTEUR LIMNIM.	Y	C	DATE	HAUTEUR LIMNIM.	Y	C	DATE	HAUTEUR LIMNIM.	Y	C
6/11/85	15.5	372	10.2	12/8	35.5	249	11	6/1	217.05			27/5	217.50		244	18/11	216.80		
26/11	3			18/8	6	312	16.4	21/1	217.01			28/5	217.55	13	286	26/11	216.75		
10/12	7.5			26/8	6.5	332	10.8	28/1	217.10	5.25	320	29/5	217.50	11	252	3/12	216.93		
17/12	3	410	4.1	28/8	6	308	12.7	4/2	217			4/6	217.50	12.8	267	9/12	216.95		
21/1/86	24	365	4.3	4/9	4	388	10	11/2	217			16/6	216.85	13.9	257	18/12	216.80		
4/2	11.5			12/9	2	360	14.1	19/2	217.10			8/7	217.30	12.2	242				
19/2	44			20/9	2	361	14	24/2	217.25			15/7	217.05	17.8	253				
25/2	24			1/10	2	375	10.9	25/2	217.10			23/7	216.90	18.3	260				
5/3	20.5	356	5.2	9/10	2	381	13.5	26/2	216.95	4.1	330	30/7	216.85	15.1	268				
18/3	17			15/10	2	368	14.7	4/3	217.35			1/8	217.20	19.5	235				
1/4	31	310	7.5	21/10	2	343	13.7	5/3	217.02	4.5	320	5/8	216.90	19.9	231				
8/4	51	292	7.2	22/10	2	318	12.4	12/3	217.12			12/8	217.30	19	231				
15/4	20.5	338	7.8	23/10	77			18/3	216.90			18/8	217.20	18.1	229				
22/4	59	280	7.7	5/11	8	281	6.3	25/3	217.35			26/8	217.20	10.4	255				
5/5	50.5	279	9.3	13/11	5.5	251	5.2	8/4	217.34	6.4	314	28/8	217.27	11.7	256				
6.5	50.5	271	8	18/11	11.5			15/4	217.30	6.1	309	4/9	217.05	15	264				
7.5	50	260	8.7	26/11	15	368	5.6	22/4	217.36	8	303	12/9	216.90	16.5	250				
13/5	41			3/12	6.5			29/4	217.26	7.6	289	20/9	216.96	13.5	243				
19.5	27	265	12.3	9/12	5.5			30/4	217.15	7.2	297	1/10	216.97	12.6	284				
27.5	22	285	14.4	18/12	17			1/5	217.25	7.1	300	9/10	217.10	15.5	256				
4.6	15	290	11.4					5/5	217.45	9.2	271	15/10	216.90	15.9	255				
86/6	15	324	15.4					6/5	217.25	9.3	271	21/10	216.66	15	250				
8/7	27	279	10					7/5	217.41	9	265	22/10	217.02	14.3	257				
15/7	5.5	332	17.3					13/5	217.42	10.9	264	23/10	217.15						
20/7	4	336	18.4					18/5	217.45	8.7	252	5/11	216.70	9.2	263				
30/7	2.5	372	17.6					19/5	217.40	10.4	246	13/11	216.88	8.8	279				

TABLEAU DES MESURES PHYSIQUES -LE RHONE-LA BALME-1986-
 HAUTEUR LIMNIMETRIQUE: COTE N.G.F. EN m
 C: CONDUCTIVITE EN $\mu S \cdot cm^{-1}$ à 20°C
 T: TEMPERATURE EN °C

TABLEAU DES MESURES PHYSIQUES -LE GUIENS
 S GENIX-1985-1986-
 DEBIT EN m^3/s
 CONDUCTIVITE EN $\mu S \cdot cm^{-1}$ (C)
 TEMPERATURE EN °C. (T)

RESULTATS NUMERIQUES DES ANALYSES CHIMIQUES

Techniques d'analyses

Les méthodes de dosage des ions ont été les suivantes :

- * T.H.T., Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ : Dosage complexométrique (Formation d'un complexe entre ions alcalino-terreux et l'acide éthylène diamine tetracétique - E.D.T.A.-).
- * HCO₃⁻ : Dosage acidimétrique
- * Cl⁻ : Méthode au nitrate mercurique
- * SO₄⁻⁻ : Dosage par nephelométrie : méthode HACH (réactif Sulfaver 4)
- * NO₃⁻ : Dosage par colorimétrie : méthode HACH (réactif Nitraver 5)
- * K⁺ : Dosage par spectrométrie d'absorbtion atomique
Longueur d'onde utilisée : $\lambda = 750$ n.m
- * Na⁺ : Dosage par spectrometrie d'émission atomique
Longueur d'onde utilisée : $\lambda = 589$ n.m

REMARQUE

Malgré un essai de prise en compte des concentrations de calcium, les valeurs de mesures de la concentration en sodium des premiers prélèvements se sont avérées erronées en raison d'un réglage défectueux de l'appareil. Ce problème fut résolu lors des séances d'analyses suivantes.

Identification	Q ou HP	T	R	T.H.T.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C	T.A.C.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁻	A	X
P 47	208.77	11.7	4920	11.2	37.5	4.5	5.05	3.71	2.56	11.45	139.7	8.8	2.2	0	2.59	202
LE QUIERS	/	18.2	3580	19.8	70.1	5.6	5.2	2.15	4.25	18.4	224.5	8.6	9.5	5.3	4.21	331
3 P66	208.78	11.8	2120	32.3	95.8	20.4	7.85	4.44	6.89	29.1	358.7	8.8	18.5	14.1	6.75	524
P 46	208.82	10.7	1540	35	121.1	11.7	4.85	0.84	7.23	25.3	308.7	9.5	69	0	6.77	525
FP 4	/	15.3	1840	36.1	126.6	10.9	3.25	4.23	7.47	35.7	433.1	11.1	17	3.1	7.81	609
3P 47	211.4	12.6	1920	28.1	99	8.3	3.7	2.15	5.84	25.7	313.5	8.1	0	25.5	5.73	460
3P 32	213.10	12.7	/	21.2	76.7	5	7.75	5.38	4.72	20.2	264.4	9.9	0	2.6	4.36	371
P 155	217.29	11	3360	23.5	79.8	8.8	11	1.47	5.56	21.8	266.0	7.4	16	13.2	5.12	404
FP 10	/	11.2	3200	22.05	71.7	10.1	7.2	2.51	4.78	19.2	234.2	9.8	28	4.4	4.77	358
P 140	217.76	9.7	2820	25	70.1	18.2	4	1.73	5.21	23.35	284.9	8.1	29	4.8	5.58	420
FP 16	218.16	11.9	2630	24.2	80.6	9.7	5.95	24	5.69	26	317.2	6.6	8	2.2	5.60	446
FP 15	218.11	11.5	2380	26.1	90.4	8.6	6.1	6.52	5.66	23.3	284.3	7.2	22	8.4	5.46	433
P 139	217.82	9.8	2350	33.35	95	23.5	3.75	1.1	6.86	29.4	358.7	7.8	25	10.6	6.79	526
FP 17	217.78	10.4	2410	35.35	122.2	11.8	3.6	1.57	7.27	33.8	412.4	6.8	12	8.4	7.34	579
P 156	217.77	10.2	2080	31.8	102.4	15.3	3.6	1.2	6.55	34.8	422.6	7.6	27	0.9	7.83	575
P 138	217.97	9.5	2610	30.4	108.2	8.3	3.9	2.15	6.31	29.4	358.7	7.6	21	9.7	6.69	520
P 90	217.99	9.7	2530	25	77.8	13.6	4.4	1.36	5.23	22.7	276.9	6.6	30	8.8	5.49	420
P 87	218.10	10	3420	19.75	66.5	7.7	5.2	1.78	4.23	16.2	197.6	6.6	34	5.3	4.23	325

Q : Debit en l/m ; HP : Hauteur Piezometrique ; T : Temperature en °c. ; R : Resistivite en Ω.cm ; C : somme des cations en m.eq.
 A : somme des anions en m.eq.
 X : Mineralisation totale en mg/l
 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁼⁼, NO₃⁻ : en mg/l

PRELEVEMENTS
 DU 6 ET 7 AOUT 1986

Identification	Q ou HP	T	R	T.H.T.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C	T.A.C.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁻	A	X
3 P18	215.29	10.7	3840	10.95	37.3	4	49.4	1.26	4.37	21.15	258	12.8	0	0	4.58	363
3 P17	215.77	12.7	3080	26.55	94.6	7.2	6.8	1.21	5.64	25.9	316	8.8	1	0	5.45	436
4 P4	216.2	12.2	2520	26.75	72.9	20.8	2.5	0.90	5.48	26.3	320	2.5	0	0	5.33	420
Le Rhône	/	20	4640	12.85	38.3	7.9	4.4	1.83	2.81	7.6	92.7	8.8	53	3.1	2.80	210
P 26	216.11	10.7	/	31.20	52.7	43.9	3.6	2.85	6.47	29.7	352.3	5.6	30	1.3	6.74	502
4 5	216.05	10	2960	22.0	60.1	17	3.8	2.20	4.48	18.25	224.9	8.1	27	4.9	4.56	348
Centre Caral NCFD	/	12.3	3390	18.1	50.1	13.6	4.4	1.35	3.85	15.1	184.2	10	39	2.6	4.20	305
4 P3	216.85	11	2630	23.1	59.7	19.9	4.65	3.05	4.90	21.85	256.6	10.9	17.5	2.0	5.07	384
3 P11	217.02	11.6	/	9.3	28.5	5.4	4.1	4.20	2.15	11.9	145.2	9	0	0	2.67	197
P 27	215.68	11.3	2130	30.05	97	14.2	3.35	2.30	6.22	27.45	334.9	7.8	13.5	9.2	6.14	490
P 28	215.44	11.2	2670	24.10	79	10.7	3.50	1.31	5.00	20.50	250.1	7.8	24	6.8	4.93	383
3 P 20	213.30	10	3680	15.2	52.1	7.78	4.6	1.28	3.47	11.7	142.7	6.4	46	2.0	3.51	283
4 6	214.58	11	2390	27.3	84.2	15.3	2.95	1.57	5.63	24.1	294.0	8.5	17	8.4	5.55	432
4 8	214.41	11.9	2420	28.1	70.1	25.8	3.45	1.42	5.81	26.1	318.4	7.4	11	3.5	5.72	441
P 30	214.92	11.4	2420	26.1	62.9	20.9	3.10	2.41	5.05	23.8	290.4	7.2	13.2	35	5.79	435
3 P 19	215.35	11.9	1670	36.6	123.8	13.8	6.45	23.60	8.19	32.7	398.9	8.6	27	14.5	7.57	616
4 P7	214.43	11.3	2100	32.2	105.2	12.6	3.6	2.2	6.66	29.6	351.1	7.2	11.5	7	6.47	513
P 31	214.48	11.6	2180	31.15	97	16.9	4.4	0.95	6.44	28.7	350.1	7.0	9.2	5.3	6.21	491

Q : Debit en l/m ; HP : Hauteur Piezometrique ; T : Temperature en °c. ; R : Resistivite en Ω.cm ; C : somme des cations en m.eq.
 A : somme des anions en m.eq.
 X : Mineralisation totale en mg/l
 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁼⁼, NO₃⁻ : en mg/l

PRELEVEMENTS
 DU 6 ET 7 AOUT 1986

Identification	Q ou HP	T	R	T.H.T.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C	T.A.C.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻	A	M
P 33	214.55	10.8	1990	33.8	61.5	44.8	2.9	1.10	6.92	25.45	322.7	7.4	17	59.4	6.80	517
3P 29	214.55	10.8	1990	29.05	60.8	21.6	3.5	1.16	5.99	25.90	316	8.4	24	0	5.92	456
P 35	213.04	13.6	2860	17.05	29.3	23.7	27	4.7	4.09	16.5	201.3	10.2	10.5	0	3.81	306
P 34	212.86	13.0	1250	37.20	121.4	16.5	40	3.03	9.26	Imp.	Imp.	0	0	0		
3P 38	212.32		1930	30.75	86.4	22.3	6.7	1.21	6.46	33.5	408.7	9.5	12.5	1.3	7.25	541
NG 70	213.14	12.3		32.0	112.4	9.8	3.9	1.31	6.62			8	29	0		
NG 58	214.12	12.7	2220	30.40	96.2	15.6	3.4	1.10	6.26	29.30	357.5	6.9	25.5	11.9	6.77	517
NG 42	215.30	14.3	3330	15.4	51.3	6.3	4.65	1.89	3.33	10.6	129.3	7.1	48	2.2	3.36	315
NG 30	215.56	12.4	2870	23.8	77.8	10.7	3.75	1.42	4.96	20.9	255.0	6.8	22.5	5.7	4.93	384
FP 8		11.1	2540	28.5	100.2	8.5	4.85	7.46	6.10	25.4	309.9	8.8	9.5	20.7	5.86	470
FP 6		13.5	2490	23.2	81.4	7.1	4.45	20	5.34	23.9	291.6	8.1	8	9.2	5.33	430
3P 41	211.91	15	1810	33.3	103.8	18	3.8	1.1	6.85	30.5	372.1	7.8	34	0	7.03	541
P 38	212.0	11.2	2670	23.6	86.6	4.5	6.2	16.2	5.40	24.2	295.2	8.6	14	0	5.37	431
3P 37	211.71	11.0	1850	35.7	121	12.7	4.65	1.42	7.32	36.95	450.8	8.0	0	3.5	7.68	602
P 39	211.44	10.3	2200	29.5	91.8	16.3	5.3	2.93	6.22	31.7	386.7	8.3	10	0	6.78	521
P 44	211.25	10.2	2300	26.1	79.8	15	5.7	5.9	5.61	31.0	378.2	7.0	26	0	6.94	518
P 41	210.04	12.2		2.75	9.2	1.1	22.1	4.75	1.63	7.4	90.3	6.2	3.5	0.9	1.73	138
3P 55	210.57	12.2	2090	35.8	111.4	19.3	4.75	1.1	7.39	35.15	428.8	14.2	49	0	7.83	629

Q : Debit en l/mn ; HP : Hauteur Piezometrique ; T : Temperature en °c. ; R : Resistivite en Ω.cm ; C : somme des cations en m.eq.
A : somme des anions en m.eq.

Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁻⁻, NO₃⁻ : en mg/l

PRELEVEMENTS

DU 6 ET 7 AOUT 1986

M : Mineralisation totale en mg/l

Identification	Q ou HP	T	R	T.H.T.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C	T.A.C.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻	A	M
P 157	217.92	10.7	3000	21.2	68.5	10	5.15	3.08	4.55	18.4	224.5	6.8	18	4.0	4.30	340
P 137	218.08	11.2	3080	19.8	62.9	10	5	1.78	4.23	16.6	202.5	6.4	29	2	4.13	320
FP 12		11.8	2430	25.7	89.4	8.3	6.5	2.67	5.49	22.6	275.7	8.4	25	4	5.32	419
FP 13		11.2	2600	23.7	79.4	9.5	4.8	2.35	5.01	19.6	239.1	6.6	32	12.3	4.98	446
FP 14		12.3	2410	28.35	104.4	5.6	7.4	5.79	6.14	25.8	314.8	7.0	30	17.2	6.26	492

Q : Debit en l/mn ; HP : Hauteur Piezometrique ; T : Temperature en °c. ; R : Resistivite en Ω.cm ; C : somme des cations en m.eq.
A : somme des anions en m.eq.

Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁻⁻, NO₃⁻ : en mg/l

PRELEVEMENTS

DU 6 ET 7 AOUT 1986

M : Mineralisation totale en mg/l

DATE	Q ou HP	T	R	T.H.F.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C	T.A.C.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁻	A
21/1/85		12.2		28.1	111.4	7.3		1.17	5.65	27.9	340	5.1	25	3.7	6.29
20/2/85		12.5		33	121.8	6.3		0.83	6.58	31.3	382	7	18	3.7	6.90
20/3/85		11.9		32.55	108	7.5		1.05	6.05	30.2	368.4	7.8	19	2.4	6.70
24/4/85		12.1		30.3	107.4	8.5		1.17	6.10	26.95	328.8	8	16	3.2	6.00
21/5/85		12.4		28.5	102.2	7.3		1.17	5.73	25.25	308	11	22	2.1	4.85
3/7/85		12.2		30.05	106	8.6		1.10	6.04	26.5	323.3	7.2	18.5	1.4	5.91
30/7/85		12.1		28.35	100.6	7.9		1.01	5.70	24.6	300	7.6	17	1.5	5.50
21/8/85		12.3		26.85	93	8.6		1.43	5.39	22.6	275.7	7.9	14	2.5	5.07
23/9/85		12.4		27.4	98.2	7.1	3.8	1.33	5.68	23.9	291.6	8	17	2.9	5.40
28/10/85		12.2		24.4	93.6	2.6	3.8	1.29	5.08	22.7	277	7.5	17	2.8	5.15
18/11/85				25.8	90.6	7.8	3.7	1.29	5.35	21.85	266.5	7.8	18	2.8	5.00
26/11/85		12.4		26.05	90.2	6.8	3.9	1.29	5.25	22.5	274.5	7.1	29	3.3	5.35
17/12/85		12.5		25.9	99.6	2.6	3.9	1.39	5.39	22.4	273.3	7.6	32	2.4	5.40
21/1/86		12.3		27.1	95.8	7.8	3.5	1.20	5.60	23.5	286.7	7.7	32	0.4	5.60
5/3/86		12.4		26	91	8	3.7	1.39	5.40	22.6	275.7	1.4	27	2.4	5.16
8/4/86		12.1		27.6	97.8	7.8	3.5	1.39	5.71	24.7	301.3	7.1	31	1.9	5.82
13/5/86		11.8		29.3	96.6	12.6	3.6	1.20	6.05	26.8	327	5.9	21.5	0.4	6.00

Q : Debit en l/m ; H P : Hauteur Piezometrique ; T : Temperature en °c. ; R : Resistivite en Ω.cm ; C : somme des cations en m.eq.
 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁼⁼, NO₃⁻ : en mg/l ; A : somme des anions en m.eq.
 M : Mineralisation totale en mg/l

FORAGE FP.9

DATE	Q ou HP	T	R	T.H.F.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C	T.A.C.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁻	A
30/6/85		12.75		21	60.1	14.7		2.24	4.25	18	219.6	9.1	14	3.7	4.21
23/9/85		12.2		20.55	64.5	10.8	4.8	2.14	4.37	17.7	215.9	7.3	15.5	3.5	4.12
29/10/85		11.75		18.7	67.3	4.6	5	2.44	4.02	17.6	214.7	10.5	14.5	3.8	4.18
26/11/85		10.6		20.45	69.1	7.8	4.9	2.04	4.35	17.7	215.9	7.5	22	3.9	4.27
17/12/85		10.35		20.30	69.7	7.1	4.9	2.12	4.32	17.35	211.7	7.3	19	3.3	4.13
21/1/86		10.5		20.4	68.1	8.3	5.1	2.12	4.35	17.3	211.1	8.3	25	2.8	4.28
5/3/86		10.6		20.7	69.3	8.3	5.2	2.24	4.42	17.8	217.2	1.3	23	3.9	4.38
8/4/86		10.7		21.5	70.5	9.5	5.4	2.31	4.59	17.7	215.9	3.8	25	3.3	4.22
13/5/86		10.2		21.7	61.1	15.7	6.3	2.24	4.67	18.1	220.8	2	21	2.6	4.16

FORAGE FP.11

Q : Debit en l/m ; H P : Hauteur Piezometrique ; T : Temperature en °c. ; R : Resistivite en Ω.cm ; C : somme des cations en m.eq.
 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁼⁼, NO₃⁻ : en mg/l ; A : somme des anions en m.eq.
 M : Mineralisation totale en mg/l

DATE	Q ou HP	T	R	T.H.T.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C	T.A.C.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁻	A
27/2/85		8.65		23.5	85	2.3		2.25	4.49	25.6	253.2	17.1	14	5.5	5.01
20/3/85		8.5		24.25	85.6	6.5		2.72	4.92	19.9	242.8	27.9	10.5	5.0	5.09
24/4/85		10.35		22.8	80	6.9		2.12	4.61	19.9	242.8	9	17	5.7	5.08
21/5/85		D.65		24.2	89.2	5.6		2.12	4.90	22	268.4	13.9	19	4.6	5.26
30/6/85		12.6		22.9	83	5.3		2.10	4.62	20.6	249.5	10.3	12	2.9	4.68
30/7/85		12.85		23.95	78.5	10.6		2.17	4.85	20.5	250	8.3	11	3.3	4.62
21/8/85		B.2		24.3	84.7	7.9		2.24	4.92	21.15	258	10.3	11.5	3.7	4.82
23/9/85		B.5		24.7	77	13.4	5.2	2.10	5.52	21.7	264.7	8.2	12	3.9	4.88
29/10/85		2.4		22.6	63	16.8	5.3	2.44	4.81	24.3	214.7	10.5	14.5	3.8	4.18
25/11/85		10.25		22.85	81.4	9.8	4.9	3.05	5.14	20.3	247.7	7	33	4.1	5.00
17/12/85		10.10		21.9	75.8	7.3	4.8	2.43	4.65	18.4	224.5	7.1	31	3.5	4.89
21/1/86		9.4		26.7	93.8	8.0	5.5	2.18	5.64	24.4	297.7	13.7	16	3.7	5.66
4/3/86		8.3		17.9	55.7	9.7	3.7	1.69	3.79	15.6	190.3	2.4	14	3.3	3.53
8/4/86		9.0		24.1	96.6	6.4	3.75	2.0	5.56	21.95	267.8	3.6	16	3.6	4.98
13/5/86		9.4		26.2	93.4	7.1	12.5	2.61	5.85	22.55	275.1	3.0	10.5	3.5	4.85
FORAGE FP. 12															

Q : Debit en l/m ; HP : Hauteur Piezometrique ; T : Temperature en °c. ; R : Resistivite en Ω.cm ; C : somme des cations en m.eq.
 A : somme des anions en m.eq.
 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁼⁼, NO₃⁻ : en mg/l
 M : Mineralisation totale en mg/l

DATE	Q ou HP	T	R	T.H.T.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	C	T.A.C.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁻	A	M
28/1/85		10.2		22.2	89	3.4		0.56	4.73	21.8	266	5.2	6	6.3	4.74	376
20/2/85		9.		23.2	91.6	2.55		0.56	4.79	23.4	285.5	3.6	1	4	4.86	389
27/2/85		11.1		25	89	6.8		0.70	5.02	24	292.8	3.2	0	4.1	4.96	397
12/3/85		10.6		22.8	85.4	3.6		0.50	4.57	22.1	269.6	3.4	2	4.6	4.62	369
24/4/85		11		23.85	51.7	26.6		0.63	4.79	23.95	292.2	2.1	1	4.6	4.94	381
21/5/85		10.9		24.6	67.7	18.7		0.63	4.94	24.7	301.3	1.8	6.5	4.5	5.20	401
30/6/85		10.9		26.35	97	5.2		0.75	5.20	25.65	312.9	3.6	3	5	5.37	427
29/10/85		10.9		26.25	74.3	18.7	1.5	0.69	5.34	25.25	308.1	1.9	1	3.6	5.18	410
17/12/85		11.9		25.3	83.4	10.9	2.1	1.02	5.18	25.40	309.9	4.6	3	4.1	5.34	419
21/1/86	132	11.1		23	87	7.4	1.5	1.2	5.05	21.7	264.7	5.7	4	6.3	4.68	378
5/3/86	112	11.3		23.95	87	5.5	1.45	0.87	4.88	22.5	274.5	1.7	4	6.3	4.68	380
8/4/86	211	10.8		21.95	73.7	8.6	1.1	0.65	4.46	21.05	256.8	2.2	1	4.1	4.36	348
22/4/86	200			22.4	83.8	3.6	1.75	1.33	4.59	21.5	262.3	3	4	4.6	4.53	364
13/5/86	157	10.2		23.7	85.8	5.6	1.3	0.65	4.82	22.5	274.5	2.7	2	1.8	4.65	374
SOURCE FONTAINE DU LYON																

Q : Debit en l/ s ; HP : Hauteur Piezometrique ; T : Temperature en °c. ; R : Resistivite en Ω.cm ; C : somme des cations en m.eq.
 A : somme des anions en m.eq.
 Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁼⁼, NO₃⁻ : en mg/l
 M : Mineralisation totale en mg/l

24 MARS 1988

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

THESE de l'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE,
TECHNOLOGIQUE et MEDICALE de GRENOBLE
mention : Géologie appliquée

Titre de l'ouvrage :

**MODES D'ALIMENTATION D'UNE NAPPE ALLUVIALE :
NAPPE DE LA VALLEE DU RHONE ENTRE LA BALME
ET SAINT-GENIX-SUR-GUIERS - SAVOIE -**

Nom de l'auteur : Philippe MICHAL

Etablissement : Université Scientifique, Technologique et
Médicale de Grenoble

24 MARS 1988

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
B 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (76) 87.46.43

RESUME

La plaine alluviale du Rhône entre la Balme et Saint-Genix-sur-Guiers, d'orientation Nord-Sud, se développe dans le prolongement septentrional du Bas-Dauphiné.

Sa partie savoyarde est bordée à l'Ouest par le chaînon mésozoïque calcaire du Mont Tournier (prolongement méridional du Jura) et au Sud-Ouest par les collines molassiques de Saint-Génix-sur-Guiers.

Le remplissage alluvial, défini par l'étude géophysique et par les sondages mécaniques, est formé d'une forte épaisseur d'argiles lacustres que surmonte un réservoir aquifère, d'une dizaine de mètres d'épaisseur dont les paramètres hydrodynamiques (T,S,K) ont été estimés au moyen d'essais de pompage et des variations naturelles du niveau de la nappe.

L'étude piezométrique permet de définir le comportement de la nappe alluviale dans les trois secteurs que délimite le Rhône.

L'étude hydrodynamique et hydrochimique des émergences karstiques effectuée conjointement avec l'étude hydroclimatique du Mont Tournier permet d'envisager en raison d'un bilan hydrogéologique déficitaire, l'existence de pertes, non visibles, en liaison avec la nappe alluviale.

Les eaux de la nappe de type bicarbonaté calcique ont des caractéristiques chimiques influencées par leurs différents types d'alimentation : le Rhône, le massif Karstique du Mont Tournier, les versants molassiques, le Guiers et par l'activité anthropique (nitrates d'origine agricole et chlorures de sodium provenant de l'épandage sur les routes).

MOTS-CLES

Aquifère alluvial ; Hydrogéologie karstique ; Le Rhône ; Le Guiers ; Caractéristiques hydrodynamiques ; Physico-chimie des eaux ; Bilan hydrogéologique ; Vallée du Rhône ; Savoie.