



**HAL**  
open science

**Paléomorphologie et circulations des eaux souterraines  
[Texte imprimé] : étude hydrogéologique des ressources  
en eau de la haute vallée de la Fure et de ses relations  
avec les bassins de Paladru et de l'Ainan (Bas-Dauphiné  
oriental)**

Hubert Dehays

► **To cite this version:**

Hubert Dehays. Paléomorphologie et circulations des eaux souterraines [Texte imprimé] : étude hydrogéologique des ressources en eau de la haute vallée de la Fure et de ses relations avec les bassins de Paladru et de l'Ainan (Bas-Dauphiné oriental). Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1980. Français. NNT : . tel-00606008

**HAL Id: tel-00606008**

**<https://theses.hal.science/tel-00606008>**

Submitted on 5 Jul 2011

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

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

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE  
THESE DE DOCTORAT DE SPECIALITE  
GEOLOGIE APPLIQUEE  
OPTION : HYDROGEOLOGIE

PALEOMORPHOLOGIE ET CIRCULATIONS DES EAUX SOUTERRAINES .  
ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DES RESSOURCES EN EAU DE LA HAUTE  
VALLEE DE LA FURE ET DE SES RELATIONS AVEC LES BASSINS DE  
PALADRU ET DE L'AINAN (BAS-DAUPHINE ORIENTAL) .

par **Hubert DEHAYS**

Soutenu le 30 Septembre 1980 devant la Commission d'Examen .

R. MICHEL	Professeur	U S M G	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur	U S M G	Rapporteur
J-C. FOURNEAUX	Maitre-Assistant	U S M G	Examinateur
J. BIJU -DUVAL	Géologue	D DA ISERE	Examinateur

## AVANT - PROPOS

Au terme de ce travail effectué dans le cadre d'une allocation d'étude D.G.R.S.T., je tiens à remercier très sincèrement les personnes qui ont contribué à sa réalisation et qui ont bien voulu le juger.

- Monsieur le Professeur R. MICHEL qui me fait l'honneur de présider le Jury.

- Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD qui m'a confié ce travail, m'a guidé et conseillé tout au long de sa conception.

- Monsieur J.C. FOURNEAUX, Maître-Assistant, pour ses idées et ses conseils judicieux .

- Monsieur J. BIJU-DUVAL, de la Direction Départementale de l'Agriculture de l'Isère, qui m'a accompagné plusieurs fois sur le terrain, et avec qui, les discussions, autant en cours d'étude que lors de la rédaction, m'ont souvent conduit à préciser de nombreux points restés obscurs.

- Messieurs DURAFOUR et ROMERO, techniciens à la D.D.A. de l'Isère, dont j'ai sollicité l'aide, pour l'installation de quelques appareils et qui ont mis à ma disposition tous les documents hydrométéorologiques que je leur demandais.

- Monsieur J. ROCHAT, de la Faculté de Pharmacie, pour m'avoir permis de réaliser les dosages, sodium-potassium des eaux, dans son laboratoire de chimie analytique.

- Madame C. MEUGNIOT qui a assuré avec rapidité la dactylographie de ce mémoire.

- Mes ami(e)s de 3ème cycle et d'ailleurs, qui par leurs travaux, m'ont fait " voyager " dans toutes les Alpes et sur presque tous les continents. Malgré quelques critiques parfois féroces, je ne les oublierai pas.

- Je n'oublierai pas, également, les nombreuses conversations que j'ai eu, avec les paysans du Bas-Dauphiné lors de mes investigations géophysiques sur le terrain. Nous discutons un peu " géologie " et beaucoup " Agriculture " en comparant notamment, les performances laitières des Montbéliardes, des Tarines et des ... Normandes. Agréables pauses entre deux mesures.

- Enfin je remercie ma famille qui m'a toujours incité à " pousser " plus loin mes études.

Je dédie ce travail à ma famille  
à Maryse  
à Elise.

Il s'éleva soudain un volcan furieux .  
Puis, le Dieu tout-puissant, apaisant sa colère,  
De la lave brûlante éteignit le foyer,  
Changeant en un beau lac cet immense cratère,  
Cette montagne en feu que son bras vint broyer.

J. Mugnié, Courrier de l'Isère, des 11 et 13 avril 1843 :  
le lac de Paladru.

TABLE DES MATIERES		p.
-----		
INTRODUCTION.....		2
CHAPITRE I - ETUDE GEOLOGIQUE		
I - GEOLOGIE DU SUBSTRATUM .....		6
I-1- Introduction .....		6
I-2- Stratigraphie .....		6
I-3- Analyse sédimentologique du conglomérat .....		7
I-3-1- Les galets .....		7
A. Granulométrie .....		7
B. Nature pétrographique .....		7
I-3-2- Le ciment .....		9
I-3-3- Le conglomérat molassique-les conglomérats quaternaires .....		10
I-4- Les lentilles à l'intérieur du conglomérat .....		10
I-4-1- Les lentilles argileuses .....		10
I-4-2- Les lentilles sableuses .....		10
I-5- Paléogéographie .....		10
I-6- Conclusion à l'étude du substratum.....		11
II - GEOLOGIE DES FORMATIONS QUATERNAIRES .....		11
II-1- Introduction .....		11
II-2- Morphologie, lithologie, sédimentologie des formations quaternaires .....		13
II-2-1- Les formations glaciaires et fluvioglaciaires.....		13
A. Les moraines .....		13
B. Les terrasses .....		16
II-2-2- Les formations non glaciaires .....		20
A. Les alluvions récentes de la Fure .....		20
B. Les formations de pente et de pied versant.....		20
C. Les cônes de déjection .....		20
D. Les tourbières .....		20
II-2-3- Les remplissage des dépressions molassiques....		21
A. Le remplissage de la dépression de Chirens....		21
B. Le remplissage de la dépression de Paladru....		22
C. Le remplissage de la dépression du Pin- Valencogne .....		25
II-3- Histoire géologique régionale du Quaternaire .....		25
II-3-1- Introduction .....		25
II-3-2- Les anciennes glaciations .....		25
II-3-3- Les stades de retraits de la dernière glaciation..		27
A. Etape I.....		27
B. Etape II .....		27
C. Etape III .....		29
D. Etape IV.....		29
E. Etape V .....		29
F. Etape VI .....		31
II-4- Conclusion à l'étude des formations quaternaires .....		31
CONCLUSION A L'ETUDE GEOLOGIQUE .....		32

## CHAPITRE II - ETUDE GEOPHYSIQUE

	P.
INTRODUCTION .....	34
I - ETUDES ET TRAVAUX ANTERIEURS .....	34
I-1- Résultats des travaux entre le Guillermet et Bonpertuis .....	34
I-2- Résultats des travaux au Nord et à l'Est du Guillermet .....	34
I-2-1- Au Nord .....	34
I-2-2- A l'Est .....	36
I-3- Résultats des travaux au Sud de Bonpertuis .....	36
I-4- Conclusion relative aux travaux antérieurs .....	36
II - ETUDE GEOPHYSIQUE	
II-1- But .....	36
II-2- Présentation générale .....	37
II-2-1- Principe des sondages électriques .....	37
II-2-2- Matériel utilisé .....	37
II-2-3- Interprétation des sondages électriques .....	37
A. Généralités .....	37
B. Méthode de dépouillement .....	38
II-2-4- Difficultés rencontrées .....	39
A. Topographie et obstacles divers .....	39
B. Faibles résistivités .....	39
C. Faibles contrastes de résistivités .....	39
D. Variation du faciès du substratum .....	39
II-2-5- Etalonnage des terrains .....	40
A. Etalonnage des terrains de couverture .....	40
B. Etalonnage du substratum molassique .....	40
II-3- Résultats .....	43
II-3-1- Au Nord du Guillermet .....	43
A. Interprétation .....	43
B. Conclusion .....	45
II-3-2- A l'Est du Guillermet .....	45
A. Le marais entre Chirens et l'Arsenal .....	45
B. L'amphithéâtre morainique de Chirens .....	48
C. La vallée du Fagot entre Chirens et le col du Roussel .....	50
D. Conclusion à l'étude géophysique réalisée à l'Est du Guillermet .....	53
II-3-3- Au Sud de Bonpertuis .....	53
A. Région de la Ravignouse .....	54
B. La plaine de Voye .....	57
C. La région de Réaumont .....	57
II-4- Interprétation générale de l'étude géophysique .....	61
II-4-1- Le tracé du surcreusement .....	61
II-4-2- Edification et origine de la morphologie du substratum .....	61
CONCLUSION A L'ETUDE GEOPHYSIQUE .....	63

CHAPITRE III - ETUDE HYDROCLIMATIQUE	P.
INTRODUCTION .....	66
I - LE RESEAU HYDROMETEOROLOGIQUE .....	66
I-1- Précipitations .....	66
I-2- Températures .....	66
II - ETUDE DES PRECIPITATIONS .....	68
II-1- Analyse statistique des séries de données .....	68
II-1-1- Répartition mensuelle des précipitations - régime pluviométrique .....	68
A. Module mensuel .....	68
B. Période pluvieuse - période " sèche " .....	68
II-1-2- Répartition pluviométrique interannuelle .....	69
A. Module annuel .....	69
B. Ajustement des précipitations annuelles à la loi de Gauss.....	71
II-2- Les précipitations pendant la période d'étude, de novembre 1978 à octobre 1979.....	71
II-2-1- Résultats .....	71
II-2-2- Comparaison pluviomètre-tube totalisateur ( b. v. du lac de Paladru).....	73
II-2-3- Lames d'eau tombées sur les bassins versants .	73
III - ETUDE DES TEMPERATURES .....	74
III-1- Les températures moyennes mensuelles .....	74
III-2- Les températures moyennes annuelles .....	75
IV - ETUDE DE L'HYGROMETRIE.....	75
V - ETUDE DES VENTS .....	76
VI - ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION .....	76
VI-1- L'évapotranspiration potentielle .....	77
VI-1-1- Selon la formule de Thornthwaite .....	77
VI-1-2- Selon la formule de Serra .....	77
VI-2- L'évapotranspiration réelle .....	78
VI-2-1- Selon la formule de Turc .....	78
VI-2-2- Selon les formules de Coutagne .....	78
VI-2-3- Selon la méthode de Wundt .....	79
VI-2-4- Selon le calcul de Thornthwaite ( bilan hydrologique).....	79
VI-2-5- Discussion des résultats .....	81
VI-3- L'évapotranspiration à la surface du lac de Paladru ..	82
VI-4- Lame d'eau évapotranspirée sur les différents bassins versants .....	82
CONCLUSION A L'ETUDE HYDROCLIMATIQUE .....	84

## CHAPITRE IV - HYDROLOGIE DE SURFACE

	p.
I - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE - LES STATIONS DE MESURE DES DEBITS .....	86
I-1- Le réseau hydrographique .....	86
I-2- Les stations de mesure des débits .....	86
II - LE TARAGE DES STATIONS .....	88
II-1- La station du Courbon à Paladru .....	88
II-2- La station du Chantabot au Pin .....	88
II-3- La station de la Fure à Charavines .....	88
II-4- La station de l'Ainan à l'Arsenal .....	91
III - DEBITMETRIE .....	91
III-1- Débits moyens mensuels et annuels, débits spécifiques..	91
III-1-1- Station du Courbon .....	91
III-1-2- Station du Chantabot .....	93
III-1-3- Station de la Fure .....	93
III-1-4- Comparaison des valeurs annuelles des 3 stations du bassin versant du lac de Paladru .....	94
III-1-5- Station de l'Ainan .....	95
III-1-6- Conclusion .....	95
III-2- Débits caractéristiques .....	98
III-3- Lames d'eau écoulées .....	100
IV - ETUDE DES CRUES ET DES RESERVES SOUTERRAINES .....	100
IV-1- Méthode .....	100
IV-1-1- Calcul du coefficient de tarissement .....	100
IV-1-2- Calcul du volume d'eau emmagasiné .....	101
IV-2- Application aux bassins versants du Courbon et de l'Ainan	
CONCLUSION A L'ETUDE DU RUISSELLEMENT.....	104

## CHAPITRE V - BILANS D'EAU ET SOUS - ECOULEMENTS

INTRODUCTION .....	106
I - LES BILANS D'EAU .....	106
I-1- Expression d'un bilan .....	106
I-2- Application aux différents bassins versants .....	107
I-2-1- Sous-bassin versant du Courbon .....	107
I-2-2- Sous-bassin versant du Chantabot .....	108
I-2-3- Bassin versant du lac de Paladru .....	108
I-2-4- Bassin versant de la haute vallée de l'Ainan ....	109
I-2-5- Conclusion .....	109
II - LOCALISATION ET SENS DES SOUS-ECOULEMENTS .....	110
II-1- Sur le bassin versant du lac de Paladru .....	110
II-1-1- La trouée d'Oyeu .....	110
II-1-1- La trouée de la Fure .....	110
II-2- SUR LE BASSIN VERSANT DE LA HAUTE VALLEE DE L'AINAN .....	111
CONCLUSION A L'ETUDE DES BILANS D'EAU ET DES SOUS - ECOULEMENTS.....	113

## CHAPITRE VI - ETUDE DES NAPPES

	P.
INTRODUCTION .....	116
I - LES NAPPES DE PLANCHE-CATTIN ET DE LA HAUTE-VALLEE DE L'AINAN .....	116
I-1- La nappe de Planche-Cattin .....	116
I-1-1- Extension et alimentation de la nappe .....	117
I-1-2- Piézométrie de la nappe .....	117
I-1-3- Propriétés physiques et chimiques des eaux de la nappe .....	120
I-1-4- Essais de pompage .....	120
I-2- Les nappes de la haute vallée de l'Ainan .....	121
I-2-1- Essais de pompage .....	121
A. Sur la nappe profonde .....	121
B. Sur la nappe profonde et la nappe superfi- cielle.....	121
I-2-2- Extension, alimentation et écoulement des nappes....	123
I-2-3- Propriétés physiques et chimiques des eaux .....	123
II - LA NAPPE DU SILLON DE LA FURE .....	125
II-1- Géométrie, extension, bassin d'alimentation .....	125
II-2- Piézométrie de la nappe .....	126
II-2-1- Généralités .....	126
II-2-2- Amplitude des fluctuations .....	126
II-2-3- Recharge et vidange de la nappe .....	126
II-2-4- Relation niveau du lac - niveau de la nappe.....	129
II-2-5- Problème du décalage des réponses entre les piézo- mètres de Bonpertuis et du Guillermet.....	129
II-3- Les essais de pompage .....	130
II-3-1- Présentation .....	130
II-3-2- Les essais de pompage sur le site du Guillermet ..	131
A. Résultats .....	131
B. Commentaires .....	134
II-3-3- Les essais de pompage sur le site de Bonpertuis ..	134
A. Résultats .....	134
B. Commentaires .....	135
II-3-4- Comparaison des résultats obtenus sur les deux sites	138
II-4- Propriétés physiques et chimiques des eaux .....	138
II-4-1- Propriétés physiques.....	139
A - Résistivités .....	139
B. Températures .....	141
II-4-2- Propriétés chimiques .....	141
A. Composition chimique moyenne .....	141
B. Faciès chimiques et formules caractéristiques ....	143
C. Evolution dans le temps des principaux ions .....	143
II-5- Analyse tritium .....	145
II-6 Essai de traçage sur la nappe du sillon .....	146
CONCLUSION A L'ETUDE DES NAPPES .....	147

CHAPITRE VII - ETUDE DES SOURCES	p.
INTRODUCTION .....	150
I - METHODE D'ETUDE DES SOURCES .....	150
I-1- Etude des paramètres physiques.....	150
I-2- Etude des paramètres chimiques.....	151
I-3- Caractères généraux des émergences.....	151
I-3-1- Résistivité, conductivité, minéralisation totale...	151
A. Résistivité .....	151
B. Minéralisation totale .....	153
C. Relation conductivité-minéralisation totale ....	153
I-3-2- Débits et températures des eaux de sources.....	153
A. Les débits .....	153
B. Les températures .....	154
II - DESCRIPTION PHYSICO-CHIMIQUE DES SOURCES .....	154
II-1- Les sources du substratum .....	154
II-1-1- La source du Louisias.....	155
A. Conditions d'émergence .....	155
B. Paramètres physiques .....	155
C. Paramètres chimiques .....	155
II-1-2- La source de la Combe Revatière .....	157
A. Conditions d'émergence .....	157
B. Paramètres physiques .....	159
C. Paramètres chimiques .....	159
II-1-3- Estimation du volume des réserves régulatrices alimentant les sources de Louisias et de la Combe Revatière .....	159
A. Source du Louisias.....	159
B. Source de la Combe Revatière .....	160
II-1-4- La source du Mont Follet .....	161
A. Conditions d'émergence .....	161
B. Propriétés physiques .....	161
C. Propriétés chimiques .....	163
II-1-5- Conclusion à l'étude des sources du substratum.	163
II-2- Les sources des alluvions glaciaires, fluvioglaciaires et fluviatiles .....	164
II-2-1- La source de la Ravignhouse .....	164
A. Conditions d'émergence .....	164
B. Propriétés physiques .....	165
C. Propriétés chimiques .....	167
II-2-2- La source du Cueun .....	167
A. Conditions d'émergence .....	167
B. Propriétés physiques .....	168
C. Propriétés chimiques .....	168
II-2-3- La source de la Haute Véronnière .....	170
A. Conditions d'émergence .....	170
B. Propriétés physiques.....	170
C. Propriétés chimiques .....	170

	p.
II-2-4- La source des Barraux .....	173
A. Conditions d'émergence .....	173
B. Propriétés physiques .....	173
C. Propriétés chimiques .....	173
II-2-5- La source d'Aiguebelle .....	175
A. Conditions d'émergence .....	175
B. Propriétés physiques .....	175
C. Propriétés chimiques .....	175
II-2-6- Conclusion à l'étude des sources des alluvions	176
II-3- Les sources mixtes .....	176
II-3-1- La source de la Combe Noire .....	176
A. Conditions d'émergence .....	176
B. Propriétés physiques .....	176
C. Propriétés chimiques .....	178
D. Origine de la source .....	178
II-3-2- La source du Thivoley .....	179
A. Propriétés physiques .....	179
B. Propriétés chimiques .....	179
II-3-3- Conclusion à l'étude des sources mixtes .....	181
CONCLUSION A L'ETUDE DES SOURCES.....	181
CONCLUSION GENERALE.....	184
Bibliographie.....	187
Annexes.....	195
Liste des figures.....	203
Liste des tableaux.....	206

## INTRODUCTION

---

## INTRODUCTION

### ORIGINE ET BUT DE L'ETUDE

Ce mémoire est le résultat d'une collaboration, qui existe maintenant depuis plusieurs années, entre le Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Institut Dolomieu et la Direction Départementale de l'Agriculture de l'Isère(D. D. A).

Alors que les recherches du Laboratoire d'Hydrogéologie s'étaient orientées vers une étude de l'influence de la paléomorphologie quaternaire et antéquaternaire sur la circulation des eaux souterraines dans l'Avant Pays de Chartreuse et le Bas-Dauphiné oriental, la D. D. A. poursuivait des recherches pour le renforcement de l'alimentation en eau de la région voisine. Il était donc apparu logique, de coordonner ces recherches théoriques et pratiques, afin, d'une part, de situer les problèmes pratiques dans leur contexte géologique général et d'autre part, de bénéficier des moyens de recherche mis en oeuvre sur le terrain et des résultats déjà acquis par les prospections antérieures.

C'est la raison pour laquelle il nous a été proposé de réaliser l'étude hydrogéologique détaillée de la cuvette du lac de Paladru et des hautes vallées de la Fure et de l'Ainan dont l'existence et la morphologie sont à relier au surcreusement des anciens glaciers du Rhône, ce qui en fait des sites alluviaux aquifères. Cette dernière situation avait été vérifiée par des travaux de reconnaissance en quelques points de la vallée de la Fure ( Bonpertuis et Le Guillermet ) où une nappe, à priori importante, était contenue dans un sillon d'érosion profond.

Il convenait, avant d'entreprendre une exploitation rationnelle des ressources souterraines, d'acquérir une meilleure connaissance de l'hydrogéologie régionale pour :

- préciser l'organisation des écoulements souterrains;
- évaluer les disponibilités en eau des aquifères.

Pour y parvenir, nous avons effectué :

- des études géologiques puis géophysiques qui présentent, d'une manière générale, l'infrastructure hydrogéologique régionale et la morphologie du substratum molassique;

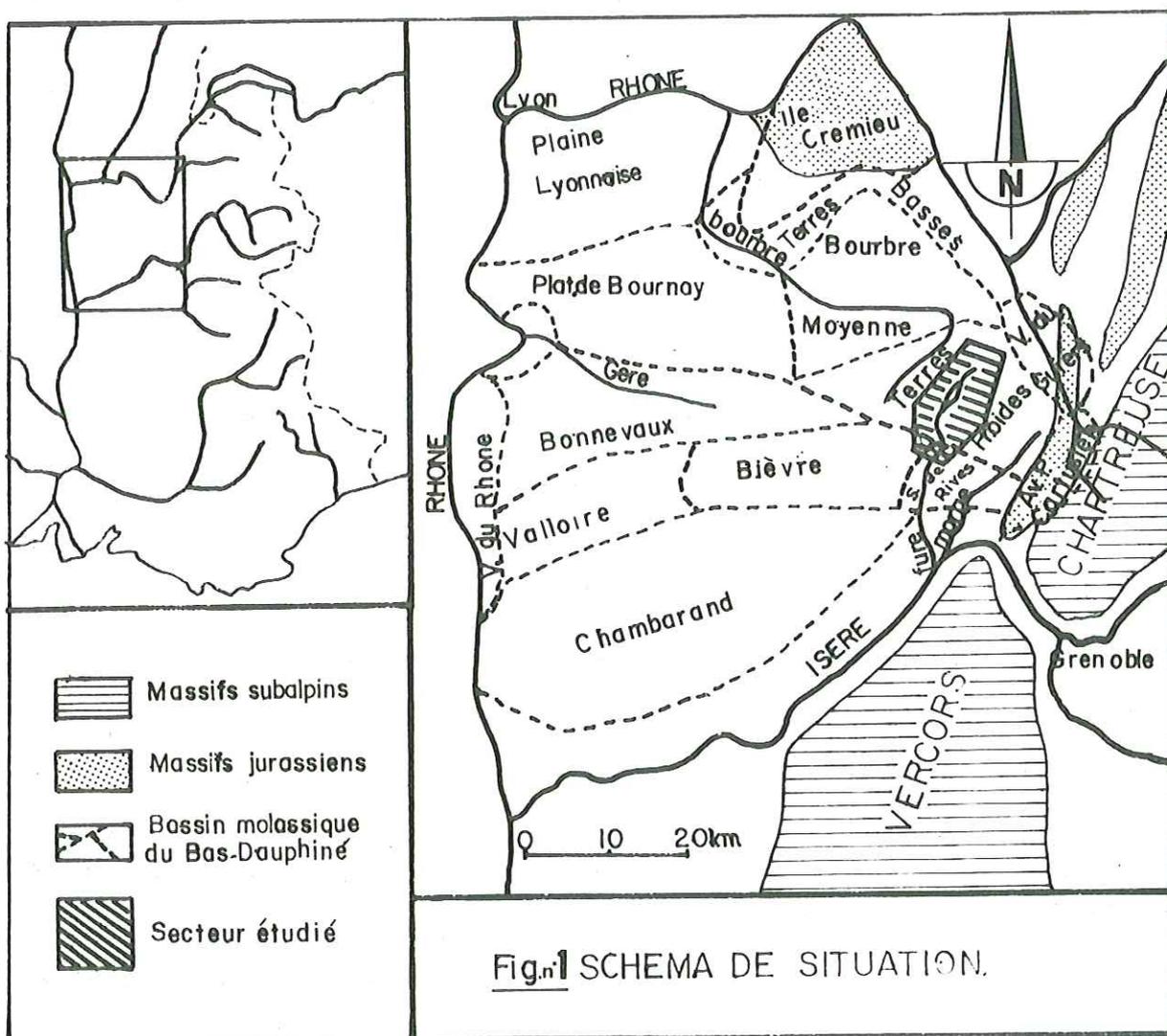
- des études hydroclimatiques et d'hydrologie de surface conduisant à celles des bilans d'eau et des sous-écoulements sur les bassins versants du lac de Paladru et de la haute vallée de l'Ainan;

- une étude plus spécifique des nappes dont celle du sillon de la Fure;

- et enfin, une étude physico-chimique des sources, qui complète ainsi le panorama hydrogéologique de la région.

CADRE GEOGRAPHIQUE ( fig. n° 1 )

Le secteur d'étude appartient à la vaste région du Bas-Dauphiné, qui s'étend entre la vallée du Rhône à l'Ouest et au Nord, et les massifs subalpins de la Chartreuse et du Vercors au Sud-Est. Il est situé dans la partie orientale des Terres Froides et il empiète au Sud de celles-ci sur deux autres régions naturelles du Bas-Dauphiné : La Tête de Bièvre et le Seuil de Rives.



C'est essentiellement un pays de collines qui n'atteignent que rarement l'altitude de 800 mètres. A l'intérieur de ces collines, des vallées orientées N. 40 se développent. Nous citerons d'Est en Ouest :

- la vallée de l'Ainan;
- la dépression du lac de Paladru qui se poursuit au Sud par la vallée de la Fure;
- la vallée du Pin-Valencogne ( ou vallée du Chantabot ).

Les vallées de l'Ainan et du Chantabot ont été comblées, tandis que la dépression de Paladru ne l'a été que partiellement, puisqu'il y subsiste aujourd'hui un lac.

Du point de vue hydrogéologique, notre secteur est défini par les bassins versants du lac de Paladru et de la haute vallée de l'Ainan, auxquels il faut ajouter la haute vallée de la Fure, depuis l'exutoire du lac au Nord jusqu'à sa sortie des collines molassiques au Sud-Est.

En ce qui concerne l'économie de la région, trois pôles d'activités sont notés :

- l'agriculture ( élevage dans les vallées humides et sur les collines, cultures céréalières sur les terrasses quaternaires );
- l'industrie ( papeteries et aciéries installées dans la vallée de la Fure );
- le tourisme ( en liaison avec le lac de Paladru ).

Le pays est animé par quelques villages situés au centre des vallées. Ce sont :

- Chirens dans la plaine de l'Ainan;
- Montferrat, Paladru et Charavines dans la cuvette du lac;
- Valencogne et le Pin dans la dépression du Chantabot.

Une carte toponymique ( fig. n° 2 hors texte ) permettra au lecteur de situer tous les noms géographiques cités dans le texte.

#### CADRE GEOLOGIQUE ( fig. n° 3 - hors texte )

Le cadre géologique de la région se résume à deux grands ensembles :

- le substratum molassique;
- le complexe quaternaire.

Le substratum molassique. D'âge Miocène, il est surtout conglomératique. Il correspond aux sédiments d'un ancien delta de l'Isère. Après arrêt de la sédimentation, il a subi une intense érosion fluviale au Pliocène, puis glaciaire et interglaciaire au Quaternaire lorsque les glaciers ont recouvert et abandonné la région. Sa morphologie fossile et son caractère imperméable jouent un rôle considérable dans l'hydrogéologie de la région.

Le complexe quaternaire. Les glaciers ont non seulement creusé, mais aussi alluvionné, masquant par là même une partie du substratum. Les dépôts, qui occupent les vallées, sont perméables et vont donc constituer des aquifères, que de nombreux forages ont reconnu.

Leur coupe est donnée sur la figure n° 4 ( hors texte ). Leur localisation est indiquée sur le figure n° 3. On fera maintes fois référence à ces forages dans plusieurs chapitres, il sera donc aisé de s'y reporter.

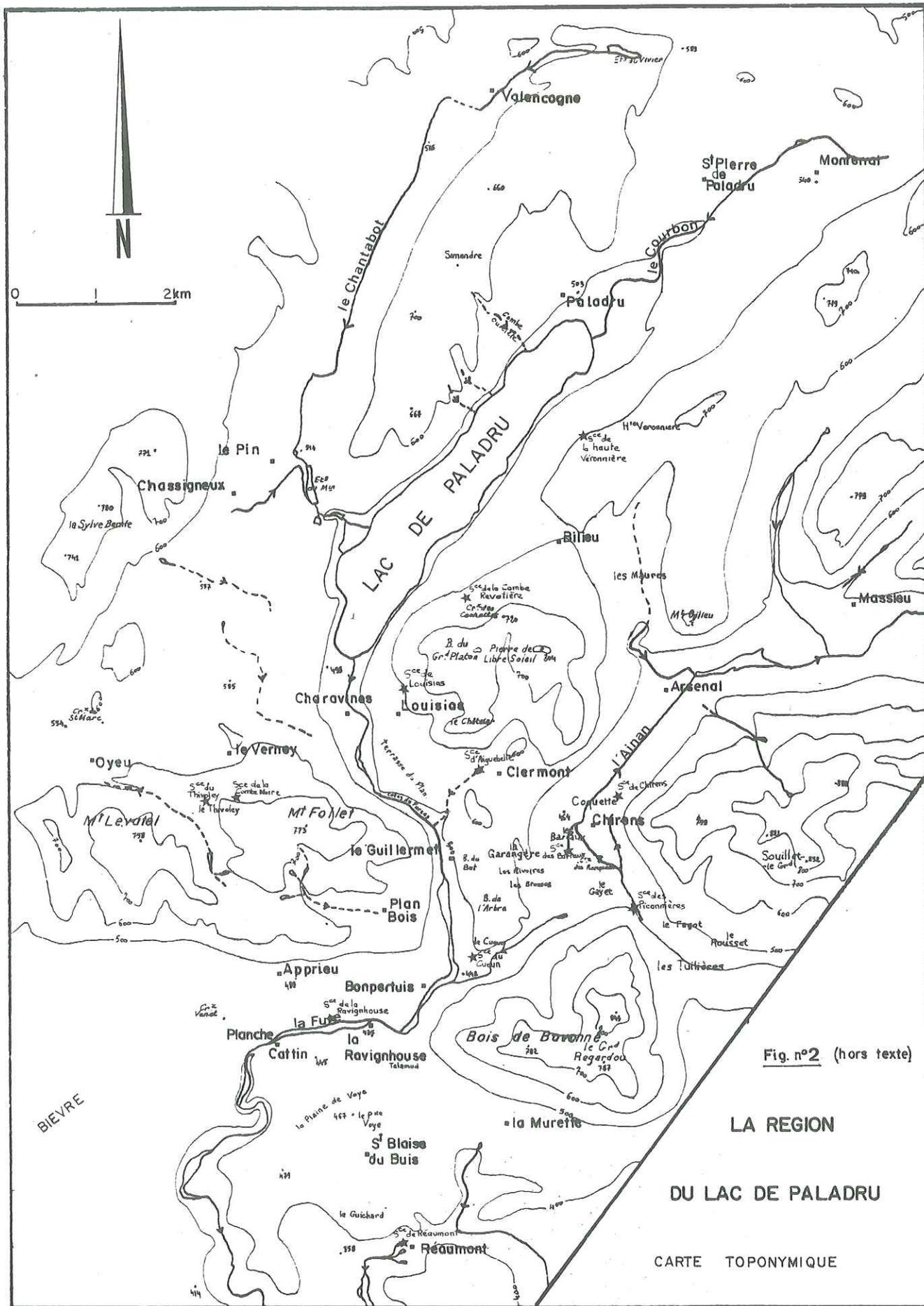
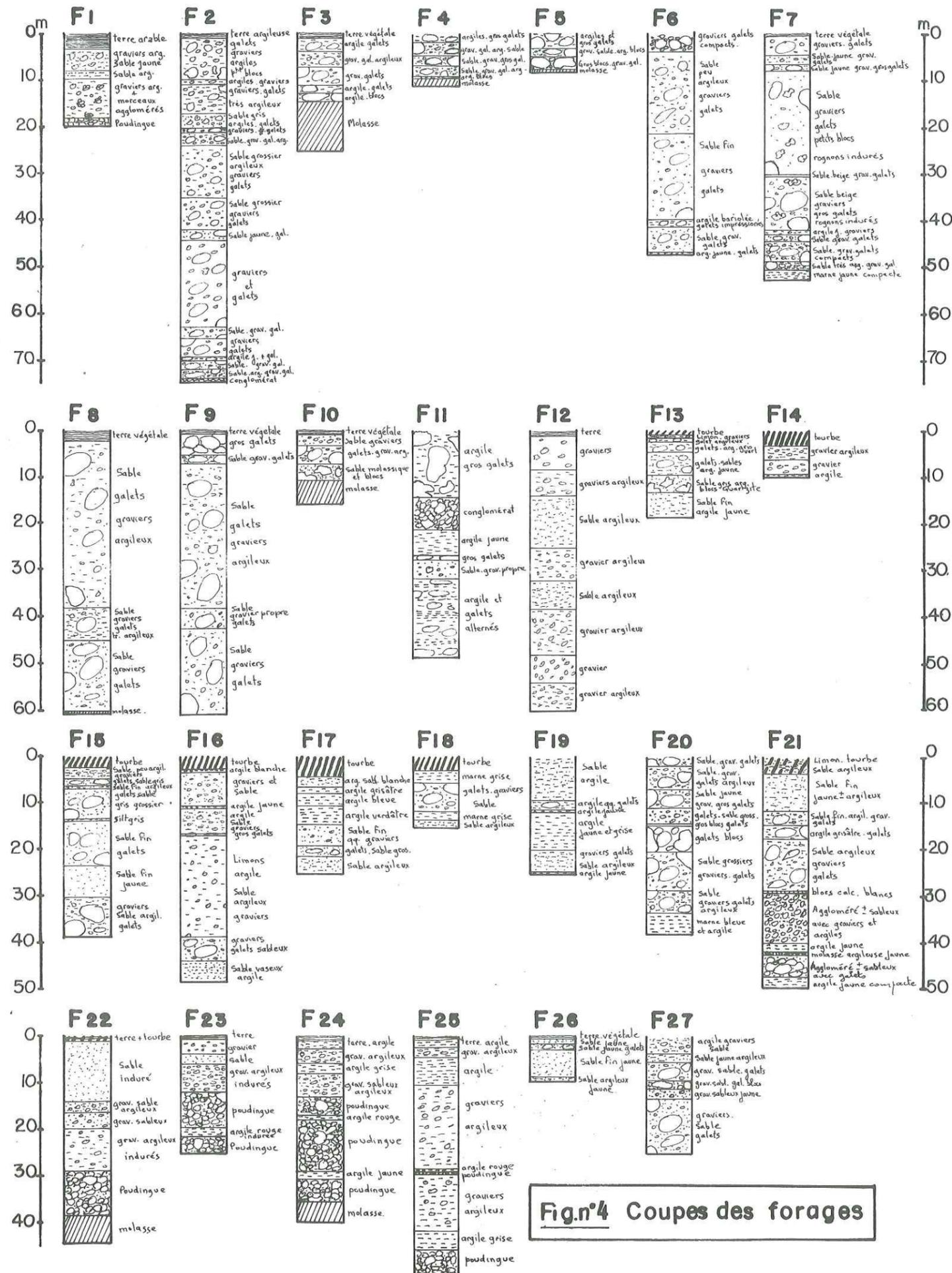
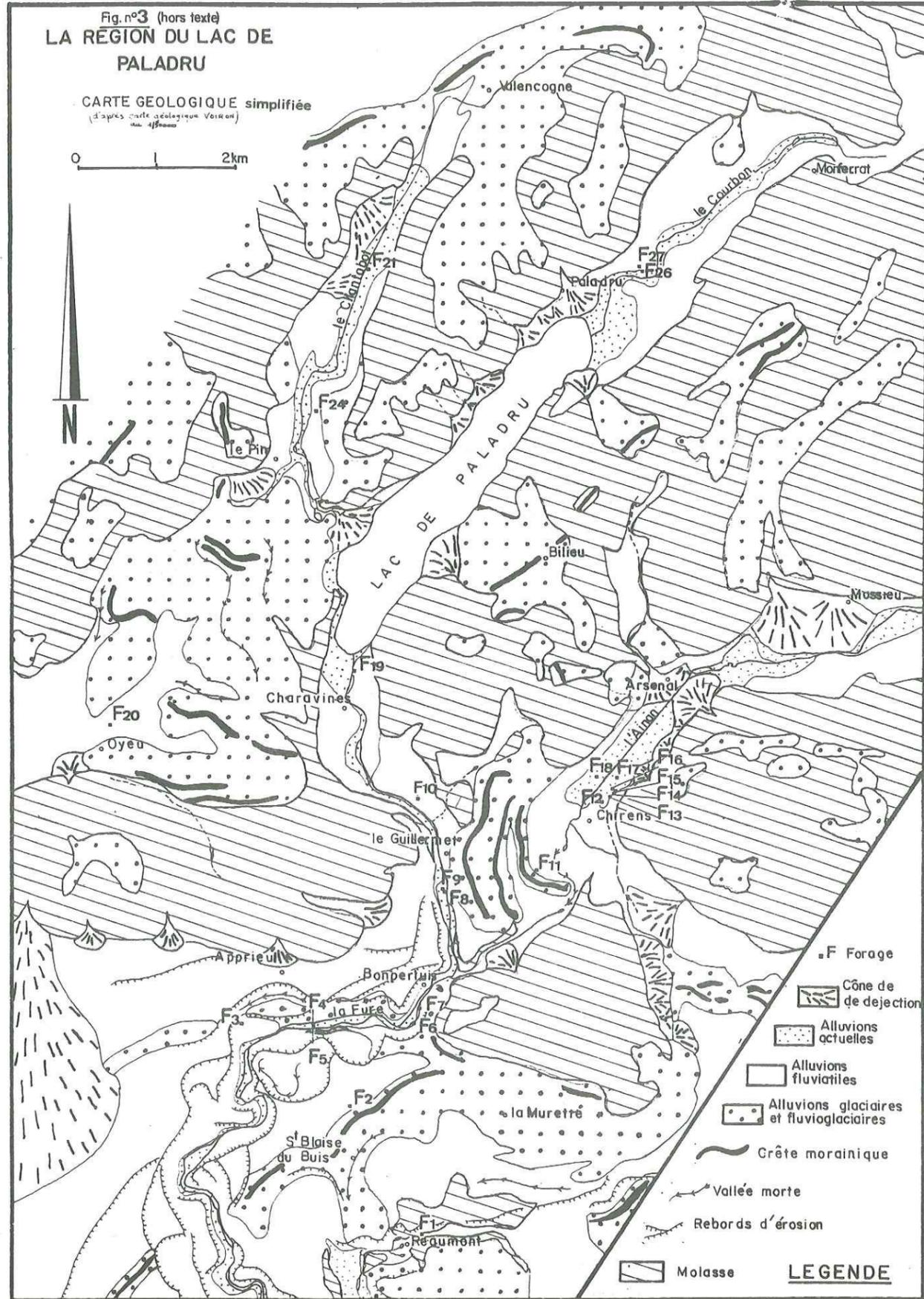


Fig. n°2 (hors texte)

LA REGION  
DU LAC DE PALADRU  
CARTE TOPONYMIQUE



**Fig. n°4 Coupes des forages**

CHAPITRE I

=====

ETUDE GEOLOGIQUE

-----

- I - GEOLOGIE DU SUBSTRATUM
- II - GEOLOGIE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

## I - GEOLOGIE DU SUBSTRATUM

### I-1- INTRODUCTION

Dès le Crétacé supérieur et cela jusqu'au début du Tertiaire, la région du Bas-Dauphiné appartient au domaine continental. A l'Oligocène, la sédimentation devient lagunaire jusqu'à l'invasion de la mer au Miocène où progressivement la sédimentation détritique, qui s'établit, est alimentée par le démantèlement des massifs alpins. L'énorme masse conglomératique, qui s'accumule, va former le substratum du secteur étudié. Elle représente aujourd'hui plus du 1/3 de la surface des affleurements.

### I-2- STRATIGRAPHIE

Les formations du Miocène inférieur sont représentées par des calcaires détritiques burdigaliens. Au-dessus, des marnes et des grès alternent sur une grande épaisseur. Ceci s'observe dans le chañon jurassien du Ratz. En se déplaçant vers l'Ouest pour rejoindre la région de Voiron, on rencontre une succession épaisse de molasse sablo-gréseuse helvétique avec quelques intercalations conglomératiques.

Plus vers le Nord-Ouest, dans la zone centrée sur les villages de Paladru, Charavines et Chirens, c'est une puissante série conglomératique qui affleure. Elle forme l'ossature du relief local.

La transition entre les sables helvétiques et le conglomérat sus-jacent est observable au Sud de notre terrain près de la gare de Réaumont. Là, dans la vallée morte qui relie St-Cassien et Réaumont, la rive droite (N) est formée d'une falaise de sables indurés. Des passées conglomératiques s'intriquent dans ces sables. La rive gauche (S) ne montre plus que des conglomérats appartenant à la formation du delta de Voreppe.

Les principales collines, qui limitent les bassins versants du lac de Paladru et de la haute vallée de l'Ainan, en sont constituées. Il s'agit des collines du Bois de Bavonne, du Grand Souillet, du Mont Bilieu, du Bois du Grand Platon, des Monts Levatel et Follet. En aucun endroit dans le fond des vallées, on n'observe la base de la série conglomératique. Sa puissance est donc au moins égale à 400 m. Un sondage implanté sur le Mont Bilieu l'a traversée sur 600 m.

Les affleurements montrent des conglomérats sans caractère particulier.

La stratification est rarement visible. Seuls des alignements de sources situées à une même altitude permettent de définir des intercalations sableuses ou argileuses, comme c'est le cas sur le versant ouest du Mont du Grand Platon à l'Est de Charavines.

" La formation conglomératique ne peut être précisément datée, elle recouvre une grande partie du Tortonien mais peut localement débiter dans l'Helvétien. Nous attribuons donc un âge général Vindobonien à l'ensemble ". ( C. Nicolet, 1979 ).

A la suite des travaux réalisés par C. Nicolet sur la stratigraphie du Bas-Dauphiné septentrional, il faut envisager l'existence possible en profondeur dans la partie nord de notre secteur, d'un conglomérat qui n'appartiendrait pas au conglomérat de Voreppe issu de courants provenant du Sud-Est. Il se rattacherait à celui de la Tour du Pin issu de courants provenant du Nord-Est.

Toutefois l'envahissement du sommet du plateau par le conglomérat du type " Voreppe ", comme le confirment les analyses sédimentologiques résumées dans les paragraphes suivants, ne permet pas l'observation en surface du conglomérat du type " La Tour du Pin ".

### I-3- ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE DU CONGLOMERAT

Le conglomérat vindobonien est constitué par des galets de taille variable ( du cm à plusieurs dizaines de cm de diamètre). Les interstices sont occupés par un ciment essentiellement calcaire plus ou moins induré.

#### I-3-1- Les galets

##### A. Granulométrie

Trois granulométries à la ficelle ont été réalisées sur des affleurements notés 1,2,3 et positionnés sur la figure n°5 . Les résultats présentés sous forme de courbes cumulatives (fig.n°6 ), peuvent être commentés ainsi :

- la fraction du sédiment supérieure à 10 mm correspond à une fréquence de 45 à 50 % dans les 3 cas. Les galets constituent donc grossièrement la moitié du sédiment. Les indices d'hétérométrie calculés sur la fraction grossière sont respectivement pour les affleurements 1,2, 3 égaux à 1,2 - 1,7 - 1,5. Ceci caractérise un sédiment bien classé et correspond à un dépôt de type fluvatile. La relative régularité des courbes cumulatives traduit une influence unique dans le mode de dépôt. D'après l'étude réalisée par E. Steinfatt (1975) sur la feuille Voiron au 1/50000è les plus gros éléments des conglomérats du Bas-Dauphiné se trouvent sur notre terrain dans la région de Chirens-Apprieu. Un affleurement dans le Bois de Bavonne présente des galets de près de 50 cm de diamètre que l'on rencontre aussi dans la combe de Plan Bois à l'Est d'Apprieu.

##### B. Nature pétrographique

Des comptages pétrographiques ont été réalisés sur les trois affleurements précédents. Ils ont donné les résultats suivants :

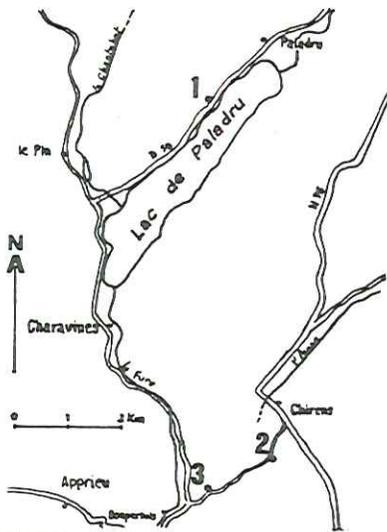
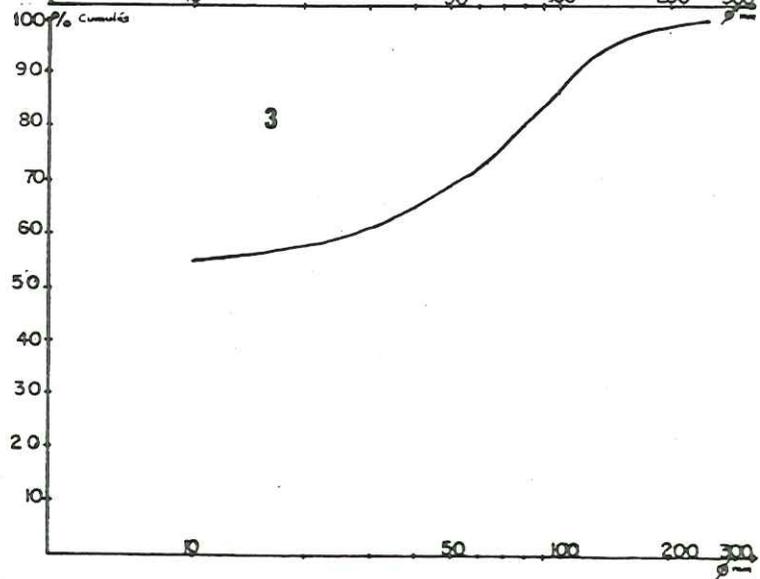
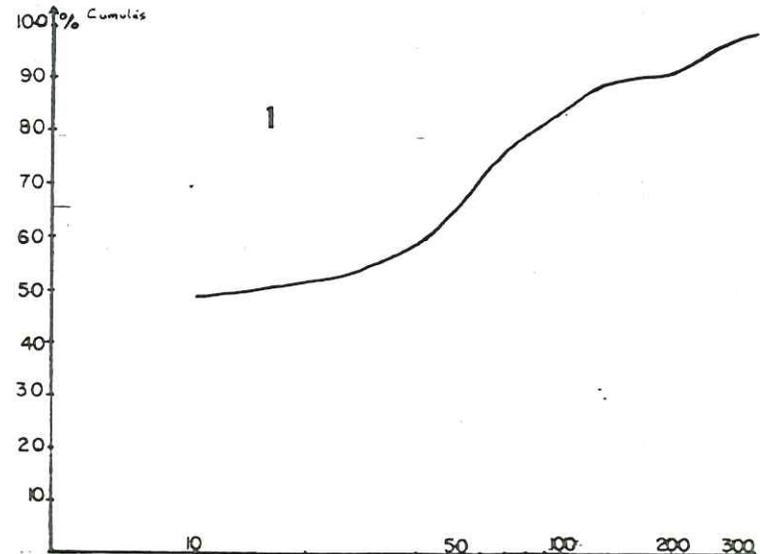
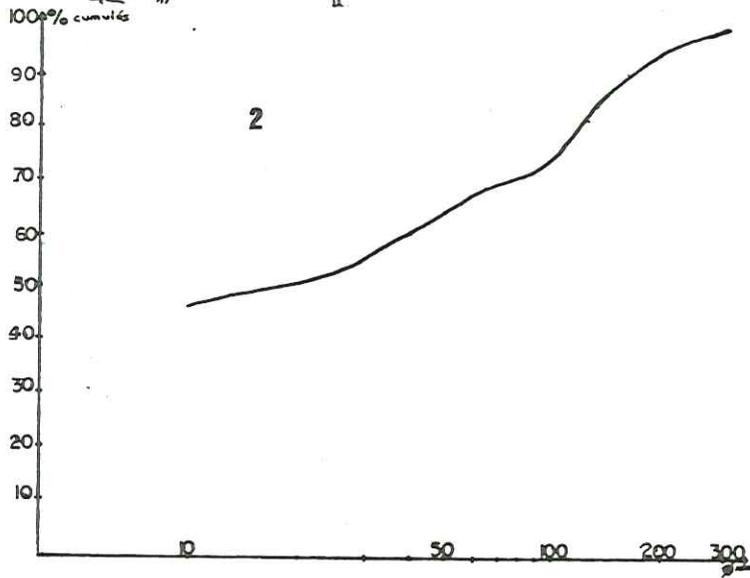


Fig. n°5 Localisation des affleurements étudiés.

Fig. n°6 Granulométrie du conglomérat. (fraction grossière)



Affleur.	Calc. %	Quartzite %	r. crist. r. cristallo %
1	91,2	2	6,8
2	88,8	3,2	8
3	96	1	3

Les roches cristallines et cristallophylliennes représentent moins de 10% des galets. Ce pourcentage est caractéristique des conglomérats de Voreppe. Il confirme l'appartenance du substratum affleurant à la province conglomératique de Voreppe. En effet un rattachement au conglomérat de la Tour du Pin se traduirait par un pourcentage d'éléments cristallins plus élevé, de l'ordre de 20 % d'après C. Nicolet (1979).

a) Les éléments calcaires

Les éléments calcaires du conglomérat sont fréquemment impressionnés. L. Moret et M. Gignoux décrivent et expliquent, dans leur ouvrage " Géologie Dauphinoise ", ces impressions comme de petites cupules arrondies, d'un centimètre de diamètre et quelques millimètres de profondeur sur la surface des galets. Elles sont dues à l'interpénétration d'éléments voisins. Au contact de deux galets l'eau d'imprégnation subsiste le plus longtemps. Son action chimique dissolvante est d'autant plus importante en ce point. C'est probablement la combinaison de l'action chimique et mécanique qui provoque le phénomène, (J. Bocquet, 1966).

b) Les éléments cristallins et cristallophylliens

Bien qu'en faible proportion par rapport aux éléments calcaires, les éléments cristallins sont remarquables sur les affleurements par leur couleur blanche et surtout par leur consistance. Ils s'écrasent facilement entre les doigts sous une faible pression. L'état d'altération est plus ou moins avancé selon les endroits. Les éléments cristallins sains contenus dans le conglomérat molassique sont rares. L'arénisation est notée dans les travaux de J. Bocquet (1966) et G. Latreille (1969). Ce sont surtout les galets de granite qui sont affectés. D'après ces auteurs, la formation conglomératique se charge de plus en plus de galets arénisés vers le haut. Cette observation tendrait à prouver que le substratum local constitue plutôt le sommet de la série. Son âge serait Fini-Vindobonien voir Pontien.

I-3-2- Le ciment

Le ciment du conglomérat est un calcaire argilo-sableux. Il remplit les interstices entre les galets. " Sa teneur en calcaire est très forte souvent voisine de 50 % ". ( G. Latreille, 1969 ).

- Composition minéralogique : outre le calcaire, les éléments détritiques importants sont le quartz, les feldspaths et les micas.

L'induration du ciment n'a pas permis la réalisation de granulométrie par tamisage. Nous donnons le résultat obtenu par J. Bocquet (1966) d'une analyse volumétrique au compteur de points sur une lame taillée dans un niveau molassique au Bergureuil à l'Est de St-Nicolas-de-Macherin. La proportion des différents éléments se répartit comme suit : Quartz, Calcaire, Feldspaths, Micas

		49,5%	47,5%
1,5 %	1,5 %.		

### I-3-3- Le conglomérat molassique - les conglomérats quaternaires

Sur le terrain, la distinction entre le conglomérat miocène et les conglomérats de certaines terrasses quaternaires était souvent délicate. Quelques caractéristiques permettent cependant de les différencier. Des éléments cristallins arénisés ou des cupules sur les galets calcaires ne se rencontrent que dans le Miocène. Des galets petits ( 2 cm de diamètre ) soudés entre eux par une pellicule de calcite caractérisent au contraire le Quaternaire.

### I-4- LES LENTILLES A L'INTERIEUR DU CONGLOMERAT

Les lentilles observables sont de 2 types: soit de nature argileuse; soit de nature sableuse.

#### I-4-1- Les lentilles argileuses

Une telle lentille est observable sur la percée de la nouvelle route à l'Est du lac de Paladru. E. Steinfatt (1975), dans sa thèse intitulée " Géologie de la feuille Voiron " la décrit ainsi : " C'est une couche argileuse rouge brique, jaunâtre vers le haut, de 0,3 à 1,5 m d'épaisseur, attirant le regard par son intense coloration. Elle affleure sur une distance de près d'un kilomètre ". Nous avons pu vérifier qu'il s'agissait là d'argiles fines, très grasses au toucher et contenant peu d'éléments sableux. L'étude calcimétrique d'un échantillon prélevé par E. Steinfatt a montré que la teneur en CaCo<sub>3</sub> était de moins de 1%. L'analyse aux rayons X a révélé que l'échantillon contenait une forte proportion de kaolinite laissant supposer qu'il s'agit d'anciens niveaux d'altération ou de paléosols. Le rôle hydrogéologique de ces couches intercalaires argileuses au sein de la masse conglomératique sera examiné ultérieurement.

#### I-4-2- Les lentilles sableuses

Elles sont très réduites en extension puisque les rares lentilles de sables rencontrées ne dépassaient pas 2 à 3 m de longueur. Leur composition minéralogique est identique à celle du ciment du conglomérat à savoir : calcaire, quartz, feldspath et micas.

### I-5- PALEOGEOGRAPHIE

A la phase de contraction sannoisienne sensible dans les Alpes internes, succèdent des mouvements verticaux qui vont se prolonger jusque dans l'Helvétien ( J. Debelmas, 1963 ). Ils provoquent en particulier l'affaissement de tout le Bas-Dauphiné. A la faveur de cet affaissement la mer pénètre et s'étend d'abord en un long chenal ou véritable bras de mer périalpin ( Gignoux-Moret, 1952 ), en bordure des chaînes subalpines actuelles. La zone d'étude appartient à un secteur émergé qui borde le chenal. En conséquence les dépôts à rapporter au Burdigalien y sont rares. Ensuite le mouvement d'enfoncement du Bas-Dauphiné se poursuivant, la mer s'étend vers le Nord-Ouest. Les sables helvétiques se déposent dans le bassin sédimentaire affecté de mouvements de subsidence. Parallèlement le delta de

Voreppe d'une " Isère miocène " va s'édifier ( M. Gignoux et L. Moret, 1952 - G. Demarcq, 1962 - J. Debelmas, 1963 ). Le faciès devient alors essentiellement conglomératique dès la fin de l'Helvétien. Il le restera une grande partie du Tortonien. Enfin une nouvelle saccade dans le soulèvement alpin provoque une dernière augmentation de l'apport détritique grossier. C'est l'apparition des conglomérats terminaux Pontiens qui couronnent l'ensemble des collines du Bas-Dauphiné. " L'ancien delta fait place à un véritable piémont alpin intéressant une grande partie de la région rhodanienne ". ( J. Debelmas, 1963 ).

Au Pliocène, la sédimentation s'arrête ou devient continentale. Des vallées se creusent en entaillant le remplissage miocène. Au cours du Quaternaire l'érosion et l'abrasion conduisent à la topographie qu'on observe aujourd'hui.

#### I-6- CONCLUSION A L'ETUDE DU SUBSTRATUM

Le substratum affleurant dans la région du lac de Paladru est constitué par une succession conglomératique monotone plus ou moins indurée suivant les endroits. Elle est d'âge miocène, probablement Helvétien supérieur - Tortonien inférieur pour la base, Pontien pour son sommet comme l'indiquent les observations et les études sédimentologiques. Elle appartient à la formation du Delta de Voreppe, lequel est issu d'une " Isère Miocène " alimentée en éléments détritiques par le démantèlement des reliefs des Alpes internes et externes en cours d'édification. Les galets calcaires (+90 %) et les galets cristallins altérés sont jointifs. Les interstices sont remplis par un ciment calcaro-argileux plus ou moins sableux très consolidé.

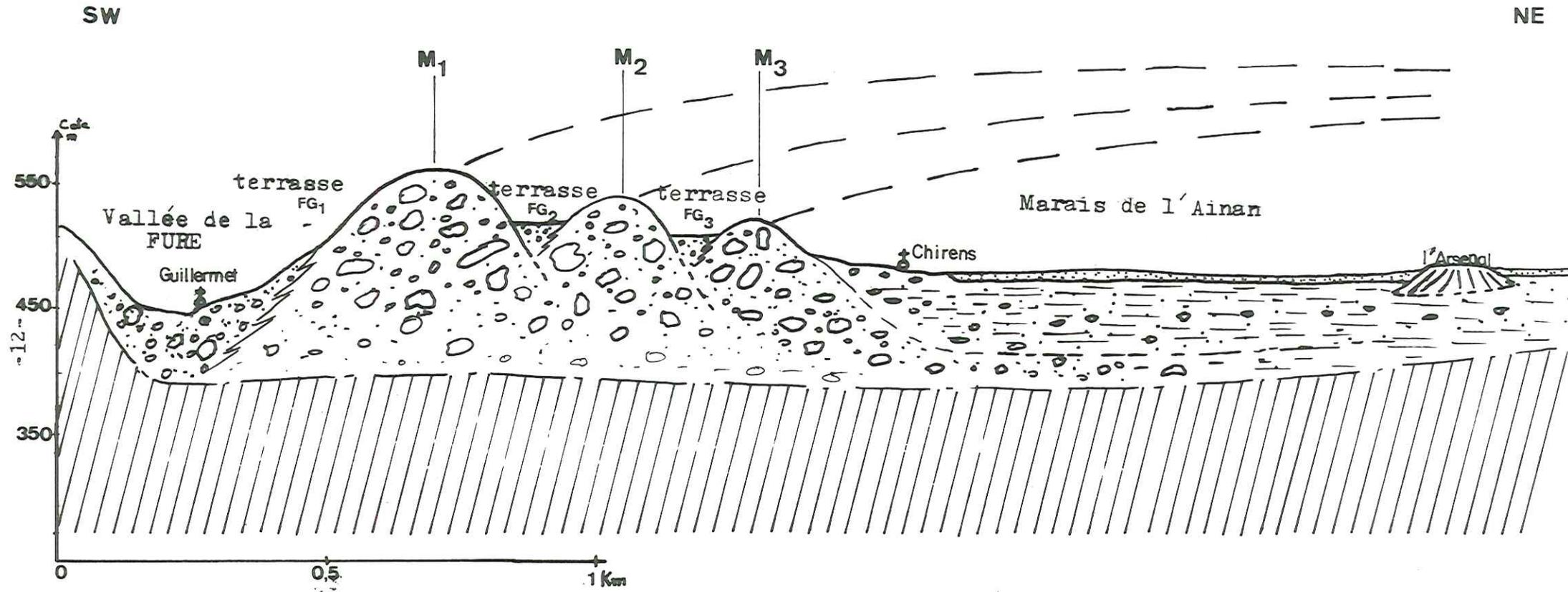
### II - GEOLOGIE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

#### II-1- INTRODUCTION

La morphologie observée aujourd'hui, résulte essentiellement de l'action des glaciers et de leurs eaux de fonte. Ces glaciers étaient dans le Bas-Dauphiné au nombre de deux. Ils se sont affrontés et ils ont formé une unique calotte au moment de leur extension maximale. Il s'agit du glacier du Rhône et du glacier de l'Isère. Leurs dépôts constituent près des 2/3 des terrains affleurants et occupent le fond des vallées au-dessous de l'altitude 500 m. Au delà de cette cote, ils se présentent en général en affleurements dispersés plus ou moins étendus sur la molasse. Ils constituent des témoins qui ont résisté à l'érosion post-glaciaire.

Deux éléments morphologiques quaternaires dominent. Il s'agit des moraines, des terrasses fluvio-glaciaires et fluviales. A ces 2 éléments morphologiques il faut ajouter, pour compléter la liste des dépôts, les cônes de déjection, les éboulis et enfin le remplissage qui occupe le fond des vallées.

Fig.n°7 Coupe schématique transversale des moraines de Chirens.



- |  |                     |                  |
|--|---------------------|------------------|
|  | Tourbe              | <b>M</b> Moraine |
|  | Glacio-lacustre     |                  |
|  | Fluvioglaciare (FG) |                  |
|  | Glaciaire           |                  |
|  | Molasse             |                  |

## II-2- MORPHOLOGIE, LITHOLOGIE ET SEDIMENTOLOGIE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

En première partie on s'intéressera aux formations glaciaires et fluvioglaciaires : moraines, placages morainiques et terrasses. Une deuxième partie traitera des formations non glaciaires : les alluvions récentes, les éboulis, les cônes de déjection et les tourbières. Enfin un dernier paragraphe envisagera le remplissage des dépressions.

### II-2-1- Les formations glaciaires et fluvioglaciaires

#### A. Les moraines

Il s'agit en majeure partie de moraines frontales remarquablement conservées en forme de vallums. Elles sont associées dans la plupart des cas à une terrasse qui les devance.

##### a) Les moraines du glacier du Rhône

Les témoins morphologiques bien conservés que sont les moraines du glacier du Rhône montrent que celui-ci était en fait représenté par plusieurs langues glaciaires. L'une d'elles remontait la vallée de l'Ainan et a édifié l'amphithéâtre morainique de Chirens. Il faut également citer les lobes du lac de Paladru et du vallon le Pin-Valencogne qui ont abandonné un système d'arcs morainiques confus s'étendant à l'Ouest de Charavines.

#### - Les moraines frontales de Chirens

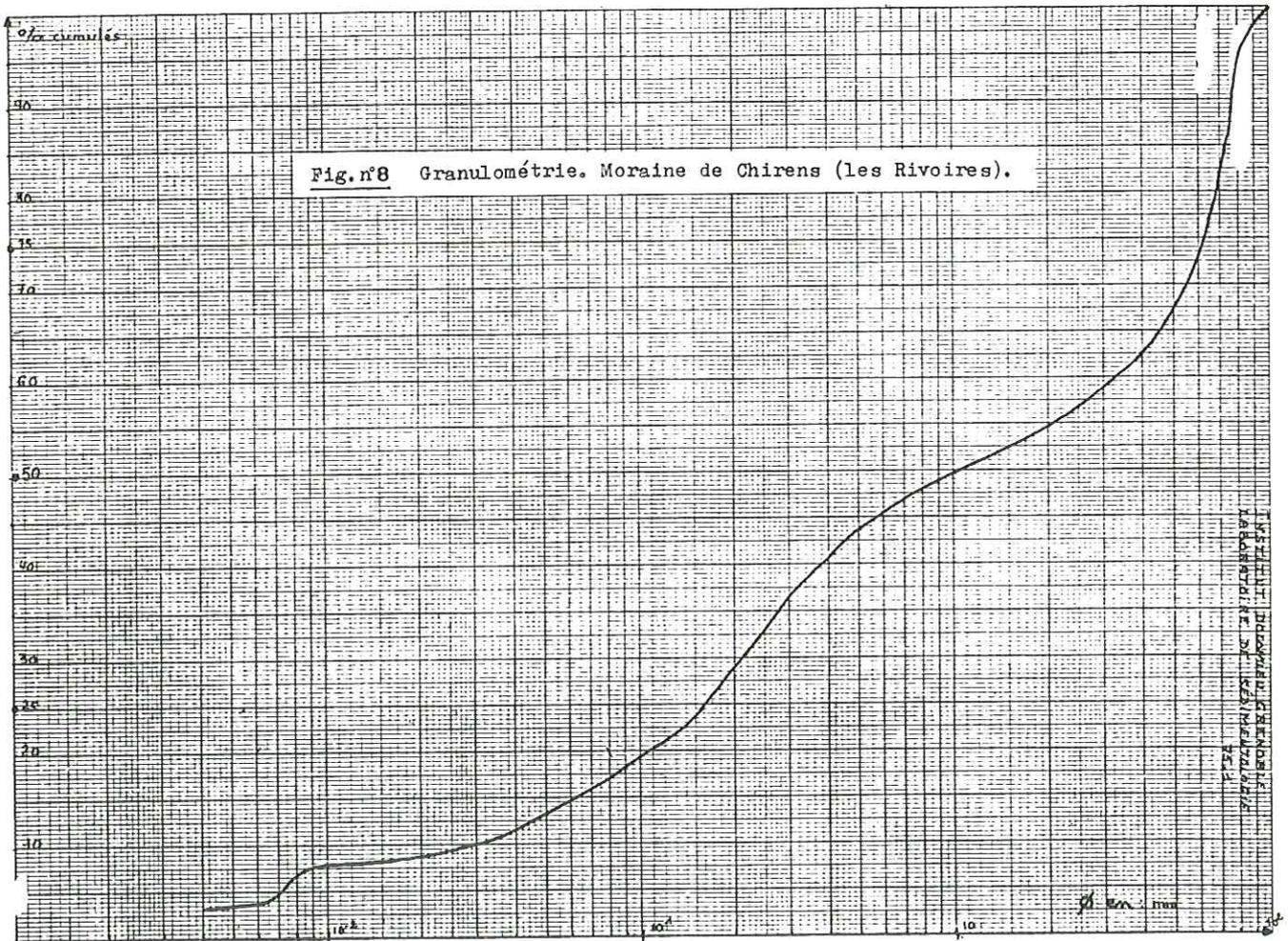
##### • Morphologie

Les trois arcs morainiques sont autant de stades de retrait de la langue glaciaire de la vallée de l'Ainan. Leur forme semi-circulaire est particulièrement nette et régulière. Ils vont constituer un verrou qui séparera la vallée de la Fure et la haute vallée de l'Ainan. Ce verrou présente toutefois une trouée importante le long du versant nord du Bois de Bavonne. C'est par là, que s'écoulaient en partie, les eaux de fonte du glacier de l'Ainan ainsi que celles de la langue " Voiron - Les Tuilières " appartenant au glacier de l'Isère. Les 3 arcs présentent des altitudes décroissantes en allant du plus ancien vers le plus récent (fig. n°7 ).

Des chenaux transversaux interrompent la crête des vallums. Comme leur nom l'indique, ils sont perpendiculaires à la crête morainique. De tels chenaux existent sur l'arc externe. Ils tronçonnent celui-ci en 3 cordons qui sont, du Nord au Sud: le cordon de Clermont-Tonnerre, le cordon du Bois du But, le cordon du Bois de l'Arbre. Ils permettaient l'évacuation des eaux de fusion de la masse glaciaire vers les chenaux marginaux ou les terrasses externes.

##### • Lithologie, sédimentologie

L'étude lithologique de ces moraines de Chirens s'est avérée pratiquement impossible en l'absence de carrière ou trou quelconque, qui auraient permis une observation satisfaisante. Toutefois, on a pu voir de gros blocs erratiques cristallins sur la moraine externe, alors qu'on n'en rencontre pas en parcourant les 2 autres plus internes. D'autre part,



quelques trous de 50 cm de profondeur, réalisés à la pioche ont révélé un matériel graveleux peu argileux. On ne peut cependant pas dire si ce caractère représente bien l'ensemble de ces formations morainiques.

Au cours de l'étude, l'agrandissement de la route reliant les Barraux à la Garangère a permis un prélèvement dans le bourrelet le plus interne, au lieu-dit les Rivoires. L'analyse granulométrique de l'échantillon est représentée sur la figure n°8 . Les indices numériques caractérisant le matériel sont les suivants : 1er quartile = 1,5 mm, médiane = 11 mm, 3è quartile = 62 mm. Le Sorting-Index supérieur à 6 indique un sédiment hétérométrique très mal classé. Plus de 70 % du sédiment étant constitué d'éléments supérieurs à 2 mm, on le qualifiera de gravelo-sableux.

- Les moraines frontales de Charavines et du Verney  
(commune d'Oyeu)

• Morphologie

Le développement de 2 bourrelets remarquables dans la topographie, s'étirant à des cotes constantes sur le flanc nord du Mont Levatel, indique qu'il s'agit de formations morainiques. Elles sont liées à la langue glaciaire qui occupait la dépression du lac de Paladru et la vallée du Pin-Valencogne et qui venait appuyer son front sur les collines molassiques du Mont Levatel.

D'autre part la grande plaine située entre Charavines, Oyeu et le Pin présente un relief bosselé. On peut reconnaître localement des morceaux de vallums dispersés qu'il est difficile de raccorder entre eux. L'important développement des chenaux dans ce secteur signifie que l'action fluviale liée à la fonte des glaces est responsable de ce morcellement.

• Lithologie

De même que pour les moraines de Chirens, aucun affleurement ne nous a permis ici, d'observer la composition de ces bourrelets. D'après les habitants qui ont réalisé le captage de la source de la Combe Noire située au niveau du vallum le plus élevé sur la colline du Mont Levatel, le matériel serait très argileux. Mais encore une fois, il est impossible, à partir d'une observation aussi ponctuelle, de dire si ce caractère se retrouve dans toutes les formations morainiques locales.

- Les moraines latérales

C'est sur la commune de Bilieu en rive gauche du lac de Paladru qu'une d'entre-elles s'observe. Elle s'étend depuis l'église de Bilieu et longe une partie du chemin qui conduit à la Croix des Cochettes.

- Les placages morainiques

Ils correspondent principalement à l'étalement par les eaux, des vallums morainiques sur les pentes molassiques. Ils se présentent sous forme de mamelons plus ou moins vastes. De tels placages tapissent le versant est du lac de Paladru entre Bilieu et Montferrat. Les sources qui en sont issues permettent souvent de les identifier.

b) Les moraines du glacier de l'Isère

- Morphologie

La principale moraine visible et appartenant au glacier de l'Isère est celle de Saint-Blaise-du-Buis. C'est un vallum qui domine la plaine de Voye d'une vingtaine de mètres. Il est frontal à l'Est de Saint-Blaise-du-Buis et devient latéral sur le flanc sud du Bois de Bavonne au-dessus de la Murette. Il matérialise l'un des stades de retrait würmien du glacier de l'Isère qui a édifié le complexe du seuil de Rives.

- Lithologie

Une trouée reliant Saint-Blaise-du-Buis à la terrasse de Voye permet d'observer le matériel du cordon morainique. On peut imaginer que cette accumulation s'est mise en place sous forme de pâte boueuse qui renfermait des éléments essentiellement cristallins anguleux et de taille variable, (+80%). En effet, on observe aujourd'hui les éléments cristallins noyés dans une matrice argileuse très fine, desséchée et très indurée.

Remarques : Sur la terrasse d'Apprieu non loin de la Croix Vanet, dans une carrière servant de décharge, de gros blocs cristallins associés à des galets et du sable caractérisent une formation morainique qui n'apparaît pas dans la topographie. Un examen de la carte géologique Voiron indique qu'on se trouve là dans le prolongement de la moraine du Gros Molard, appartenant elle aussi au seuil de Rives. Si elle n'apparaît pas morphologiquement, c'est qu'elle a été démantelée et recouverte postérieurement par des alluvions fluvioglaciaires et fluviatiles liées au stade plus récent de la moraine de Saint-Blaise-du-Buis.

De même, dans la vallée morte de Saint-Nicolas-de-Macherin entre le Fagot et le Rousset, des blocs de plus de 10m<sup>3</sup> se rattachent probablement à une ancienne moraine édifiée par la langue du glacier de l'Isère qui remontait la vallée située entre le Bois de Bavonne et la colline de Monure. Cette langue déposait ultérieurement les moraines des Tuilières. Les eaux de fonte détruisaient alors la moraine plus ancienne dont il ne reste plus que les énormes blocs.

B. Les terrasses

Elles correspondent à des surfaces planes dominant le fond des vallées actuelles.

a) Les terrasses du complexe morainique de Chirens

On s'intéresse aux deux terrasses situées d'une part, entre le premier et le deuxième arc et d'autre part, entre le deuxième et le troisième arc. Toutes deux sont limitées par les cordons morainiques. Elles sont très étroites ( 150 m de largeur ). Elles se sont développées successivement entre le front du glacier et le relief que constitue la moraine du stade précédent. Vu leur petite largeur, elles s'identifient aux chenaux marginaux, courant parallèlement en avant de la crête morainique, décrits par M. Gidon, G. Monjuvent et E. Steinfatt (1968). D'autre part, la faible pente latérale de ces terrasses indique qu'elles servaient de collecteur aux

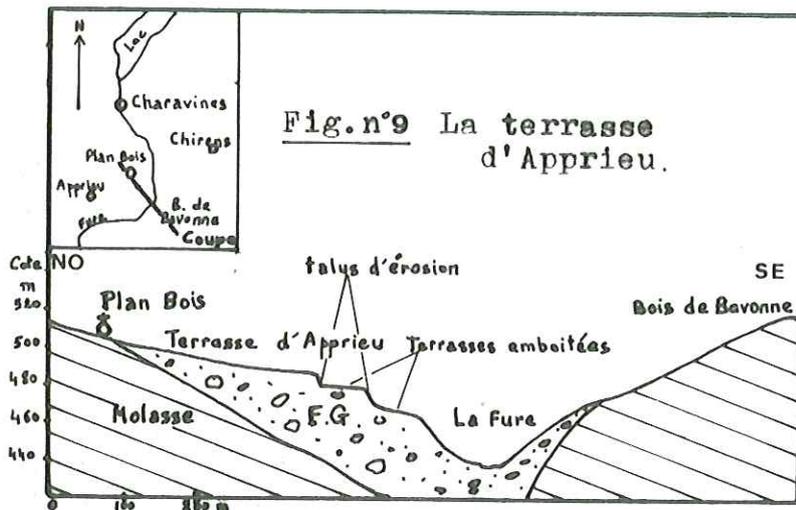
eaux de fusion du glacier qui se jetaient dans le chenal plus important, au Nord du Bois de Bavonne. Ces eaux s'écoulaient ensuite vers la Tête de Bièvre où les matériaux qu'elles transportaient, participaient à l'édification de l'importante terrasse d'Apprieu - plaine de Voye au Nord de Saint-Blaise-du-Buis.

b) La terrasse d'Apprieu - plaine de Voye

- Description

La terrasse d'Apprieu - plaine de Voye s'étend entre les moraines du Gros Molard et de Saint-Blaise-du-Buis. Son altitude moyenne est de 470 m. La terrasse du Plan, entre Charavines et le Guillermet s'y rattache et constitue son extrémité nord. Les langues glaciaires de Paladru et de l'Ainan, avec le glacier de l'Isère ont participé conjointement à sa formation. L'ensemble est entaillé par la vallée de la Fure sur une profondeur de 50 m environ.

La coupe schématique ci-dessous (fig.n°9 ), perpendiculaire à la vallée de la Fure et allant de Plan Bois ( rive droite ) au Bois de Bavonne ( rive gauche ) montre 2 petites terrasses emboîtées dans celle



d'Apprieu. Elles sont séparées par des talus d'érosion de 10 à 20 m de hauteur. Par leurs altitudes, elles se raccordent au dernier cordon morainique de l'amphithéâtre de Chirens. Ces deux terrasses d'ablation sont contemporaines de celle de Chirens située entre le deuxième et le troisième arc morainique. Le dispositif de terrasses emboîtées se retrouve sur la terrasse de Plan à l'aval de Charavines. Il est dû au fait que les langues glaciaires de Paladru et de l'Ainan reculant, leur niveau de base baissait. Il s'ensuit que les eaux de fusion, pour s'évacuer devaient se frayer un passage au sein de la terrasse précédemment édifiée, et elles donnaient ainsi naissance à ces surfaces d'ablation fluviale.

- Lithologie, sédimentologie

Deux affleurements ont permis des observations lithologiques et sédimentologiques du matériel de la terrasse d'Apprieu. Ce sont les carrières du Guillermet et de Bonpertuis. Toutes deux sont situées

au bord de la D50 reliant Charavines à Rives. La première se situe à hauteur des bacs de décantation de la papeterie du Guillermet. La seconde se trouve en face des aciéries de Bonpertuis.

- Comptage pétrographique

Deux échantillons prélevés dans la carrière du Guillermet ainsi qu'un autre dans celle de Bonpertuis ont fait l'objet du comptage. Les résultats sont les suivants :

	Calc. beige	Calc. foncé	r. cristallines r. cristallogh.	Quartzites	Grès	Dolomie
Guillermet I	70,4 %	15,6 %	1,4 %	9,5 %	1,7 %	1,3 %
Guillermet II	85 %	5,9 %	2,4 %	5,4 %	1 %	1,4 %
Bonpertuis	61 %	9,2 %	16,9 %	8,7 %	2,2 %	2 %

On note une augmentation de la proportion des galets cristallins au détriment des galets calcaires dans la carrière de Bonpertuis par rapport à celle du Guillermet. Ceci peut s'expliquer de la manière suivante : tandis qu'au niveau du Guillermet, les apports détritiques venaient des langues glaciaires du Rhône, au niveau de Bonpertuis il faut envisager une alimentation qui se faisait pour une petite partie depuis le glacier de l'Isère. Ce dernier apportait les éléments cristallins.

- Analyse granulométrique

Les analyses granulométriques sont réalisées sur les mêmes échantillons. La figure n°10 donne les courbes de fréquence cumulée dont on tire les fractiles Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, le Sorting Index de Trask  $So = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$  ou coefficient de mauvais triage et enfin l'indice d'hétérométrie de Cailleux. Les résultats sont les suivants :

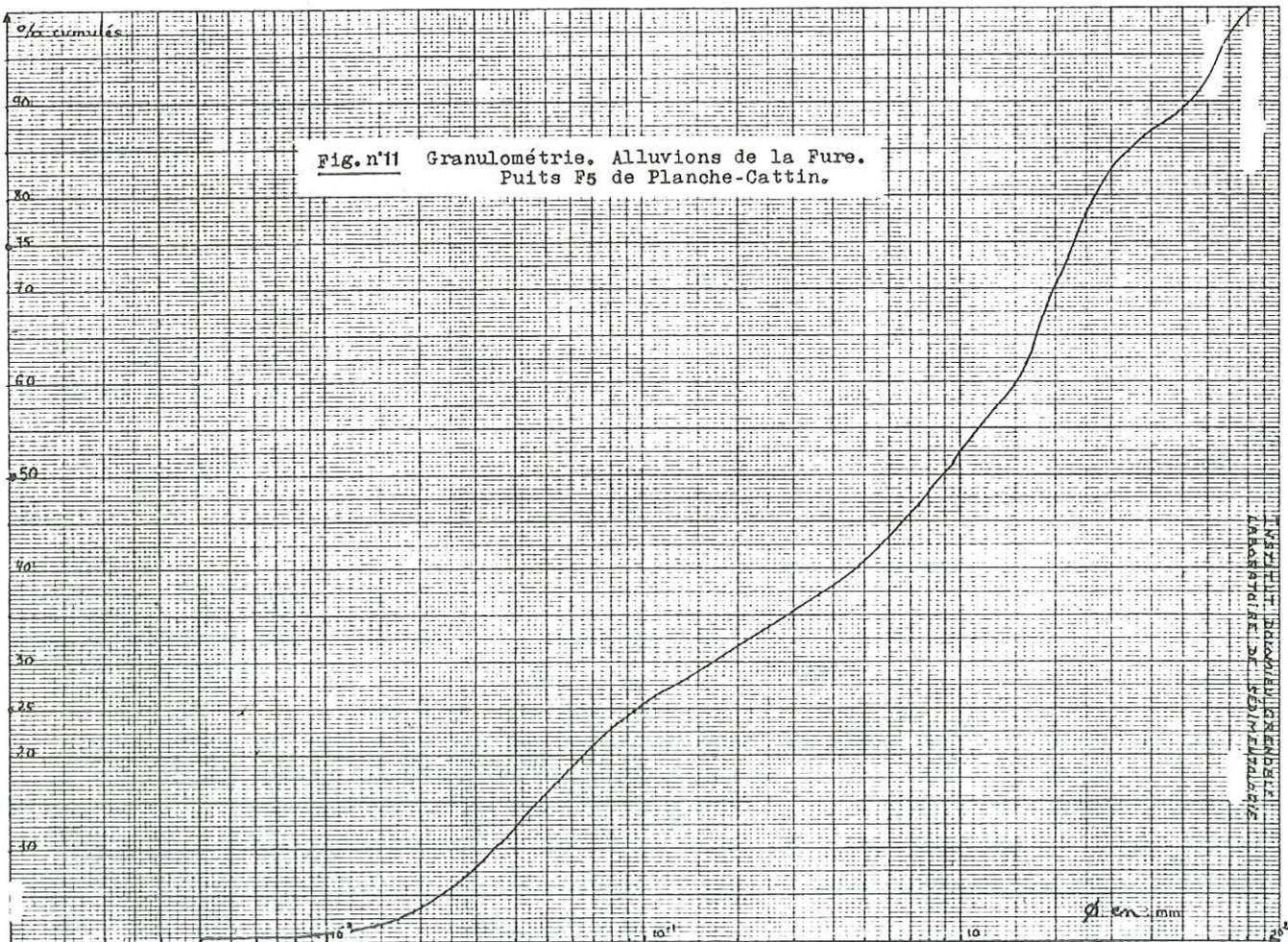
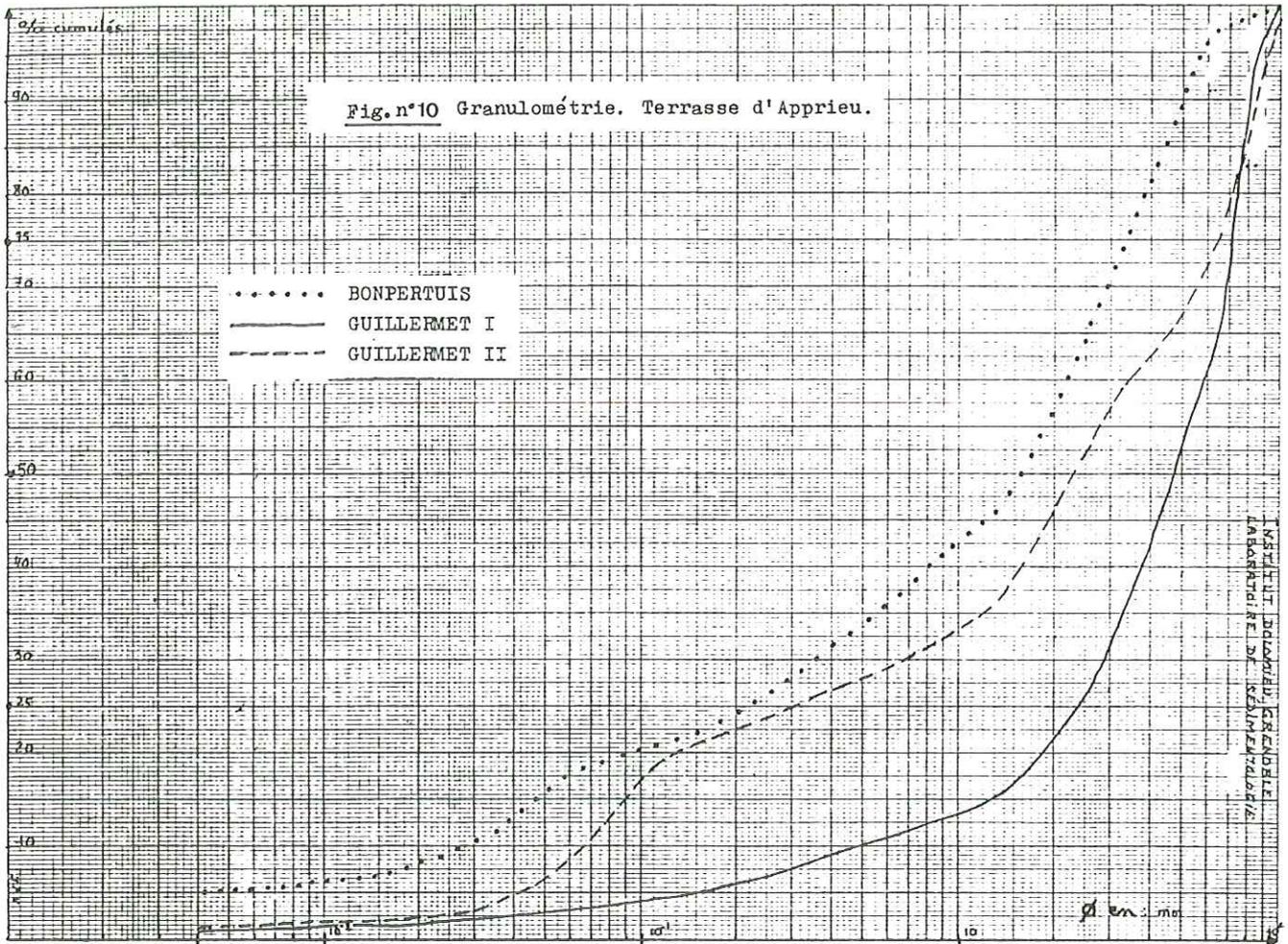
	Q1 25 %	Q2 50 %	Q3 75 %	So	He
Guillermet I	25	48	75	1,73	0,7
Guillermet II	3	24	65	4,65	1,1
Bonpertuis	2,2	15	33	3,87	1,1

Il apparaît que dans la même carrière du Guillermet, les échantillons I et II sont très différents. Ceci était d'ailleurs très net sur le terrain et avait justifié le double prélèvement.

L'échantillon I était prélevé dans un niveau où les interstices, entre les galets sensiblement de même taille, étaient pratiquement vides. Seule une fine pellicule de calcite entourant les galets, les unissait. Les indices  $So = 1,73$  et  $He = 0,7$  traduisent le bon classement du matériel de type fluviatile très perméable.

Par contre les échantillons II du Guillermet et de Bonpertuis ont des indices  $So$  et  $He$  qui indiquent un mauvais classement. Là, le sédiment serait plutôt de type torrentiel.

D'après l'étude de ces affleurements, le matériel serait essentiellement fluvioglaciaire. Mais il existe au sein de ce matériel des passées de type fluviatile correspondant à des périodes calmes quant à l'écoulement des eaux de fusion. Très localement les alluvions se



présentent sous la forme d'un conglomérat, véritable béton qu'il est difficile de casser à l'aide d'un marteau. De tels affleurements ont été rencontrés au Guillermet en rive gauche de la Fure. La dureté de ce conglomérat a déjà été évoquée. Elle est due aux dépôts de calcite qui soudent les galets entre eux.

## II-2-2- Les formations non glaciaires

Elles sont représentées par :- les alluvions récentes de la Fure;  
- les formations de pente et de pied de versant;  
- les cônes de déjections;  
- les tourbières.

### A. Les alluvions récentes de la Fure

C'est au sein de ces alluvions que le cours d'eau s'écoule. Le creusement d'un puits d'exploitation à Planche-Cattin pour le syndicat d'Apprieu, a permis l'observation du matériel. Il est analogue à celui des terrasses et des formations morainiques environnantes. En effet on retrouve de gros blocs striés, enveloppés dans une matrice de graviers assez grossiers et peu consolidés ( cf. coupe du puits F5 ). La figure n°11 montre la granulométrie du matériel aquifère.

### B. Les formations de pente et de pied de versant

En bordure du nouveau tracé de la route de Paladru, sur la rive gauche du lac, ces terrains sont visibles. Il s'agit là, d'amas de cailloux anguleux, de même dimension, enrobés dans une matrice sablo-argileuse meuble, plutôt perméable comme en témoignent de nombreux suintements. La présence de cupules sur certains galets indique que le matériel a été arraché à la colline molassique et qu'il s'est mis en place, entraîné par le ruissellement post-glaciaire.

### C. Les cônes de déjection

Celui de la Combe Ourcière ( rive droite du lac de Paladru ) montre des galets arrondis originaires de la molasse. Il est décrit dans la thèse de Steinfatt (1975) au chapitre " Dépôts Fini et Post-Würmiens ". La stratification est parallèle à la surface du cône. Ceci est caractéristique des cônes de déjection.

### D. Les tourbières

Elles se rencontrent dans le fond des vallées. Ces parties basses peuvent être des dépressions naturelles, conséquence d'un modelé glaciaire ( ex : tourbière du Pin et de Chassigneux, tourbière de Paladru ), ou des cuvettes individualisées par des barrages tels que cônes de déjection obturant une vallée. C'est le cas de la tourbière de Chirens entre Chirens et l'Arsenal. D'après la coupe des forages du marais de Chirens ( F13 à F18 ), l'épaisseur de la formation tourbeuse varie entre 2 et 4 mètres. L'étude palynologique réalisée par Mme Sittler-Becker a fixé un âge Dryas ancien - Dryas récent ( -8000 à - 12000ans B.P. ) pour cette tourbe.

### II-2-3- Le remplissage des dépressions molassiques

La nature et l'origine du remplissage des dépressions sont particulières. D'autre part les alluvions de comblement contiennent des réserves d'eau importantes. En conséquence, un paragraphe spécial leur est consacré.

Trois dépressions occupent une grande partie de notre terrain. Ce sont :

- la dépression de Chirens entre l'amphithéâtre morainique et l'Arsenal;
- la dépression de Paladru à l'amont du lac;
- la dépression du Pin-Valencogne.

#### A. Le remplissage de la dépression de Chirens

Huit sondages mécaniques de reconnaissance ou d'exploitation ont été réalisés de 1962 à 1977 par différentes entreprises. Ce sont les forages F<sub>11</sub> à F<sub>18</sub>.

##### a) Épaisseur

Le forage F<sub>12</sub> le plus profond (60m) n'a pas atteint le substratum molassique. La surface de la plaine étant de 455 m, il semble que le fond de la vallée se situe à une cote inférieure à 400 m, ( Cette question sera précisée dans le chapitre " Etude Géophysique " ). L'épaisseur du comblement est donc localement supérieure à 60 m.

##### b) Nature et origine

Après l'examen des huit coupes, le caractère argileux et sableux des alluvions ressort. Quelques passées graveleuses sont cependant notées. La seule observation des logs stratigraphiques ne permet pas de savoir si le sédiment se rapporte à un seul épisode interglaciaire lacustre en raison du caractère argileux, ou à plusieurs périodes glaciaires et interglaciaires successives en raison de la présence de niveaux plus grossiers.

Deux hypothèses se présentent donc quant à l'origine du remplissage.

- 1ère hypothèse : sédiment se rapportant à un épisode glacio-lacustre. Après l'édification de l'amphithéâtre morainique de Chirens (Würm II ) le réchauffement du climat entraîne une régression de la langue glaciaire. Un lac de barrage se forme à son front. Il suit le recul du glacier et s'étend petit à petit en même temps qu'il se comble de sédiments. Plus on s'éloigne de la zone du maximum d'extension de la langue, plus l'épaisseur des sédiments diminue. Au niveau de Chirens elle est de 60 mètres. A Saint-Geoire-en-Valdaine où l'Ainan coule sur le substratum, elle est nulle.

Selon cette hypothèse, une grande partie du remplissage se rattache à l'épisode du retrait würmien II de la langue de l'Ainan. C'est pourquoi nous parlons de dépôts glacio-lacustres.

-2ème hypothèse : sédiment se rapportant à plusieurs périodes glaciaires. Selon cette hypothèse le comblement s'est effectué au cours du Riss et du Würm.

Les dépôts du fond de la vallée seraient liés à l'avancée et au retrait de la langue rissienne.

La partie supérieure se rattacherait à l'action du glacier würmien. Mais aucune donnée de terrain ne confirme cette hypothèse. Seules des datations palynologiques, d'ailleurs envisagées prochainement par G. Monjuvent à partir de carottages profonds, permettront de lever l'incertitude quant à l'âge et l'origine du comblement (glaciaire, fluvioglaciaire, glacio lacustre, etc...).

A défaut de données lithologiques et chronostratigraphiques plus précises, il est difficile d'éliminer l'une des 2 hypothèses. Cependant, le caractère plutôt homogène et argilo-sableux et la diminution d'épaisseur du colmatage d'amont en aval de la vallée, s'accommoderaient mieux de la 1ère hypothèse ( remblayage glacio-lacustre )

#### B. Le remplissage de la dépression de Paladru

Plus des 2/3 de la dépression sont occupés par le lac. Ce dernier couvre une superficie de 3,72 km<sup>2</sup>. Il comporte 2 bassins centraux de 35m de profondeur. Sa profondeur moyenne est de 25 m (fig.12 ). L'établissement du lac peut s'expliquer de la manière suivante : la vallée, de par l'altitude de la trouée menant vers le Bas-Guiers ( 530 m ) a été la première évacuée par les glaces lors du retrait. Le culot qu'elles y abandonnèrent, s'opposa au colmatage. Il fondit sur place, dans l'ombilic, à l'abri des grands courants de fusion qui ont pu atteindre et combler les autres zones surcreusées telles que celles de l'Ainan et du Pin-Val encogne ( Bravard, 1963 ).

Trois forages<sup>x</sup> donnent une idée du remblayage. De même 3 profils transversaux, extraits d'une étude géophysique effectuée par C.P.G.F.<sup>x</sup> à l'amont du lac, précisent l'épaisseur des alluvions et leur nature ( Profils I, II, III, fig. n° 13 ).

##### a) Epaisseur

A l'amont du lac, l'épaisseur moyenne des alluvions reposant sur le substratum dépasse rarement 15 m au centre de la plaine. Le surcreusement est donc maximal au niveau du lac.

##### b) Nature et origine

Le forage de Charavines ( F<sup>19</sup> ) révèle un matériel argileux pouvant s'apparenter à un dépôt morainique, barrant ainsi la dépression de Paladru.

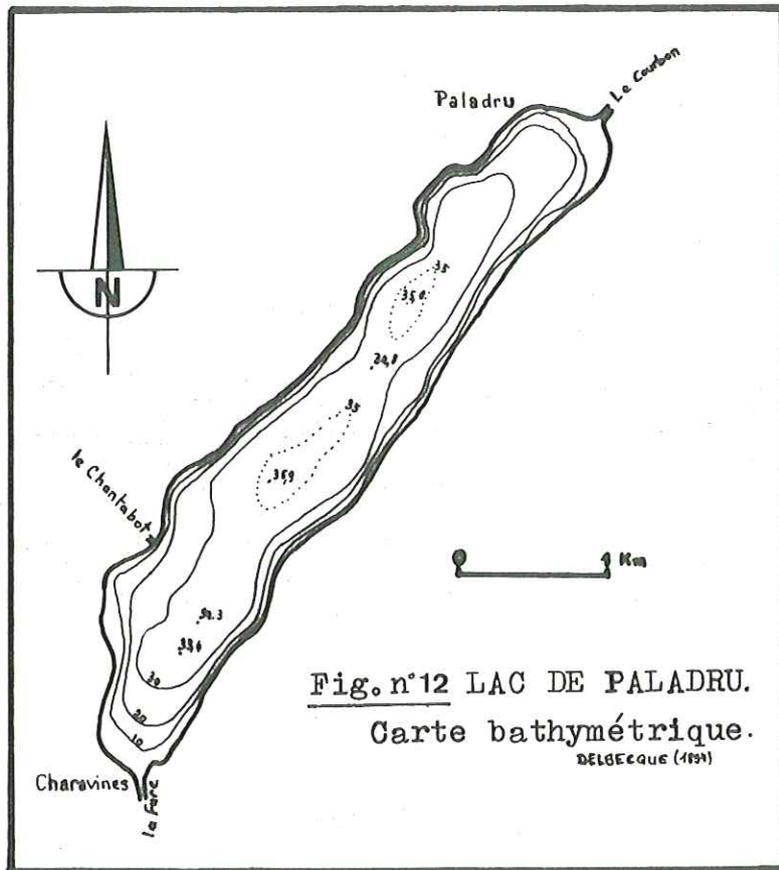
Les 2 forages à l'extrémité nord du lac montrent un sédiment sablo-graveleux et quelques niveaux argileux. Les coupes déduites de la prospection électrique indiquent de haut en bas :

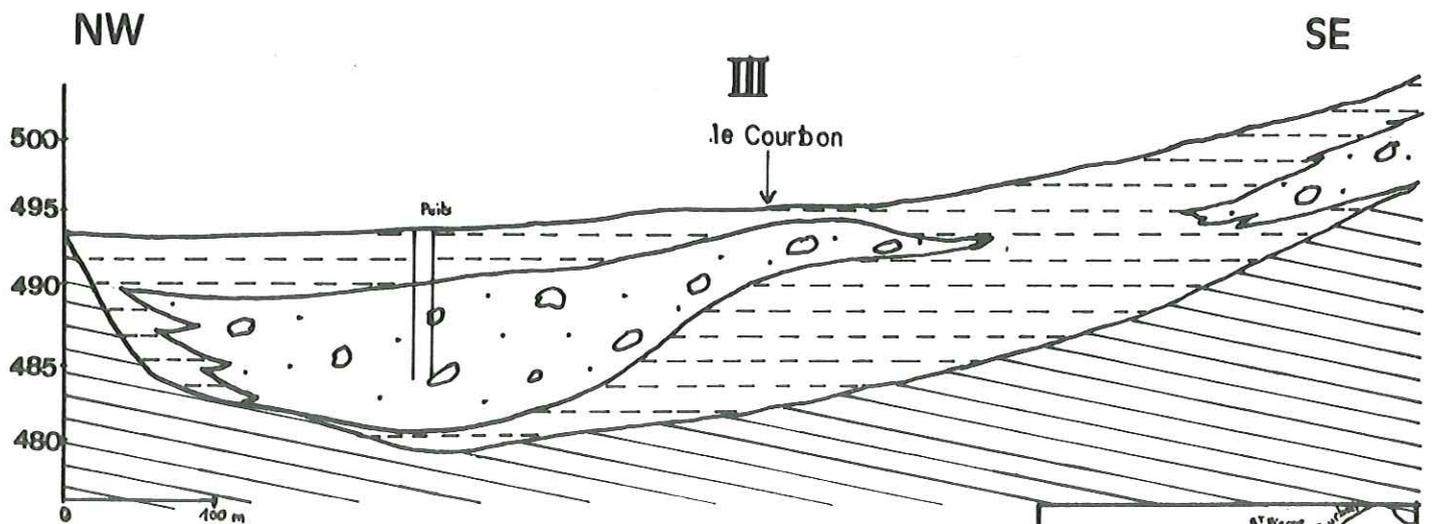
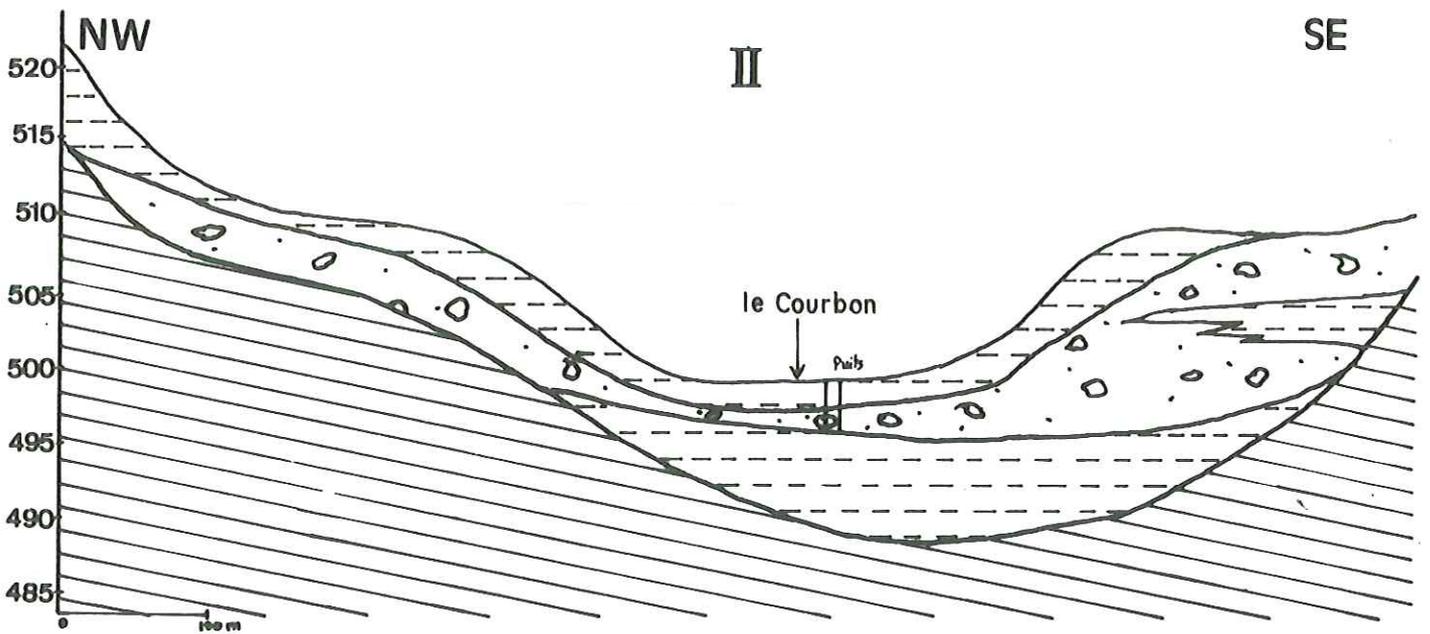
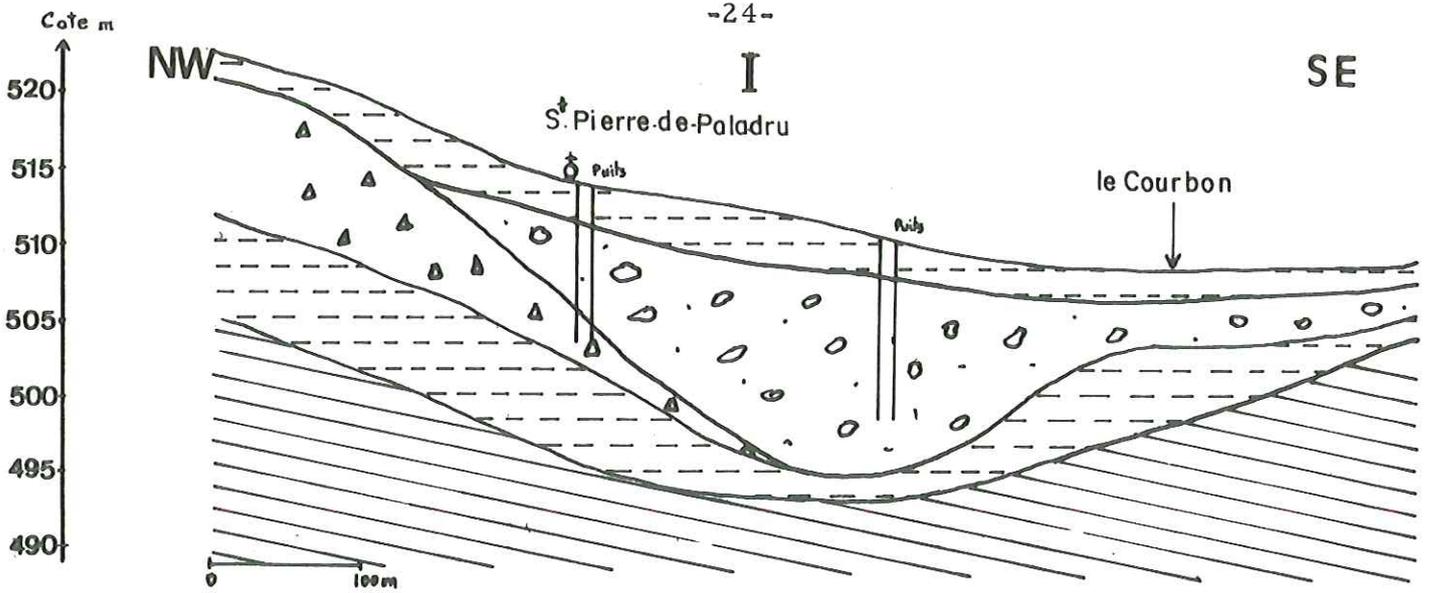
- des limons et argiles ép: 2 à 5 m;
- des graviers ép: 5 à 15 m;
- des argiles ép: 2 à 10 m;
- le substratum molassique.

Une origine fluviale peut être avancée pour ce remplissage.

<sup>x</sup> C.P.G.F. : Compagnie de Prospection Géophysique Française

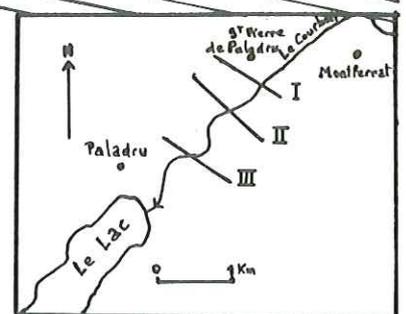
<sup>o</sup> F<sup>19</sup>, F<sup>26</sup>, F<sup>27</sup>.





-  cone de dejection
-  graviers
-  argiles
-  Molasse

Fig.n°13 Coupes géophysiques  
Plaine du Courbon.  
(d'après études C.P.G.F)



### C. Le remplissage de la dépression du Pin-Valencogne

Bien que ne connaissant pas leur situation exacte, nous présentons quand même la coupe lithologique de 5 forages réalisés dans la plaine du Pin (F21 à F25).

#### a) Epaisseur

D'après les coupes l'épaisseur des alluvions varie entre 25 m et 50 m.

La cote du toit du substratum peut être localement inférieure à 470 m, valeur sensiblement égale à celle du fond du lac de Paladru (460m). Cette vallée du Pin doit donc avoir comme celle de Paladru une origine glaciaire, tout au moins en ce qui concerne l'ultime façonnement qui a conduit à son surcreusement.

#### b) Nature et origine

Il s'agit là, de graviers et de sables argileux, avec suivant l'endroit, un ou deux niveaux de poudingue. En se reportant au sondage F 24, on note de nombreux horizons d'argiles intercalaires qui traduisent des régimes lacustres, entrecoupés de périodes de " débâcles " fluviales ( dépôts grossiers ). On retrouve la même origine fluvioglaciale des sédiments que pour la vallée de l'Ainan ( hypothèse 1 du paragraphe b, page 21 ). Mais là aussi, un dépôt s'étalant sur plusieurs épisodes glaciaires n'est pas à exclure ( hypothèse 2 du paragraphe b, page 22 ).

## II-3- HISTOIRE GEOLOGIQUE REGIONALE DU QUATERNAIRE

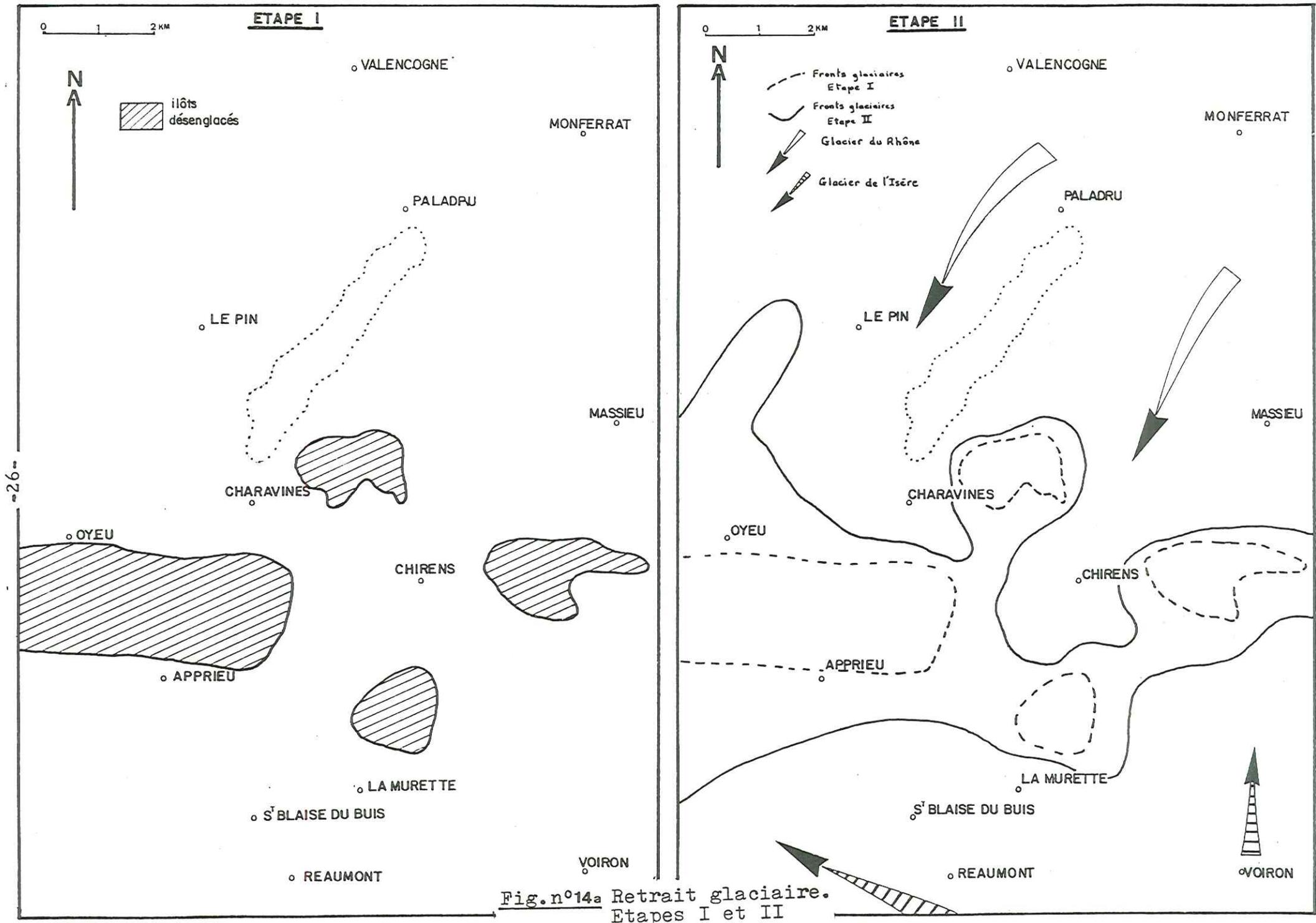
### II-3-1- Introduction

On aborde l'histoire du dernier retrait glaciaire ainsi que celle des dépôts qui lui sont associés. Nous reprenons en partie les travaux minutieux de E. Steinfatt (1975). C'est à lui, que revient le mérite d'avoir établi une corrélation précise, entre les différentes phases du retrait des glaciers de l'Isère et du Rhône, à partir d'études pétrographiques, morphologiques et pédologiques. Auparavant on rappellera les données généralement admises sur les glaciations anciennes qui ont laissé des traces sur notre terrain.

### II-3-2- Les anciennes glaciations

D'après F. Bourdier (1961), les traces les plus anciennes, vestiges de la glaciation Gunz ou Donau, se rencontrent dans la carrière de la Sylve Bénite (725m), au-dessus de l'ancienne Chartreuse située à l'Ouest de Chassigneux ( commune du Pin ). Cette carrière, aujourd'hui, est le siège de nombreux glissements. Elle a permis d'observer lors de son exploitation, une moraine argileuse très altérée au contact de la molasse. Elle est surmontée, par une zone argilo-sableuse puis de nouveau par une moraine très altérée.

Enfin, sur le Mont Levatel les dépôts glaciaires tapissant le versant sud sont attribués au Riss. Des observations effectuées plus à l'Ouest, indiquent qu'à cette époque, le glacier venu du Sud et le glacier venu du Nord



-26-

formaient alors une unique calotte sur notre terrain. Le glacier rhodanien s'avavançait sur les Terres Froides et s'écoulait du Nord-Est vers le Sud-Ouest en empruntant d'abord, des vallées telles que celles de l'Ainan, de Paladru-Valencogne et de la Bourbre, qui déjà à cette période étaient esquissées.

Le front des langues glaciaires se heurtait au relief molassique, situé sur une ligne Voiron - la Côte St-André, séparant la vallée de l'Isère et les Terres Froides. Dans la masse molassique, l'érosion glaciaire et fluviale façonnait des brèches ou approfondissait des trouées qui constituaient déjà des éléments du réseau hydrographique mio-pliocène, mettant ainsi en communication directe la vallée de l'Isère et les vallées des Terres Froides. On citera comme exemple les trouées du Violet, de Valfroide et de la Fure.

Les glaciers progressaient sur un relief mio-pliocène dont les formes étaient voisines de celles qu'on observe aujourd'hui, à la seule différence près qu'à cette époque, les dépressions et les vallées, qui ultérieurement furent surcreusées puis remblayées, étaient beaucoup moins marquées.

Après le retrait des glaciers rissiens, les glaciers würmiens envahissent le secteur. Il s'agit là de la dernière invasion glaciaire. Les dépôts et la morphologie qui s'y rapportent sont bien conservés de nos jours.

### II-3-3- Les stades de retraits de la dernière glaciation

Jusqu'alors, l'extension maximale du glacier würmien dans la plaine de Bièvre n'est pas connue avec certitude faute de datation absolue. On conviendra que le glacier würmien s'est avancé au moins jusqu'au niveau du Grand-Lemps. C'est à partir de cette hypothèse qu'on examine les différentes étapes du retrait glaciaire. Chaque étape est représentée par un arc morainique indiquant un stationnement suffisamment long pour permettre un dépôt identifiable. Les principales étapes sont reportées sur les figures n°14<sub>a,b,c</sub>.

#### A. Etape I (fig. n°14a )

Les glaciers du Rhône et de l'Isère ne s'affrontent qu'en certains points, là où l'obstacle molassique n'existe plus, c'est-à-dire au niveau des trouées. En ce qui concerne notre terrain ils sont joints entre le Mont Follet et le Grand Regardou, entre le Grand Regardou et le chaînon du Ratz. Quelques sommets comme le Grand Souillet à l'Est de Chirens et la Pierre de Libre Soleil à l'Est de Charavines, constituent des nunatacks au milieu de la glace. Seules, les moraines frontales du glacier du Rhône au Sud du Verney (commune d'Oyeu) sont les dépôts conservés qui se rapportent à cette étape.

#### B. Etape II (fig. n°14a )

Les glaciers sont désormais séparés. Le glacier de l'Isère érige la moraine du Gros Molard en Tête de Bièvre et la langue de Voiron édifie un vallum dans le vallon de Saint-Nicolas-de-Macherin dont seuls d'énormes blocs (plusieurs m<sup>3</sup>) sont les témoins. Les eaux de fonte du glacier

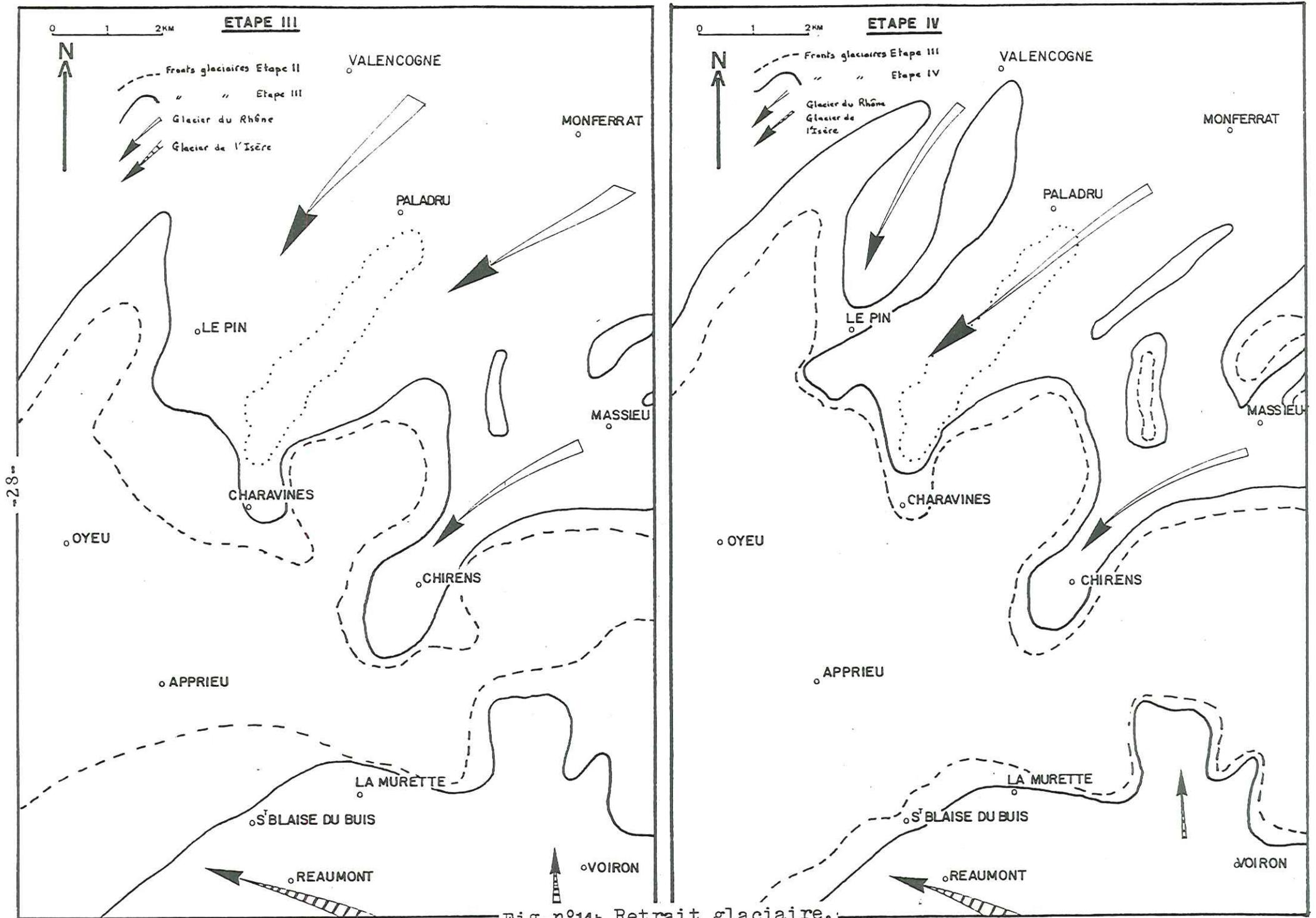


Fig. n°14b Retrait glaciaire.  
Etapes III et IV

s'écoulent dans la plaine de Bièvre et contribuent à la formation de la plaine alluviale.

Le glacier Rhodanien se divise en 2 langues. Ce sont les langues de Chirens - l'Ainan et de Pal adru-Charavines. La première moraine de l'amphithéâtre de Chirens se dépose au front de la langue de l'Ainan. Les eaux de fusion s'évacuent vers la plaine de Bièvre. Les matériaux qu'elles transportent, combleront en partie la trouée de Bonpertuis puis participent à l'empâtement de la plaine de Bièvre. La langue de Paladru dépose la moraine du Verney à l'Ouest de Charavines. Ses eaux de fonte atteignent la Bièvre en empruntant la vallée d'Oyeu puis celles du Violet et de Valefroide.

#### C. Etape III (fig. n°14b )

Pour le glacier isérois, cette étape est représentée par les moraines de Saint-Blaise-du-Buis et des Tuilières pour le lobe de Voiron. Les eaux issues de ce lobe se dirigent vers la langue de Chirens qui construit alors le deuxième arc de l'amphithéâtre morainique. Entre le premier vallum de l'étape précédente et ce second arc, se développe une terrasse fluvioglaciaire qui, par sa largeur (120m) et sa pente latérale dirigée vers le Sud, sert de chenal collecteur aux eaux du glacier de l'Ainan. Ces eaux s'écoulent ensuite au pied nord du Bois de Bavonne et rejoignent alors celles du lobe de Charavines entre le Guillermet et Bonpertuis. De là, elles s'échappent vers le Sud-Est, canalisées entre la moraine du Gros Molard (Etape II) et celle de Saint-Blaise-du-Buis (Etape III). Les hautes terrasses du Plan et d'Apprieu - Saint-Blaise-du-Buis, respectivement entre Charavines et le Guillermet et au Sud du Guillermet, s'édifient à cette étape. On remarquera ici, que les eaux de fusion de la langue de Charavines creusent à l'Ouest du village deux importants chenaux d'évacuation dans la molasse miocène. Nous retiendrons particulièrement cette action érosive des eaux. C'est ce type d'action, résultant de glaciations plus anciennes, qui pourrait être à l'origine du profond surcreusement reliant la vallée de l'Ainan et la vallée de la Fure (cf. chapitre: Etude Géophysique ).

#### D. Etape IV (fig. n°14b )

Cette étape se traduit par un très faible recul des deux glaciers. Seul le troisième et dernier vallum de l'amphithéâtre de Chirens caractérise ce stade. La langue de Paladru se divise pour donner naissance au lobe de Valencogne-Le Pin. Quelques sommets molassiques, tel que le Mont Bilieu, émergent nettement de la masse de glace. Les eaux empruntent le même chemin qu'à l'étape précédente.

Cependant, le niveau de base des lobes Rhodaniens baisse au fur et à mesure du recul, si bien que les eaux édifient de nouvelles terrasses dans le matériel ancien. Il y a emboîtement des terrasses ( ex : terrasse inférieure du Plan, terrasse de Bonpertuis - cf. fig n° 9 p. 17 )

#### E. Etape V ( fig. n°14c )

Le glacier isérois abandonne la région. Une intense activité fluviatile s'installe à son front.

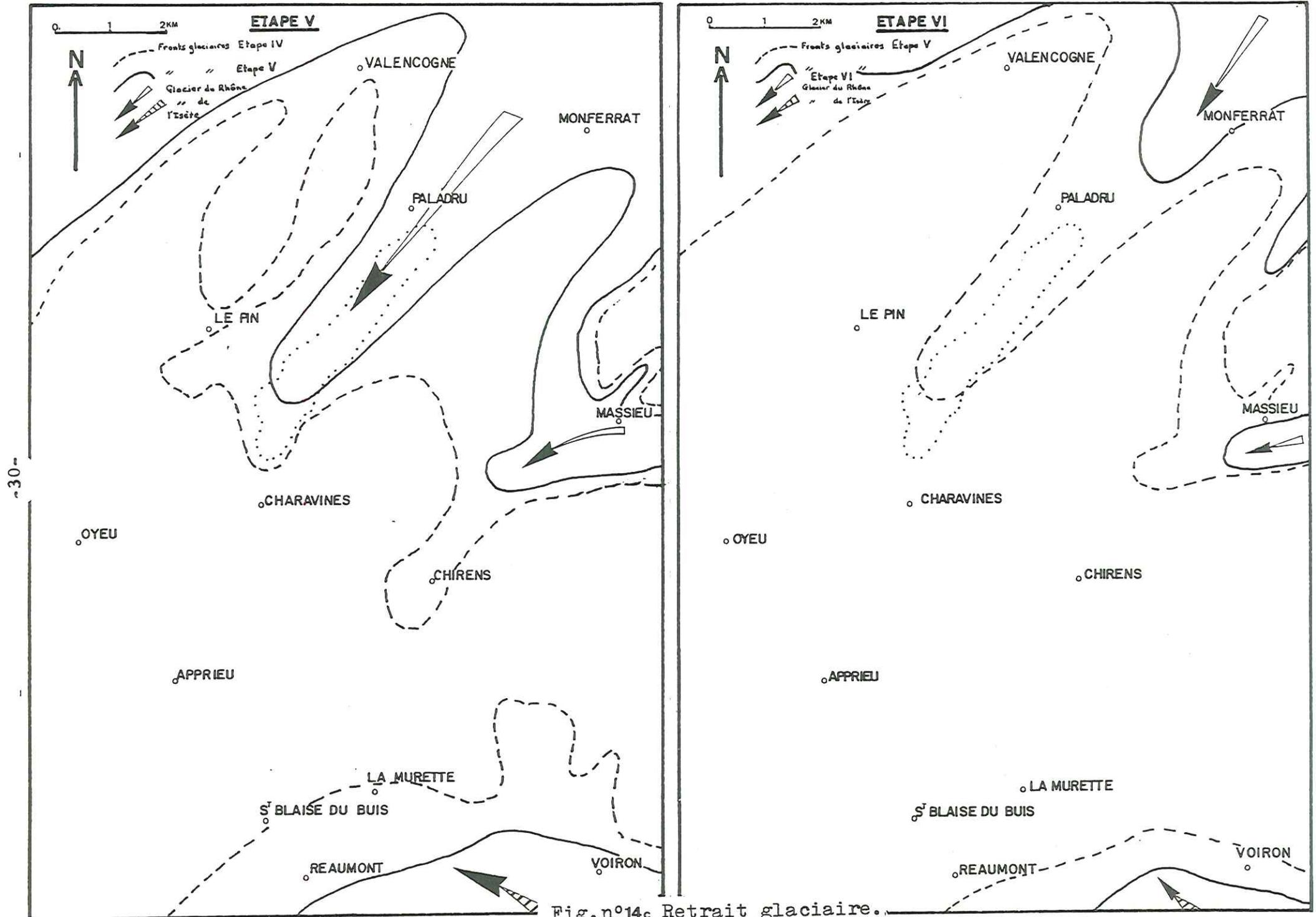


Fig.n°14c Retrait glaciaire.  
Etapes V et VI

Le glacier du Rhône ne présente plus que deux diverticules : celui de Paladru et celui de l'Ainan. Au front de ceux-ci se créent des lacs. Pour le lac de Paladru il s'agit d'un lac de surcreusement. A Chirens c'est un lac de barrage glaciaire. En effet le lobe de l'Ainan occupe la dépression. A la décrue la glace barre l'aval de la vallée et il se forme un lac qui se déverse vers le Sud. Les eaux de débordement jointes à celles de Paladru édifient les dernières terrasses emboîtées dont celles de la Ravignouse et de Planche-Cattin. La phase de comblement des dépressions de l'Ainan, de Paladru et du Pin ( cette dernière est maintenant déglacée ), débute alors.

#### F. Etape VI ( fig. n°14c )

Les deux lobes de Paladru et de l'Ainan se résorbent. Les lacs s'étendent. Leur remblaiement se poursuit à l'aide des matériaux abandonnés par le glacier mais aussi avec les galets et particules plus fines arrachés aux pentes molassiques par le ruissellement intense.

Enfin le glacier rhodanien abandonne notre terrain. Le lac de Chirens, n'étant plus barré à l'aval, se vide par le Nord-Est dans la vallée du Guiers. Quelques cônes de déjection obstruent la vallée de l'Ainan de place en place donnant naissance aux marécages et leurs tourbières qui sont les derniers éléments du remplissage. Le lac de Paladru isolé des grands courants de fusion subsiste.

Il s'écoule en empruntant la vallée de la Fure modelée antérieurement par les eaux de fonte.

### II-4- CONCLUSION A L'ETUDE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

La région d'étude a été recouverte par deux glaciers antagonistes :

- le glacier de l'Isère venu du Sud-Est;
- le glacier du Rhône venu du Nord-Est.

Bien que les affleurements soient rares, les études lithologiques et sédimentologiques des dépôts qu'ils ont laissés, révèlent une certaine hétérogénéité:

- les terrasses glaciaires, fluvioglaciaires et fluviales présentent un matériel plutôt graveleux et donc perméable ;
- les moraines se caractérisent, soit par une accumulation de gros blocs, soit par des sables plus ou moins argileux.

Les formes d'accumulation ne sont pas les seuls témoins du passage et du stationnement des glaciers. Il faut y ajouter également les formes d'érosion représentées par les surcreusements qui vont modifier sensiblement la paléomorphologie mio-pliocène des fonds de vallées. Leur comblement d'origine glaciaire, fluvioglaciaire et fluviale peut dépasser 50 mètres d'épaisseur ( vallées de l'Ainan, du Pin-Valencogne, de la Fure ).

Enfin la morphologie fraîche due au dernier retrait glaciaire permet d'en reconstituer schématiquement les différentes étapes et d'établir leur chronologie relative.

## CONCLUSION A L'ETUDE GEOLOGIQUE

Tous les affleurements de la partie Sud-Est des Terres Froides ( Bas-Dauphiné ) centrée sur le lac de Paladru, sont d'origine détritique.

On distingue : - le substratum molassique imperméable;  
- les terrains de couverture quaternaire perméables.

- Le substratum molassique est représenté par un conglomérat induré à rares intercalations sableuses ou argileuses. Il appartient à la formation de Voreppe et peut-être à celle de la Tour du Pin pour l'extrémité nord du secteur de l'étude.

L'âge de l'ensemble du sédiment est Vindobonien, voir Pontien pour le sommet de la série.

- La couverture quaternaire très importante, aussi bien en superficie occupée qu'en volume, est le résultat de la présence de masses glaciaires descendues des Alpes. Elles s'étalent sur le Bas-Dauphiné à différentes époques au cours du Pléistocène en empruntant les vallées actuelles issues du réseau hydrographique mio-pliocène. Le matériel hétérogène apporté et abandonné occupe les dépressions en partie surcreusées par les glaciers et leurs eaux de fonte.

Les lobes glaciaires se retirent enfin pour la dernière fois en édifiant une morphologie qui est remarquable encore aujourd'hui.

CHAPITRE II

=====

ETUDE GEOPHYSIQUE

-----

- I - ETUDES ET TRAVAUX ANTERIEURS
- II - ETUDE GEOPHYSIQUE

## INTRODUCTION

L'étude géophysique par prospection électrique que nous présentons vient compléter la connaissance du substratum. Elle précise sa morphologie et confirme la présence de sillons de surcreusement remblayés postérieurement par des alluvions plus ou moins perméables. Les grands traits de cette morphologie du substratum sont rattachés selon toute vraisemblance à l'époque mio-pliocène tandis que dans le détail, elle est liée au passage des glaciers quaternaires et des eaux de fusion.

La morphologie du substratum et la nature des alluvions ainsi définies permettront ensuite, de localiser plus aisément les aquifères susceptibles de renforcer l'alimentation en eau potable de la région et de mieux comprendre la circulation des eaux profondes.

### I - ETUDES ET TRAVAUX ANTERIEURS

Le Bureau d'Etudes Géophysiques Ménard, puis la Compagnie de Prospection Géophysique Française ( C.P.G.F. ) ont réalisé en 1976 et 1977 des campagnes de prospection dans la vallée de la Fure depuis l'exutoire du lac de Paladru au Nord jusqu'à une ligne brisée passant par Apprieu - Le Rivier - La Murette au Sud. Dans cette zone ainsi délimitée, 136 sondages électriques répartis sur 15 profils ont précisé la profondeur et la forme du substratum. Les résultats obtenus sont présentés par secteurs géographiques.

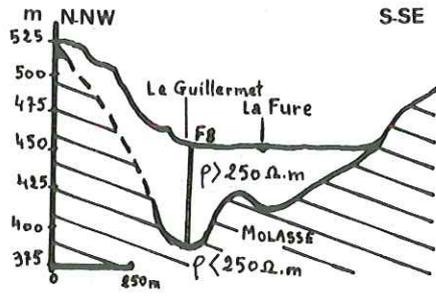
#### I-1- RESULTATS DES TRAVAUX ENTRE LE GUILLERMET ET BONPERTUIS

Ils sont résumés sur les coupes A-B-C... de la figure n°15 . Un surcreusement apparaît nettement. Sa profondeur est de l'ordre de 50 m sous la plaine alluviale de la Fure. Les résistivités du substratum molasique ne dépassent pas 250  $\Omega$ .m. Celles du remplissage alluvionnaire sont supérieures à 400  $\Omega$ .m. Deux forages ( F9 et F7 ) de 60 et 50 m, implantés respectivement au Guillermet et à Bonpertuis ont confirmé la présence du sillon de surcreusement dans la molasse.

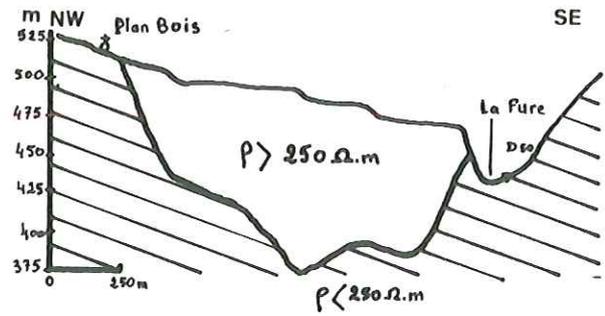
#### I-2- RESULTATS DES TRAVAUX AU NORD ET A L'EST DU GUILLERMET

##### I-2-1- Au Nord

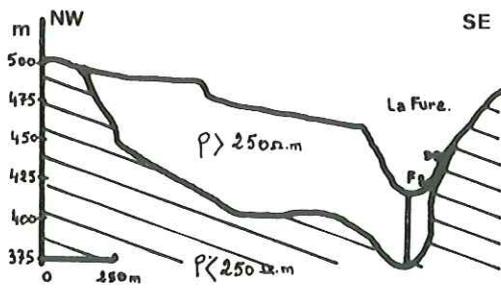
Sur la terrasse du Plan et perpendiculairement au cours de la Fure, les sondages électriques ne montrent pas de limites très nettes entre les alluvions et la molasse. Le forage mécanique F10 , implanté sur cette terrasse, a rencontré la molasse à 10 mètres de profondeur. Etant donné



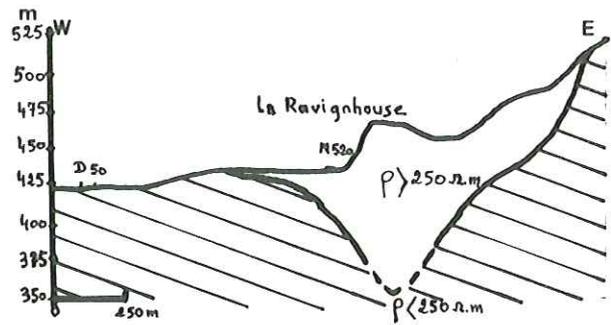
COUPE A



COUPE B



COUPE C



COUPE D

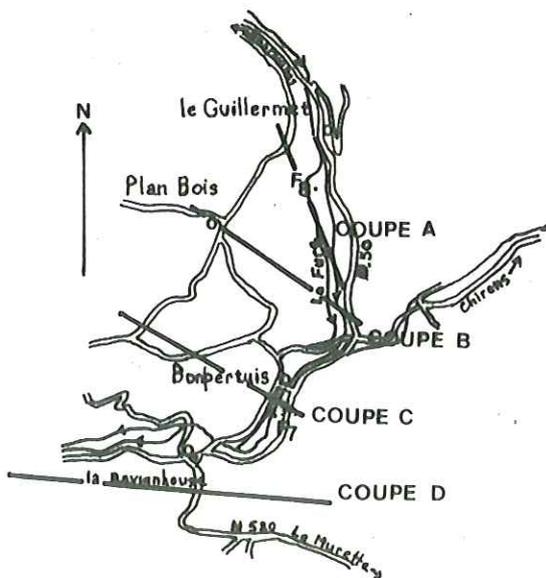


Fig. n° 15 Coupes géophysiques dans la vallée de la Fure.

la largeur de la terrasse (200m) on est amené à dire que si un chenal existe, il est nécessairement très étroit et donc difficilement détectable par géophysique.

#### I-2-2- A l'Est

Des investigations furent ensuite menées dans l'amphithéâtre morainique de Chirens à l'amont du village. La coupe géophysique obtenue, qui va du Bois de Bavonne au Sud à Coquette au Nord, ne fit apparaître aucun surcreusement dans cette région. Cependant, ultérieurement le forage mécanique F11 des Brosses, situé au centre de la coupe, descendait à 48 m de profondeur sans rencontrer le substratum. Il pouvait donc y avoir là un surcreusement bien que la prospection électrique ne l'ait pas détecté.

#### I-3- RESULTATS DES TRAVAUX AU SUD DE BONPERTUIS

Entre le Bois de Bavonne et la Ravingnhouse des sondages électriques retrouvent le surcreusement dans la molasse ( Coupe D Fig. n°15 ). Il prendrait une direction Sud.

Plus à l'Est de ce secteur, à Planche Cattin, en rive droite de la Fure, un chenal se dessine. Au droit de son axe présumé, le substratum serait à 80 m sous la surface du sol. Le forage mécanique F3 est venu infirmer cette hypothèse puisqu'il a rencontré la molasse à 14 m de profondeur.

#### I-4- CONCLUSION RELATIVE AUX TRAVAUX ANTERIEURS

Le résumé des documents dont nous disposons au début de notre étude montre qu'on ne connaît le surcreusement avec certitude qu'entre Bonpertuis et le Guillermet. En dehors de ce secteur les informations apportées par les sondages électriques d'une part et les sondages mécaniques d'autre part sont le plus souvent contradictoires. A l'issue des premières campagnes d'investigation, l'extension du sillon n'est pas reconnue ni au Nord, ni à l'Est du Guillermet de même qu'à l'aval de Bonpertuis.

L'étude géophysique par prospection électrique se révèle donc délicate dans la région. Les principales causes, responsables des difficultés rencontrées dans l'interprétation des données, seront exposées ultérieurement.

## II - ETUDE GEOPHYSIQUE

### II-1- BUT

Ayant pris connaissance des résultats des anciennes prospections, le but de notre étude était simple puisqu'il s'agissait de retrouver le tracé et l'ampleur du surcreusement à l'amont et à l'aval du Guillermet et de Bonpertuis.

Nous avons donc entrepris une prospection électrique qui a comporté une centaine de sondages électriques ( Annexe I ) implantés le long de profils en travers des vallées lorsque c'était possible.

En premier lieu, c'est la profondeur du substratum à l'emplacement de chaque sondage électrique qui importe. On s'intéresse ensuite aux coupes des terrains quaternaires tout en sachant que celles-ci sont très schématisées. Seuls les grands ensembles argileux ou graveleux sont distingués.

## II-2- PRESENTATION GENERALE

### II-2-1- Principe des sondages électriques

La prospection par la méthode électrique cherche à mettre en évidence parmi plusieurs terrains des différences entre leurs propriétés électriques. On envoie un courant continu dans le sol et on mesure entre deux points du sol la différence de potentiel qui en résulte.

Du point de vue électrique, les différents terrains contiennent de l'eau plus ou moins minéralisée et dont la quantité est fonction de la porosité. En conséquence les valeurs des résistivités qui dépendent de la quantité d'électrolyte permettent de caractériser une formation géologique.

Notre prospection s'est faite suivant la méthode Schlumberger à l'aide d'un quadripôle A, M, N, B. Les longueurs maximales des lignes d'injection AB sont de 400 m.

### II-2-2- Matériel utilisé

En début de campagne nous avons utilisé le potentiomètre Cagniard. Le courant continu était fourni par deux piles radio de 90 volts. Elles permettaient d'obtenir en fonction des besoins 45, 90, 135 ou 180 volts. Un milliampèremètre donnait l'intensité du courant injecté. L'ensemble de l'appareillage est lourd et la manipulation est plutôt fastidieuse. Mais ceci n'enlève rien à la précision des mesures effectuées.

En cours de campagne, la D.D.A. a fait l'acquisition d'un appareil mis au point par B. Bonhomme. Sa manipulation est très simple. Son poids, son encombrement sont très satisfaisants. Nous l'avons employé en fin de campagne. Des sondages effectués au même endroit avec les deux appareils ont donné des résultats identiques. L'homogénéité de notre étude est donc assurée.

### II-2-3- Interprétation des sondages électriques

#### A. Généralités

Le report des mesures de terrain s'est fait sur graphique semi-logarithmique de module 62,5 mm. On note en abscisse les distances AB/2 séparant le centre du dispositif O et les électrodes A et B et en ordonnées les résistivités apparentes correspondantes. Chaque sondage donne une courbe expérimentale caractéristique qu'on interprète par la méthode

Cagniard, méthode qui nécessite l'utilisation d'abaques empiriques ( abaque " deux terrains " et " graphiques des lieux de croix " ),

La plupart des courbes expérimentales obtenues révèlent trois terrains, très rarement quatre. Le dépouillement reste donc simple et assez précis. Toutefois dans certains secteurs nous ne connaissons pas le nombre exact de couches intervenant ainsi que leur résistivité faute de sondage mécanique d'étalonnage. En conséquence les principes de suppression et d'équivalence pouvaient jouer, entraînant dans ce cas une incertitude sur le calcul de l'épaisseur des différents terrains.

Remarques : une courbe en cloche ou en fond de bateau est assujettie au principe d'équivalence si elle peut être amenée en coïncidence avec plusieurs courbes d'un catalogue d'abaque ( P. Lasfargues, 1979 ). Dans ce cas le sondage admet plusieurs solutions.

### B. Méthode de dépouillement

La méthode Cagniard que nous avons employée est résumée dans la publication de O. Koefoed ( ) " A generalized Cagniard graph for the interpretation of geoelectrical sounding data ". Son principe consiste à décomposer une courbe n terrains en une série de deux terrains.

Les principales étapes de la méthode de dépouillement sont les suivantes :

a) superposer la courbe expérimentale et l'abaque " deux terrains " en faisant coïncider la première branche et l'une des courbes " deux terrains " ( les axes sont maintenus parallèles entre eux ). La croix de l'abaque pointée sur la courbe expérimentale donne  $\rho_1$  résistivité et  $h_1$  épaisseur du premier terrain. Le rapport  $\rho_2 / \rho_1$  de la courbe " deux terrains " choisie, permet de calculer  $\rho_2$  résistivité du second terrain.

b) de la même manière la deuxième branche de la courbe expérimentale est mise en coïncidence avec l'une des courbes " deux terrains ". Deux cas se rencontrent :

- le second terrain est suffisamment épais, la seconde croix est bien déterminée. Ses coordonnées caractérisent un terrain électriquement équivalent aux deux premiers ( $\rho_{1-2}$  et  $h_{1-2}$ ). La courbe " deux terrains " donne le rapport  $\frac{\rho_3}{\rho_{1-2}}$ . On en tire  $\rho_3$ , résistivité du troisième terrain. Ensuite la courbe expérimentale est superposée au graphique " des lieux de croix " de Cagniard avec la première croix à l'origine. La deuxième croix se situe à l'intersection de deux familles de courbes. L'une donne le rapport  $\frac{\rho_2}{\rho_1}$  déjà connu, l'autre le rapport  $\frac{h_2}{h_1}$ . On en tire  $h_2$ .

- le second terrain n'est pas suffisamment épais. Placer la première croix à l'origine de l'abaque des " lieux de croix ". Tracer la courbe du rapport  $\frac{\rho_2}{\rho_1}$  déterminés lors de la première étape. Passer sur l'abaque des courbes " deux terrains ". La seconde branche de la courbe expérimentale y est superposée en prenant soin de garder les axes parallèles et en déplaçant l'origine de l'abaque " deux terrains " sur la courbe du

rapport  $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ . Lorsqu'il y a coïncidence entre la deuxième branche et une courbe " deux terrains " la seconde croix est fixée ( $\rho_{1-2}$  et  $h_{1-2}$ ). On a alors le rapport  $\frac{\rho_3}{\rho_{1-2}}$ . On tire  $\rho_3$ , résistivité du troisième terrain. Pour calculer  $h_2$  on procède dans le cas a.

c) Si on a affaire à une courbe de 4 terrains, le processus de calage de la troisième croix reste identique à celui que nous venons d'exposer. Ses coordonnées sont  $\rho_{1-3}$  et  $h_{1-3}$ , résistivités et épaisseurs équivalentes électriquement aux trois premiers terrains. La courbe " deux terrains " donne le rapport  $\frac{\rho_4}{\rho_{1-3}}$  on en tire  $\rho_4$ , résistivité du quatrième terrain.

Sur l'abaque des " lieux de croix ", on place la seconde croix à l'origine. La troisième croix,  $\rho_3$  se situe à l'intersection de 2 familles de courbes. L'une donne le rapport  $\frac{\rho_3}{\rho_{1-2}}$  déjà connu, l'autre le rapport  $\frac{h_3}{h_{1-2}}$  à partir duquel on calcule l'épaisseur du troisième terrain  $h_3$ .

#### II-2-4- Difficultés rencontrées

##### A. Topographie et obstacles divers

La direction d'extension des lignes de sondages électriques doit être parallèle à la structure recherchée; dans notre cas il s'agit d'un sillon dont l'axe devrait globalement avoir l'orientation des grandes vallées. Or la topographie, les grandes routes, un habitat de plus en plus dispersé n'ont pas toujours permis de respecter cette règle.

##### B. Faibles résistivités

Dans les zones marécageuses ( marais de Chirens notamment ) où on note la prédominance d'un faciès argileux puis tourbeux en surface, la profondeur d'investigation est réduite. Les lignes de courant sont en effet canalisées par les couches conductrices superficielles et ne pénètrent pas en profondeur.

##### C. Faibles contrastes de résistivités

Dans certains secteurs, le contraste de résistivité entre les formations quaternaires et le substratum est faible. Les courbes obtenues sont plates. La position des lieux de croix devient aléatoire. En conséquence le calcul des profondeurs dans ce cas est délicat.

##### D. Variation du faciès du substratum

La résistivité réelle de la molasse n'est pas toujours connue avec exactitude. C'est le cas lorsqu'il n'y a pas d'affleurement dans la zone de prospection. C'est aussi le cas lorsque la molasse présente différents degrés d'induration qui lui donnent des propriétés électriques variables. Les résultats obtenus sont alors traités avec précautions.

## II-2-5- Etalonnage des terrains

Pour connaître la résistivité vraie des différents terrains susceptibles d'être rencontrés au cours de l'étude, nous avons procédé à des étalonnages.

Les sondages d'étalonnages sont implantés près de forages lorsque les conditions locales le permettent. Plus souvent ils se situent sur des affleurements bien identifiés.

### A. Etalonnage des terrains de couverture

#### a) La terre végétale

Sa résistivité varie de 100 à 150  $\Omega$ .m. Même si cette fourchette chevauche celle du substratum molassique, le doute quant à l'interprétation est rapidement levé puisqu'il s'agit du premier terrain rencontré.

#### b) Les dépôts tourbeux

Leur résistivité varie de 40 à 70  $\Omega$ .m suivant leur teneur en eau. Ils sont facilement identifiables lorsqu'ils affleurent. Cela l'est beaucoup moins quand ils sont situés en profondeur où ils risquent d'être confondus avec les niveaux argileux.

#### c) Les dépôts argileux et graveleux

S'il s'agit d'un terrain purement argileux la résistivité est inférieure à 50  $\Omega$ .m. Mais, le plus souvent, on a affaire à un mélange argile-gravier. En fonction de la proportion des deux constituants les résistivités varient suivant une gamme très étendue qui peut aller de 100  $\Omega$ .m pour un terrain essentiellement argileux à 1000  $\Omega$ .m pour un terrain constitué de graviers et galets secs. Entre ces deux pôles extrêmes, existent toutes les valeurs de résistivité correspondant aux différentes proportions du mélange.

Les dépôts graveleux susceptibles d'être aquifères ont une résistivité supérieure à 250  $\Omega$ .m.

Enfin, on distinguera dans ces dépôts argileux et graveleux, les formations morainiques qui présentent des résistivités de l'ordre de 500  $\Omega$ .m si elles sont sableuses mais qui peuvent atteindre et dépasser 1000  $\Omega$ .m si elles sont constituées de gros blocs cristallins.

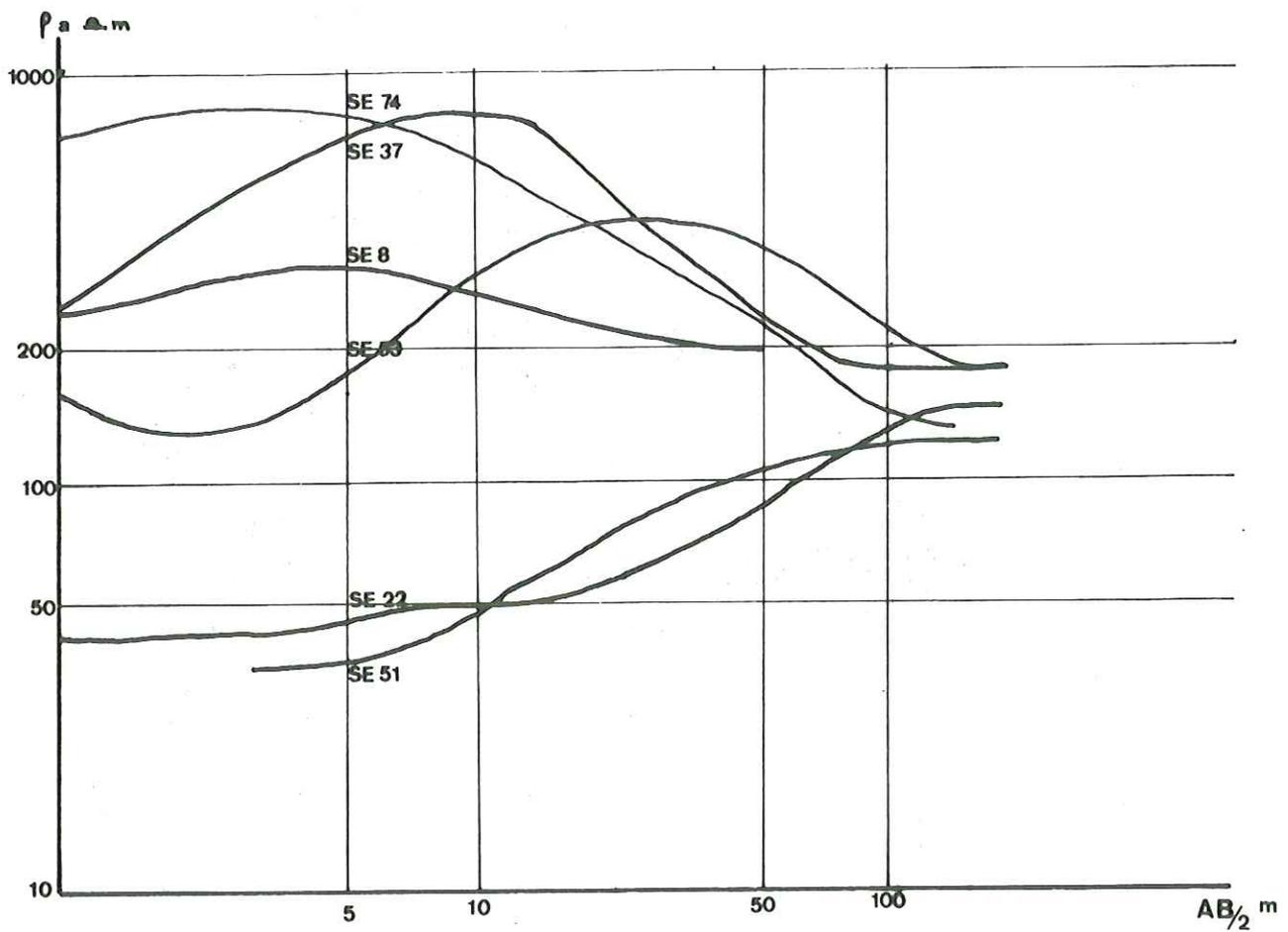
### B. Etalonnage du substratum molassique

Dans la mesure où les affleurements de la molasse sont rares et difficile d'accès, c'est la valeur indiquée par les paliers de fin de courbe de sondage qui est retenue comme résistivité réelle du substratum. Cette résistivité varie entre 120 et 200  $\Omega$ .m dans la plupart des cas ( fig. n°16 ). Cependant deux zones doivent être discernées. Ce sont les régions de Réaumont et de la terrasse du Plan entre Charavines et le Guillermet.

Dans la région de Réaumont les valeurs de la résistivité du substratum sont de l'ordre de 400 à 500  $\Omega$ .m ( faciès plus sableux et plus induré ).

Sur la terrasse du Plan, deux affleurements de molasse,

Fig.n°16 Convergence des queues de sondages électriques vers la résistivité vraie de la molasse.



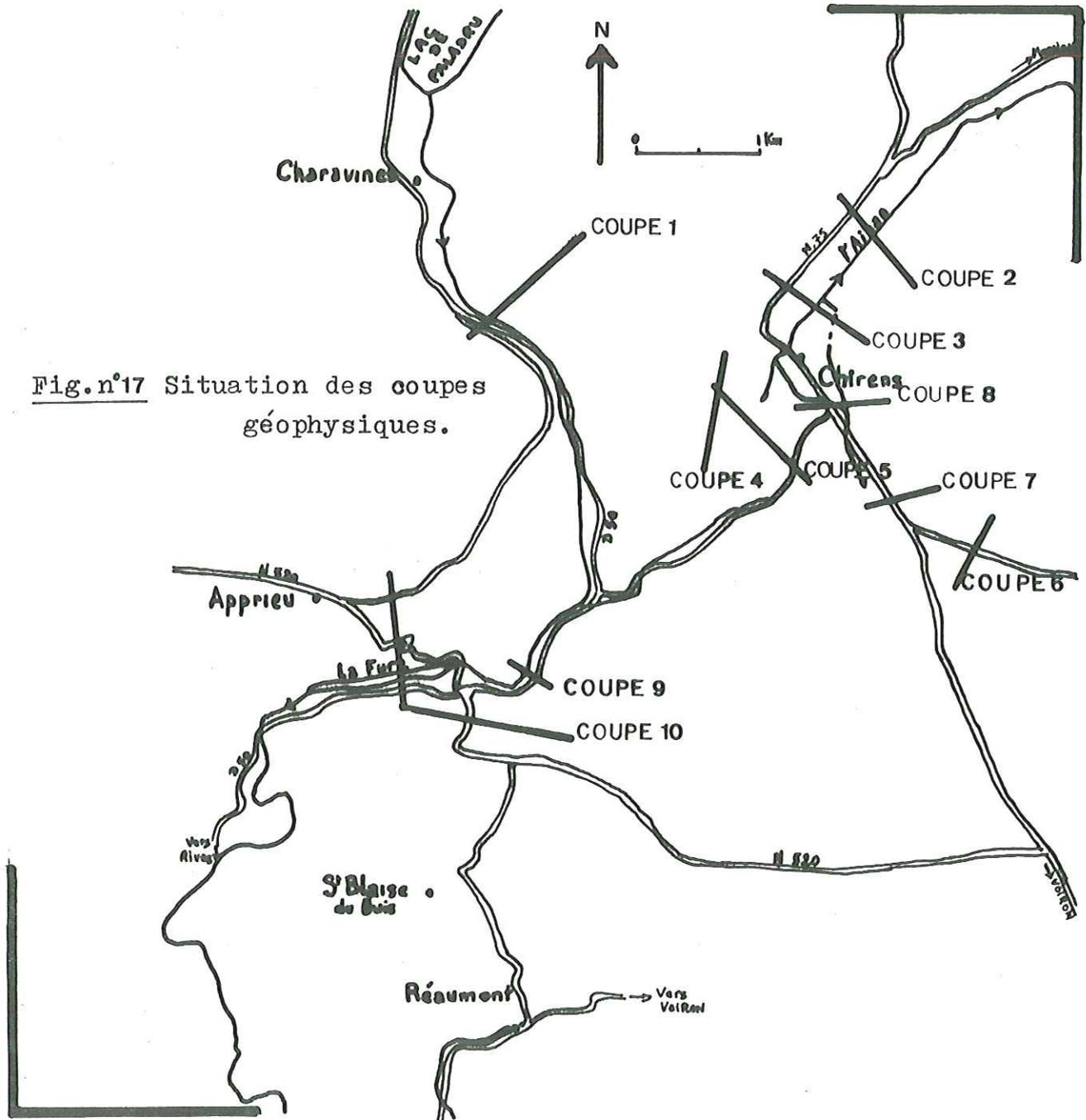


Fig.n°17 Situation des coupes géophysiques.

pourtant proches l'un de l'autre, donnent comme résistivité 400 $\Omega$ .m puis 140 $\Omega$ .m. Dans le premier cas, il s'agit d'un affleurement très induré ayant l'aspect d'un véritable béton, alors que le second l'est beaucoup moins.

En conséquence, on retiendra que dans le secteur de la terrasse du Plan, il existe des variations latérales du faciès du substratum qui doivent aussi apparaître verticalement en profondeur. Les résistivités du substratum pourront ici varier de 120 à 400 $\Omega$ .m.

### II-3- RESULTATS

Les résultats sont présentés par secteurs géographiques. Les sondages ont été implantés de telle sorte que les résultats apparaissent sous forme de coupes géophysiques. Pour chaque secteur on donne une figure d'implantation des sondages et la ou les coupes correspondantes qui tiennent compte des données apportées par les forages mécaniques et les observations de terrain. Dans la plupart des cas toute interprétation fera l'objet d'une discussion.

On distingue trois secteurs géographiques :

- 1 - Au Nord du Guillermet : entre Charavines et le Guillermet;
- 2 - A l'Est du Guillermet : Haute vallée de l'Ainan, vallée du Fagot-Saint-Nicolas-de-Macherin;
- 3 - Au Sud de Bonpertuis : La Ravignouse - Réaumont.

La figure n° 17 montre la situation des différentes coupes géophysiques réalisées.

#### II-3-1- Au Nord du Guillermet

La coupe géophysique 1 est établie à partir de 8 sondages électriques ( SE 1\* à 8 ) dont l'implantation est donnée figure n° 18 . Elle relie les deux collines molassiques séparées par la vallée de la Fure et la terrasse du Plan.

##### A. Interprétation - coupe 1 (fig. n° 19 )

Le SE1 au N.E. rencontre le substratum à 160 $\Omega$ .m sous 5 mètres d'alluvions ou d'éboulis de pied de versant. Plus à l'Ouest le SE2 indique, à 2 mètres de profondeur, un terrain à 325 $\Omega$ .m avant d'atteindre 20 mètres en dessous, la formation à 160 $\Omega$ .m qu'on rattache de suite au substratum molassique.

Avant d'interpréter le terrain à 325 $\Omega$ .m, notons que le SE9 situé 100 m au Sud du SE2 et sur un affleurement de molasse révèle la valeur inhabituelle de 400 $\Omega$ .m. Grâce à la présence de cupules sur les galets calcaires et à la désagrégation des éléments cristallins par simple grattage du doigt, on a pu vérifier qu'il s'agissait bien du substratum. Mais là, son ciment très

\* SE : abréviation de sondage électrique

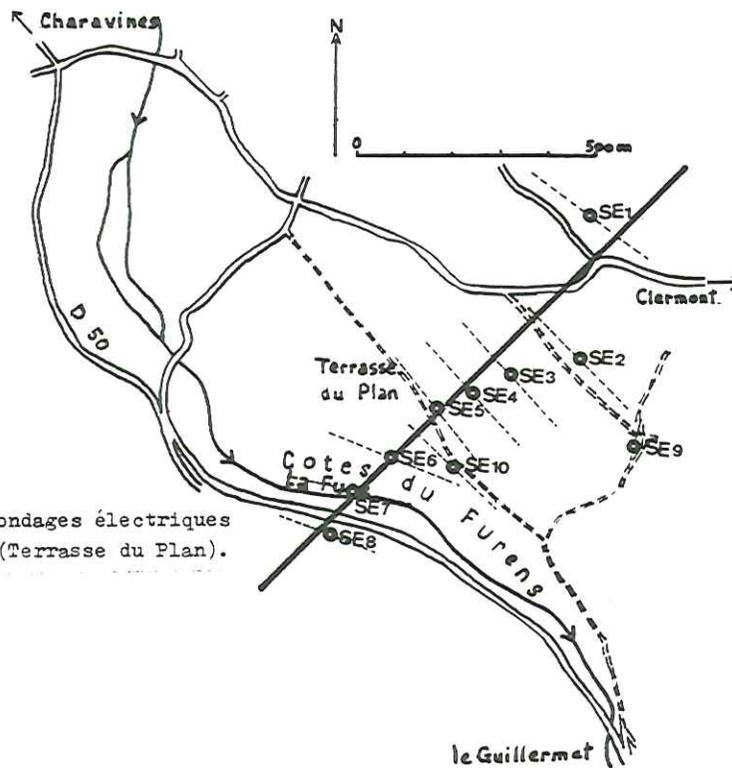
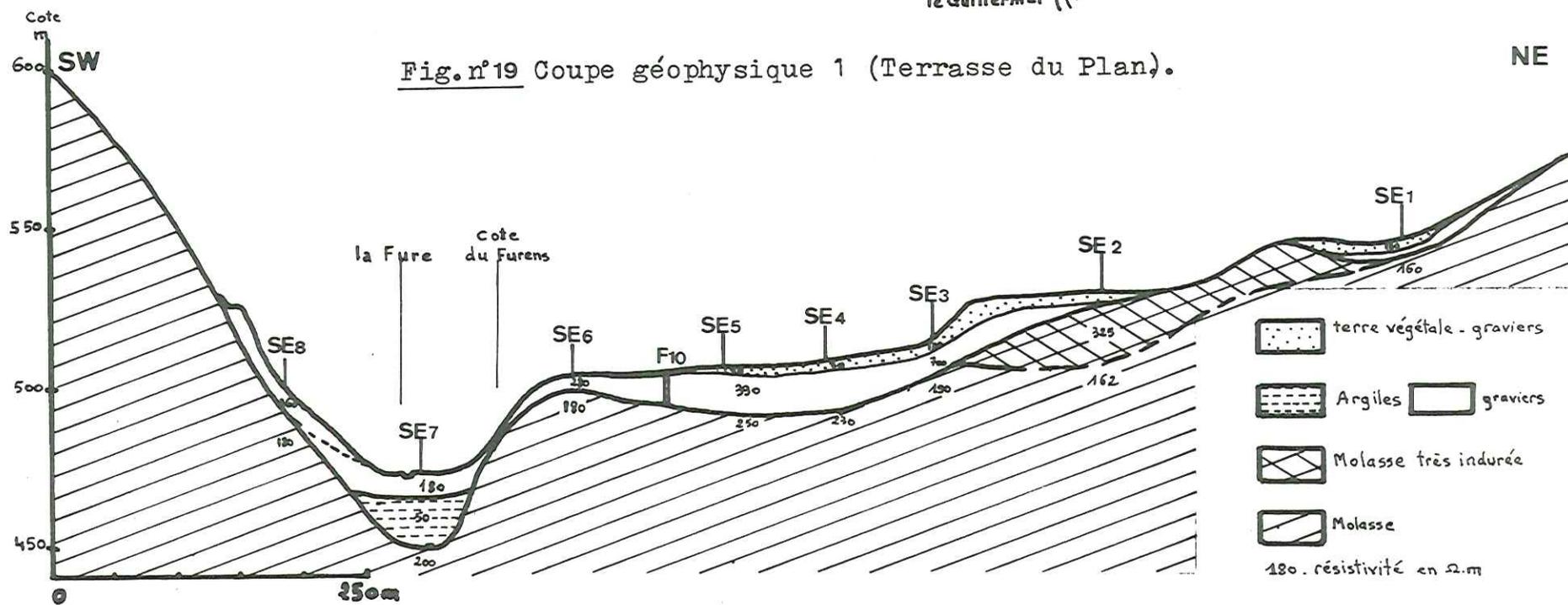


Fig.n°18 Sondages électriques  
Coupe 1 (Terrasse du Plan).

Fig.n°19 Coupe géophysique 1 (Terrasse du Plan).



induré s'apparentait à un grès. Après ces observations, il faut admettre que la formation à 326 m représente localement un faciès de la molasse très induré et non des alluvions.

Sur la terrasse du Plan proprement dit, les SE3, 4, 5 et 6 ainsi que le forage F10 ne montrent pas de surcreusement remarquable. L'épaisseur des alluvions n'excède pas une douzaine de mètres. Ici le sondage mécanique permet de rattacher la formation à 380 m des SE4, 5, et 6 au Quaternaire plutôt qu'au faciès molassique particulier du SE2.

Dans la vallée en rive gauche de la Fure, au pied des côtes du Furens, le colmatage alluvial atteint 25 m d'épaisseur ( SE7 ). Celui-ci, essentiellement argileux ( formation à 50 m de 20 m d'épaisseur ) est donc un mauvais aquifère. Enfin le SE8 entre la route d'Apprieu et celle de Charavines, retrouve le substratum à 180 m sous 3 à 4 m de couverture quaternaire.

### B. Conclusion

Sur cette coupe, un surcreusement notable apparaît. Il est situé au droit de la vallée actuelle de la Fure. La cote du fond de surcreusement est d'environ 450 m. Rappelons que plus au Sud, près des bacs de décantation du Guillermet, le substratum n'a été rencontré qu'après avoir traversé 60 m d'alluvions. En conséquence sa cote en cet endroit est au plus égale à 390 m. La différence de cote de l'ordre de 50 m révèle donc qu'il n'y a pas de relation directe entre le surcreusement du Guillermet-Bonpertuis reconnu antérieurement et le sillon de la vallée de la Fure - la terrasse du Plan. Le surcreusement du lac de Paladru n'est donc pas en liaison directe avec celui du Guillermet.

#### II-3-2- A l'Est du Guillermet

Puisque le surcreusement du Guillermet-Bonpertuis ne semble pas rejoindre celui du lac de Paladru nous avons quitté la vallée de la Fure pour prospecter dans celle de l'Ainan. On cherche à mettre en évidence une éventuelle communication profonde entre la dépression de Chirens et le sillon enfoui du Guillermet.

La prospection s'est intéressée :

- 1°) au marais entre Chirens et l'Arsenal;
- 2°) à l'amphithéâtre morainique de Chirens;
- 3°) à la vallée du Fagot entre Chirens et le col du Rousset.

#### A. Le marais entre Chirens et l'Arsenal

Dans ce secteur les sondages électriques ont été répartis afin d'obtenir deux coupes transversales à la vallée, l'une à l'aval, l'autre à l'amont du marais ( fig. n°20 ).

##### a) Interprétation - coupe 2 (fig. n°21 )

Les SE15 et 16 montrent que la puissance du remplissage de la vallée atteint 35 m à l'Est, alors qu'elle n'est plus que de 25 m à l'Ouest. Le surcreusement de la vallée est donc plus important en rive droite de l'Ainan qu'en rive gauche.

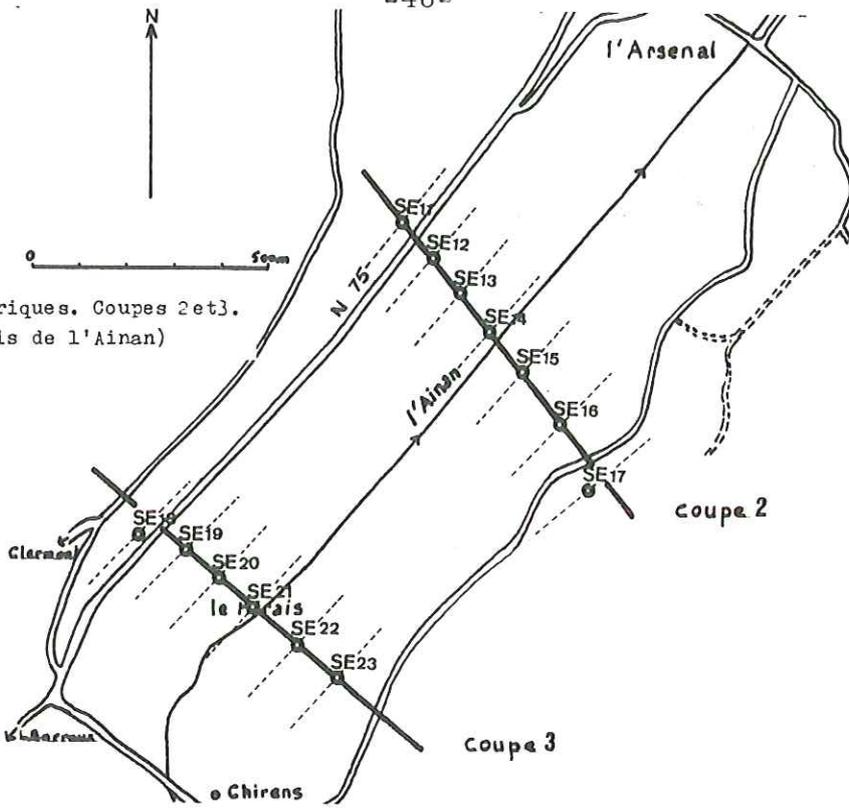
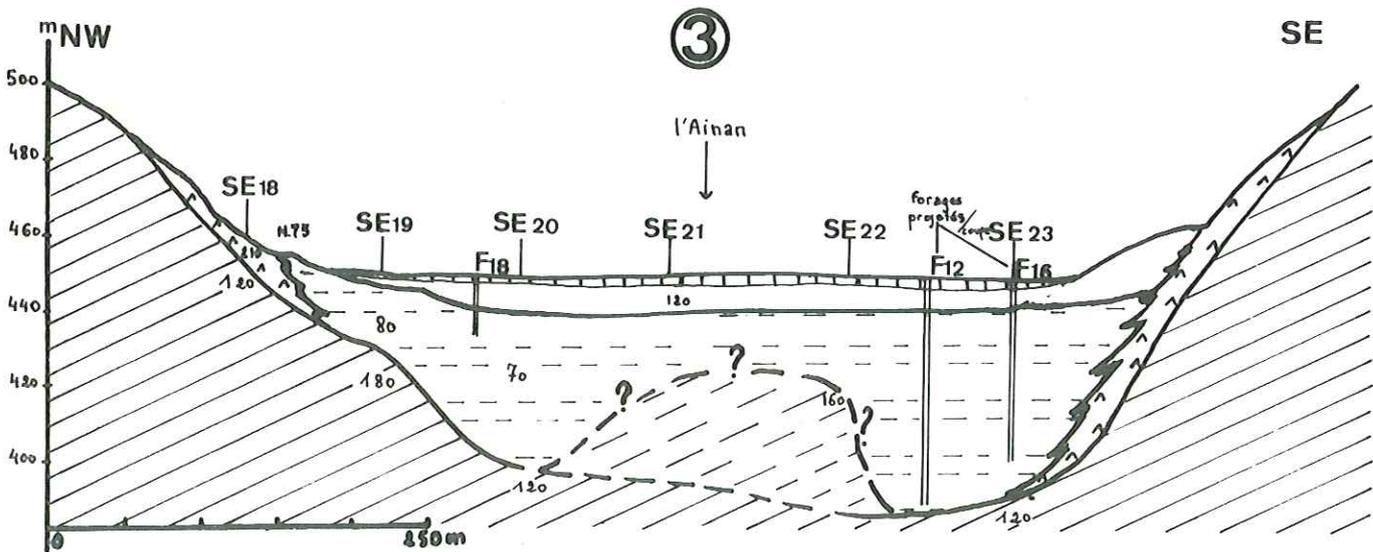
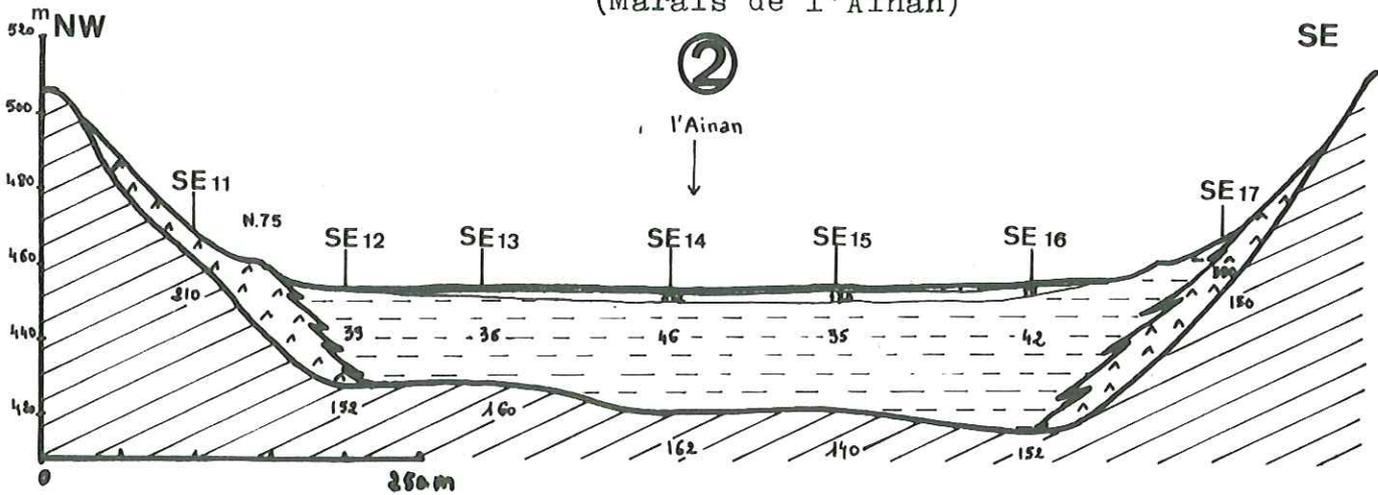


Fig.n°20 Sondages électriques. Coupes 2 et 3.  
(Marais de l'Ainan)

Fig.n°21 Coupes géophysiques 2 et 3.  
(Marais de l'Ainan)



Le matériel de comblement est constitué de haut en bas par :

- 1°) un horizon tourbeux de 2 m d'épaisseur ( $\rho = 50 \Omega.m$ );
- 2°) un niveau plus résistant de 1 à 2 m d'épaisseur ( $140 \Omega.m$ ) présent uniquement au centre de la plaine;
- 3°) une importante couche d'alluvions argileuses de 25 à 35 m d'épaisseur. Sa résistivité de l'ordre de  $40 \Omega.m$  traduit une très faible perméabilité.

Enfin les SE11 et 17 implantés aux extrémités de la coupe révèlent un matériau à 700 et  $400 \Omega.m$  qui correspond aux formations de versant (éboulis de molasse remaniée et peut être aussi placages quaternaires). Leur rôle est certainement important pour l'alimentation souterraine de la plaine par les eaux de ruissellement des coteaux molassiques.

#### b) Interprétation - coupe 3 ( fig. n°21 )

A l'Ouest, les SE 18 et 19 rencontrent respectivement la molasse à 5m et 20 m. A l'Est, la profondeur du substratum est plus difficile à connaître. Les SE 20 à 23 présentent des courbes assez plates sans paliers bien marqués. Les contrastes de résistivités entre les différents niveaux sont faibles. Aussi, le calage des branches de chaque courbe est-il imprécis. En conséquence les épaisseurs et les résistivités sont déterminées approximativement.

Si au niveau de SE 20 et SE 23 le substratum est estimé à une cinquantaine de mètres de profondeur, les SE 21 et 22 ne sembleraient l'atteindre que sous 25 mètres d'alluvions. Le forage F<sub>16</sub> de la station de pompage confirme la profondeur du substratum à hauteur du SE 23. Descendu à 48 m sous la surface de la plaine, il n'a pas touché la molasse.

En réalité, il nous paraît peu probable que le substratum de la plaine ait un profil aussi irrégulier. Il est plus vraisemblable, compte tenu de la coupe 2, que le fond de la vallée soit plutôt plat.

Les valeurs de la résistivité des alluvions comprises entre 60 et  $100 \Omega.m$  dénotent la nature argileuse du remplissage qui a d'ailleurs été vérifiée par les forages mécaniques. Toutefois ces valeurs sont supérieures à celles rencontrées sur la coupe 2 où les alluvions " ressortaient " en moyenne à  $40 \Omega.m$ . Il y aurait donc d'amont en aval de la vallée une augmentation de la teneur en argile et par corrélation une diminution de la perméabilité. En 1963, une étude hydrogéologique, par prospection électrique dans le marais de Chirens, réalisée par la société l'Eau de Serrières (Ardèche), menait déjà à cette conclusion. Elle avait aussi précisé que les zones les plus perméables se situaient sur le pourtour de la plaine. Le forage F<sub>12</sub>, implanté près du cimetière de Chirens, est venu également vérifier ces interprétations puisque le matériel qu'il a traversé est plus graveleux que celui des puits de la station de pompage.

#### c) Conclusion

Dans le marais de Chirens, l'étude géophysique et les forages mécaniques ont déterminé l'épaisseur du remplissage essentiellement argileux :

- 30 à 35 m à l'aval;
  - plus de 50 m à l'amont, au niveau de la station de pompage.
- Le surcreusement plus important à l'Est qu'à l'Ouest de la

vallée est penté vers le Sud. Si des circulations souterraines profondes existent dans les alluvions au contact du substratum, elles se font à priori dans un sens opposé à l'écoulement de surface.

### B. L'amphithéâtre morainique de Chirens - coupe 4 et 5

Dans ce secteur compris entre le marais de l'Ainan et les arcs morainiques de Chirens, les investigations se sont déroulées en deux étapes.

1ère étape: une prospection effectuée par nos soins permet d'établir une coupe ( coupe 4 ) dont la situation est donnée sur la figure n°22. Sur cette même figure, l'emplacement des SE 24 à 33 est reporté bien qu'ils n'aient pas abouti à la réalisation d'une coupe géophysique. En effet, faute de palier remarquable sur les courbes de SE 24 à 29, toute interprétation de celles-ci devenait aléatoire. Cependant plus au Sud, du SE 30 au SE 33 la molasse redevenait détectable. Elle apparaissait distinctement entre 10 à 15 mètres de profondeur.

La coupe 4 donnait de meilleurs résultats. Entre le SE 38 et 42 un surcreusement se dessine. Sa profondeur peut atteindre 70 mètres. Cependant les faibles contrastes entre le substratum et le recouvrement quaternaire rendaient l'interprétation des sondages très délicate. Aussi la Direction Départementale de l'Agriculture a-t-elle confié à la Compagnie de Prospection Géophysique Française ( C.P.G.F. ), la reconnaissance par sondages électriques de la cuvette de Chirens afin de vérifier la présence du surcreusement que nous avons suggérée. C'est la deuxième étape des investigations dans l'amphithéâtre morainique dont les résultats sont donnés dans le rapport d'étude n° 1936, C.P.G.F. ( 1979-1980 ).

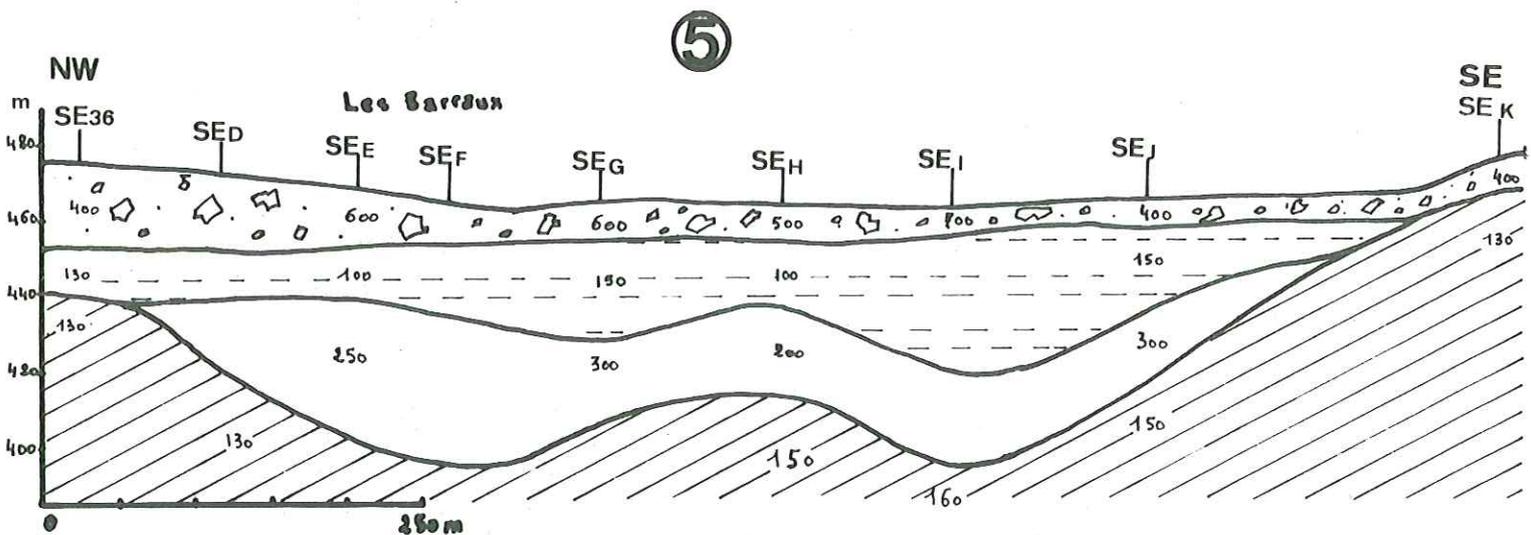
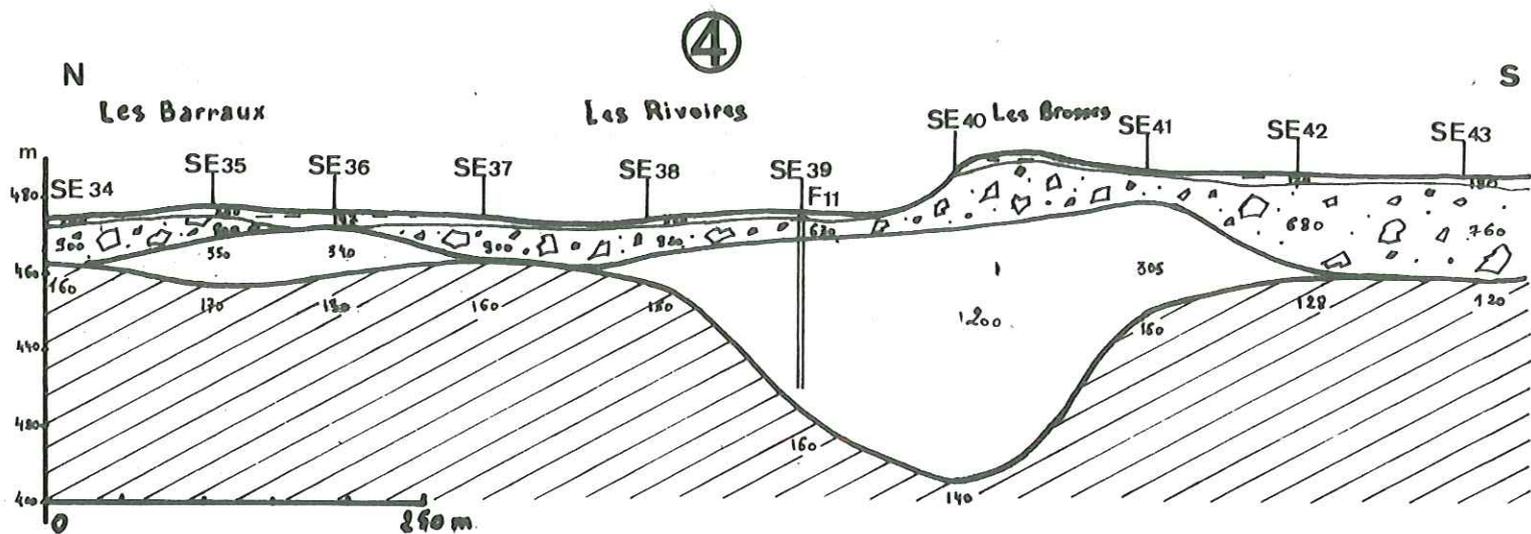
2ème étape : les sondages électriques ( SA, SB..., SK ) entrepris par C.P.G.F. sont réalisés avec enregistrement de  $\Delta V$  pour augmenter la sensibilité en grande longueur de ligne. L'interprétation des SE a été effectuée par le programme " CPGF Electro O2 " dont les fondements théoriques sont publiés dans Geophysical Prospecting ( vol 24, n° 2- Juin 1976 pp. 354-370. )

Trois étalonnages, SA, sur le forage F<sub>11</sub> des Brosses et SK sur l'affleurement du Gayet donnent comme résistivité pour la molasse les valeurs de 120 à 150  $\Omega$ .m.

L'implantation des onze SE est notée sur la figure n°22 . Les résultats obtenus sont illustrés par la coupe 5 ( fig. n°23 ).

" La cote du toit du terrain attribué à la molasse est de 400 m pour les points profonds " ( Rapports C.P.G.F. ). Le surcreusement a une profondeur de 65 mètres au centre de la cuvette. Il est divisé en 2 branches par une remontée de substratum en son milieu. L'une représente le prolongement du surcreusement de l'Ainan qui se dirige vers le Guillermet. L'autre semble être en relation avec le sillon de la vallée du Fagot.

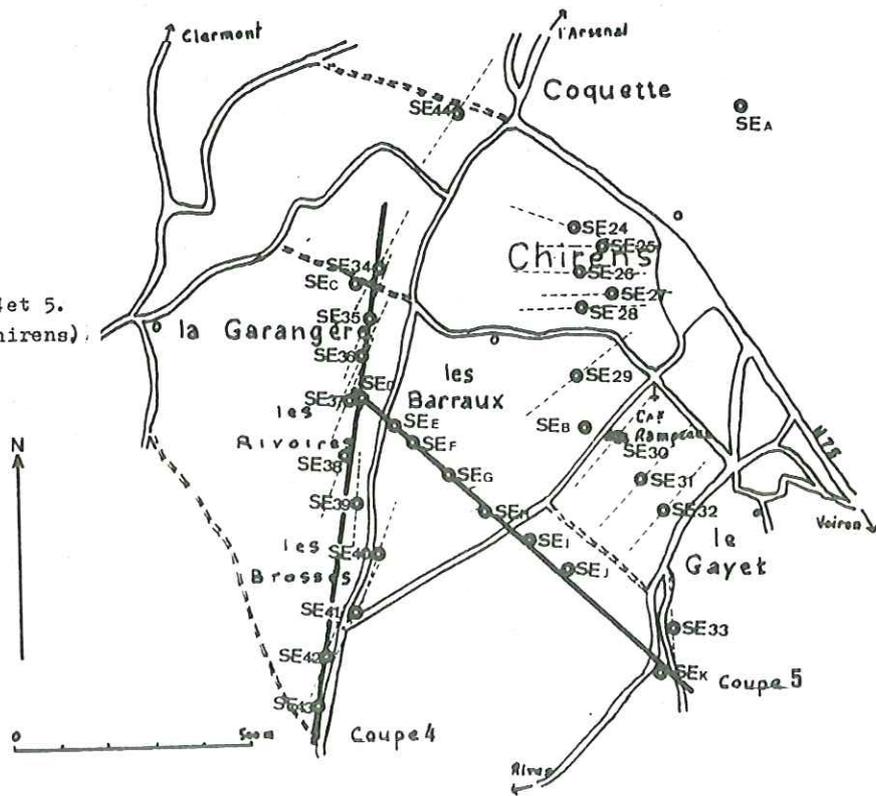
L'étude de la C.P.G.F. a donc précisé et confirmé le dessin de la zone surcreusée que nous avons entrevue après nos premières investigations.



- Alluvions morainiques
- Alluvions graveleuses argileuses
- Alluvions graveleuses
- Molasse

Fig. n°23 Coupes géophysiques 4 et 5.  
(Amphithéâtre morainique de Chirens)

Fig. n°22 Sondages électriques. Coupes 4 et 5.  
(Amphithéâtre morainique de Chirens)



### C. La vallée du Fagot entre Chirens et le Col du Rousset

Dans cette vallée, les résultats de la prospection se résument sur 3 coupes ( fig. n°24 ). Le but était de préciser la forme du substratum afin de vérifier l'existence ou l'absence d'un chenal adjacent qui se raccorderait au surcreusement du marais, lequel doit se poursuivre vers la vallée de la Fure.

#### a) Interprétation - coupe 6 ( fig. n°25 )

Située entre le Fagot et le col du Rousset, la coupe montre le toit du substratum à une douzaine de mètres de profondeur avec toutefois un surcreusement de l'ordre d'une vingtaine de mètres au milieu de la vallée à l'emplacement du SE 48.

Le contraste entre la molasse et les terrains quaternaires est bien marqué. Aussi nous n'avons pas eu de problème pour préciser la paléomorphologie molassique.

Par contre l'établissement de la coupe du remplissage de la vallée est difficile. La plus vraisemblable est la suivante : la formation dont la résistivité est supérieure à  $1000 \Omega.m$  ( SE 49 et 45 ) correspond à des dépôts morainiques du lobe glaciaire de Voiron - les Tuilières. Des blocs de plusieurs m<sup>3</sup> affleurant entre les SE 49 et 50 valident cette hypothèse. Les terrains à 700 et  $400 \Omega.m$  représentent le comblement fluvioglaciaire ou fluvial relativement perméable.

#### b) Interprétation - coupe 7 ( fig. n°25 )

Cette coupe joint le ravin de la Somme à la source des Piconnières. Le SE 52 trouve le substratum à 35 m de profondeur soit à une cote de 465 m alors que plus à l'Ouest il ressort à une cote de 485 m. Ce surcreusement de 20 m peut être relié à celui de la coupe 6. S'il se poursuit plus au Nord, il passe au Sud-Ouest du point coté 491 m car nous avons vérifié que le SE.L effectué par C.PGF en 1969 rencontrait effectivement le substratum à la cote 480 m.

Remarques. Pour des longueurs de lignes AB/2, le SE 54 donne des résistivités inférieures à  $50 \Omega.m$ . Or le substratum à  $180 \Omega.m$  est présent à quelques mètres de profondeur au niveau des sondages SE 53 et 55 proches. Aussi, nous pensons que les faibles valeurs de résistivité du SE 54 pour les longueurs de ligne importantes peuvent s'expliquer par la présence dans le sol de câbles électriques et conduite d'adduction d'eau enfouies qui perturbent les mesures électriques lorsque des lignes de courants les atteignent.

#### c) Interprétation - coupe 8 ( fig. n°25 )

Des renseignements ne sont apportés très précisément qu'aux extrémités de cette coupe. Elle est en effet centrée sur le Gayet. La route nationale, les maisons et jardins n'ont pas permis de prospecter au centre. Des indications intéressantes sont cependant obtenues. La molasse contraste nettement sous les alluvions. Sa résistivité est voisine de  $150 \Omega.m$  alors que les alluvions ressortent à  $500 \Omega.m$ . Les SE 57 et 58 distants de 60 m rencontrent respectivement la molasse à 7 m et 22 m. Il y a donc approfondissement du substratum et on peut raisonnablement penser qu'il s'accroît jusqu'au droit de la N75 pour remonter ensuite, car le sondage de la Croix des Rampeaux (SE 59) révèle que l'épaisseur

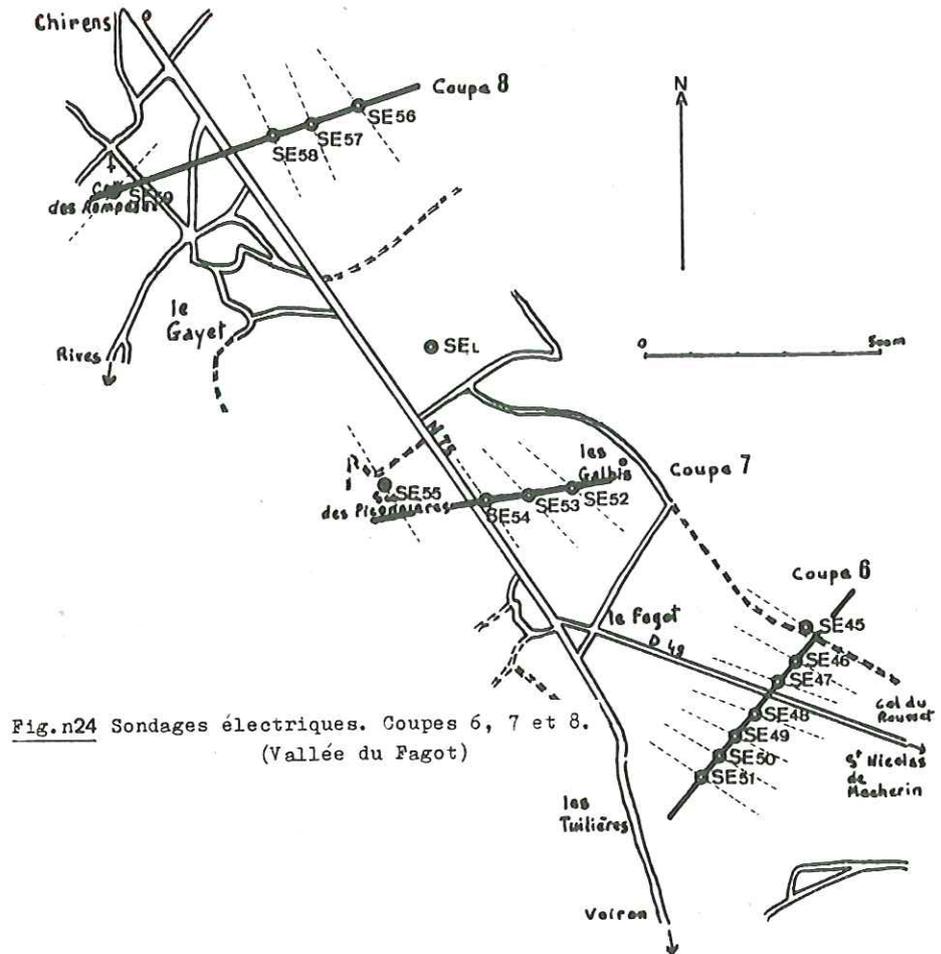
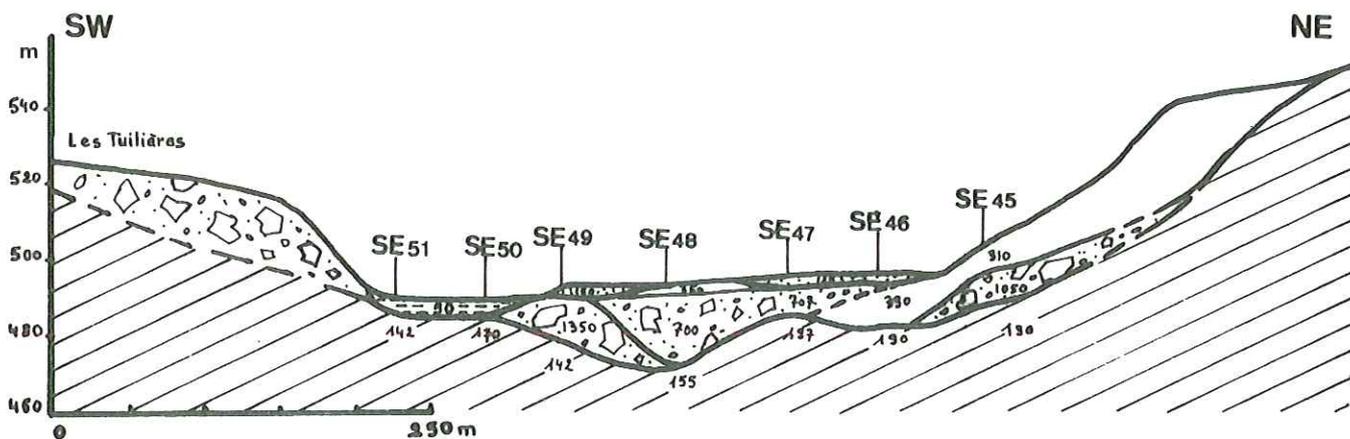
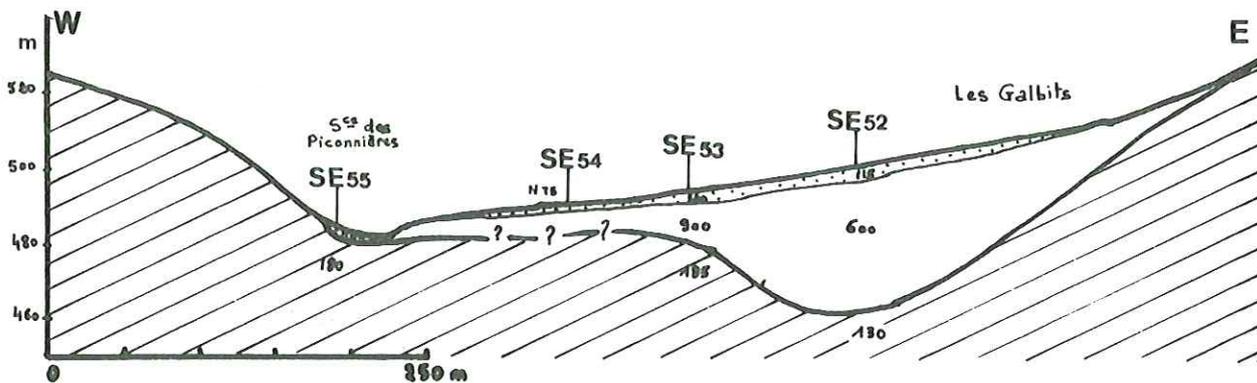


Fig.n24 Sondages électriques. Coupes 6, 7 et 8.  
(Vallée du Fagot)

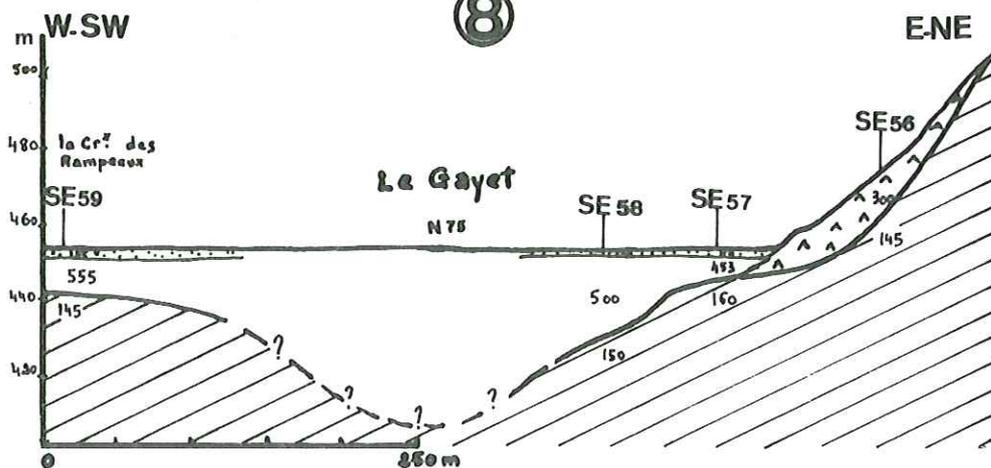
6



7



8



-  terre végétale - argiles
-  Argiles
-  Alluvions groveleuses
-  Alluvions morainiques
-  éboulis de versant
-  Molasse.

Fig.n25 Coupes géophysiques 6, 7 et 8.  
(Vallée du Fagot)

des terrains quaternaires ne dépasse pas 12 mètres. Dans des trous de reconnaissance de 3 à 4 m de profondeur, creusés à la pelle mécanique entre la Croix des Rampeaux et la N 75, on a observé en surface sur une épaisseur d'un mètre des alluvions argileuses indurées se rapportant au terrain à 185Ωm du SE 59. Par contre, en dessous, les alluvions sont grossières, sableuses et donc très perméables. Elles se rattachent à la formation à 500-550Ωm.

d) Conclusion

Malgré quelques incertitudes on peut dire que la molasse de la vallée du Fagot présente un surcreusement étroit et peu profond ; 15 à 20 m. Son tracé suit celui de la vallée. Il est remarquable sur les coupes 6 et 7, plus hypothétique sur la coupe 8, même si le SE 58 laisse entrevoir son bord oriental. Son raccord avec le surcreusement de l'Ainan et le sillon de l'amphithéâtre de Chirens s'effectue au niveau du village.

D- Conclusion à l'étude géophysique réalisée à l'Est du Guillermet

La haute vallée de l'Ainan et la cuvette de l'amphithéâtre de Chirens présentent un substratum dont la morphologie est d'abord celle d'une auge glaciaire de 40 m de profondeur. Elle passe progressivement à un sillon étroit mais plus profond ( 65 m près de l'arc morainique le plus interne ). La pente du fond du surcreusement est contraire à la pente topographique puisqu'il va s'approfondissant depuis l'Arsenal vers le vallum de Chirens. A partir de ces données on extrapole avec vraisemblance, sous les moraines de Chirens, le tracé du sillon qui rejoint le chenal enfoui de la vallée de la Fure vers le Guillermet et Bonpertuis. Enfin dans la vallée du Fagot, il existe un petit surcreusement du substratum. Il vient se raccorder sous le village de Chirens à la profonde paléovallée de l'Ainan.

On peut rappeler ici les cotes du toit de la molasse déterminées par géophysique ou par les sondages mécaniques suivant le tracé du surcreusement aux endroits suivants :

- à l'Arsenal	C = 425 m
- au niveau de la station de pompage de Voiron	" = 400 m
- dans la cuvette de Chirens	" = 390 m
- au Guillermet	" = 390 m
- à Bonpertuis	" = 380 m

II-3-3- Au Sud de Bonpertuis

Dans ce paragraphe, sont résumées les investigations menées dans la région s'étendant entre Bonpertuis et Réaumont. On distingue 3 secteurs de prospection :

- région de la Ravignouse;
- plaine de Voye;
- région de Réaumont.

Comme précédemment, le but est de préciser le tracé du chenal qui prend naissance dans la vallée de l'Ainan, passe sous les moraines de Chirens pour atteindre le Guillermet puis Bonpertuis.

## A. Région de la Ravignouse

Les sondages concernant cette région sont reportés sur le schéma d'implantation de la figure n°26 .

### a) A l'amont de la Ravignouse - Coupe 9

Suite à la destruction du forage F7 de Bonpertuis, le cabinet d'étude Jamier-Vial et la D.D.A. ont exécuté quelques sondages (s1, s2, s3, s4, s5) à l'aval du site précédent, afin de déterminer une nouvelle zone d'implantation. Ils ont rencontré respectivement le substratum à 11m, 43m, 45m, 37m, 40m (coupe 9, fig. n°27). Les graviers ont des résistivités variant entre 200 et 500  $\Omega$ .m. Ultérieurement le forage F6 a confirmé ces données géophysiques.

Ensuite, pour vérifier la direction prise par le surcreusement, nous avons réalisé en rive droite de la Fure les SE 60, 61, 62, 63. Mis à part le premier nommé ils indiquent que le substratum est là, horizontal sous 15 m de graviers. Par contre le SE 60 touche la molasse une vingtaine de mètres sous la surface du sol, définissant ainsi la bordure du chenal. Hélas, il était impossible, pratiquement, de préciser l'axe du chenal à l'aide d'autres sondages situés plus au Sud. On ne pouvait donc dire si le surcreusement coïncidait avec le tracé de la vallée de la Fure ou au contraire s'il l'abandonnait pour filer vers le Sud.

### b) A l'Ouest et au Sud de la Ravignouse - coupe 10

Les SE 64 à 78 dont on extrait la coupe géophysique 10 lèvent l'incertitude sur le tracé du surcreusement qui subsistait jusqu'alors.

Deux tronçons d'orientation différente constituent cette coupe. Le premier tronçon Nord-Sud perpendiculaire à la vallée de la Fure comprend les SE 72 à 78, le second tronçon Ouest-Est, reliant la Ravignouse au Bois de Bavonne, les SE 64 à 71.

- le premier tronçon : seul un petit surcreusement de 20 mètres, sans commune mesure avec celui de Bonpertuis à l'amont est reconnu (SE 73 et 74). L'important sillon a abandonné la vallée. Il ne se dirige pas vers Planche-Cattin. Par contre le petit surcreusement se retrouve à Planche-Cattin où à quelques mètres du cours de la Fure le forage F4 et le puits du syndicat d'Apprieu ont atteint la molasse après avoir traversé 10 m d'alluvions à gros blocs. Les résistivités de l'ordre de 400  $\Omega$ .m du comblement traduisent une bonne perméabilité.

- le second tronçon. Les SE 68 à 71 décèlent le substratum sous des terrains de 400 à 800  $\Omega$ .m de résistivité qui vont s'épaississant d'Ouest en Est. En surface des moraines étalées, à gros blocs, donnent les valeurs de 500 à 2000  $\Omega$ .m. Le SE 68 au bord de la N 520 n'atteint pas le substratum bien que la ligne d'émission AB dépasse 300 m. En effet le dernier palier obtenu, que forme la queue du sondage, est à 500  $\Omega$ .m, valeur qui ne peut représenter la molasse puisque les sondages proches lui attribuent 150 à 200  $\Omega$ .m. L'épaisseur du quaternaire est donc là importante, au moins égale à 60 m.

Enfin sur la terrasse de Talamud les SE 64 et 65 à l'extrémité Est de la coupe donnent la molasse à 20 et 50 m de profondeur. Les SE 66 et 67 ne l'atteignent pas. Cela s'explique lorsqu'on sait qu'on est là, 45 m au dessus du niveau de la Fure. Or si le surcreusement de 50 m de Bonpertuis passe ici, ce qui semble être le cas puisque les dernières résistivités

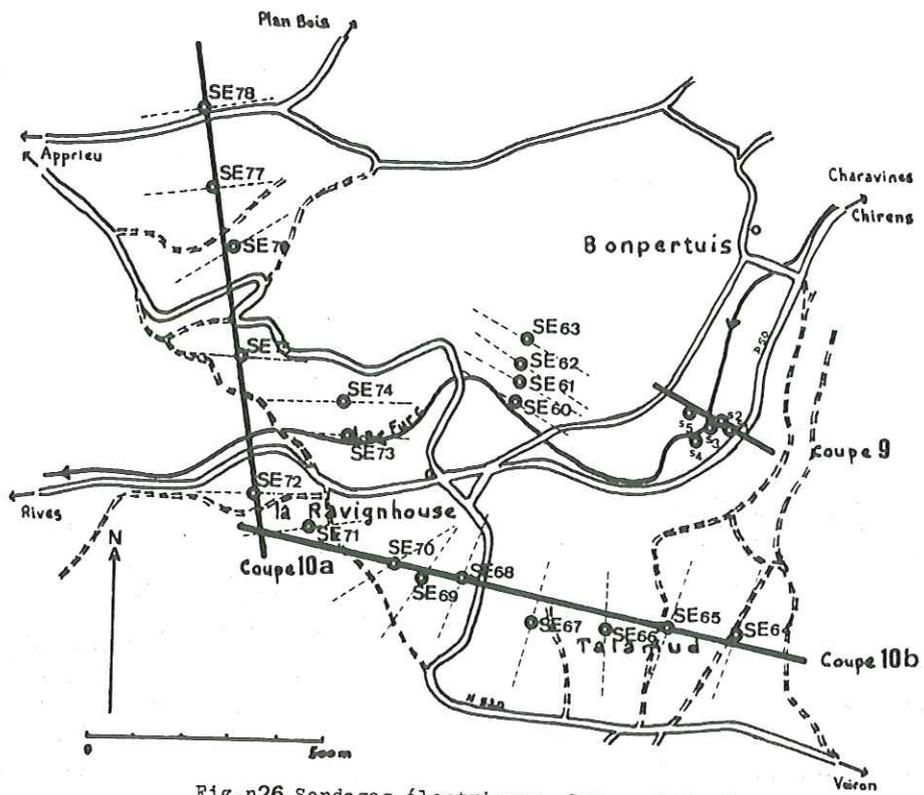
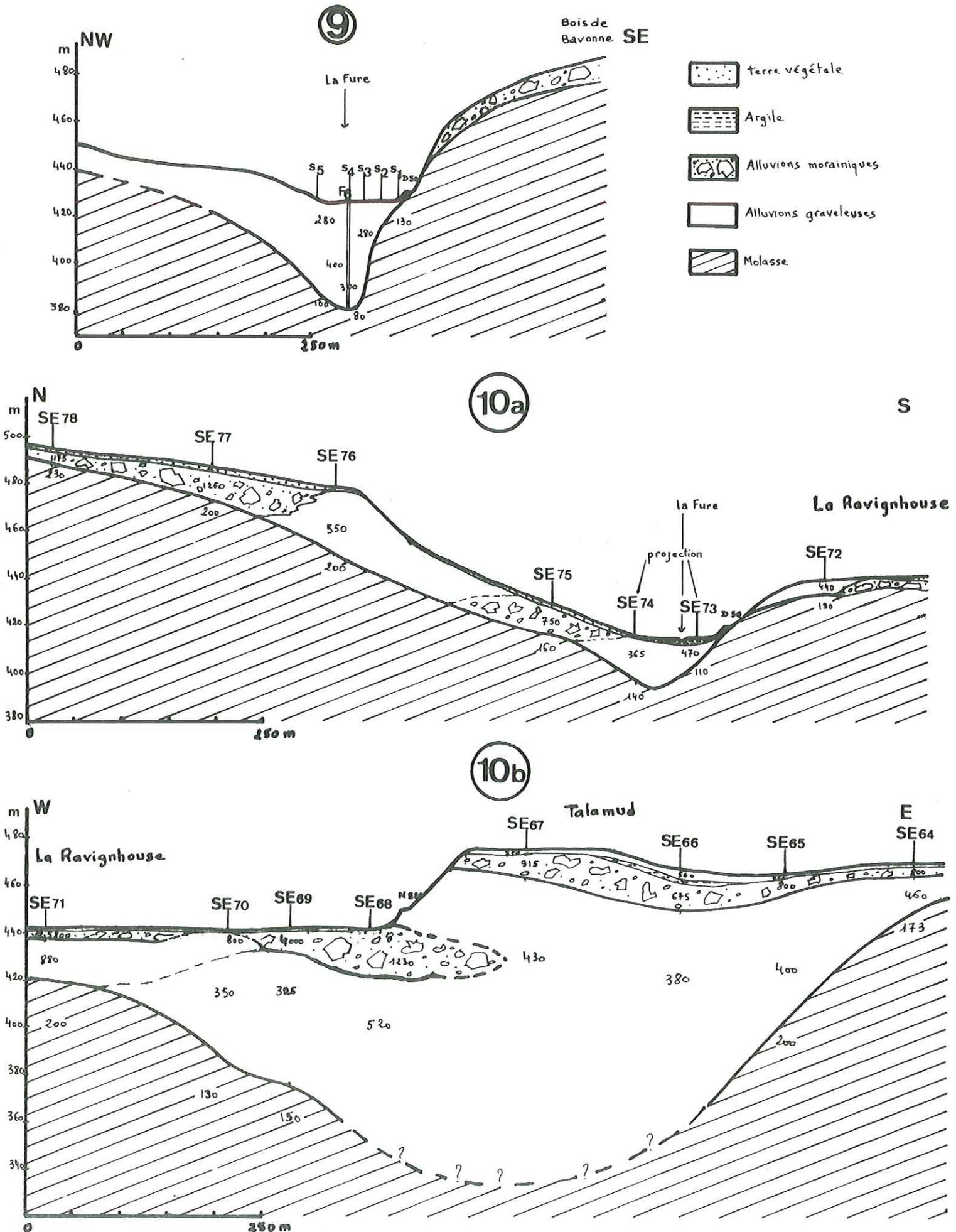


Fig.n26 Sondages électriques. Coupes 9 et 10.  
(La Ravignouse)

Fig. n°27 Coupes géophysiques 9 et 10.  
(La Ravignouse)



de queue de sondage égalent 400  $\Omega$ .m, il faudrait traverser plus de 100 m d'alluvions avant que les lignes de courant rencontrent le substratum. Ceci est impossible avec des longueurs de lignes d'émission AB de 300 m.

Donc, si on admet qu'ici la résistivité réelle de la molasse est la même que celle du forage de Bonpertuis (150  $\Omega$ .m) sur lequel on a réalisé l'étalonnage le plus proche et sachant que dans la vallée de la Fure, sur le tronçon N.S. de la coupe, rien n'est détecté, on peut affirmer que le surcreusement se poursuit vers le Sud. Son axe se situe entre la Ravignouse et le Talamud. L'importante épaisseur de la terrasse ne permet pas de préciser sa profondeur.

### B. La plaine de Voye

Les 7 sondages électriques ( SE 79 à 85 ) de la plaine de Voye entre la Ravignouse et Saint-Blaise-du-Buis étaient implantés perpendiculairement à l'axe présumé du surcreusement se dirigeant vers le Sud ( fig. n°28 ).

L'un de ces sondages, tous semblables, est reporté sur la figure n°29. Leur dépouillement est délicat faute d'un étalonnage local sur la molasse;

- ou bien la molasse possède toujours une résistivité vraie de 150 à 200  $\Omega$ .m auquel cas, tous les sondages sont restés dans le quaternaire hormis le plus occidental ( SE 85 );

- ou bien la molasse a un faciès différent se rapprochant du faciès sableux à galets, très induré ( à 400  $\Omega$ .m ) de Réaumont, auquel cas le Miocène est atteint mais les courbes ne sont plus exploitables. L'absence de contraste quaternaire - substratum ne permet pas d'estimer la profondeur de la molasse.

Les points suivants accréditent la première hypothèse :

- des sondages ( Bureau d'études Ménard ) reliant Planche - Cattin à la plaine de Voye révèlent la molasse à 150-200  $\Omega$ .m;

- le forage mécanique F2 de Petit Voye ( point coté 467 m ) a trouvé la molasse à 75 m de profondeur. Nos lignes d'émissions seraient trop courtes pour atteindre cette profondeur. A Bonpertuis, le fond du sillon est à la cote 380 m. Il pourrait donc se trouver ici sous la plaine de Voye à la cote 370 m soit près de 100 m sous la surface du sol sans qu'on puisse le détecter.

En conclusion le forage F2 permet d'affirmer que les sondages électriques de la Plaine de Voye n'ont pas atteint la molasse située au moins à 75 m de profondeur. Ici, la prospection électrique ne peut mettre en évidence le surcreusement de Bonpertuis même si sa probabilité de passage dans le secteur est grande.

### C. La région de Réaumont

Par souci de clarté, nous relatons au sein de l'étude géophysique quelques données hydrogéologiques qui expliquent les raisons de la prospection dans ce secteur.

Les sources de Réaumont ont un débit d'étiage de l'ordre de 250 à 300 l/s. L'étude du vallon de Réaumont, exposée dans ce paragraphe, a d'abord montré qu'un tel débit ne pouvait transiter en totalité dans le remplissage de ce vallon. On admet donc pour ces sources, une autre origine.

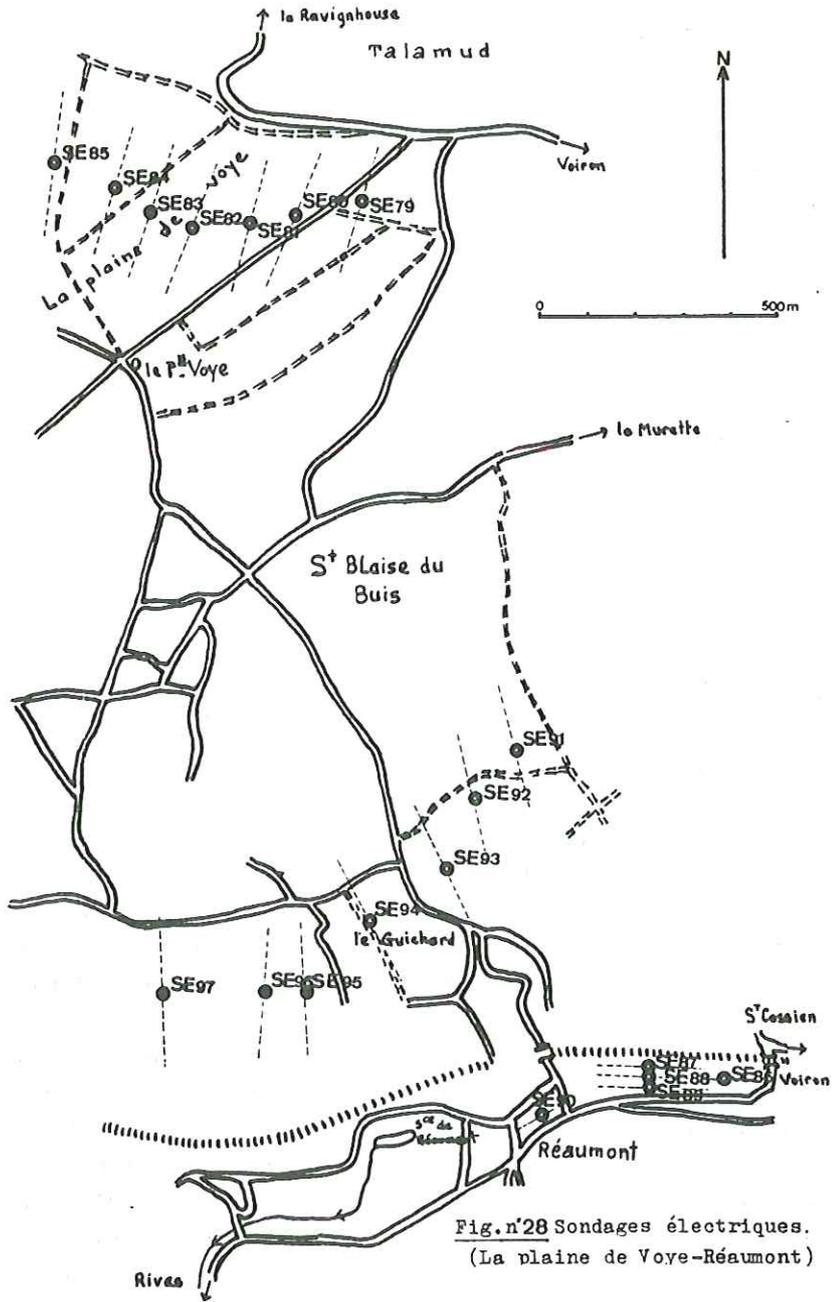
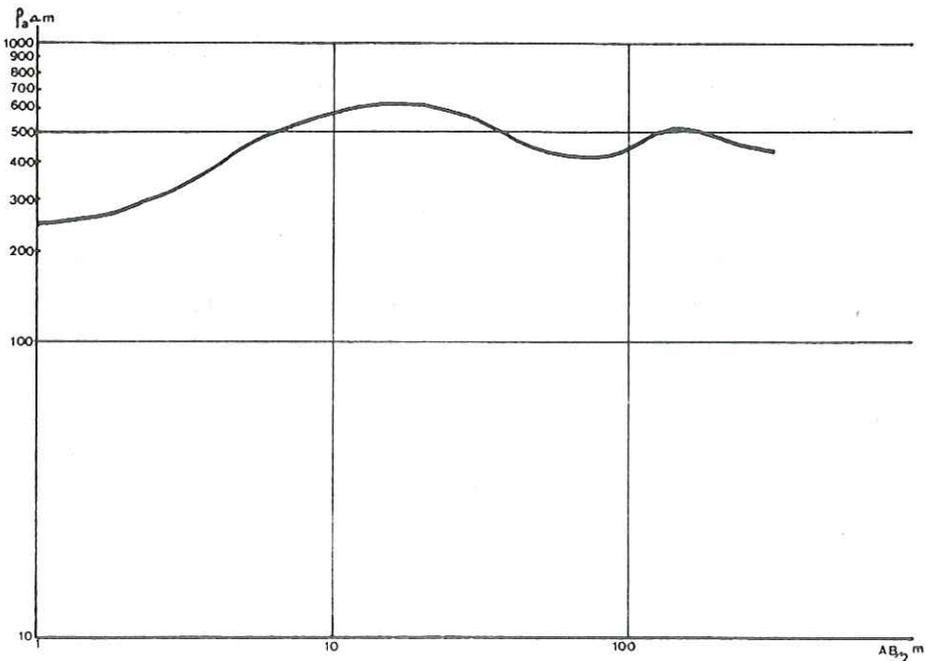


Fig.n°28 Sondages électriques.  
(La plaine de Voie-Réaumont)

Fig.n°29 Exemple de courbe de sondage obtenue sur la Plaine de Voie.(SE 81)



Puisque le surcreusement de Bonpertuis renferme une nappe d'eau dont l'écoulement se fait vers le Sud, on a pensé que les sources de Réaumont pouvaient être l'exutoire de cette nappe contenue dans le sillon. On a donc essayé de retrouver le surcreusement sur la terrasse du Guichard au Nord de Réaumont.

Exposons d'abord les résultats de la prospection dans le vallon de Réaumont. L'ensemble des sondages est reporté sur la figure n°28 .

a) Le vallon de Réaumont

Quatre SE ( 86 à 89 ) à l'amont du village entre la voie de chemin de fer et la route de Voiron sont exécutés. Deux étalonnages sur des affleurements de molasse indurée proches donnent 350 m. Un troisième ( SE 90 ), effectué sur le forage F1 de Charnècles et comparé aux sondages réalisés montre que le remplissage ne dépasse pas 20 m même si le dépouillement brut des courbes donne plutôt l'épaisseur de 5 à 6 m. Cette différence est due au phénomène de suppression observé lorsque la nature du terrain traversé varie très progressivement de haut en bas. Les résistivités apparentes mesurées vont elles aussi croître progressivement ( ou décroître suivant le cas ). Aucun palier n'apparaît. Les épaisseurs deviennent difficilement calculables.

b) La terrasse du Guichard au Nord de Réaumont

Comme on pouvait s'y attendre la prospection dans ce secteur fut décevante à cause de l'absence de contraste entre le substratum et la couverture quaternaire. Les observations de terrain permettent cependant de lever quelques incertitudes.

1) A l'Est d'une ligne reliant Saint-Blaise-du-Buis à Réaumont, la molasse sablo-gréseuse indurée est subaffleurante comme en témoigne un affleurement en bordure de route.

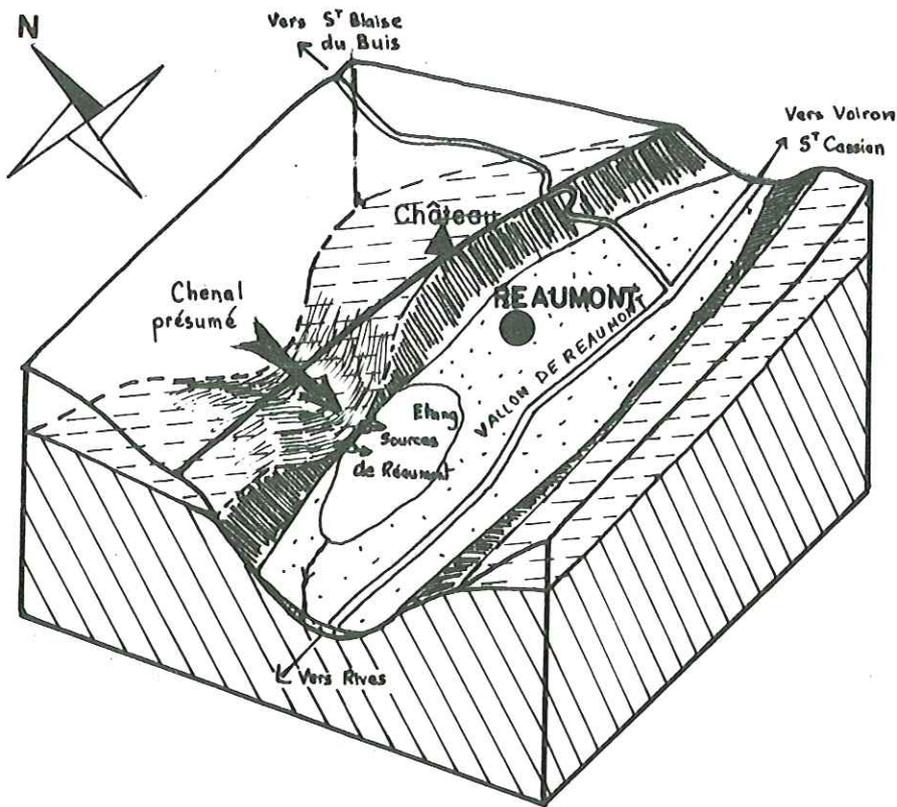
2) Par contre à l'Ouest de cette même ligne, les queues de courbes montrent des résistivités de 600 à 700 m beaucoup trop élevées pour correspondre à la molasse du vallon de Réaumont. Ces valeurs de résistivité se rapportent aux alluvions sèches observables sur le versant nord du vallon à l'Ouest du tunnel du château et de part et d'autre de la ligne de chemin de fer. Alors qu'à l'Est du tunnel, la voie ferrée repose sur la molasse, à l'Ouest ce ne sont que des alluvions dont on ne peut cependant dire, faute d'affleurement et à cause d'une végétation abondante, si le pied du versant en est également constitué. Le bloc diagramme de la figure n°30 résume ces données.

c) Conclusion

Les premiers résultats obtenus concernent le vallon de Réaumont dont le comblement quaternaire ne dépasse pas 20 m d'épaisseur. Ce remplissage ne peut assurer un débit de transit égal à celui des sources de Réaumont ( 250 l/s ).

En conséquence, on est amené à rechercher un autre cheminement des eaux donnant naissance aux sources. Ce cheminement pourrait se calquer sur le tracé du surcreusement de Bonpertuis, lequel dans cette région serait recoupé par le vallon de Réaumont situé à une cote plus basse. On retrouverait là, le schéma hydrogéologique des conditions d'émergence des sources de la papeterie de Renage décrit par J. Sarrot-Reynauld (1963).

Fig.n°30 Bloc diagramme.Les sources de Réaumont.



-  Plaine alluviale
-  Alluvions fluvio-glaciaires
-  Contact alluvions . molasse
-  Molasse

La prospection au dessus de Réaumont n'est pas d'un grand secours pour vérifier cette hypothèse. Cependant les quelques données qu'elle apporte, confrontées aux observations de terrain, indiquent qu'à l'Ouest du tunnel la molasse disparaît, tout au moins à l'affleurement, pour faire place aux alluvions. On peut voir là en coupe naturelle transversale, l'exutoire du chenal de Bonpertuis. Pour l'affirmer, d'autres données sont nécessaires.

## II-4- INTERPRETATION GENERALE DE L'ETUDE GEOPHYSIQUE

L'étude par prospection électrique menée sur le terrain a complété, avec plus ou moins de succès suivant les secteurs, la connaissance du tracé d'un surcreusement déjà reconnu entre le Guillermet et Bonpertuis, sous un recouvrement quaternaire.

### II-4-1- Le tracé du surcreusement

Le tracé du surcreusement est restitué à partir des coupes géologiques réalisées dans chaque secteur de prospection ( fig. n°31 ).

Il apparaît que le surcreusement du Guillermet-Bonpertuis prend naissance dans la haute vallée de l'Ainan. Il passe sous l'amphithéâtre morainique de Chirens où il est profond de près de 70 m. Un petit sillon axé sur la vallée du Fagot s'y raccorde.

Le grand surcreusement atteint la vallée de la Fure au Sud du Guillermet. A l'aval de Bonpertuis le surcreusement abandonne la vallée de la Fure et il s'enfonce sous l'importante terrasse de Saint-Blaise-du-Buis -

plaine de Voye. A partir de là l'épaisseur des alluvions est telle que la prospection électrique devient inefficace. Cependant quelques données de terrain montrent la possibilité de retrouver le sillon dans la région de Réaumont.

### II-4-2- Edification et origine de la morphologie du substratum

La morphologie masquée du substratum est donc caractérisée par un important surcreusement.

La haute vallée de l'Ainan et la vallée de la Fure sont vraisemblablement issues du réseau hydrographique mio-pliocène. En est-il de même pour le surcreusement qui prend naissance justement dans la haute vallée de l'Ainan ? Ou bien celui-ci a-t-il une origine glaciaire plus récente ? Nous n'avons pas d'éléments pour retenir l'une ou l'autre des deux hypothèses. Cependant le caractère étroit et profond du sillon plaide en faveur d'une origine glaciaire. Il est en tout cas antéwürmien puisque les moraines de Chirens qui le recouvrent se rapportent à la période glaciaire dite würmienne. Il est probable que l'ultime façonnement du relief qui a vu s'individualiser le sillon est en relation avec les anciennes glaciations et plus précisément avec la glaciation rissienne.

Il faut cependant insister ici sur le rôle joué par la paléomorphologie mio-pliocène. C'est elle qui a en effet servi de guide aux masses glaciaires. Au moment de l'invasion des glaces le relief était " dégrossi "

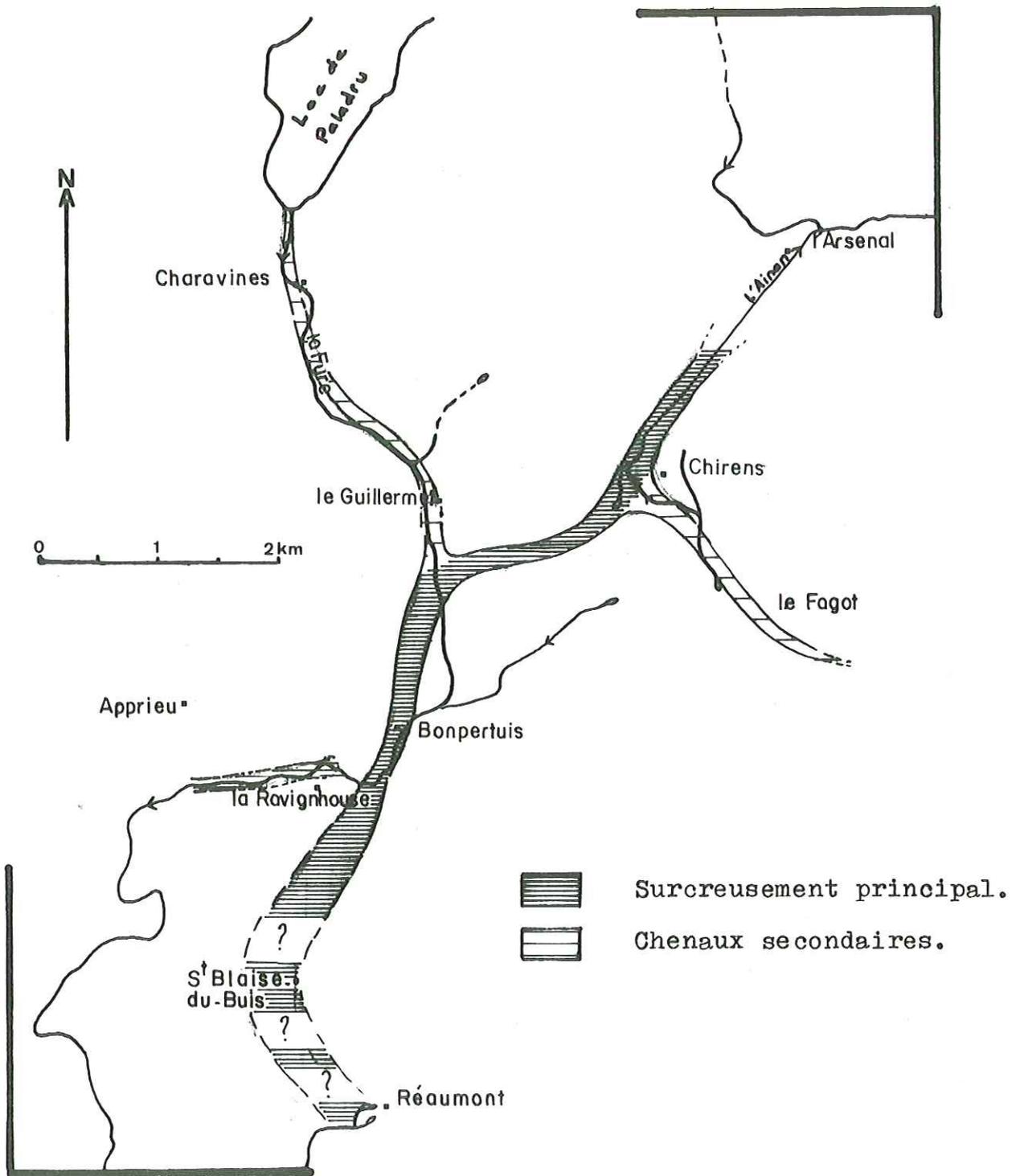


Fig.n°31 Le tracé du surcreusement d'après l'étude géophysique.

et c'est à un travail de sculpture plus précis que se sont attaqués les glaciers et surtout leurs eaux de fonte.

Sur un complexe molassique au relief de lanières incisées par les cours d'eau pliocènes, les glaciers et en particulier les lobes rhodaniens progressent. Les courants de glace canalisés, empruntent la vallée de l'Ainan et s'adaptent au relief préexistant. Les parois raides de la vallée se modèlent. Le seuil molassique séparant alors la vallée de l'Ainan et la vallée de la Fure est tronçonné par les glaces qui créent un passage particulier, pour s'étaler plus au Sud en tête de Bièvre. C'est à partir de ce moment là que s'ébauche notre surcreusement. Le col, à l'amont de la vallée de l'Ainan, va s'approfondir et l'action érosive des eaux de fusion des masses glaciaires donne au surcreusement toute son importance. Le caractère sinueux du tracé du sillon montre que les eaux ont joué un rôle important dans son approfondissement.

Il se produit alors un phénomène d'inversion ou de détournement de drainage. La haute vallée de l'Ainan s'écoule non plus vers le Nord mais vers le Sud en empruntant le sillon qui débouche en tête de Bièvre. Ainsi, une communication s'établit entre la vallée de l'Ainan et la vallée de la Fure ( Bravard, 1963 ).

Les glaciations suivantes oblitèrent les marques de fonte précédentes. Les appareils glaciaires transportent et poussent devant eux de grandes quantités de sédiments. Ils comblent le surcreusement et empâtent les dépressions.

Les dernières moraines concentriques de Chirens sont abandonnées et respectées par les eaux courantes de surface qui s'écoulent dans le sens où se retire le glacier, c'est à dire vers le Nord. De nouveau, un saül constitué cette fois-ci d'une grosse accumulation de sédiments quaternaires dont la surface est modelée en alignements morainiques, sépare la vallée de la Fure et celle de l'Ainan.

## CONCLUSION A L'ETUDE GEOPHYSIQUE

L'ensemble des études géophysiques effectuées dans la vallée de la Fure et dans la haute vallée de l'Ainan ont mis en évidence un important surcreusement imprimé dans le substratum molassique. Prenant naissance sous le marais de Chirens, il se dirige vers la trouée de Bonpertuis où il abandonne la vallée de la Fure pour s'enfiler sous les terrasses de la Tête de Bièvre.

Les sondages électriques ne mettent en évidence qu'un petit sillon entre le lac de Paladru et le surcreusement du Guillermet-Bonpertuis.

C'est le passage des glaciers empruntant le réseau hydrographique mio-pliocène et surtout l'action des eaux de fusion des lobes antéwürmiens qui sont responsables de cette paléomorphologie encaissée et aujourd'hui masquée par les dernières alluvions de retraits glaciaires.

La paléomorphologie que nous venons de préciser est responsable de l'établissement des écoulements souterrains. C'est elle qui détermine les zones aquifères. En effet, les sillons profonds dessinés dans la molasse imperméable vont jouer le rôle de collecteur à la manière d'un drain dans lequel se rassemblent les eaux souterraines.

CHAPITRE III

=====

ETUDE HYDROCLIMATIQUE

-----

- I - LE RESEAU HYDROMETEOROLOGIQUE
- II - ETUDE DES PRECIPITATIONS
- III - ETUDE DES TEMPERATURES
- IV - ETUDE DE L'HYGROMETRIE
- V - ETUDE DES VENTS
- VI - ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION

## INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous aborderons l'étude des précipitations, des températures et de l'évapotranspiration. Ces trois facteurs interviennent directement ou indirectement dans l'équation de tout bilan hydrogéologique de bassin versant.

Comme on se propose d'approcher les bilans du bassin versant du lac de Paladru et celui du bassin versant de la haute vallée de l'Ainan, pendant la période s'étendant de novembre 1978 à Octobre 1979, l'étude s'intéressera aux données recueillies durant ce laps de temps. Lorsqu'il le sera possible, elles seront comparées aux séries de données plus anciennes et plus longues.

### I - LE RESEAU HYDROMETEOROLOGIQUE

La situation des appareils qui ont servi à l'étude hydroclimatique est reportée sur la figure n°32 .

#### I-1- PRECIPITATIONS

Nous avons utilisé les données de deux stations intégrées dans le réseau de la Météorologie Nationale. Ce sont les stations de Charavines : X = 849,25; Y = 352,5 ; Z = 496 m et de Chirens-l'Arsenal : X = 852,25; Y = 352,2 ; Z = 457 m. Un troisième poste a été installé à Montferrat : X = 854,25; Y = 359; Z = 610 m. C'était un pluviographe enregistreur à augets basculants d'une surface réceptrice de 2000 cm<sup>2</sup>.

Trois tubes totalisateurs furent d'autre part mis en place sur le bassin versant du lac de Paladru :

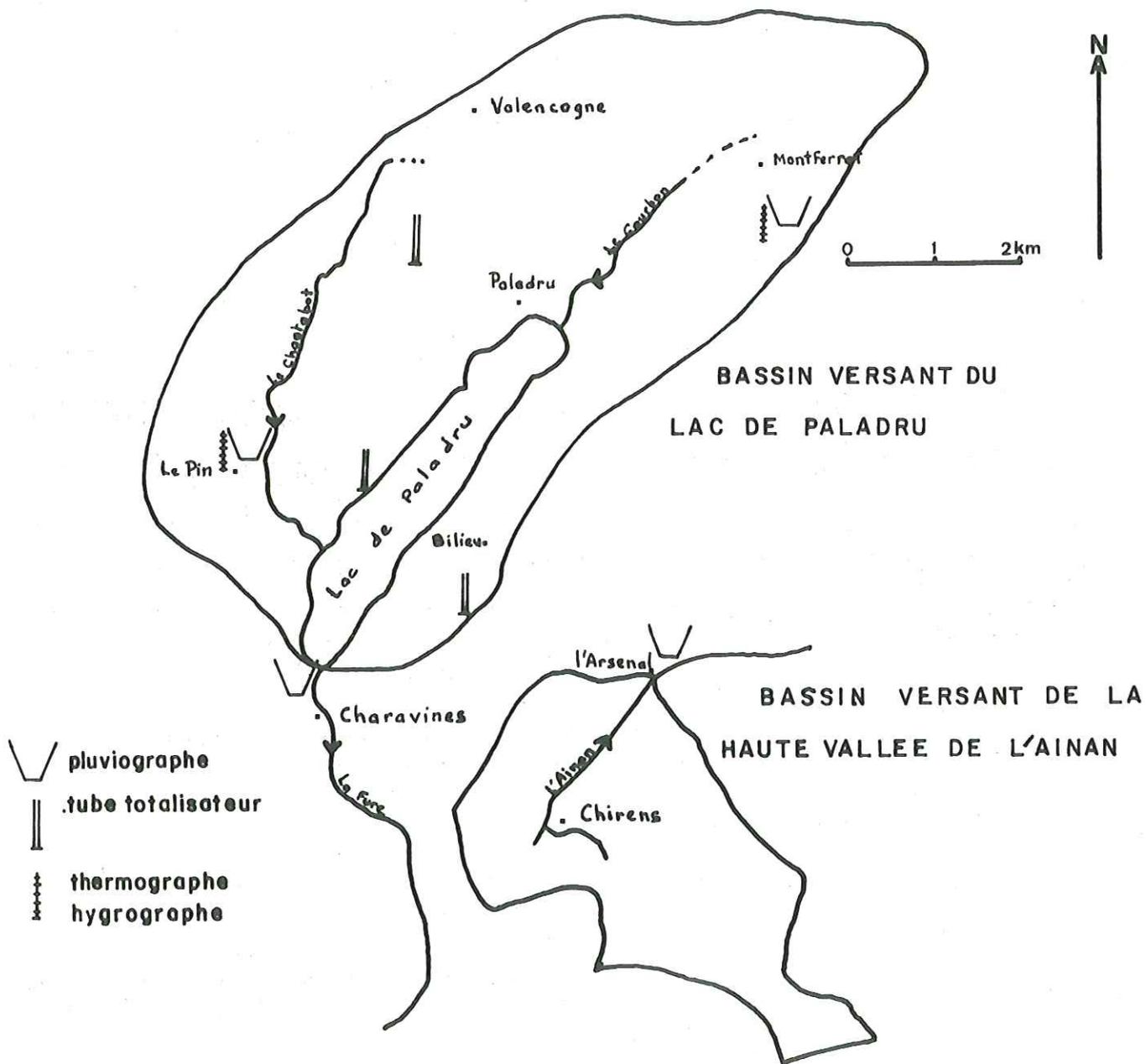
- sur la commune du Pin en bordure du lac : X = 849; Y = 354,95; Z = 498m
- sur la commune de Paladru à la ferme de Simandre : X = 849,7;  
Y = 357,7; Z = 640 m
- sur la commune de Biliou à la Croix des Cochettes : X = 850,3;  
Y = 353,15 ; Z = 721 m

#### I-2- TEMPERATURES

Un thermo hygromètre fut installé à Montferrat près du pluviographe. Il renseigne sur la température et le degré d'humidité de l'air de novembre 1978 à octobre 1979.

Enfin, nous disposons des températures de la station du Pin sur une période de 11 ans, de 1967 à 1977. Hélas ce poste fut supprimé à cette dernière date si bien que les données relatives à cette région, pendant la période d'étude, manquent.

Fig.n°32 Equipement des bassins versants pour l'étude hydroclimatique.



**II - ETUDE DES PRECIPITATIONS**

II-1- ANALYSE STATISTIQUE DES SERIES DE DONNEES

Nous possédons la pluviométrie mensuelle à Charavines de 1928 à 1979 et à Chirens-l'Arsenal de 1947 à 1979. Nous avons pu calculer quelques valeurs caractéristiques de ces 2 stations. On s'intéressera aux valeurs de la station de Charavines de 1928 à 1979 puis aux valeurs de cette même station ainsi qu'à celles de Chirens-l'Arsenal de 1947 à 1979. La comparaison entre les 2 postes d'observation sur une période identique sera plus significative.

II-1-1- Répartition mensuelle des précipitations - Régime pluviométrique

A. Module mensuel

Les moyennes mensuelles calculées sur les périodes définies ci-dessus pour les deux stations sont présentées dans le tableau n°1 .

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Charavines 1928 à 1979	86,5	81,2	87,9	92,9	104,7	110,1	80,	101,5	110,7	101,8	110,8	89,1
Charavines 1947 à 1979	89,4	92	90,5	91,3	95,6	110,9	76,8	101,8	106,6	87,9	114,2	89,6
Chirens- l'Arsenal 1947 à 1979	84,7	91,5	92,6	100,5	102,6	119,8	86,9	108,3	112,4	91,7	117,6	93,9

Tableau n°1 .. Précipitations mensuelles à Charavines et à Chirens-l'Arsenal

A Charavines, les moyennes mensuelles de 1928 à 1979 et de 1947 à 1979 sont voisines sauf pour les mois de février, mai et octobre. De 1947 à 1979 les mois de février sont en moyenne plus humides alors que les mois de mai et d'octobre sont plus secs.

La comparaison de la pluviométrie à Charavines et à Chirens-l'Arsenal , de 1947 à 1979 est intéressante. Elle montre que les moyennes mensuelles sont plus importantes à Chirens-l'Arsenal qu'à Charavines, deux exceptions cependant : les mois de janvier et février. Cette différence des moyennes mensuelles apparaît plus clairement sur le graphique de la figure n°33 Elle est de l'ordre de 5 mm pour chaque mois.

B. Période pluvieuse - période " sèche "

Pour les deux stations, les minimums se rencontrent en janvier et février alors que les maximums de pluviométrie s'observent en juin, septembre et novembre. La répartition moyenne saisonnière des précipitations est homogène. Elle est résumée dans le tableau suivant :

	Charavines	Chirens - Arsenal
Hiver J. F. M.	272 mm	269 mm
Printemps A. M. J.	298 mm	323 mm
Eté J. A. S.	285 mm	308 mm
Automne O. N. D.	292 mm	303 mm

Tableau n°2 . Répartition moyenne des précipitations saisonnières ( 1947-1979 )

On en déduit les indices saisonniers suivants :

- à Charavines : P            A            E            H  
                                 26 %    25,5 %    24,8 %    23,7 %

- à Chirens-l'Arsenal : P            E            A            H  
   26,8 %    25,6 %    25,2 %    22,4 %

Les faibles écarts entre ces pourcentages ne permettent pas de parler de saison humide et de saison sèche. Le régime saisonnier n'est pas bien marqué. On peut simplement dire que les précipitations sont plus élevées au printemps qu'en hiver.

## II-1-2- Répartition pluviométrique interannuelle

### A. Module annuel

C'est la moyenne arithmétique qui définit la tendance centrale de la série. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Stations	M	Ecart type	Coeff. de variation
Charavines - 1928-1979	1160 mm	213	0,18
Charavines - 1947-1979	1146 mm	215,3	0,19
Chirens-l'Arsenal 1947-1979	1202 mm	215,1	0,18

Tableau n°3 ; Moyennes pluviométriques, Ecart types, coefficients de variation.

Les deux moyennes de la station de Charavines sont équivalentes ( 1160 mm et 1146 mm ). En revanche de 1947 à 1979 la différence des moyennes entre les postes de Charavines et Chirens-l'Arsenal est plus substantielle : 56 mm. Les deux stations ne sont pourtant distantes que de quatre kilomètres. Cet écart peut s'expliquer par les reliefs de plus en plus hauts qui se rencontrent d'Ouest en Est, depuis le centre vers l'extrémité orientale des Terres Froides. Les collines s'élèvent et barrent la

Fig.n°33 Les précipitations mensuelles à CHARAVINES ———  
et à CHIRENS-l'ARSENAL ----- de 1947 à 1979

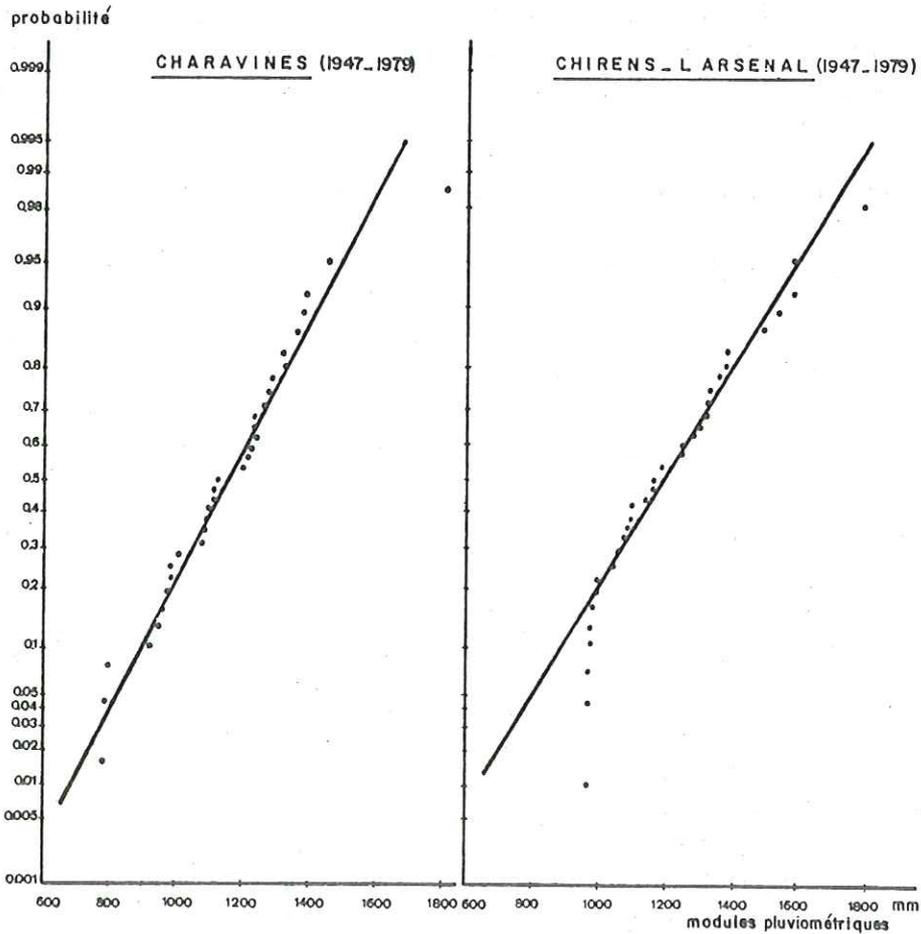
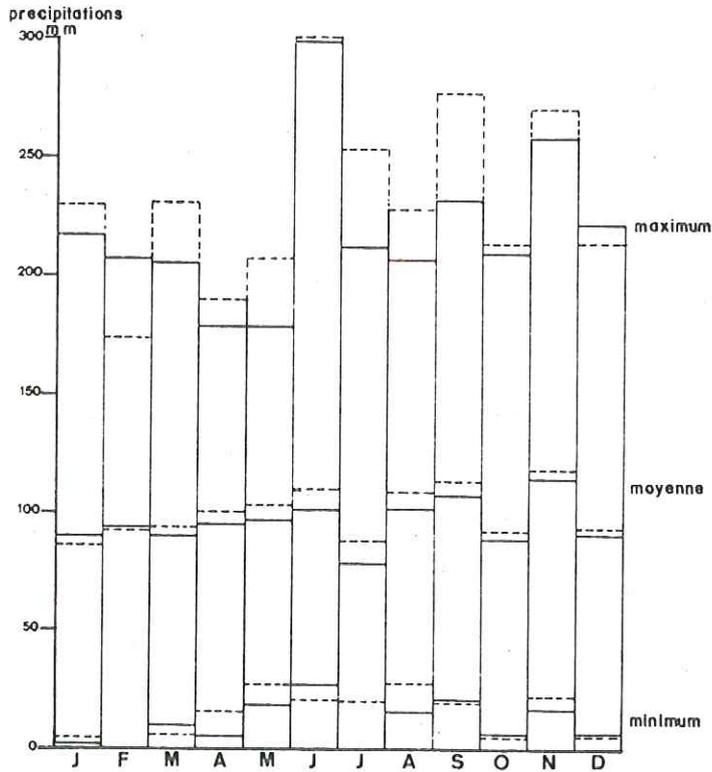


Fig.n°34 Distribution normale des totaux annuels des précipitations  
aux stations de CHARAVINES et de CHIRENS-l'ARSENAL.

progression des fronts nuageux venus de la plaine. Elles reçoivent ainsi des précipitations plus importantes.

En résumé, on retiendra de ce tableau, qu'en moyenne le bassin versant de la haute vallée de l'Ainan est plus arrosé que le bassin versant du lac de Paladru.

B. Ajustement des précipitations annuelles à la loi de Gauss

Possédant les données pluviométriques aux stations de Charavines et de Chirens-l'Arsenal pendant une période commune de 33 ans, nous avons tenté d'ajuster les valeurs des deux séries de précipitations à la loi de Gauss ( fig. n°34 ).

L'alignement des points pour les deux stations est satisfaisant. Il permet un bon ajustement à la loi normale.

Les quantiles caractéristiques des précipitations annuelles extrêmes peuvent être calculés ( tableau n°4 ).

Réurrence Station	Charavines	Chirens-l'Arsenal
Année décennale humide	1415 mm	1495 mm
Année centenaire humide	1620 mm	1735 mm
Année décennale sèche	890 mm	880 mm
Année centenaire sèche	680 mm	630 mm

Tableau n°4 . Précipitations annuelles extrêmes à Charavines et à Chirens-l'Arsenal

II-2- LES PRECIPITATIONS PENDANT LA PERIODE D'ETUDE , DE NOVEMBRE 1978 A OCTOBRE 1979

On s'intéresse ici, non plus à l'année astronomique mais à l'année hydrologique que nous faisons commencer en novembre, période où en théorie les aquifères commencent à se recharger.

II-2-1- Résultats

Trois postes d'observation sont à notre disposition, Sur le bassin versant du lac de Paladru il y a les postes de Charavines et de Montferrat, sur le bassin versant de la haute vallée de l'Ainan on a toujours le poste de Chirens-l'Arsenal. Les précipitations recueillies sont résumées dans le tableau n°5 et la figure n°35 .

Stations	Mois											
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
	1978		1979									
Charavines	16	111	125	96	156	99	111	65	37	130	44	165
Chirens-l'Arsenal	22	112	126	99	149	104	108	60	37	117	56	164
Montferrat	20	112	111	82	162	70	122	50	37	126	76	157

Tableau n°5 : Précipitations mensuelles à Charavines, Montferrat et Chirens-l'Arsenal.

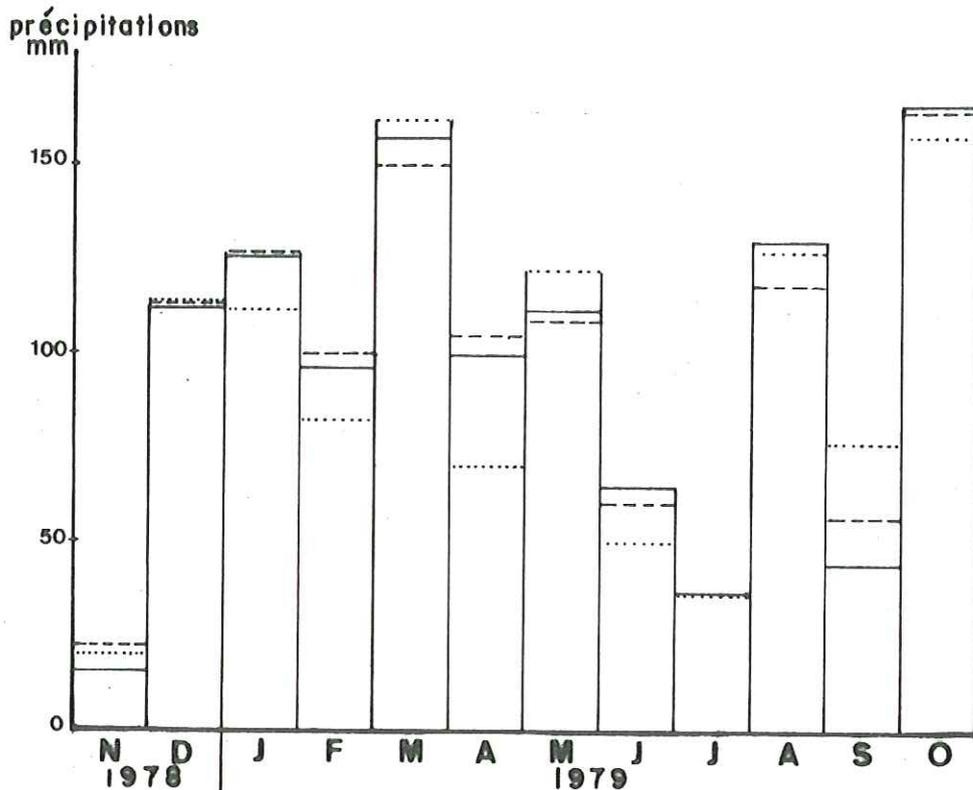


Figure n° 35 : Représentation graphique des précipitations mensuelles à Charavines — ; Chirens-l'Arsenal - - - - ; Montferrat .....

Pour cette année hydrologique 1978-1979, ce sont les mois de mars et d'octobre qui sont les plus pluvieux. Novembre et Juillet sont les mois les plus secs.

La répartition pluviométrique saisonnière est assez bien marquée avec un automne peu arrosé ( 175 mm à la station de Charavines ) et des précipitations importantes pendant la saison d'hiver ( 377 mm toujours à la station de Charavines ).

Les répartitions pluviométriques mensuelles relatives à Charavines et à Chirens-l'Arsenal sont similaires. Par contre la station de Montferrat se distingue des deux précédentes par le fait que quelques mois, tels février, avril, juin sont plutôt déficitaires et que d'autres tels mars, mai et septembre sont légèrement excédentaires.

Enfin du tableau n° 5 on tire les précipitations totales correspondantes à l'année hydrologique ( nov 78 - oct 79 ) :

- Charavines P = 1155 mm
- Chirens-l'Arsenal P = 1154 mm
- Montferrat P = 1125 mm

On ne retrouve pas l'excédent de pluviosité du poste de Chirens-l'Arsenal sur le poste de Charavines que le calcul des moyennes effectué sur 33 années montrait. Les précipitations sont égales pour cette période.

A Montferrat on constate un déficit de 30 mm par rapport aux deux autres stations. Il peut s'expliquer par le relatif éloignement des principales collines.

Par rapport à la moyenne annuelle des précipitations définie sur 33 ans ( tableau n° 3 , page 69 ), l'année hydrologique considérée est normale pour la station de Charavines, déficitaire de 50 mm pour la station de Chirens -l'Arsenal.

La période de retour est de 2 ans. Elle confirme que cette année hydrologique est une année moyenne.

#### II-2-2- Comparaison pluviomètre - tube totalisateur ( b.v. lac de Paladru )

Les trois tubes totalisateurs disposés sur le bassin versant du lac ont donné les résultats suivants :

- tube 1 - Le Pin ( 498 m ), P = 1150 mm
- tube 2 - Paladru - le Simandre ( 640 m ), P = 1162 mm
- tube 3 - Bilieu - Croix des Cochettes (721 m ) , P = 1072 mm

Les tubes 1 et 2 donnent des valeurs homogènes et identiques à celle obtenue sur le pluviomètre le plus proche ( Charavines, P = 1155 mm ).

Les précipitations recueillies dans le tube 3 sont plus faibles bien qu'il s'agisse là du tube le plus élevé. Pour expliquer l'écart de 80 mm, la différence d'exposition est invoquée. En effet les tubes 1 et 2 sont situés sur le versant oriental du lac, à l'abri des vents du Nord. Le tube 3 est sur le versant opposé près du col reliant Bilieu à Clermont. Le vent du Nord y souffle fort. Il est probable qu'il soit responsable de ce déficit étant donné la petite surface réceptrice ( 220 cm<sup>2</sup> ). La proximité des tubes ne plaide pas en faveur d'une " dissymétrie " pluviométrique aussi importante entre les deux versants du lac.

Enfin, les faibles dénivellations ne permettent pas de calculer un gradient altimétrique des précipitations. S'il existe, il reste très faible et on admettra que les précipitations mesurées sur les pluviomètres de Charavines, Montferrat et Chirens-l'Arsenal sont représentatives de la pluviométrie moyenne de la région.

#### II-2-3- Lames d'eau tombées sur les bassins versants

A partir des données enregistrées sur les appareils des trois stations, on utilise la méthode de Thiessen pour calculer les lames d'eau moyennes tombées sur les bassins versants :

- Bassin versant du lac de Paladru, P = 1142 mm
- S. s. bassin versant du Courbon , P = 1125 mm
- S. s. bassin versant du Chantabot, P = 1136 mm
- Bassin versant de l'Ainan, P = 1154 mm

**III - ETUDE DES TEMPERATURES**

Nous avons pu comparer les données de l'unique station de Montferrat avec celles obtenues de 1967 à 1977 à la station du Pin.

**III-1- LES TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES**

Le tableau ci-dessous donne les moyennes mensuelles recueillies pendant 11 ans au Pin d'une part et pour l'année hydrologique 1978-1979 à Montferrat d'autre part.

Mois	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Le Pin 1967-1977	4,5	0,4	1,1	2,5	4,6	8,2	13,1	16,3	19,1	18,0	13,5	9,6
Montferrat 1978-1979	3,5	2,6	-1,7	1	4,7	4,9	11	15,2	16,8	14,8	13,1	10

Tableau n°6 : Températures moyennes mensuelles au Pin et à Montferrat

On note que la plupart des mois de l'année hydrologique 1978-1979 à Montferrat présente une température plus basse que la moyenne obtenue au Pin de 1967 à 1977.

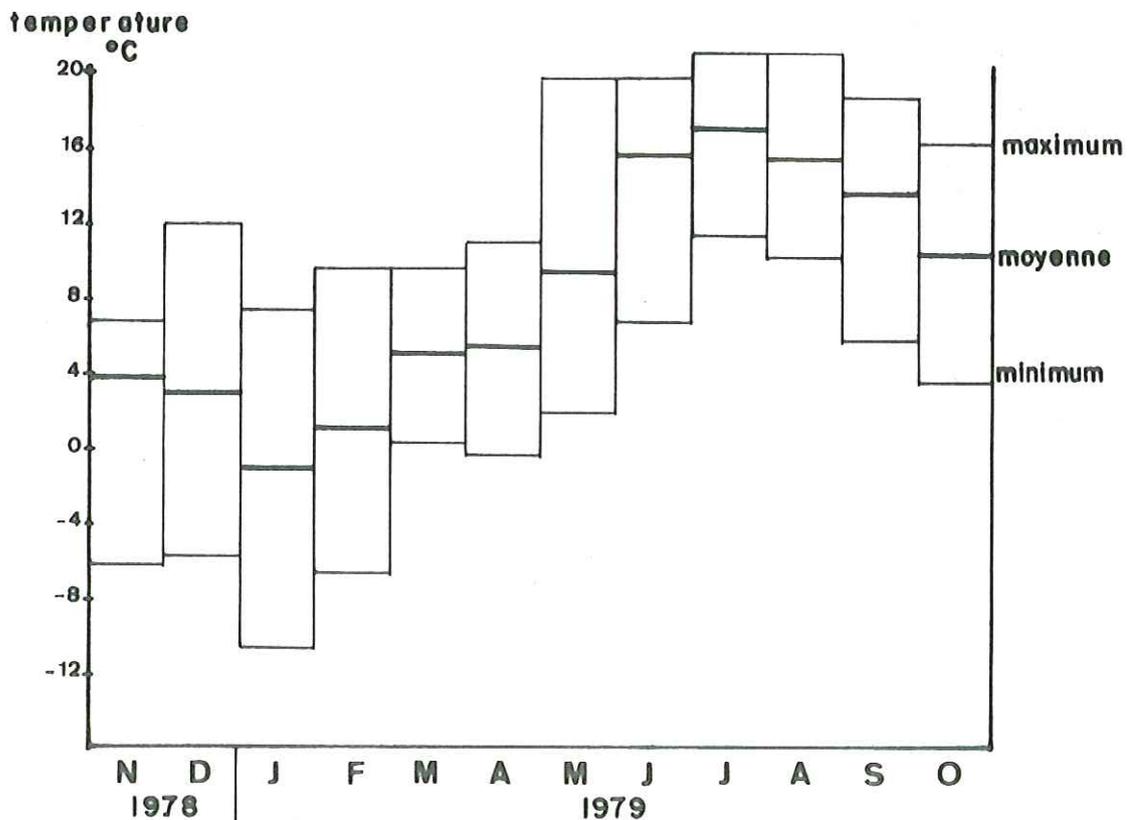


Fig. n°36 Températures moyennes mensuelles à la station de MONFERRAT.  
(nov. 1978 → oct. 1979)

Ceci peut s'expliquer par :

- l'altitude supérieure d'une centaine de mètres du poste de Montferrat par rapport au poste du Pin;
- la position de la station de Montferrat exposée au vent du Nord et du Nord-Est alors qu'au Pin la vallée est beaucoup plus abritée.

Cependant ces explications ne justifient pas totalement ces différences et il faut considérer que l'année 1978-1979 fut une année froide; le mois de janvier notamment, où près de la moitié des précipitations est tombée sous forme de neige. Remarquons également les 4,9°C du mois d'avril et le mois d'août, qui très pluvieux ( 130 mm ), présente une température moyenne inférieure de 15°C.

### III-2- LES TEMPERATURES MOYENNES ANNUELLES

- A la station du Pin de 1967 à 1976;

Année	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
T <sub>moy.</sub> <sup>emp.</sup> <sub>C</sub> en	9,6	9,4	8,8	9,1	8,7	9,0	8,7	9,2	-	9,5

Tableau n°7 . Températures moyennes annuelles au Pin de 1967 à 1976

soit une moyenne annuelle de 9,1°C calculée sur les années ci-dessus

- A la station de Montferrat de Novembre 1978 à Octobre 1979;

Les valeurs des températures mensuelles notées dans le tableau n° 6 permettent de calculer la température moyenne de l'année hydrologique 1978-1979 sur le bassin versant du lac de Paladru: T moy. = 8°,0 C.

N'ayant pas d'autres données, c'est cette valeur qui sera également prise en compte pour le bassin versant de la haute vallée de l'Ainan.

La température moyenne de 8°,0 C est donc inférieure de 1°,0 C à la moyenne annuelle calculée sur 9 ans au Pin. L'année hydrologique considérée est dans l'ensemble particulièrement froide et cette région du Bas-Dauphiné, pour la période d'étude, n'a jamais autant mérité son nom de " Terres Froides ".

### IV - ETUDE DE L'HYGROMETRIE

L'hygromètre à cheveux installé à Montferrat a mesuré l'humidité relative de l'air en continu. Comme pour les températures c'est par planimétrage que l'hygrométrie est obtenue. Les moyennes mensuelles sont portées dans le tableau n°8 .

Mois	1978		1979									
	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.
Humidité relative en %	85,6	79,2	78,9	82,9	76,1	73,3	67,2	77,1	67,9	77,1	79,3	84

Tableau n°8 ; Hygrométrie moyenne mensuelle à Montferrat

L'humidité relative est plus élevée durant les mois d'automne et d'hiver et inversement au printemps et en été, ce qui est normal. On remarquera que le mois d'août est plutôt humide ( 77, 1 % ). Ceci s'explique par les précipitations importantes tombées au cours de ce mois ( 130 mm ).

Pour l'année hydrologique, la valeur moyenne de l'hygrométrie dans la région est de 77,4 %. Ce chiffre est comparable à ceux trouvés à Massieu ( vallée de l'Ainan ) de novembre 1975 à octobre 1976 : 77,7 % et de novembre 1976 à octobre 1977 : 81,3 %.

#### V - ETUDE DES VENTS

N'ayant pas à notre disposition d'appareil mesurant la direction et la vitesse du vent sur notre terrain, nous rapportons les données recueillies à la station de Grenoble - St Geoirs dans la vallée de Bièvre. Les mesures seront donc valables pour l'extrémité sud de notre terrain. Elles le sont moins pour l'intérieur des collines molassiques vu l'orographie différente.

Trois vents sont remarquables :

- le vent d'Est ( vitesse : 2 à 4 m/s );
- le vent du Nord ( vitesse : 2 à 9 m/s );
- et dans une moindre mesure le vent du Sud-Ouest ( vitesse : 2 à 9 m/s ).

La figure n° 37 résume les fréquences moyennes des directions du vent par groupes de vitesses pour l'année 1978.

#### VI - ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION

Le but de cette étude est de quantifier les pertes en eau par retour à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Ces pertes sont représentées par l'évapotranspiration des eaux de surface et du sous-sol et par la transpiration des végétaux.

Faute d'appareils de mesure nous appliquons des formules qui traduisent le phénomène sous forme analytique. Ce sont les formules de Thornthwaite, Serra, Turc et Coutagne. Nous utilisons également la méthode graphique de Wundt puis le calcul de Thornthwaite ( bilan hydrologique ).

VI-1- L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

" Elle correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques " ( Roche, 1963 ).

VI-1-1- Selon la formule de Thornthwaite

Cette formule s'écrit :

$$ETp = 1,6 \left( \frac{10 T}{I} \right)^a \quad \text{avec} \quad : I = \sum_1^{12} i \quad \text{où} \quad i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

T = température moyenne mensuelle en °C

$$a = 0,492 + 1,79 \cdot 10^{-2} I - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} I^3$$

ETp = évapotranspiration potentielle mensuelle exprimée en cm.

Les valeurs obtenues sont corrigées par des coefficients fonction de la latitude.

Résultats d'après les températures recueillies à Montferrat :

Mois	1978		1979									
	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct
ETp enmm	15	10	0	4	27	31	88	128	144	116	86	57

Soit pour l'année hydrologique 1978-1979 une ETp = 706 mm représentant 61 % des précipitations.

VI-1-2- Selon la formule de Serra

Cette formule s'écrit

$$e = 16 \left( \frac{10 T}{I} \right)^a \quad \text{avec} \quad : I = \sum_1^{12} i \quad \text{où} \quad i = 0,09 T^{3/2}$$

T = température moyenne mensuelle en °C

$$a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$$

e = évapotranspiration potentielle mensuelle en mm.

Résultats d'après les températures recueillies à Montferrat :

Mois	1978		1979									
	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.
e en mm	15	10	0	4,0	25	32	81	114	127	103	78	53

Soit pour l'année hydrologique 1978-1979 une ETp = 642 mm représentant 56 % des précipitations.

VI-2 L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE

VI-2-1- Selon la formule de Turc

Cette formule s'écrit :

$$ETr = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{avec } P = \text{pluviométrie en mm}$$

$$L = 300 + 25T + 0,05 T^3 \quad \text{où } T = \text{température moyenne annuelle en } ^\circ\text{C}$$

ETr = évapotranspiration réelle en mm

Son application donne les résultats suivants :

	B. V. Paladru	Ss. B. V. Courbon	Ss B. V. Chantabot	B. V. Ainan
ETr en mm	482	480	481	482
% P	42 %	43 %	42 %	42 %

On retiendra pour tous les bassins une ETr = 482 mm

VI-2-2- Selon les formules de Coutagne

a) Formule faisant intervenir la température ( Coutagne 1 )

Cette formule s'écrit :

$$D = 210 + 30 T \quad \text{avec } T = \text{température moyenne annuelle en } ^\circ\text{C}$$

D = déficit d'écoulement = évapotranspiration en mm.

Soit pour l'année hydrologique 1978-1979 une ETr = 450 mm représentant 39 % des précipitations.

b) Formule faisant intervenir la température et les précipitations (Coutagne 2)

Cette formule s'écrit :

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{avec } : \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 T} \quad \text{où } T = \text{température moyenne annuelle en } ^\circ\text{C.}$$

P = pluviométrie annuelle en mm

D = déficit d'écoulement = évapotranspiration en mm/an

Cette formule ne peut être utilisée que si  $P \ll \frac{1}{2\lambda}$ . Dans notre cas  $P = 1142 \text{ mm}$  et  $\frac{1}{2\lambda} = 892 \text{ mm}$ . P est donc supérieure à  $\frac{1}{2\lambda}$ . La formule n'est pas applicable et D devient indépendant des précipitations.

On a  $D = 0,2 + 0,035 T$

Soit pour l'année hydrologique 1978-1979 une ETr = 480 mm représentant 42 % des précipitations.

VI-2-3- Selon la méthode de Wundt

Le déficit d'écoulement ou l'évapotranspiration réelle est déduite du diagramme de la figure n°38 , en fonction de la température et des précipitations.

On obtient pour l'année hydrologique 1978-1979 une ETr = 515 mm représentant 45 % des précipitations. Ce chiffre est valable quelque soit le bassin versant considéré.

VI-2-4- Selon le calcul de Thornthwaite ( bilan hydrologique )

Principe: Si  $P > ETp$  il y a emmagasinement jusqu'à saturation atteinte par le sol pour une quantité d'eau équivalente à une pluviométrie de 100 mm. S'il y a surplus, il constitue l'écoulement souterrain ou superficiel.

Dans ce cas  $ETr = ETp$

Si  $P < ETp$  le sol restitue l'eau emmagasinée,  $ETp = ETr$  jusqu'à épuisement des réserves ( 100 mm ). Le stock épuisé, l'évapotranspiration réelle est égale à la pluviométrie :  $ETr = P$

Application : le tableau n°9 représente un calcul de ETr selon Thornthwaite à partir de la pluviométrie mensuelle à Charavines : ETr=608mm.

Le même calcul, mais avec les données pluviométriques de Chirens-Arsenal et de Montferrat donnent respectivement 602 et 621 mm.

Mois	1978		1979										
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
ETp mm	15	10	0	4	27	31	88	128	144	166	86	57	706
P mm	16	111	125	96	156	99	111	65	37	130	44	165	1155
Stock mm	100	100	100	100	100	100	100	37	0	14	0	100	
ETr mm	15	10	0	4	27	31	88	128	74	116	58	57	608

Tableau n°9 : Evapotranspiration réelle à partir de la méthode de Thornthwaite

Les mois de septembre et octobre 1978 ont été secs. On peut donc discuter la valeur de 100 mm du stock début novembre 1978. Aussi nous avons refait les calculs en partant d'un stock nul. Les résultats sont identiques. En novembre  $P > ETp$  et dès décembre le stock de 100 mm est reconstitué.

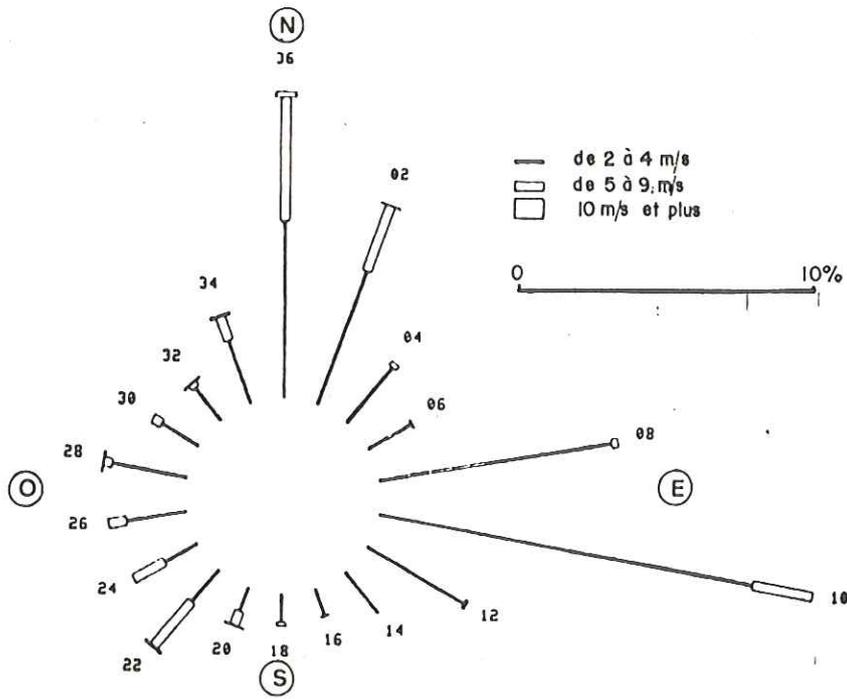


Fig.n°37 Fréquences moyennes des directions du vent par groupes de vitesses.

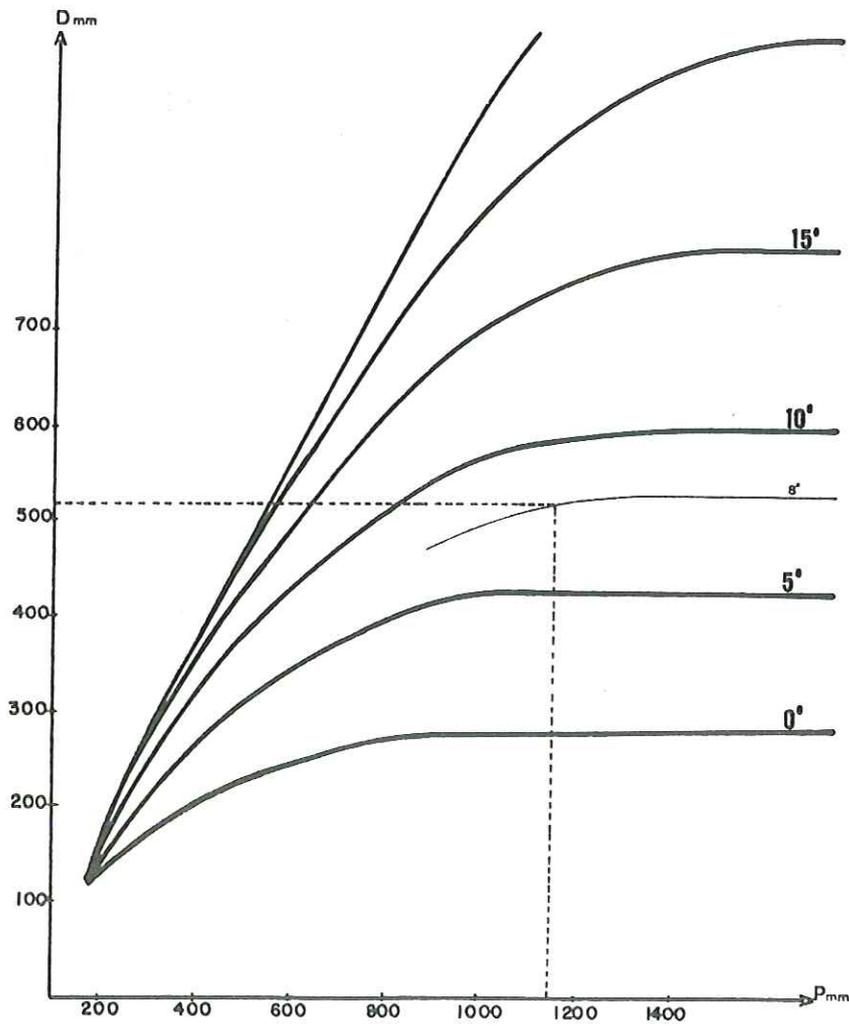


Fig.n°38 Déficit d'écoulement d'après le diagramme de WUNDT.

VI-2-5- Discussion des résultats

Tableau récapitulatif des différentes valeurs de l'évapotranspiration.

ETp	Thornthwaite	706	ETr	Turc	482
		Serra		642	Coutagne 1
	Wundt			515	
				Thornthwaite	610

Tableau n°10 : Evapotranspiration de novembre 1978 à Octobre 1979 ( en mm )

Pour l'évapotranspiration potentielle nous retiendrons la valeur de 706 mm donnée par la formule de Thornthwaite plus précise que la formule de Serra.

L'évapotranspiration réelle est plus délicate à déterminer.

Les calculs de Turc, Coutagne, et Wundt donnent des résultats assez homogènes dont la moyenne est de 482 mm. C'est en même temps l'évapotranspiration calculée par la formule de Turc. On serait donc tenté d'attribuer cette valeur à l'évapotranspiration réelle d'autant plus que dans les Alpes du Nord, la formule de Turc semble donner les résultats les plus proches de ceux fournis par les lysimètres ( J.C. Fourneaux, J.Sarrot-Reynauld, 1977 ).

Mais la dernière valeur obtenue, celle établie par le bilan hydrologique de Thornthwaite, donne une évapotranspiration d'environ 610 mm très différente en conséquence de la précédente. L'écart de l'ordre de 100 mm entre les deux résultats a également été mis en évidence sur le bassin du Furon-Vercors ( N.Al Anbar, 1979 ) et dans une moindre mesure dans la vallée de l'Isère à St-Vincent de Mercuze ( J.P. Bozonnat, 1979 ).

Quels résultats doit-on adopter ? Doit-on accorder plus d'intérêt à quatre formules empiriques qui ne font intervenir que la température et la pluviométrie plutôt qu'à un calcul certes plus rationnel mais qui utilise un postulat ( 100 mm de stock ) qui n'est pas forcément juste surtout pour des formations quaternaires très hétérogènes. Aucun élément décisif ne permet de trancher. Seule une étude locale sur lysimètre pourrait lever l'incertitude.

Cependant, comme sur le bassin versant de la Bourbre ( J. Le Priol, 1974 ), plusieurs facteurs agissent dans la région en faveur d'une évapotranspiration élevée :

- une couverture végétale assez dense;
- des sols dans l'ensemble argileux et surtout des zones marécageuses dans les plaines du Pin, de Paladru et de Chirens qui facilitent le processus d'évapotranspiration en maintenant un volume d'eau important à faible profondeur.

Aussi pour toutes les raisons que nous venons d'énoncer, soit en faveur d'une évapotranspiration élevée, soit en faveur d'une évapotranspiration plus faible, il nous paraît raisonnable d'adopter la moyenne arithmétique des deux valeurs proposées tout en sachant que l'incertitude qui s'y rattache est au moins de 10 %.

$$E_{Tr} = 550 \cdot \frac{1}{100} = 55 \text{ mm}$$

### VI-3- L'EVAPORATION A LA SURFACE DU LAC DE PALADRU

Le calcul de la lame d'eau évaporée à la surface du lac est effectué à partir de la formule de Lugeon ( Remenieras, 1976 ):

$$E = 0,398 n ( e_s - e_a ) \cdot \frac{273+t}{273} \cdot \frac{760}{B-e_s}$$

- L'évaporation E est exprimée en mm pour un mois de n jours;
- $e_s$  est la pression de vapeur saturante à la température moyenne mensuelle de la tranche d'eau superficielle du lac en mm de mercure;
- $e_a$  est la pression de vapeur d'eau de l'air;
- t est la température moyenne mensuelle des maximums journaliers;
- B est la pression atmosphérique moyenne mensuelle en mm de mercure.

#### Calcul de $e_s$

La valeur de  $e_s$  fonction de la température est donnée dans des tables ( Olive, 1974 ). La température prise en compte est la température de l'eau de la Fure à l'exutoire du lac. Elle représente donc bien la température superficielle du lac.

Mois	1978				1979								
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	
Temp. moy. du lac en °C	8,8	6,5	4,6	3,8	5,1	7,8	13,5	16,2	21,9	19	17,5	14,8	
$e_s$ en mm Hg	8,44	7,2	6,3	6	6,52	7,84	11,62	13,8	19,58	16,46	15	12,6	

Tableau n°11 : Pression de vapeur saturante mensuelle à la température du lac

#### Calcul de $e_a$

On calcule d'abord  $e_a$  en fonction de la température moyenne de l'air mesurée à la station de Montferrat.  $e_a$  s'obtient en multipliant  $e_s$  par l'humidité relative de l'air enregistrée à la même station.

mois	1978		1979									
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Temp. moy. de l'air °C	3,5	2,6	-1,7	1	4,7	4,9	11	15,2	16,8	14,8	13,1	10
e <sub>s</sub> en mm Hg	5,85	5,51	4,01	4,88	6,38	6,35	9,83	12,9	14,33	12,6	11,33	9,21
Humidité rel. de l'air en %	85,6	79,2	78,9	82,9	76,1	73,3	67,2	77,1	67,9	77,1	79,3	84
e <sub>a</sub> en mm Hg	5	4,36	33,16	4,05	4,86	4,73	6,6	9,95	9,73	9,71	8,98	7,74

Tableau n°12 : Pression de vapeur d'eau de l'air

Autres paramètres

La température moyenne mensuelle des maximums journaliers est donnée dans le tableau ci-dessous : n°13

Mois	1978		1979									
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Temp. moy. des max. jour. °C	4,7	5	0,4	3,3	7,7	8,5	16	19	21,5	18,6	18,3	12,9

La pression atmosphérique B varie peu au cours de l'année. On la considère constante. Elle est de 717 mm de mercure à l'altitude 492 mètres du lac. L'application de la formule de Lugeon donne les résultats suivants :

Mois	1978		1979									
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Evaporation en mm	44,8	38,2	41,4	23,5	22,5	41	70,6	53	142,9	96,4	83	67,7

Tableau n°14 Evaporation sur le lac de Paladru

De novembre 1978 à Octobre 1979 l'évaporation sur le lac s'élève à 725 mm. Cette valeur est cohérente vis à vis de l'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de Thornthwaite :  $ETp = 706$  mm. On peut l'adopter sans réserve.

VI-4- LAME D'EAU "EVAPOTRANSPIREE " SUR LES DIFFERENTS BASSINS VERSANTS

Sur les sous-bassins versants du Courbon et du Chantabot ainsi que sur le bassin versant de la haute vallée de l'Ainan, l'évapotranspiration est évaluée à 550 mm.

Sur le bassin versant du lac de Paladru, nous tenons compte de la présence du plan d'eau au-dessus duquel l'évaporation est beaucoup plus importante que sur le sol. Les proportions des surfaces d'eau et de terre permettent de définir une évapotranspiration équivalente à une lame d'eau de 565 mm répartie uniformément sur tout le bassin.

## CONCLUSION A L'ETUDE HYDROCLIMATIQUE

L'étude hydroclimatique a précisé quelques termes ou facteurs intervenant dans le bilan hydrologique pour la période qui va de novembre 1978 à octobre 1979.

### 1) La pluviométrie

La lame d'eau précipitée est de :

- 1125 mm sur le sous-bassin versant du Courbon;
- 1136 mm sur le sous-bassin versant du Chantabot;
- 1142 mm sur le bassin versant du lac de Paladru;
- 1154 mm sur le bassin versant de la haute vallée de l'Ainan.

Ces chiffres caractérisent une année normale. Ils soulignent enfin une répartition géographique homogène des précipitations dans la région.

### 2) La température

La température moyenne est de 8°C pour l'année hydrologique considérée. Elle marque une année plutôt froide par rapport à la moyenne annuelle locale calculée sur 10 ans qui est de 9°C.

### 3) L'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle atteint 706 mm. La lame d'eau évaporée à la surface du lac lui est très logiquement supérieure puisqu'elle s'élève à 725 mm.

L'évapotranspiration réelle est assez importante. La valeur de 550 mm est adoptée pour les bassins versants du Courbon, du Chantabot et de la haute vallée de l'Ainan. Sur le bassin versant du lac de Paladru la lame d'eau " évapotranspirée " est plus importante. Elle est de 565 mm. La différence de 15 mm est due à la présence du plan d'eau.

### 4) L'hygrométrie

L'humidité relative de l'air est en moyenne de 77,4 %.

### 5) Les vents

Ceux du Nord, d'Est et du Sud-Ouest sont dominants.

CHAPITRE IV

=====

HYDROLOGIE DE SURFACE

-----

- I - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE - LES STATIONS  
DE MESURE DES DEBITS
- II - LE TARAGE DES STATIONS
- III - DEBITMETRIE
- IV - ETUDE DES CRUES ET DES RESERVES  
SOUTERRAINES

I - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE - LES STATIONS DE MESURE DES DEBITS ( fig. n°39 )

I-1- LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Sur les deux bassins versants du lac de Paladru et de la haute vallée de l'Ainan, le réseau hydrographique est normalement développé. Toutefois le premier est caractérisé par la présence du lac ( L = 5 km; l = 900 m, S = 3,72 km<sup>2</sup>). Ce lac possède deux affluents principaux : le Courbon et le Chantabot. Le Courbon prend sa source au Nord de Montferrat, coule dans la plaine de Saint Pierre de Paladru et se jette dans le lac près du village de Paladru. La rivière du Chantabot est issue de l'étang du Vivier au Nord-Est de Valencogne. Elle circule au milieu de la vallée du Pin et alimente les étangs du Moulin avant d'atteindre le lac. Quelques filets d'eaux temporaires drainent les combes bordières en rive droite du lac. A Charavines, la Fure qui se dirige vers le Sud est l'unique émissaire du plan d'eau.

Le réseau du bassin de la haute vallée de l'Ainan ne comporte que la rivière de l'Ainan proprement dite. L'Ainan naît autour de Chirens. On notera les trois émergences principales suivantes :

- la source des Piconnières entre le Fagot et Chirens;
- la source des Barraux à l'Est de Chirens;
- les sources de la station de pompage en tête du marais et au Nord de Chirens.

De là, les eaux rassemblées s'écoulent vers l'Arsenal au milieu du marais de Chirens, suivant un tracé rectiligne.

On remarque que pour les deux bassins versants concernés les sens d'écoulement des eaux de surface sont opposés :-Nord-Sud pour l'Ainan;  
-Sud-Nord pour les affluents du lac de Paladru.

I-2- LES STATIONS DE MESURE DES DEBITS

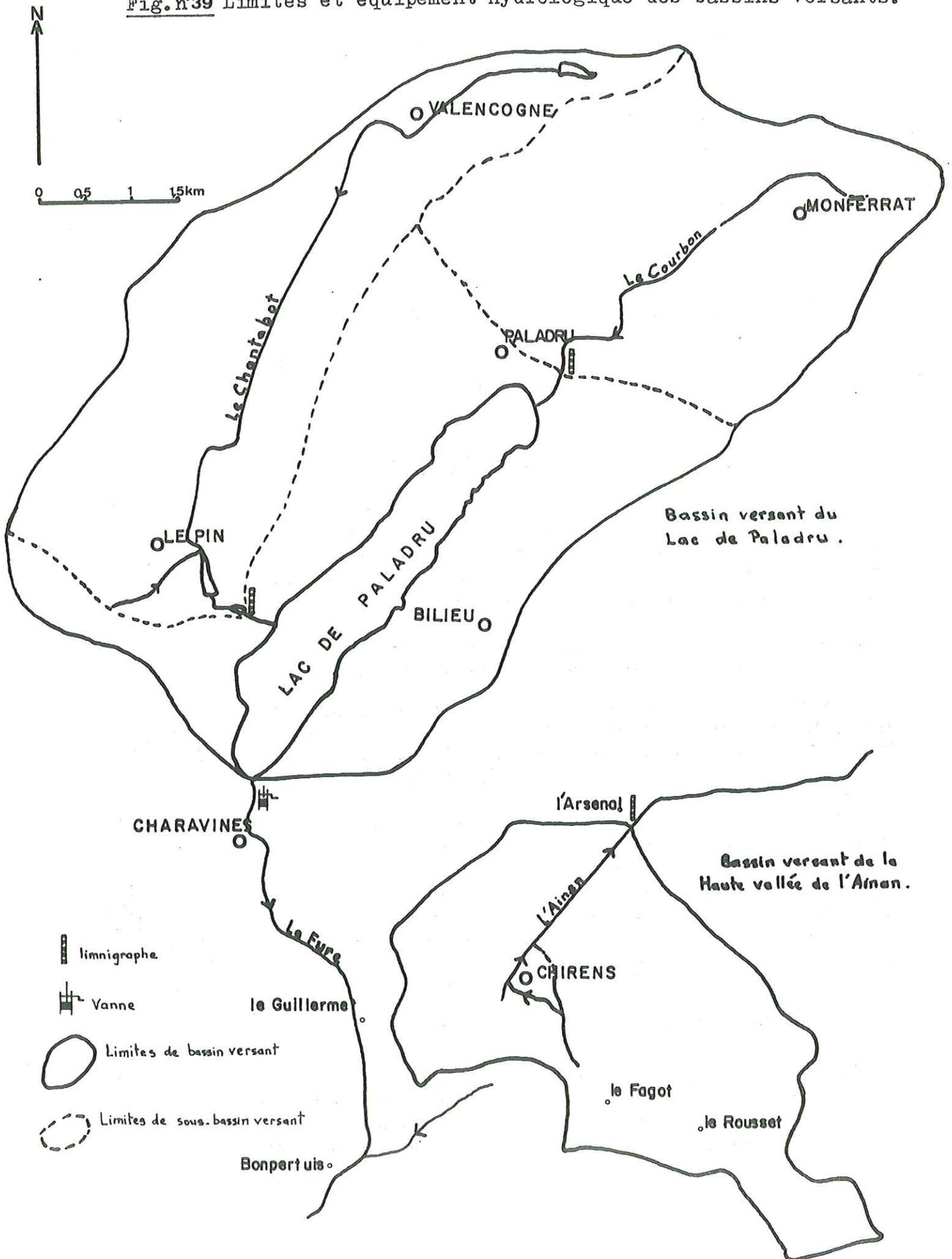
Afin d'en connaître les débits, chacun des cours d'eau précités étaient ou furent équipés d'appareils de mesure.

Pour le bassin versant du lac de Paladru, deux limnigraphes enregistreurs appartenant à la D.D.A. étaient installés à l'aval du Courbon et du Chantabot. A la sortie du lac le débit de la Fure est contrôlé par vannes.

Les débits à l'exutoire du bassin versant de l'Ainan étaient enregistrés par le limnigraphe de la station de l'Arsenal.

Les surfaces des bassins versants au niveau des différents points de mesure sont les suivantes :

Fig. n°39 Limites et équipement hydrologique des bassins versants.



- sous-bassin versant du Courbon .....	12,9 km <sup>2</sup> ;
- sous bassin-versant du Chantabot .....	14,2 km <sup>2</sup> ;
- bassin versant du lac de Paladru .....	45 km <sup>2</sup> ;
- bassin versant de l'Ainan.....	11,9 km <sup>2</sup> .

## II - LE TARAGE DES STATIONS

Le tarage permet d'établir une relation entre la hauteur de l'eau et le débit à la station considérée. L'enregistrement permanent des hauteurs d'eau donne ainsi à tout instant le débit de la rivière.

### II-1- LA STATION DU COURBON A PALADRU

Le tarage de la station a été réalisé à l'aide de jaugeages au micro-moulinet. La relation graphique  $Q = f(H)$  obtenue est représentée sur la figure n°40 .

### II-2- LA STATION DU CHANTABOT AU PIN

Cette station installée en 1975 est munie d'un seuil triangulaire. Son tarage a été effectué par la D.D.A. La relation graphique  $Q = f(H)$  est donnée sur la figure n°41 . Les débits enregistrés à la station sont artificiels. En effet à l'amont de celle-ci il y a des étangs dont les débits, à leurs exutoires, sont commandés par vannes.

### II-3- STATION DE LA FURE A CHARAVINES

Comme nous l'avons déjà mentionné, les débits sont ici contrôlés par vannes. Ils sont donc artificiels. Les vannes ont été étalonnées en 1934 puis vérifiées en 1974. L'étalonnage tient compte des variations du niveau du lac c'est-à-dire de la charge due au plan d'eau.

Depuis avril 1976, le lac est équipé d'un dispositif d'épuration qui consiste en un siphon évacuant les eaux profondes. La figure n°42 donne respectivement le schéma de l'aménagement en plan et en coupe. Le siphon se déverse à l'aval des vannes. Aux débits des vannes  $Q_v$  s'ajoutent les débits du siphon  $Q_s$ .  $Q_s$  est fonction du niveau du lac. Nous avons donc établi le tarage de ce siphon en fonction de la charge  $h$  du lac, laquelle est relevée quotidiennement. Pour cela on a fait plusieurs séries de jaugeages à des périodes différentes et par conséquent pour des cotes du lac diverses. Chaque série comportait deux jaugeages, l'un en A, l'autre en B ( fig. n°42 ). Par différence on obtient le débit du siphon.

En outre les jaugeages en A ont permis de vérifier le débit des vannes. Il s'est avéré que le tarage de celles-ci était correct sauf pour les faibles débits, car les 400 litres " vannés " correspondent en réalité à un débit de 320 litres par seconde. Le résultat des jaugeages est donné dans le tableau n°15 où :

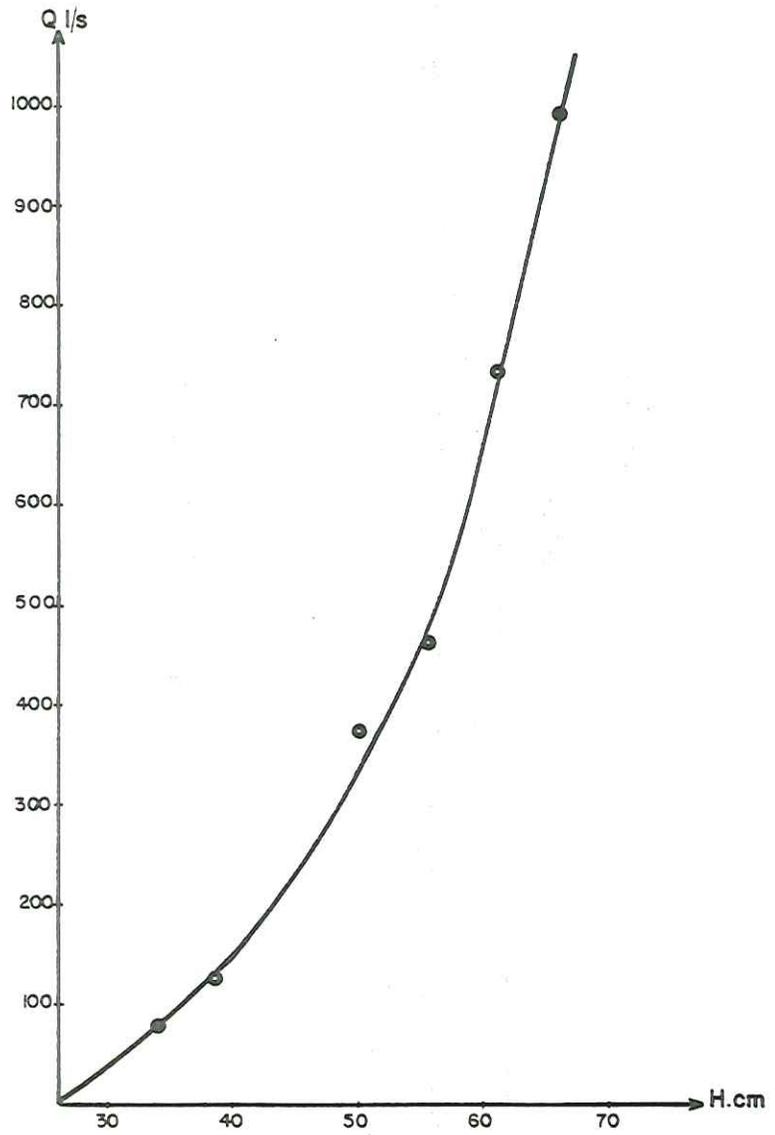


Fig.n°41 Courbe de tarage de la station du Pin sur le CHANTABOT.

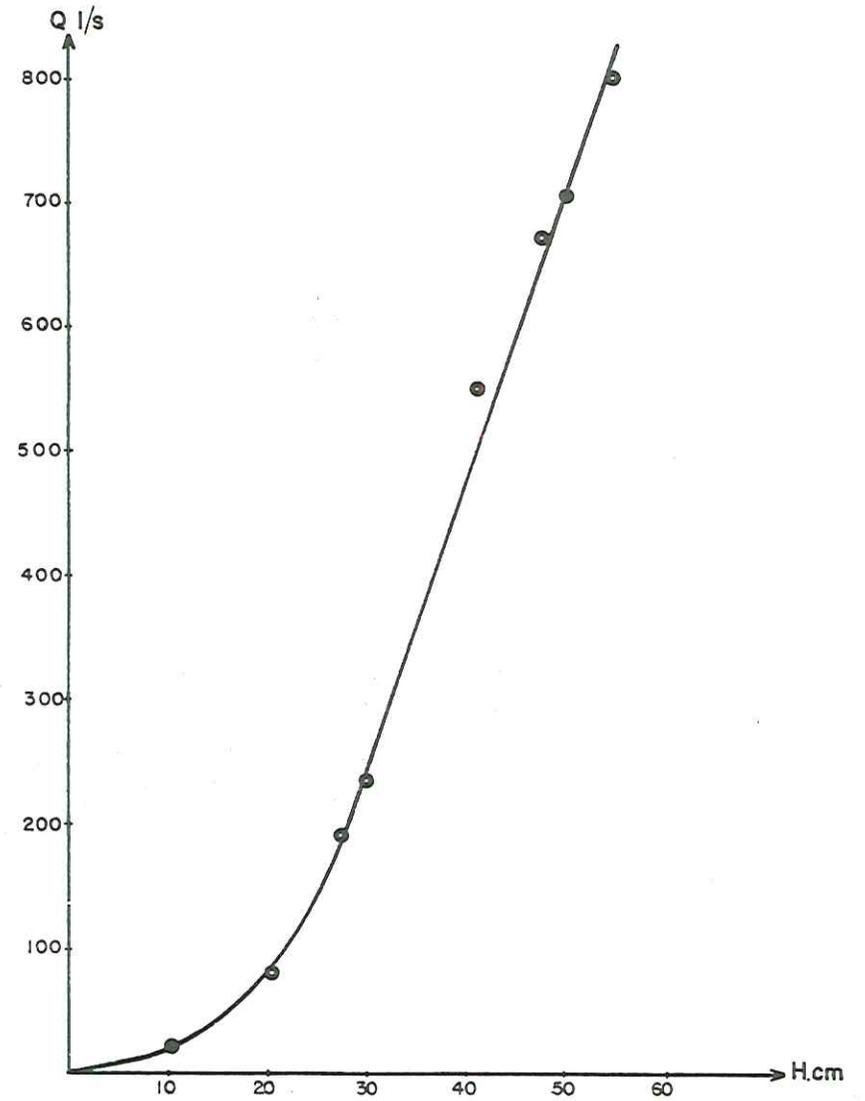


Fig.n°40 Courbe de tarage de la station de Paladru sur le COURBON.

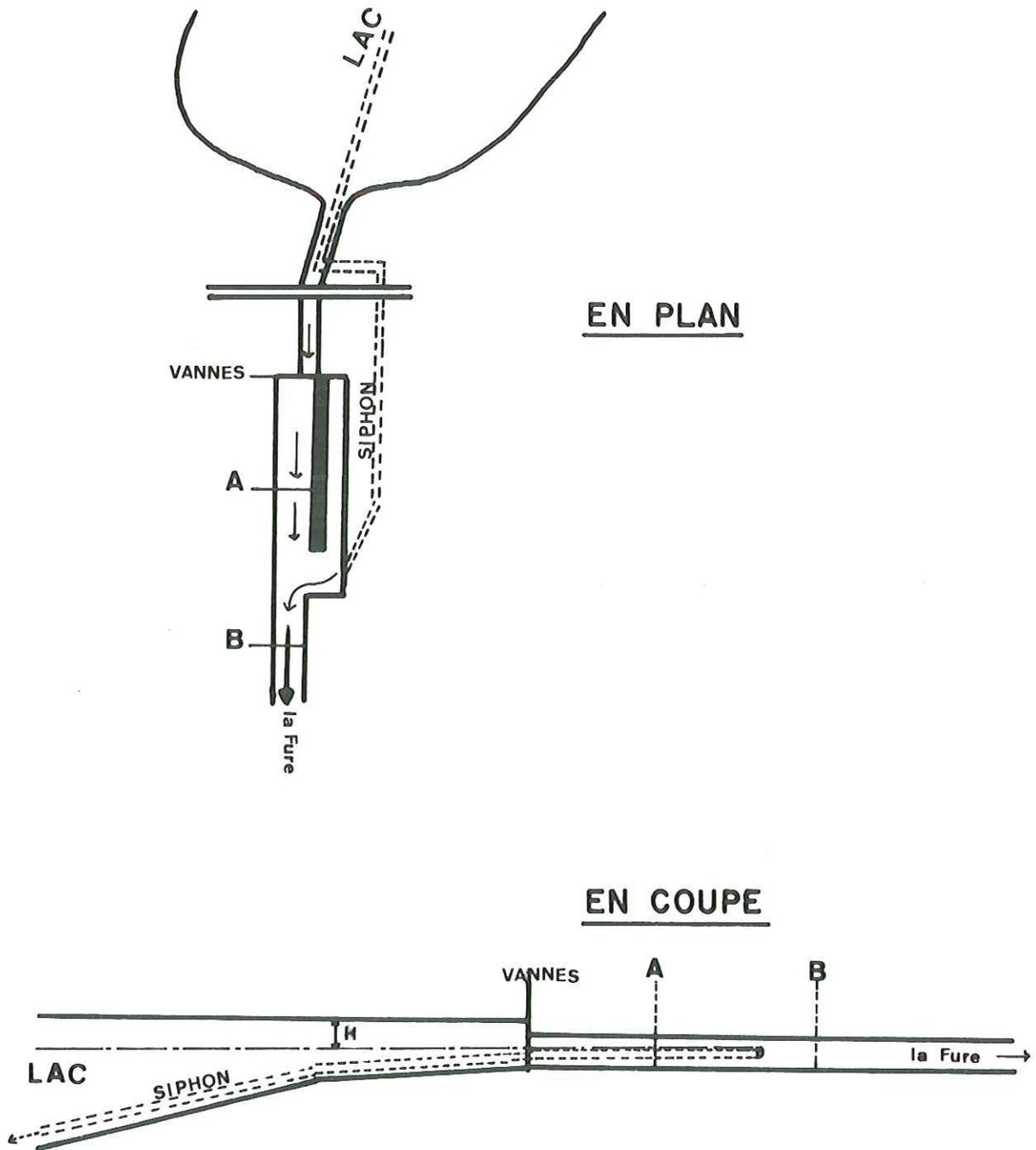


Fig. n°42 Schéma du dispositif d'épuration du lac de PALADRU.

$Q_V$  = débit vannes ( l/s );  $Q_A$  = débit en A ( l/s );  $Q_B$  = débit en B ( l/s );  
 $Q_S$  = débit siphon ( l/s ); h = niveau du lac/à un point fixe (m)

Date	$Q_V$	$Q_A$	$Q_B$	$Q_S = Q_B - Q_A$	h
27/10/78	400	370	555	185	- 1,64
14/11/78	400	320	370	50	- 1,80
8/02/79	500	485	717	232	- 1,20
27/03/79	500	530	780	250	- 0,50
14/04/79	700	662	910	248	- 0,12
12/06/79	950	915	1175	260	- 0,32

Tableau n°15 : Résultats des jaugeages du siphon

A partir des deux dernières colonnes du tableau n°15 on trace la courbe de tarage du siphon, donnant son débit en fonction du niveau du lac. On voit que le débit maximal est de 250 l/s ( fig. n°43 ).

Ainsi en additionnant le débit des vannes et le débit du siphon on obtient le débit total de la Fure à la sortie du lac. Le ruissellement quotidien, mensuel et annuel est donc calculé avec précision.

#### II-4- STATION DE L'AINAN A L'ARSENAL ( Chirens )

Le tarage de cette station, effectué au micromoulinet, a donné la courbe hauteur - débit représentée sur la figure n°44 .

### III - DEBITMETRIE

#### III-1- DEBITS MOYENS MENSUELS ET ANNUELS , DEBITS SPECIFIQUES

L'établissement des courbes de tarage permet de connaître les débits journaliers. A partir de ceux-ci on calcule les débits moyens mensuels et annuels et les débits spécifiques pour chaque station.

##### III-1-1- Station du Courbon

Résultats -

	1978		Valeurs mensuelles 1979										Valeurs annuelles	
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	brutes	corrigées
Débits moy. en l/s	21	19,9	230	479	425	392	272	123	51	39	30	71	179	193
Débits spéc. en l/s/km <sup>2</sup>	1,6	1,5	17,8	37,1	32,9	30,4	21,1	9,5	4,0	3,0	2,3	5,5	13,9	15

Tableau n°16 : Débits moyens et débits spécifiques du Courbon

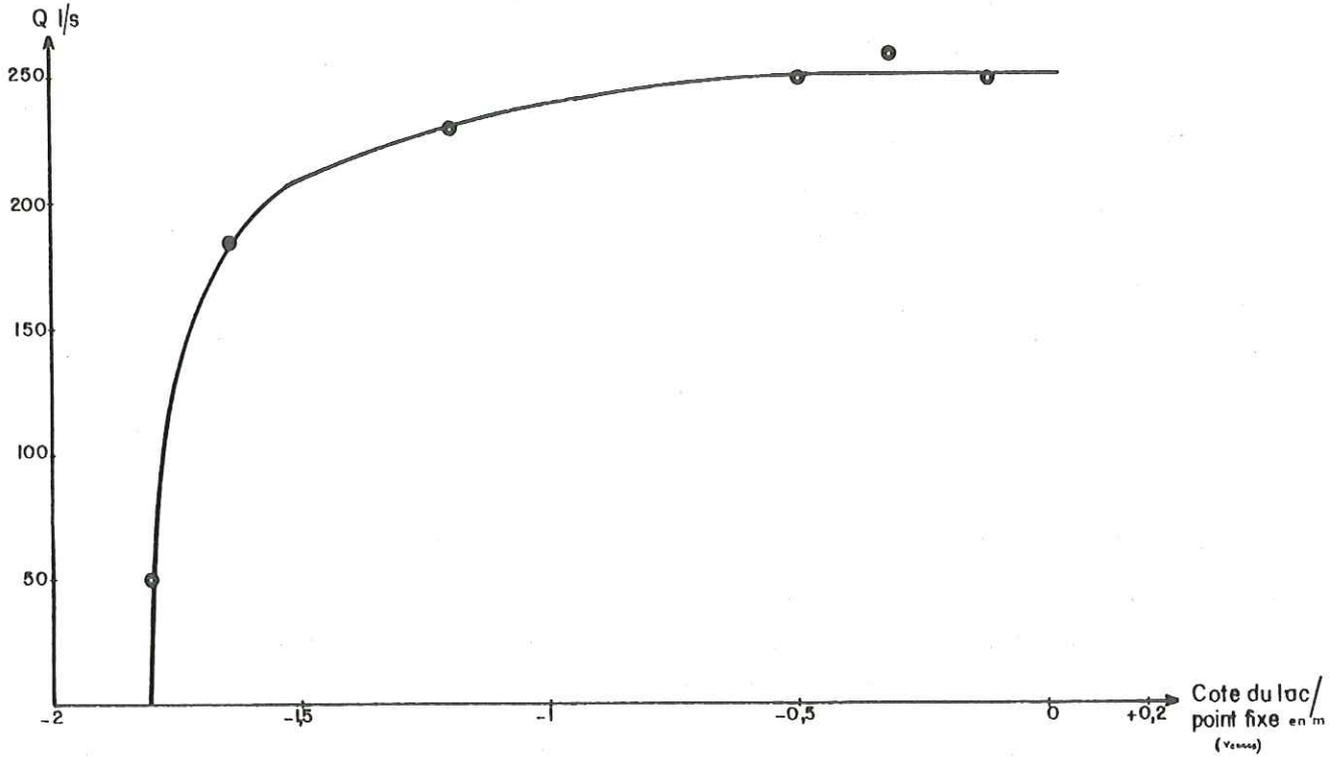


Fig.n°43 Tarage du siphon du lac de Paladru en fonction de la cote du plan d'eau.

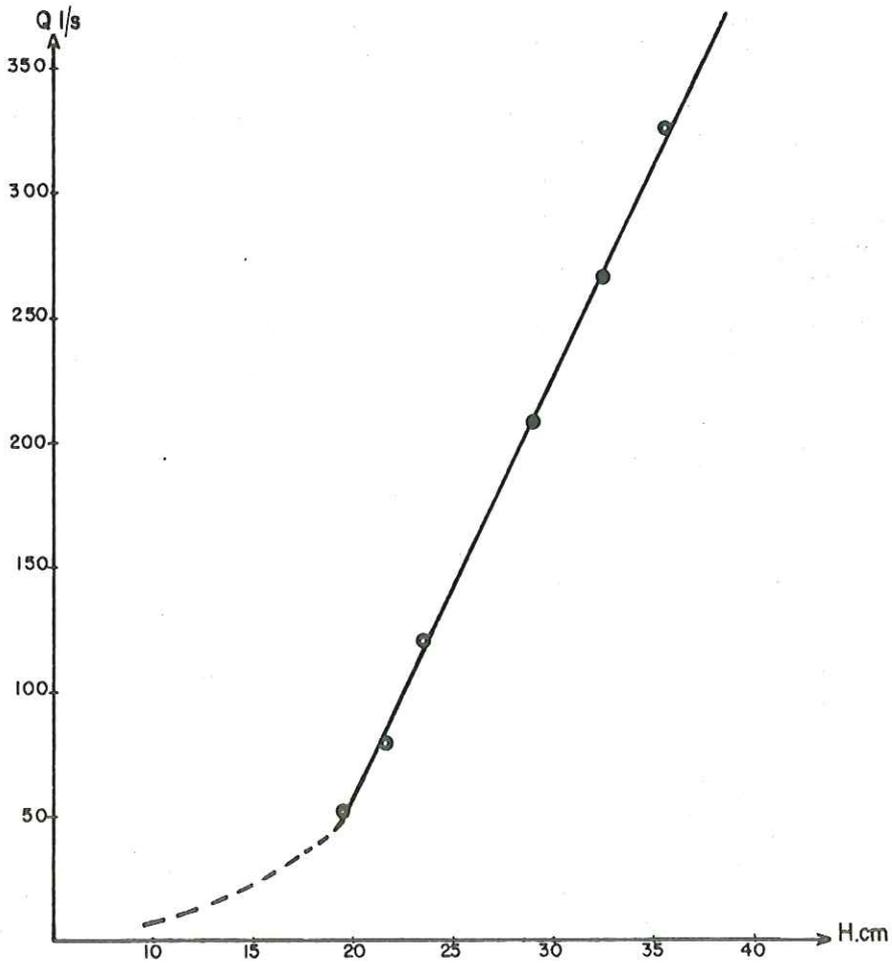


Fig.n°44 Courbe de tarage de la station de l'Arsenal sur l'AINAN.

Les valeurs annuelles brutes sont les débits moyens et débits spécifiques mesurés et calculés. Les valeurs annuelles corrigées représentent les mêmes débits auxquels on ajoute le débit prélevé à la station de pompage de Paladru par le syndicat des Abrets. On estime en effet qu'une grande partie de cette eau qui sort du bassin versant est soustraite au ruissellement. Le débit moyen extrait est de 14 l/s, ce qui représente une lame d'eau de 34 mm répartie sur le bassin.

Les débits des deux premiers mois sont très faibles. Les précipitations de novembre ( 20 mm ) ainsi que la sècheresse des mois précédents en sont responsables. Les pluies de décembre ( 110 mm ) n'entraînent pas une augmentation du ruissellement. Elles sont absorbées par le sol desséché et servent d'abord à reconstituer la réserve d'humidité. Ce n'est qu'en janvier que les débits deviennent importants.

Les écarts considérables entre les maximums et les minimums traduisent de faibles réserves souterraines au dessus des sources alimentant la rivière.

Le débit spécifique annuel ( 15 l/s/km<sup>2</sup> ) est un peu plus faible que sur les bassins versants du Chantabot et du lac de Paladru comme nous allons le voir. Il peut suggérer des circulations souterraines vers l'extérieur du bassin avec en particulier un déversement, dans le lac, de la nappe de la plaine alluviale.

III-1-2- Station du Chantabot

mois	Valeurs mensuelles												Valeurs annuelles
	1978		1979										
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	
Débits moyens en l/s	80	81	240	447	434	421	273	184	94	97	72	205	219
Débits spéci. en l/s/km <sup>2</sup>	5,6	5,7	16,9	31,5	30,6	29,6	19,2	13,0	6,6	6,8	5,1	14,4	15,4

Tableau n°17 : Débits moyens et débits spécifiques du Chantabot

Dans la mesure où les débits sont artificiels, les valeurs mensuelles sont moins significatives. Cependant on retrouve comme pour le Courbon les valeurs assez faibles de novembre et décembre mais dans une moindre proportion, ce qui traduirait des réserves souterraines plus conséquentes que précédemment. Le débit spécifique plus élevé révèle un ruissellement plus important. En corollaire, les circulations souterraines vers l'extérieur du bassin versant sont, proportionnellement à la surface, moins importantes que pour le bassin du Courbon.

III-1-3- Station de la Fure

Résultats : tableau n°18 page suivante.

Les valeurs annuelles corrigées tiennent compte du débit de 14 l/s prélevé par le syndicat des Abrets dans la plaine de Paladru. Il représente une lame d'eau de 10 mm répartie sur tout le bassin.

Le débit moyen, en octobre 1979, correspond au débit écoulé et mesuré à l'exutoire du lac plus le débit fictif représentant la variation du volume d'eau contenu dans le lac entre le début et la fin de l'année hydrologique. Le volume d'eau du lac est contrôlé artificiellement ( Vannes ). Ainsi, cette opération permet de calculer un débit spécifique annuel réel qui n'est pas faussé par les variations artificielles du volume d'eau du lac.

$$\begin{array}{rcl}
 V = 446400 \text{ m}^3 & + & Q \text{ fictif} = 166 \text{ l/s} \\
 & & Q \text{ écoulé} = 574 \text{ l/s} \\
 \hline
 & & Q_{\text{total}} \text{ octobre} = 740 \text{ l/s}
 \end{array}$$

Mois	Valeurs mensuelles												Valeurs annuelles	
	1978		1979											
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	brut.	corr.
Débits moyens en l/s	420	320	492	710	752	950	950	933	823	727	698	740	710	724
Débits spécif. en l/s/km <sup>2</sup>	9,3	7,1	10,9	15,8	16,7	21,1	21,1	20,7	18,3	16,2	15,5	16,1	15,8	16,1

Tableau n°18 Débits moyens et débits spécifiques de la Fure à Charavines

III-1-4- Comparaison des valeurs annuelles des trois stations du bassin versant du lac de Paladru

Tableau récapitulatif

	Q moyen l/s	Q spécifique en l/s/km <sup>2</sup>
Ss. BV du Courbon	193	15
Ss. BV du Chantabot	219	15,4
BV du lac de Paladru	724	16,1

- Apport ruisselé moyen des deux sous bassins du Courbon et du Chantabot = 193 + 219 = 412 l/s
- Ecoulement ruisselé moyen du bassin versant du lac de Paladru = 724 l/s

$$\Delta = 724 - 412 = 312 \text{ l/s}$$

"Les 312 l/s" représentent les apports au lac autres que les apports ruisselés du Courbon et du Chantabot.

Ils sont assurés par :

- le ruissellement sur les collines entourant le lac proprement dit;
- les sources sous-lacustres drainant ces mêmes collines;
- l'écoulement souterrain possible de la vallée du Pin vers le lac;
- l'écoulement souterrain probable de la nappe de la plaine de Paladru dans le lac;
- les précipitations tombées sur la surface du lac.

III-1-5- Station de l'Ainan

Résultats

Mois	1978		1979										Val. annuelles	
	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	brut.	corrig.
	60	59	119	214	260	294	247	157	64	61	42	106	140	155
Débits spécif. en l/s/km <sup>2</sup>	5	5	10	18	21,8	24,7	20,8	13,2	5,4	5,1	3,5	8,9	11,8	13,0

Tableau n°19 : Débits moyens et débits spécifiques de l'Ainan

- Remarques :
- 1 - une grande partie des débits de novembre était inconnue. On a effectué une estimation de ceux-ci à partir d'une corrélation linéaire des valeurs mensuelles de cette station et de celle du Pin ( fig. n°45 ). La droite de régression a pour équation :  $Y = 0,58 x + 14,26$  et  $r = 0,92$
  - 2 - On distingue pour les valeurs annuelles :
    - les valeurs brutes qui sont réellement liées à la station de l'Arsenal;
    - les valeurs corrigées qui tiennent compte des prélèvements par pompage de la ville de Voiron en tête du marais de Chirens. La figure n°46 représente un enregistrement des hauteurs d'eau de l'Ainan à l'Arsenal. Quotidiennement, les prélèvements se repercutent sur les hauteurs d'eau, donc sur les débits de l'Ainan. Il existe deux sources près de la station de pompage. Ce sont des exutoires de la nappe du marais, laquelle contribue à l'alimentation de l'Ainan. A chaque pompage, le cône de rabattement atteint les sources qui tarissent. On peut estimer que la totalité du volume d'eau pompé est soustraite artificiellement au ruissellement. Pour l'année hydrologique 1978,1979, le débit de pompage est de 15 l/s. Il représente un déficit de ruissellement qu'on ajoute au débit mesuré à la station de l'Arsenal. Le débit moyen de l'Ainan sera de :  $140 + 15 = 155$  l/s. C'est cette valeur de ruissellement qui est prise en compte pour établir le bilan hydrologique du bassin versant.

Le tableau des résultats montre que les étiages de l'Ainan ne sont pas aussi sévères que ceux du Courbon. Les débits maximums par contre, sont plus faibles.

Le débit spécifique de 13 l/s/km<sup>2</sup> est le plus faible des 4 bassins et sous bassins étudiés. On en conclut que l'infiltration est ici plus importante que sur les autres bassins.

III-1-6-Conclusion

La figure n°47 donne une représentation graphique des débits moyens mensuels des quatre cours d'eau. Le ruissellement est maximal en février, mars et avril sauf pour la Fure où le débit est commandé par vannes, (décalage artificiel du maximum ).

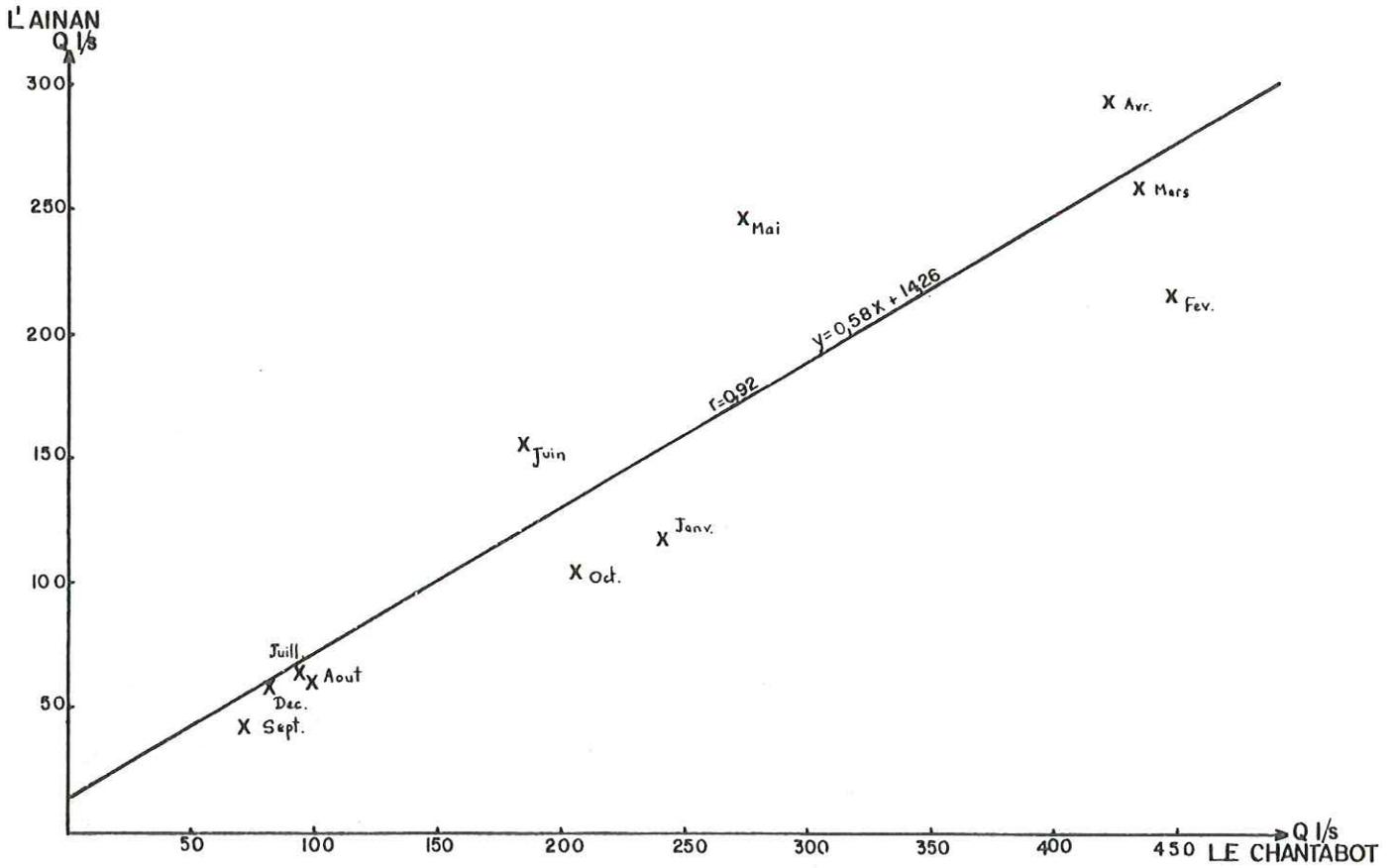


Fig.n°45 Corrélation entre les débits de l'Ainan et du Chantabot.

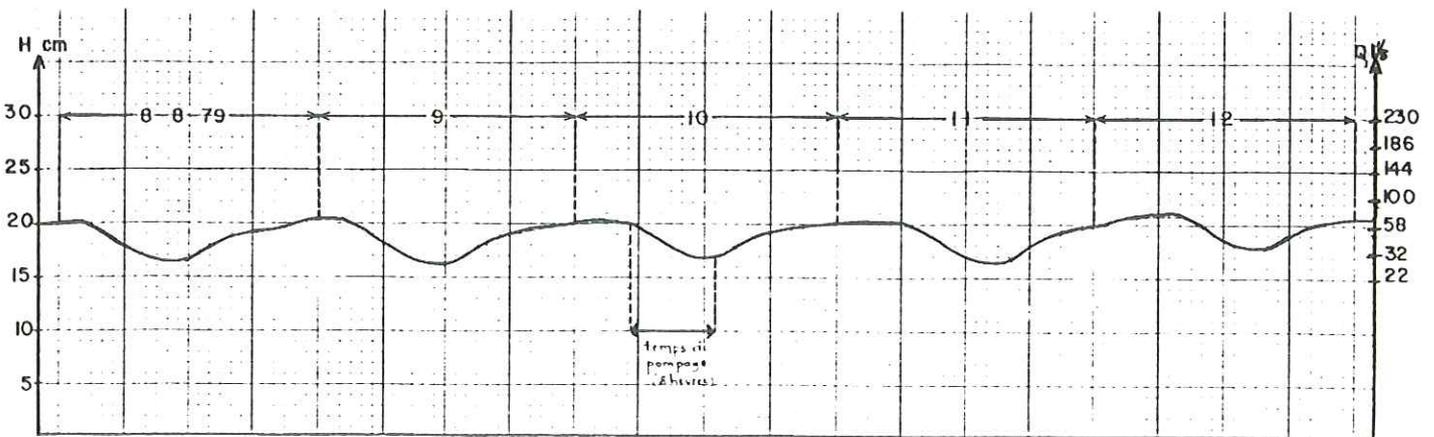


Fig.n°46 Influence des pompes de la ville de Voiron sur le débit de l'Ainan.

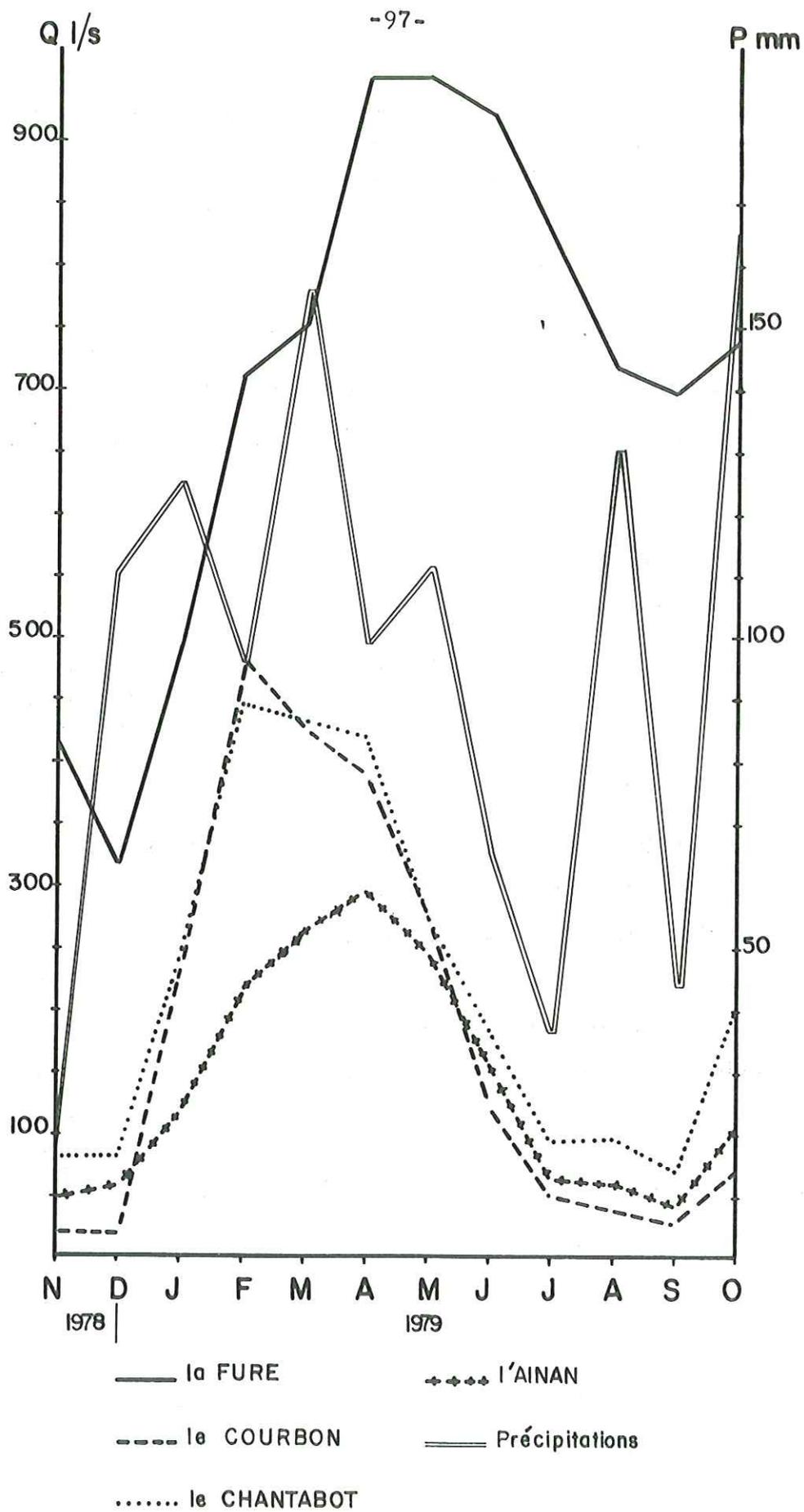


Fig. n°47 Représentation graphique des débits moyens mensuels des cours d'eau.

Les bassins versants du Courbon, du Chantabot et de l'Ainan dont les surfaces sont équivalentes, présentent un comportement hydrologique comparable bien que celui de l'Ainan se distingue par un ruissellement moindre justement en février, mars et avril, période où l'évapotranspiration est faible. L'infiltration, pendant ces trois mois, est plus importante sur ce dernier bassin que sur les deux premiers. Elle participe à la recharge des nappes souterraines, qui en étiage, assurent à l'Ainan un débit égal à celui des deux autres cours d'eau.

Le débit spécifique du bassin versant de l'Ainan (  $13 \text{ l/s/km}^2$  ) est inférieur à celui du bassin versant du lac de Paladru (  $16,1 \text{ l/s/km}^2$  ). Des circulations souterraines vers l'extérieur du bassin versant de l'Ainan sont à envisager.

### III-2- DEBITS CARACTERISTIQUES

L'étude des débits caractéristiques n'est réalisée que sur le Courbon et l'Ainan. La Fure et le Chantabot sont régularisés par vannes. En conséquence la courbe des débits classés n'a plus de signification pour chacun d'eux. Nous avons donc classé les débits moyens journaliers par valeurs décroissantes pour les deux premiers cours d'eau ( fig. n°47 et n°48 ).

Des courbes obtenues on tire :

- $DC_{10}$  = débit dépassé 10 jours par an = débit caractéristique maximum;
- $DC_{30}$  = débit dépassé 1 mois par an;
- $DC_{90}$  = débit dépassé 3 mois par an;
- $DC_{183}$  = débit dépassé 6 mois par an = débit caractéristique moyen;
- $DC_{273}$  = débit dépassé 9 mois par an;
- $DC_{355}$  = débit dépassé 355 jours par an = débit caractéristique d'étiage.

#### Résultats

Cours d'eau Débits caractéristiques	Courbon (Surf=12,9 km <sup>2</sup> )	Ainan (Surf=11,9 km <sup>2</sup> )
$DC_{10}$	670	333
$DC_{30}$	500	295
$DC_{90}$	290	220
$DC_{183}$	78	108
$DC_{273}$	28	50
$DC_{355}$	10	25

Tableau n°20 : Débits caractéristiques ( l/s ) du Courbon et de l'Ainan

Remarques : les débits caractéristiques de l'Ainan sont donnés par défaut. Il faut leur ajouter en moyenne 15 l/s pour tenir compte du pompage de la ville de Voiron.

Fig. n°48 Débits moyens journaliers, courbe des débits classés. LE COURBON.

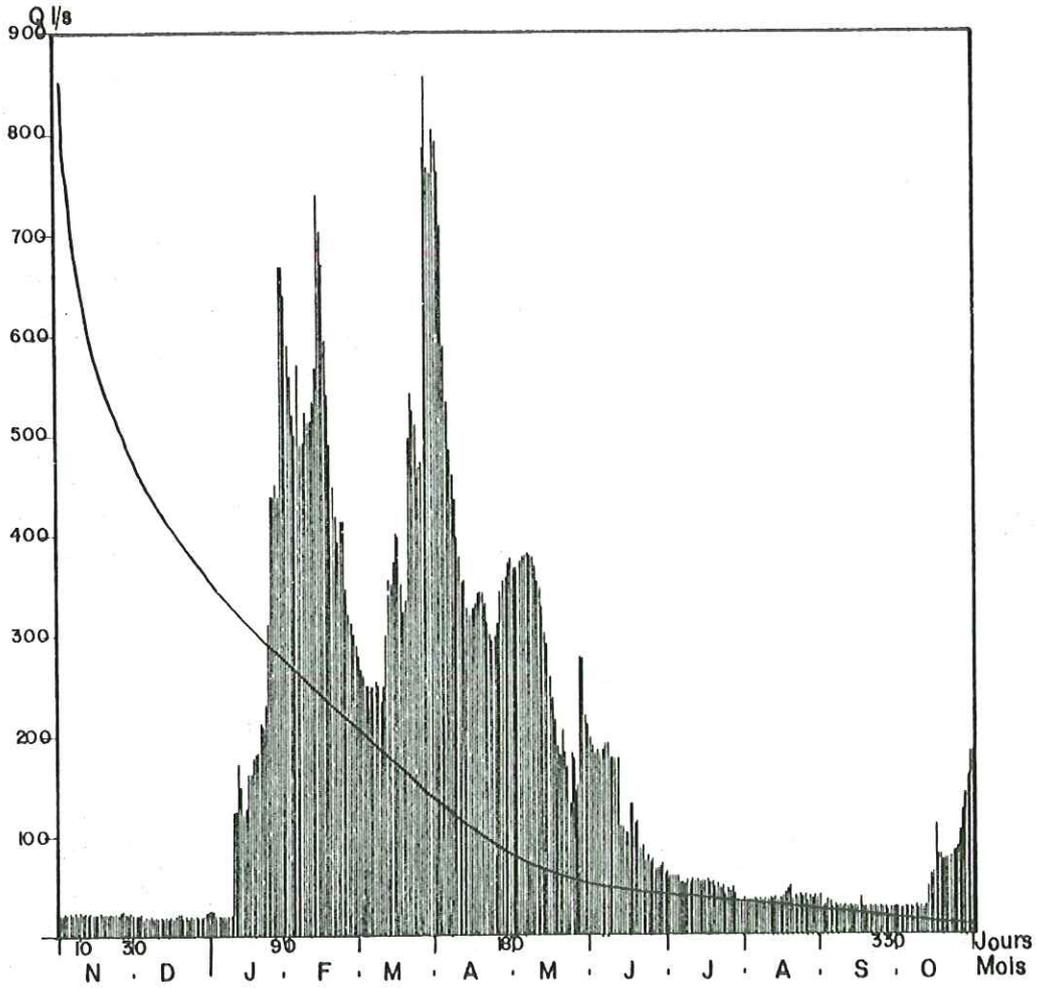
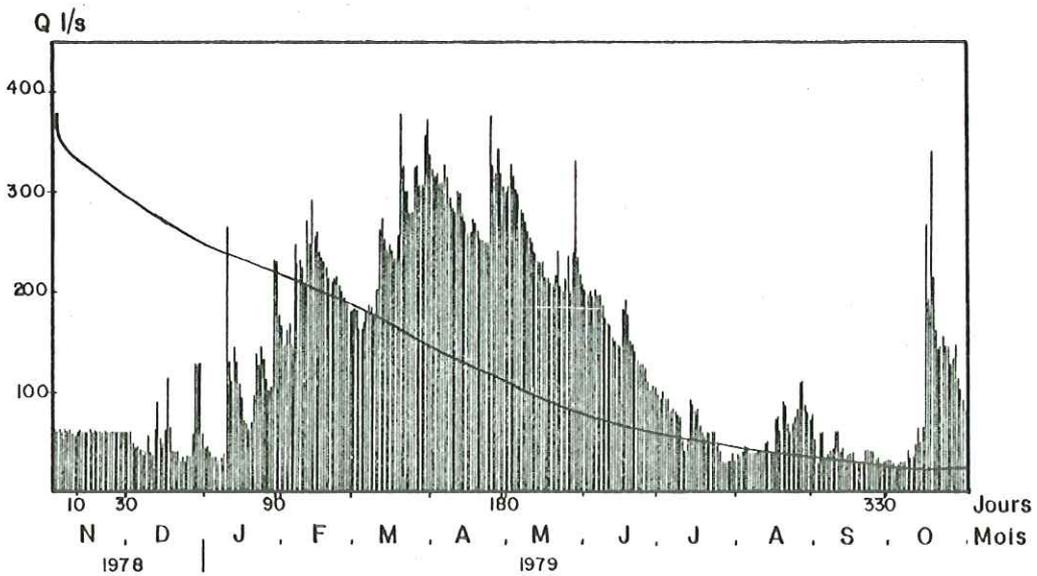


Fig. n°49 Débits moyens journaliers, courbe des débits classés. L'AINAN.



Pour les hautes eaux, les débits caractéristiques du Courbon sont supérieurs à ceux de l'Ainan. Par contre, en basses eaux c'est l'inverse. Ceci est conforme aux conclusions déjà exposées dans le paragraphe précédent ;

- l'infiltration et les réserves souterraines sur le bassin versant de l'Ainan sont plus importantes que sur le bassin versant du Courbon.

### III-3- LAMES D'EAU ECOULEES

Les résultats des calculs des débits spécifiques permettent d'exprimer la lame d'eau écoulée ainsi que le volume écoulé sur les différents sous-bassins et bassins versants étudiés. Ce sont ces valeurs des lames d'eau écoulées qui interviennent dans les bilans hydrologiques pour le terme " Ruissellement " = R

	Ss bassin versant du Courbon	Ss bassin versant du Chantabot	Bassin versant Lac Paladru	Bassin versant de l'Ainan
Lame d'eau écoulée en m	0,472	0,485	0,507	0,409
Volume écoulé en m <sup>3</sup>	6088800	6887000	22815000	4867100

Tableau n° 21 : Lames et volumes d'eau écoulés sur les bassins versants.

Ce tableau met en évidence le comportement hydrologique des bassins versants ; la différence d'environ 100 mm entre les lames d'eau écoulées sur les bassins versants du lac de Paladru et de la vallée de l'Ainan montre que des infiltrations et des écoulements souterrains profonds peuvent exister sur ce dernier. Cependant, il n'est pas exclu que des écoulements souterrains existent aussi sur le bassin versant du lac. Ils seront alors plus réduits en rapport avec la superficie du bassin.

## IV- ETUDE DES CRUES ET DES RESERVES SOUTERRAINES

### IV-1- METHODE

#### IV-1-1- Calcul du coefficient de tarissement

On étudie la fin de la courbe de décrue de l'hydrogramme ou courbe de tarissement. On détermine la loi de tarissement de la source ou encore la loi de vidange de la courbe aquifère qui alimente la rivière considérée à des époques données. La formule la plus fréquemment appliquée est celle qui admet la décroissance exponentielle du débit en fonction du temps en régime non influencé c'est à dire en l'absence de toute précipitation. Elle a pour expression :

$$Q_t = Q_0 e^{-at}$$

Cette équation de la courbe de tarissement est la formule de Maillet où :

$Q_0$  = débit à l'instant  $t = 0$

$Q_t$  = débit à l'instant  $t$

$e$  = base des logarithmes népériens

$\alpha$  = coefficient de tarissement

En coordonnées semi-logarithmiques cette expression est représentée par une droite dont la pente permet de calculer  $\alpha$ . Cependant la manière la plus précise de calculer  $\alpha$  est d'utiliser la formule de Maillet sous forme logarithmique :

$$\lg Q_t = \lg Q_0 - (0,4343 \alpha) t$$

Le coefficient de tarissement  $\alpha$  est fonction directe de la perméabilité de l'aquifère. Il est aussi inversement proportionnel à sa dimension.

#### IV-1-2- Calcul du volume d'eau emmagasiné

L'intégrale de la formule de Maillet permet de connaître le volume d'eau emmagasiné à l'instant  $t_0$  dans la couche aquifère alimentant le débit de tarissement.

$$W = \int_0^{t_0} Q_0 e^{-\alpha t} dt$$

d'où l'on tire

$$W = \frac{Q_0}{\alpha}$$

Rappelons que  $W$  ne représente que le volume d'eau stockée au dessus du niveau de l'exutoire de l'aquifère et ceci après une averse donnée.

#### IV-2- APPLICATION AUX BASSINS VERSANTS DU COURBON ET DE L'AINAN

Sur notre terrain, le calcul du coefficient de tarissement  $\alpha$  et du volume d'eau emmagasiné n'est possible qu'à partir des courbes de tarissement du Courbon et de l'Ainan. En effet les crues du Chantabot et de la Fure sont amorties dans les étangs du Moulin pour le premier cours d'eau et dans le lac de Paladru pour le second. De plus, leur débit est commandé par vannes. Les événements crues et décrues sont artificiels et donc inexploitable.

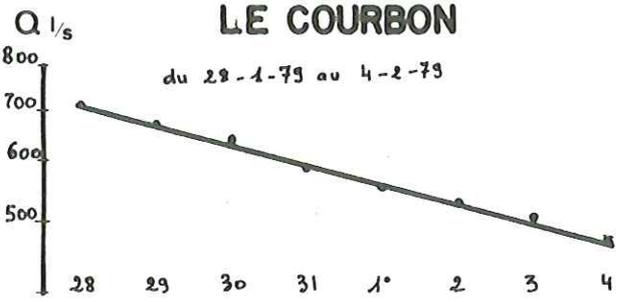
La figure n°50 donne les courbes de tarissement étudiées sur le Courbon et l'Ainan.

Le tableau n°22 indique les coefficients de tarissement et volumes d'emmagasinement correspondants.

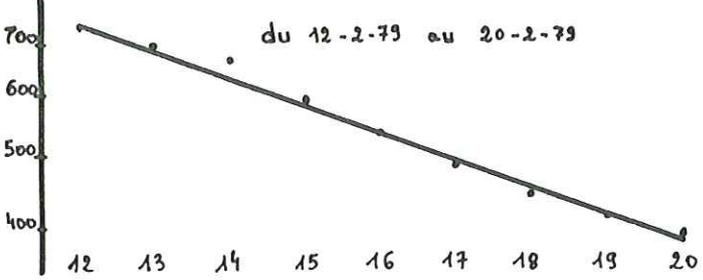
L'emmagasinement dont nous donnons quelques valeurs, s'effectue dans les nappes superficielles suivantes :

### LE COURBON

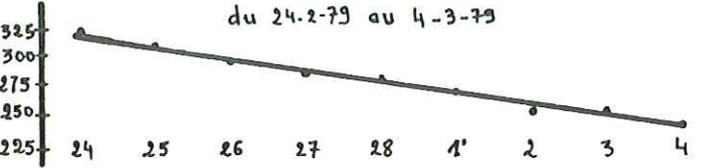
du 28-1-79 au 4-2-79



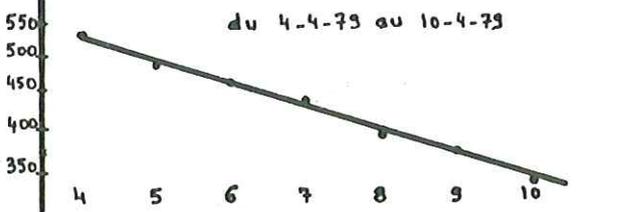
du 12-2-79 au 20-2-79



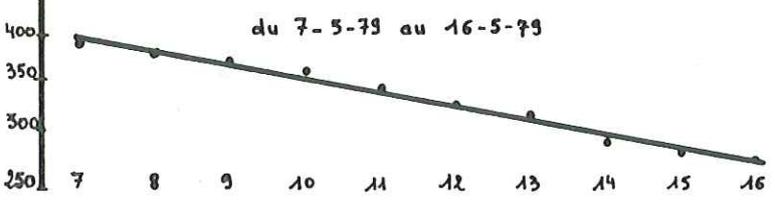
du 24-2-79 au 4-3-79



du 4-4-79 au 10-4-79



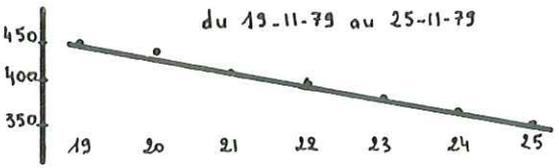
du 7-5-79 au 16-5-79



du 29-5-79 au 3-6-79

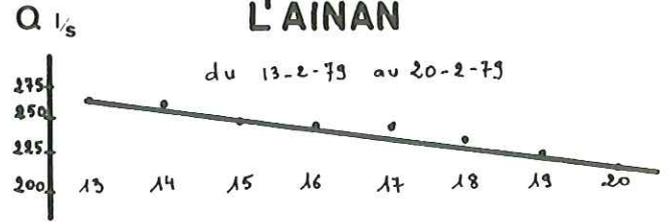


du 19-11-79 au 25-11-79

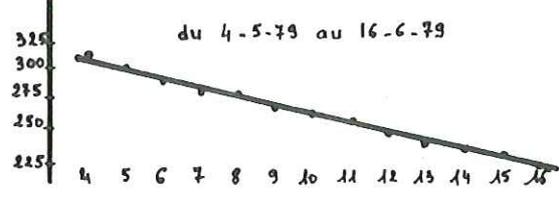


### L'AINAN

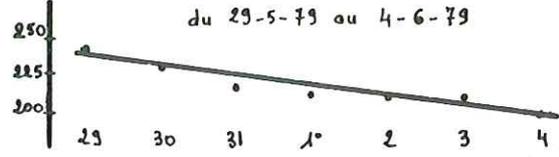
du 13-2-79 au 20-2-79



du 4-5-79 au 16-6-79



du 29-5-79 au 4-6-79



du 19-10-79 au 23-10-79

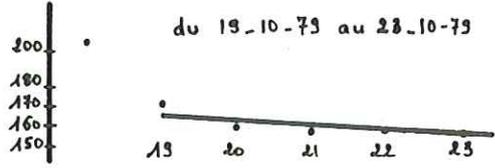


Fig. n°50 Courbes de tarissement.  
(AINAN et COURBON)

- Pour l'Ainan . Nappe de la vallée du Fagot ( Source des Piconnieres, source du Cabanon );
- . Nappe de l'amphithéâtre morainique ( Source des Barraux );
- . Nappe du marais de Chirens ( Source de la station de pompage et sources diffuses le long de l'Ainan ).
  
- Pour le Courbon . Nappe de la plaine de Saint-Pierre de Paladru
- . Nappes des placages quaternaires tapissant les versants molassiques.

COURBON				AINAN			
Date des décrues		$\alpha$	V en m <sup>3</sup>	Date des décrues		$\alpha$	V en m <sup>3</sup>
28.01.79	04.02.79	0,061	1 008472	13.02.79	20.02.79	0,030	757 440
12.02.79	20.02.79	0,079	804 942	04.05.79	15.05.79	0,027	985 600
24.02.79	04.03.79	0,034	808 094	29.05.79	04.06.79	0,030	691 200
04.04.79	10.04.79	0,071	637 656	18.10.79	21.10.79	0,019	759 410
07.05.79	16.05.79	0,042	812 571				
29.05.79	03.06.79	0,042	452 571				
19.11.79	25.11.79	0,041	948 293				

Tableau n°22 : Coefficients de tarissement et volumes d'eau emmagasinés

Le coefficient de tarissement  $\alpha$  varie entre 0,04 et 0,07 pour le Courbon et de 0,02 à 0,03 pour l'Ainan. Si les volumes stockés au dessus des exutoires des sources alimentant les rivières sont comparables, il n'en est pas de même de la perméabilité des aquifères.

K des aquifères superficiels du Courbon > K des aquifères superficiels de l'Ainan.

Ceci se traduit par des débits de début de tarissement  $Q_0$  beaucoup plus élevés sur le Courbon que sur l'Ainan. La vidange des aquifères du Courbon est plus rapide que celle des aquifères de l'Ainan comme en témoignent les étiages très prononcés du premier cours d'eau par rapport au second.

Les crues sur le Courbon sont plus nombreuses que sur l'Ainan. On y voit deux causes qui sont d'ailleurs liées :

1- Sur le bassin versant de l'Ainan, le volume du réservoir est plus important. Les débits aux exutoires des nappes sont régularisés et les crues sont amorties.

2- Sur le bassin versant le l'Ainan, une partie des eaux s'infiltré profondément et échappe en conséquence aux réserves superficielles alimentant la rivière. Par rapport au Courbon il y a là un déficit d'écoulement de surface qui entraîne des crues moins fréquentes.

## CONCLUSION A L'ETUDE DU RUISSELLEMENT

L'hydrologie de surface a permis de calculer les lames d'eau écoulées sur les différents bassins versants ainsi que les débits spécifiques correspondants :

- Sous bassin versant du Courbon :  $R = 472 \text{ mm}$  ,  $Q_s = 15 \text{ l/s/km}^2$
- Sous bassin versant du Chantabot :  $R = 485 \text{ mm}$  ,  $Q_s = 15,4 \text{ l/s/km}^2$
- Bassin versant du lac de Paladru :  $R = 507 \text{ mm}$  ,  $Q_s = 16,1 \text{ l/s/km}^2$
- Bassin versant de l'Ainan :  $R = 409 \text{ mm}$  ,  $Q_s = 13 \text{ l/s/km}^2$

Pour des précipitations égales, un déficit de ruissellement relatif apparait assez nettement sur le bassin versant de l'Ainan. Il s'explique par une infiltration profonde plus importante que sur les autres bassins. Des écoulements souterrains vers l'extérieur du bassin versant sont très probables.

Les crues moins fréquentes sur l'Ainan que sur le Courbon confirmeraient l'existence de cette infiltration profonde.

CHAPITRE V

=====

BILANS D'EAU ET SOUS - ECOULEMENTS

-----

I - LES BILANS D'EAU

II - LOCALISATION ET SENS DES SOUS - ECOULEMENTS

## INTRODUCTION

Les études hydroclimatiques et de l'hydrologie de surface vont maintenant permettre d'approcher les bilans d'eau des différents bassins versants. L'établissement de ces bilans fera l'objet de la première partie de ce chapitre. La seconde partie quant à elle, sera consacrée à la précision des zones et des sens des sous-écoulements possibles vers l'extérieur des bassins. On s'appuiera pour cela sur nos connaissances acquises sur la géologie générale de la région et sur les informations apportées par les bilans.

L'ensemble de ces démarches devrait nous conduire à la détermination du bassin d'alimentation de la nappe du sillon de la Fure.

### I - LES BILANS D'EAU

#### I-1- EXPRESSION D'UN BILAN

Un bilan d'eau a pour but de comptabiliser les apports et les pertes en eau d'une région délimitée. Son expression établit l'égalité entre les deux termes " entrées " et " sorties ".

Les apports ou entrées sont représentés par :

- P = précipitations;
- $Q_E$  = alimentations souterraines issues de l'extérieur du bassin;
- $R_1$  = réserves souterraines au début de la période considérée.

Les pertes ou sorties sont représentées par :

- Q = écoulement de surface;
- ETr = évapotranspiration réelle;
- C = prélèvements par captage s rtant du bassin versant;
- $Q_S$  = sous-écoulements vers l'extérieur du bassin versant;
- $R_2$  = réserves souterraines à la fin de la période d'étude.

La formule générale du bilan devient :

$$P + Q_E + R_1 = Q + ETr + C + Q_S + R_2 \quad (1)$$

Au cours de notre étude certains de ces éléments ont été définis, d'autres pas :

- éléments connus : P, Q, ETr, C
- éléments inconnus :  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $Q_E$ ,  $Q_S$

Sur des bassins versants assez grands on considère les variations de la valeur des réserves  $R_1 - R_2 = \Delta R$  nulle ou négligeable devant P et Q ( Castany, 1967 ). Si cette simplification est applicable au bassin versant du lac de Paladru, de par sa surface, elle l'est moins sur les autres bassins en raison de leur superficie réduite. Cependant faute d'une estimation précise des réserves au début et à la fin de l'étude on admettra que :

$$R_1 = R_2 \implies \Delta R = 0$$

Quelques observations ou calculs suggèrent cette égalité. Ce sont les cotes identiques du toit de la nappe du sillon de la Fure et les volumes d'eau emmagasinés sur les bassins du Courbon et de l'Ainan en début et fin d'étude. ( cf. Chapitre IV ).

L'expression du bilan s'écrit alors :

$$P + Q_E = Q + ETr + Q_S + C \quad (2)$$

En regroupant les deux éléments inconnus  $Q_S$  et  $Q_E$  on obtient :

$$Q_S - Q_E = P - ( Q + ETr + C ) \quad (3)$$

L'établissement d'un bilan permet donc de préciser la valeur du terme ( $Q_S - Q_E$ ). Si elle est positive, des sous-écoulements vers l'extérieur du bassin versant considéré sont envisageables. Si au contraire elle est négative ce sont des sous-éléments vers les bassins versants qui sont possibles.

Mais cependant, compte tenu de la précision des mesures sur P ( $\pm 5\%$ ), Q ( $\pm 5\%$ ), et ETr ( $\pm 10\%$ ), le terme ( $Q_S - Q_E$ ) ne sera significatif qu'au delà d'une certaine valeur qui, comme nous le verrons pour chaque bassin versant, dépasse une hauteur d'eau de 100 mm. Cela revient à dire que tout terme ( $Q_S - Q_E$ ) inférieur à la dite valeur ne pourra être interprété avec certitude comme représentant un sous-écoulement. Dans ce cas les résultats du bilan ne permettront pas à eux seuls d'affirmer l'existence ou non de fuites ou d'apports souterrains.

## I-2- APPLICATION AUX DIFFERENTS BASSINS VERSANTS

Un bilan d'eau est établi successivement pour les sous-bassins versants du Courbon et du Chantabot puis les bassins versants du lac de Paladru et de la haute vallée de l'Ainan.

### I-2-1- Sous-bassin versant du Courbon

Données : P = 1125 mm, Q = 472 mm, ETr = 550 mm; C = 0

Incertitude : i =  $\mp$  56mm i =  $\mp$  24 mm i =  $\mp$  55 mm

Incertitude absolue : I =  $\Sigma$  i =  $\pm$  135 mm

Nous rappelons que le terme Q tient compte de la lame d'eau

équivalente aux pompages du Syndicat des Abrets ( cf. Chapitre IV ). C est donc égal à zéro.

L'application de l'équation (3) donne :

$$Q_S - Q_E = 1125 - ( 472 + 550 + 0 )$$

$$Q_S - Q_E = 103 \text{ mm}$$

Le bassin est fermé d'une manière étanche à l'amont ( molasse imperméable ).  $Q_E$  est estimé nul, d'où :  $Q_S = 103 \text{ mm}$ .

Cette lame d'eau représenterait un débit souterrain de 42 l/s vers l'extérieur du sous-bassin, mais l'incertitude étant de  $\pm 55 \text{ l/s}$  le débit estimé n'est pas significatif.

#### I-2-2- Sous-bassin versant du Chantabot

Données :  $P = 1136 \text{ mm}$ ,  $Q = 485 \text{ mm}$ ,  $E_{Tr} = 550 \text{ mm}$ ,  $C = 0$   
Incertitude =  $i = - 57 \text{ mm}$ ,  $i = + 24 \text{ mm}$ ,  $i = 55 \text{ mm}$   
Incertitude absolue :  $I = \sum i = - 136 \text{ mm}$

L'eau pompée aux stations du Pin et de Valencogne ne sort pas du bassin-versant. Elle est restituée en totalité au bassin. Donc C sera égal à zéro dans le bilan.

L'application de l'équation (3) donne :

$$Q_S - Q_E = 1136 - ( 485 + 550 + 0 )$$

$$Q_S - Q_E = 101 \text{ mm}$$

Les seuls apports souterrains  $Q_E$  envisageables mais peu probables se feraient par la trouée d'Oyeu. S'ils existent c'est-à-dire si :

$$Q_E > 0 \Rightarrow Q_S > 101 \text{ mm}$$

Si  $Q_E = 0$ , l'écoulement souterrain vers l'extérieur du bassin serait égal à 45 l/s ( débit équivalent à une lame d'eau de 101 mm ). Mais là aussi on ne peut raisonner sur ce chiffre dans la mesure où il peut représenter le résultat des erreurs effectuées sur les mesures des différents termes du bilan. L'incertitude est en effet de  $\pm 61 \text{ l/s}$ .

#### I-2-3- Bassin versant du lac de Paladru

Données :  $P = 1142 \text{ mm}$ ,  $Q = 507 \text{ mm}$ ,  $E_{Tr} = 565 \text{ mm}$ ,  $C = 0$   
Incertitude :  $i = - 57 \text{ mm}$ ,  $i = + 25 \text{ mm}$ ,  $i = + 56 \text{ mm}$   
Incertitude absolue :  $I = \sum i = - 138 \text{ mm}$

Comme pour le bassin versant du Courbon, la lame d'eau équivalente au prélèvement de la station du Syndicat des Abrets a été ajoutée au débit de ruissellement Q. Le terme C est donc nul.

L'application de l'équation (3) donne :

$$Q_S - Q_E = 1142 - ( 507+565+0 )$$

$$Q_S - Q_E = 70 \text{ mm}$$

Le bassin versant du lac de Paladru est constitué par les sous-bassins du Courbon et du Chantabot plus la cuvette du lac proprement dite. En conséquence on peut admettre selon toute vraisemblance que  $Q_E$  est là aussi égal à zéro.

Les fuites vers l'extérieur du bassin versant du lac de Paladru équivaldraient à une lame d'eau de 70 mm soit un débit moyen de 100 l/s. Cependant la précision de cette évaluation est de  $\pm 197$  l/s ( débit équivalent à une lame d'eau de 138 mm ) si bien que les fuites mises en évidence par le calcul restent incertaines.

#### I-2-4- Bassin versant de la haute vallée de l'Ainan

Données :  $P = 1154$  mm,  $Q = 409$  mm,  $E_{Tr} = 550$  mm  $C = 0$   
Incertitude :  $i = \pm 58$  mm,  $i = \pm 20$  mm,  $i = \pm 55$  mm.  
Incertitude absolue :  $I = \sum i = \pm 133$  mm

Le débit extrait à la station de pompage de Voiron sort du bassin versant. Il est soustrait à l'écoulement de surface. Le terme  $Q$  de 409 mm tient compte de ce débit.  $C$  est égal à zéro.

L'application de l'équation (3) donne :

$$Q_S - Q_E = 1154 - ( 409 + 550 + 0 )$$

$$Q_S - Q_E = 195 \text{ mm}$$

$$\text{Si } Q_E > 0 \Rightarrow Q_S > 195 \text{ mm}$$

$$\text{Si } Q_E = 0 \Rightarrow Q_S = 195 \text{ mm}$$

Le sous écoulement vers l'extérieur du bassin versant de la haute vallée de l'Ainan pourrait dépasser l'équivalent d'une lame d'eau de 195 mm soit un débit moyen de 74 l/s. Le calcul d'erreur montre qu'ils sont au moins équivalents à une lame d'eau de :  $195-133 = 62$  mm soit un débit moyen de 23 l/s.

#### I-2-5- Conclusion

L'approche des bilans indique qu'il peut exister des sous-écoulements vers l'extérieur de chaque bassin versant. Toutefois, seul le bassin de la haute vallée de l'Ainan présente une lame d'eau excédentaire ( $Q_S - Q_E$ ) dont la valeur est supérieure à l'erreur absolue qui se rapporte aux mesures de  $P$ ,  $Q$  et  $E_{Tr}$ . En conséquence l'étude des bilans révèle avec certitude des écoulements, uniquement vers l'extérieur du bassin versant de la haute vallée l'Ainan. Les fuites sur les autres bassins équivalent à une lame d'eau qui n'est pas significative compte tenu de la précision des mesures. Elles restent du domaine hypothétique.

## II - LOCALISATION ET SENS DES SOUS-ÉCOULEMENTS

Les bilans ont permis de déterminer une valeur moyenne des fuites. Il convient maintenant de préciser les zones et le sens des sous-écoulements non décelés, certains ou hypothétiques. En confrontant les données géophysiques, géologiques et hydrologiques dont nous disposons on peut déduire un schéma des circulations souterraines les plus vraisemblables. Par la même occasion, on détermine les relations existant entre la nappe du sillon de la Fure et les bassins versants de l'Ainan et du lac de Paladru.

La molasse étant imperméable, les écoulements vers l'extérieur des bassins se feront au niveau des trouées du substratum lesquelles sont comblées par des sédiments quaternaires plus ou moins perméables.

### II-1- SUR LE BASSIN VERSANT DU LAC DE PALADRU

La géologie de surface montre que des sous-écoulements sont possibles en deux endroits là où la molasse n'affleure pas. Il s'agit de la trouée d'Oyeu d'une part et de la trouée de la Fure d'autre part.

#### II-1-1- La trouée d'Oyeu

Elle établit une liaison entre la tête de la vallée de la Bourbre et le bassin versant du lac de Paladru. Le forage F20 implanté au niveau de la section la plus étroite de la trouée apporte quelques renseignements sur son remplissage. Il a traversé 33,5 mètres d'alluvions pratiquement sèches avant d'atteindre des argiles et marnes bleues qui dans la région recouvrent habituellement la molasse. S'il en est ainsi à cet endroit, le forage montrerait qu'il n'y a pas d'écoulements souterrains par la trouée. Il faut cependant rester prudent car de part et d'autre du forage, il peut exister un surcreusement étroit qui soutirerait de l'eau au bassin versant du lac. Dans ce cas, sa profondeur serait proche de 100 mètres et des circulations profondes depuis le lac vers la dépression de la Bourbre et la plaine du Liers seraient possibles.

Pour vérifier cette hypothèse, une étude par prospection géophysique serait nécessaire, mais alors, compte tenu de l'épaisseur du remplissage quaternaire et du caractère étroit de l'éventuel surcreusement, l'obtention de résultats satisfaisants n'est pas assurée.

Quoiqu'il en soit, les données dont nous disposons sembleraient plutôt indiquer que des sous-écoulements par la trouée d'Oyeu sont improbables.

#### II-1-2- La trouée de la Fure

La disposition des affleurements de la molasse entre Charavines et le Guillermet ne laisse envisager la possibilité d'une communication entre la nappe du sillon de la Fure ( Guillermet - Bonpertuis ) et le bassin versant du lac de Paladru que par l'intermédiaire d'un véritable cañon.

La prospection géophysique que nous avons effectuée n'en a pas détecté, mais il faut dire que les investigations géophysiques ne sont pas péremptoires à ce sujet.

Par contre, au droit du cours actuel de la Fure, un surcreusement a été décelé : l = 60 m, prof. = 20 à 25 m. Son remplissage est très argileux. De ce fait, ce sillon ne peut être le siège de circulations souterraines importantes.

A partir de ces considérations, on est amené à conclure que si des fuites du bassin versant du lac par la trouée de la Fure existent, elles restent faibles. Cependant, il n'est pas exclu qu'un cañon non décelé au remplissage très grossier, laisse passer des débits non négligeables. Mais ni le bilan d'eau du bassin versant du lac ni l'étude géophysique ne permettent de confirmer d'une manière décisive cette hypothèse qui à notre avis est peu probable.

En ce qui concerne les sous-bassins versants du Courbon et du Chantabot, les sous-écoulements vers l'extérieur sont envisagés comme suit :

- sous bassin versant du Courbon, La nappe de la plaine de Paladru est limitée en amont par un substratum continu imperméable. Aussi, même en l'absence de piézomètres on peut supposer que son écoulement se fait vers l'aval et qu'ainsi elle se déverse dans la cuvette du lac.

- sous bassin versant du Chantabot, On a déjà vu que des fuites par la trouée d'Oyeu paraissaient improbables. Il reste alors à concevoir des écoulements profonds depuis la plaine du Pin vers le lac. Ils ne pourraient s'effectuer, vu les affleurements de molasse, qu'au niveau du débouché de la dépression du Pin-Valencogne sur celle du lac.

## II-2- SUR LE BASSIN DE LA HAUTE VALLEE DE L'AINAN

D'après la carte géologique, des sous-écoulements seraient possibles :

- 1°) par la vallée du Fagot vers Saint-Nicolas-de-Macherin;
- 2°) par la trouée de l'Arsenal vers l'aval de la vallée de l'Ainan;
- 3°) par la trouée de Chirens ( amphithéâtre morainique ) vers la vallée de la Fure.

- Les résultats de la prospection géophysique permettent d'éliminer la possibilité de fuites par la vallée du Fagot. En effet le petit surcreusement décelé qui suit le tracé de la vallée, va s'approfondissant depuis le col du Ronsset à l'Est vers Chirens-Le Fagot au Nord-Ouest. Il n'est donc pas favorable à un sous-écoulement vers l'extérieur du bassin.

- Au niveau de l'Arsenal, l'écoulement de la nappe superficielle du marais de Chirens vers l'aval de la vallée est très probable. Mais nous avons déjà mentionné que la perméabilité de l'aquifère, déjà faible à l'amont du marais, diminuait vers l'aval de la plaine. Pour cette raison, le débit du sous-écoulement de la nappe superficielle devrait être limité.

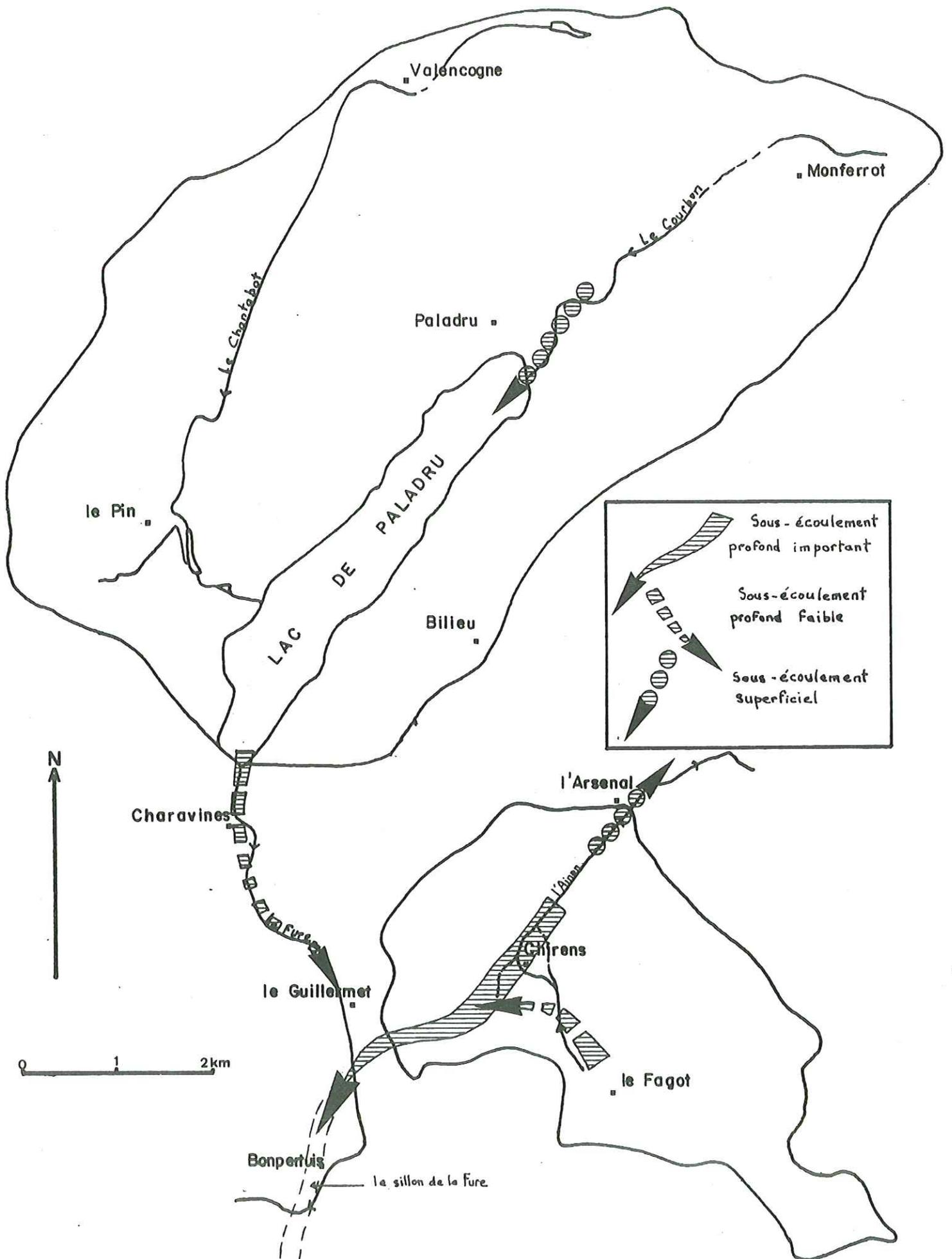


Fig.n°51 Circulations souterraines. Bassins versants du lac de Paladru et de la haute vallée de l'Ainan.

- La troisième zone de sous-écoulement serait celle de l'amphithéâtre morainique de Chirens. L'étude de la paléomorphologie molassique du secteur a révélé un surcreusement très profond ( max : 60 à 70 m ), penté vers le Sud-Ouest, depuis l'Arsenal vers les arcs morainiques. Certes aucun critère ne permet de dire que s'il y a sous écoulement à la faveur de ce surcreusement, il se fait dans le sens de la pente du substratum. Une batterie de piézomètres serait nécessaire pour contrôler la nappe et son sens d'écoulement. Mais l'existence de la nappe du sillon de la Fure ainsi que le bilan d'eau du bassin versant nous amènent à conclure que ces hypothèses sont très vraisemblables.

En effet le bilan met en évidence avec certitude des fuites souterraines au moins égales à un débit de 23 l/s. Un tel débit ne peut que transiter par un chenal important qui justement se dessine dans le secteur. Il doit rejoindre celui du Guillermet-Bonpertuis. La nappe du sillon de la Fure s'étendrait donc vers la haute vallée de l'Ainan. Rappelons que les cotes du fond de surcreusement s'accordent avec cette hypothèse : sous Chirens 400 m, au Guillermet 390 m et à Bonpertuis 380 m. D'autre part un débit de transit de la nappe du sillon de la Fure entre le Guillermet et Bonpertuis a été calculé en période de basses eaux. Ce débit établi à partir de  $K$  ( perméabilité )  $S$  ( section de la nappe ) et  $i$  ( gradient de la nappe ) était de l'ordre de 35 l/s. Il se compare favorablement avec le débit souterrain minimal de 23 l/s estimé à partir du bilan.

Même si l'on ne possède pas d'arguments décisifs comme pourraient l'être des observations piézométriques, on peut affirmer que des écoulements souterrains du bassin versant de la haute vallée de l'Ainan vers le sillon de la Fure existent. Le bassin d'alimentation de la nappe du sillon de la Fure serait donc essentiellement représenté par la haute vallée de l'Ainan.

#### CONCLUSION A L'ETUDE DES BILANS D'EAU ET DES SOUS ECOULEMENTS

Le schéma des sous-écoulements que nous proposons ( fig. n° 51 ) n'est que le résultat des interprétations des données hydrologiques et géophysiques. Il conviendrait de vérifier sa validité par des travaux de reconnaissance ( forages mécaniques, piézomètres ).

L'étude révèle que des écoulements profonds sont certains vers l'extérieur du bassin versant de la haute vallée de l'Ainan. Ils alimentent en partie la nappe du sillon de la Fure en empruntant le chenal qui passe sous l'amphithéâtre morainique de Chirens. Ce chenal représente la partie amont du sillon de la Fure. Le débit du sous écoulement est au moins de 23 l/s.

Sur le bassin versant du lac de Paladru, la précision des calculs sur les termes du bilan ne permet pas d'assurer qu'il existe ou au contraire qu'il n'existe pas de fuites vers l'extérieur, par les trouées d'Oyeu ou de la Fure. S'il y en a, les renseignements recueillis par la prospection géophysique et les forages mécaniques, indiquent à priori qu'elles sont faibles.

CHAPITRE VI

=====

ETUDE DES NAPPES

-----

- I - LES NAPPES DE PLANCHE-CATTIN ET DE LA  
HAUTE VALLEE DE L'AINAN
- II - LA NAPPE DU SILLON DE LA FURE

## INTRODUCTION

La Direction Départementale de l'Agriculture a dirigé depuis 1975 de nombreux travaux de reconnaissance dans la vallée de la Fure. Ils concernaient essentiellement l'étude de la nappe du sillon de la Fure. Ces travaux ont consisté en des forages mécaniques à partir desquels, des essais de pompage ont été exécutés sur la nappe alors atteinte. Les forages ont aussi permis des observations limnigraphiques puis des prélèvements d'échantillons d'eau sur lesquels des analyses chimiques et isotopiques furent effectuées.

Les différents moyens d'étude cités apportent des renseignements complémentaires et conduisent à une meilleure connaissance générale de la nappe profonde.

Les nappes de Planche-Cattin ( nappe d'accompagnement de la Fure ) et de la haute vallée de l'Ainan ont également été l'objet d'études comparables. C'est d'abord le cas de ces deux nappes que nous aborderons. On s'intéressera ensuite à la nappe profonde du sillon de la Fure.

### I - LES NAPPES DE PLANCHE-CATTIN ET DE LA HAUTE VALLEE DE L'AINAN

C'est assez brièvement que nous rapportons quelques données sur ces nappes. Leur étude n'était pas l'objet principal de notre travail.

Des travaux de reconnaissance récents (1977) pour la nappe de Planche-Cattin, plus anciens (1965) pour les nappes de l'Ainan fournissent des indications sur le comportement hydraulique de ces aquifères.

#### I-1- LA NAPPE DE PLANCHE CATTIN

Le renforcement de l'alimentation en eau du Syndicat Intercommunal des Eaux de la Région d'Apprieu a conduit la Direction Départementale de l'Agriculture à effectuer des recherches dans la vallée de la Fure à l'amont du lieu-dit Planche-Cattin. Après une prospection géophysique, un forage de reconnaissance ( F<sub>4</sub> ) a été implanté à 40 mètres en rive droite du cours de la Fure. Un puits de captage de 4 mètres de diamètre fut ensuite creusé à 10 mètres du forage. Tous deux ont rencontré une nappe captive dans les alluvions grossières sous 3,5 mètres d'argiles superficielles à gros blocs. Le niveau de la nappe est en moyenne à 2 mètres sous la surface du sol.

I-1-1- Extension et alimentation de la nappe ( fig. n°52 et n°53 )

A Bonpertuis, dans la vallée, les forages F<sub>6</sub> et F<sub>7</sub> de la nappe profonde du sillon n'ont pas rencontré de nappe d'accompagnement de la Fure. Elle ne se développe donc qu'à partir de la Ravignouse. La limite amont de la nappe s'explique par l'existence du sillon profond du Guillermet-Bonpertuis. A l'Est de la Ravignouse il y a drainage par le sillon qui recoupe la vallée. Ce drainage s'effectue au profit de la nappe profonde. Il interdit la présence d'une nappe d'accompagnement du cours d'eau. Par contre à l'aval de la Ravignouse le sillon à déjà abandonné la vallée; toute infiltration de la Fure participe à l'alimentation de la nappe superficielle puisqu'il n'y a plus de détournement par le sillon.

La nappe est limitée latéralement par les affleurements molassiques qui bordent la vallée de la Fure. Sa largeur n'excède pas 200 mètres. Au niveau du forage et du puits sa puissance ne dépasse pas 5 mètres. Le volume de l'aquifère est donc restreint.

Lors du fonçage du puits il a fallu pomper à plus de 400 m<sup>3</sup>/h pour dénoyer l'ouvrage c'est-à-dire pour épuiser la nappe. Le débit de transit est donc assez important et corrélativement l'alimentation l'est aussi.

Cette alimentation peut se faire par :

- l'infiltration directe des eaux de pluie;
- l'infiltration des eaux des sources qui drainent les terrasses d'Apprieu, on observe en effet qu'elles s'infiltrent dans la plaine alluviale et n'atteignent pas la Fure;
- un déversement probable dans l'aquifère des nappes des terrasses d'Apprieu;
- l'infiltration des eaux de ruissellement dans le lit de la Fure.

Il existe une bonne corrélation entre les résistivités de l'eau de la nappe et le débit moyen mensuel de la Fure ( fig. n°54 ). A des débits élevés correspondent des résistivités élevées et inversement. En conséquence il semble que l'alimentation de la nappe soit principalement représentée par les infiltrations des eaux de la Fure dont les résistivités varient de 3400  $\Omega$ .cm à 5 000  $\Omega$ .cm. La zone d'infiltration n'est pas précisée, mais il serait possible de la mettre en évidence par une prospection électrique dans la plaine de la Fure. Elle se situerait là, où il y a absence de niveaux argileux qui servent de mur imperméable au cours d'eau. L'étude piézométrique qui suit confirme l'alimentation principale par la Fure.

I-1-2- Piézométrie de la nappe

Les variations du niveau piézométrique enregistrées de janvier 1978 à juin 1979 sont données sur la figure n° 54 . On remarque que l'amplitude maximale des battements de la nappe est de 3,1 mètres. Elle est donc faible et elle traduit une alimentation permanente de l'aquifère qui est assurée par les eaux de la Fure. Le graphique des variations du niveau piézométrique et des variations du débit de la Fure montre que l'infiltration maximale est

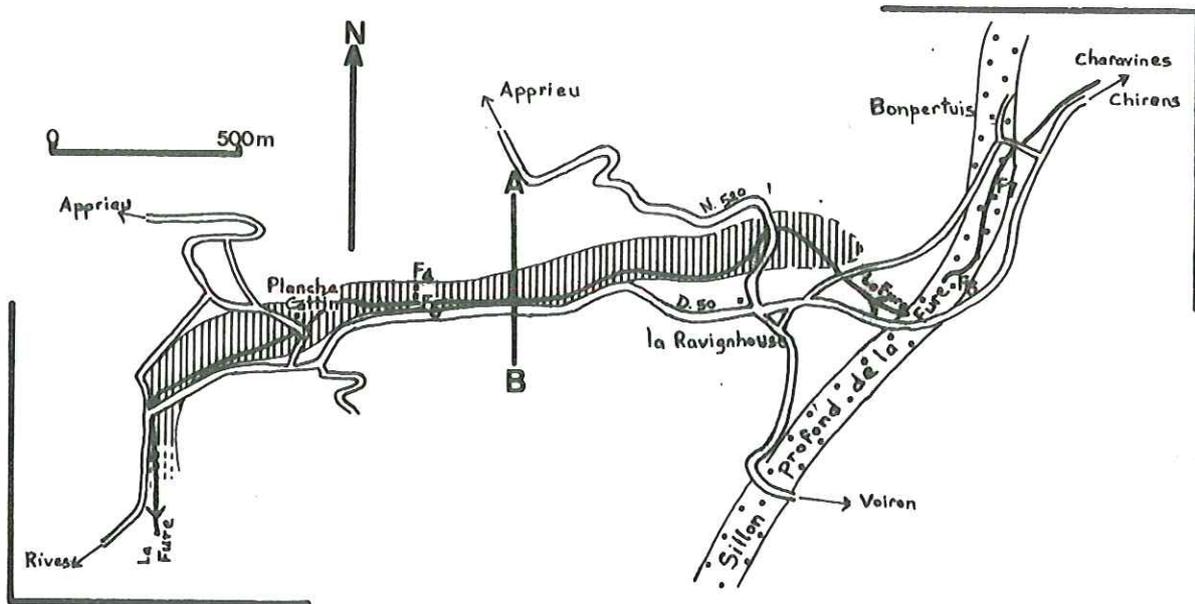


Fig. n° 52 Extension de la nappe de PLANCHE-CATTIN.

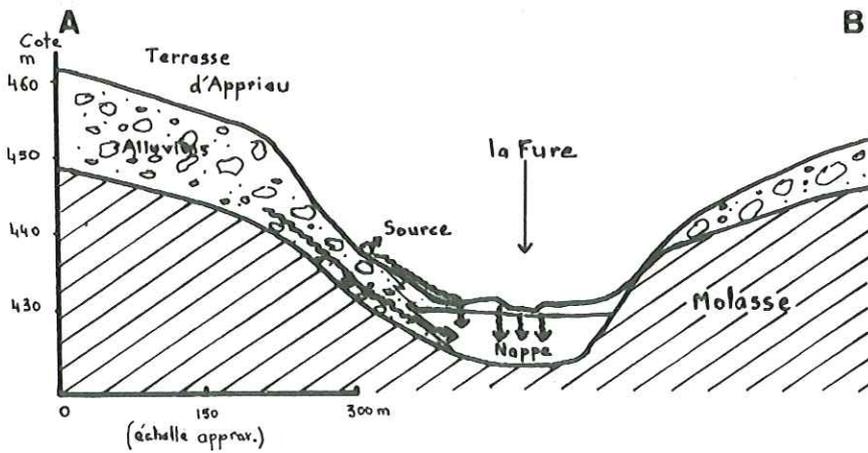


Fig. n° 53 Les différents types d'alimentation de la nappe de PLANCHE-CATTIN.  
(A—B cf. figure n° 52)

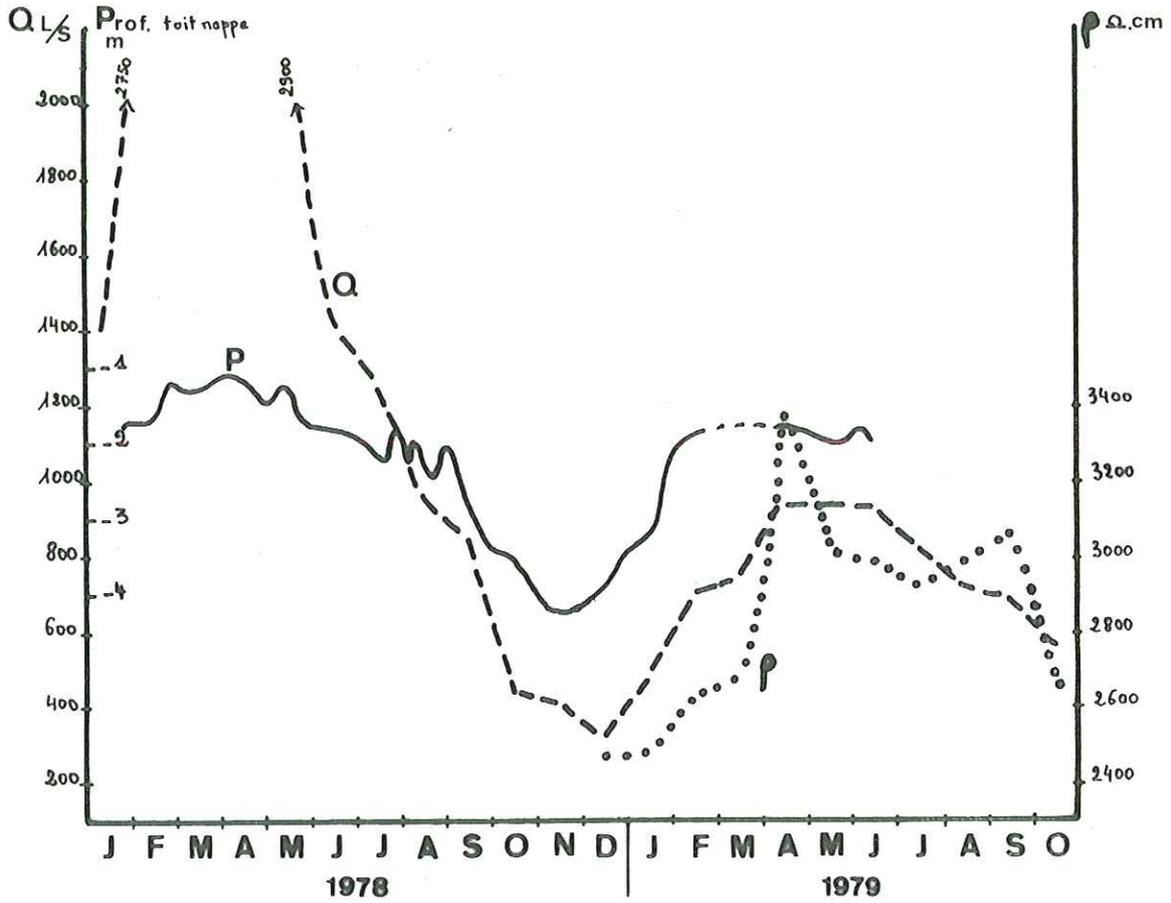


Fig. n°54 Débits de la Fure - résistivités des eaux et piézométrie de la nappe de PLANCHE-CATTIN.

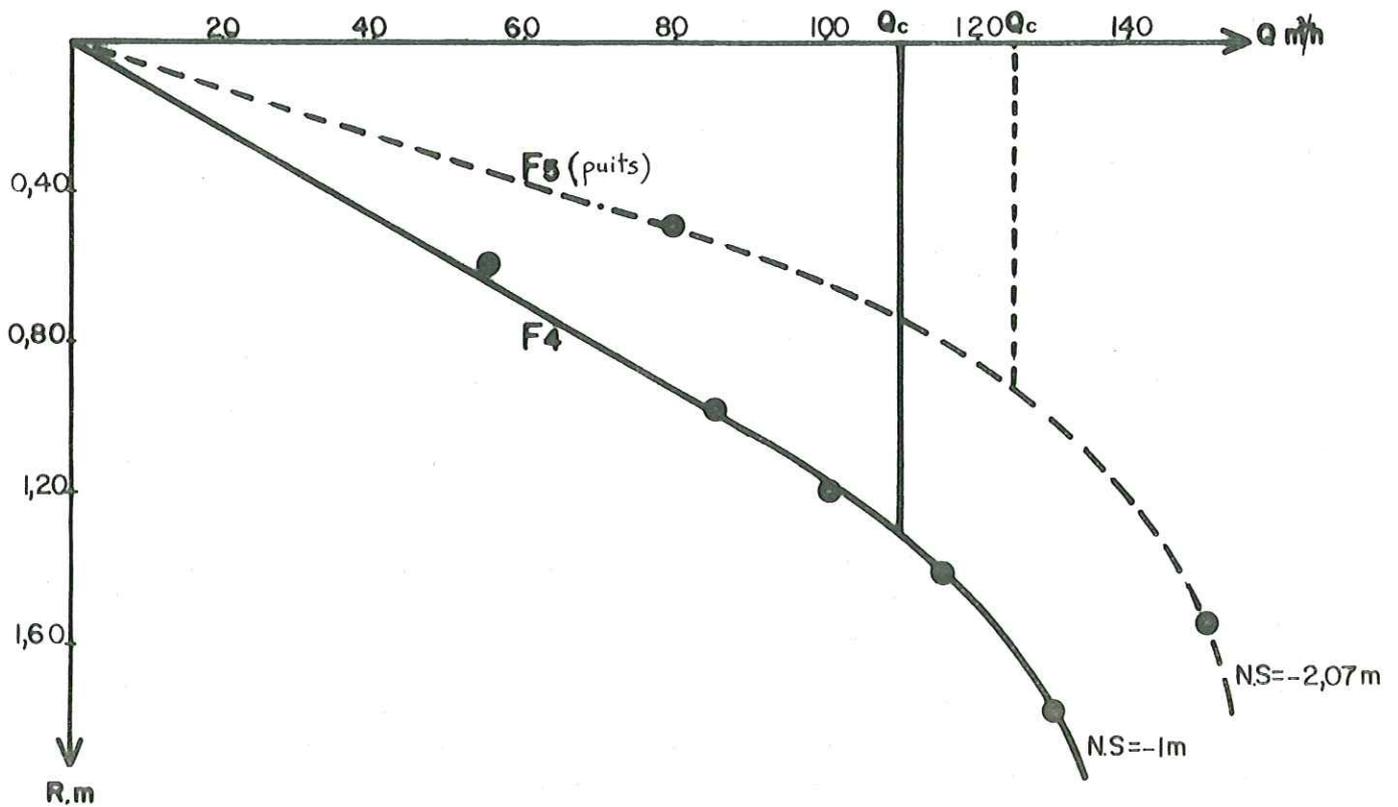


Fig. n°55 Courbes caractéristiques des ouvrages sur la nappe de PLANCHE-CATTIN.

atteinte pour des débits de 1200 à 1300 l/s. Pour des débits supérieurs, le niveau de la nappe n'augmente plus.

Les hautes eaux s'observent en février, mars, avril et mai tandis que les basses eaux se situent en octobre, novembre et décembre.

#### I-1-3- Propriétés physiques et chimiques des eaux de la nappe

Les températures de l'eau sont très variables. De 8,2°C en février-mars, elle passe à 15°C en août-septembre. On peut mettre en parallèle les températures de l'eau de la Fure qui sont de 4,5°C en février-mars et de 20°C en août-septembre.

Le caractère superficiel de la nappe est mis en évidence. Il faut noter la très faible inertie thermique de la nappe et en conclure que le volume des réserves est faible.

Nous avons déjà évoqué les résistivités de l'eau dans le paragraphe concernant l'alimentation de la nappe. En basses eaux elles varient autour de 2600  $\Omega$ .cm et en hautes eaux autour de 3000  $\Omega$ .cm. La dilution est importante en hautes eaux. Il est possible aussi qu'en basses eaux, l'alimentation de la nappe s'effectue en grande partie à partir des eaux de sources qui drainent les terrasses d'Apprieu ( Ex : source de la Ravignouse ). Leur résistivité est en moyenne de 2000  $\Omega$ .cm. Elles contribueraient ainsi à la diminution de la résistivité des eaux de la nappe pendant les étiages.

Les analyses chimiques de l'eau bicarbonatée calcique de la nappe ne présentent pas de variations importantes dans le temps. Les teneurs en chlorures, sulfates, nitrates sont faibles ( chacune inférieure à 10 ppm ). L'eau est correcte du point de vue chimique ce qui n'est pas le cas du point de vue bactériologique, puisque la présence d'Escherichia coli, germes témoins d'une pollution fécale qui pourrait provenir des lotissements de la Ravignouse à l'amont, a été décelée.

#### I-1-4- Essais de pompage

Deux essais de pompage ont été exécutés sur la nappe de Planche-Cattin. Le premier s'est déroulé du 14 décembre au 17 décembre 1977 sur le forage de reconnaissance F4 équipé en 300 mm. Le second eut lieu du 27 mars au 30 mars sur le puits de captage F5 de 4 mètres de diamètre. Lors du premier essai, le niveau statique de la nappe était à moins 1 mètre sous la surface du sol. Lors du second il était à moins 2,07 mètres.

La figure n°55 donne les courbes caractéristiques des deux ouvrages. A débit égal les rabattements sont plus faibles sur le puits ( ex :  $Q = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ , R : forage = 0,90 m, R: puits = 0,45 m ). Ils restent cependant élevés sur ce dernier ouvrage compte tenu que son diamètre est plus de 10 fois supérieur à celui du forage. Il semble qu'ici l'augmentation du diamètre n'entraîne pas une amélioration satisfaisante du rendement du puits devant celui du forage. En effet le débit critique du puits serait compris entre 120 et 130  $\text{m}^3/\text{h}$ , celui du forage entre 105 et 115  $\text{m}^3/\text{h}$ . Certes les conditions étaient plus favorables au moment de l'essai sur le forage F5 ( niveau piézométrique plus élevé ) mais elles ne justifient pas, à elles seules, les résultats médiocres obtenus sur le puits.

Après l'arrêt du pompage sur le puits, les mesures de la remontée du niveau de la nappe ont permis le calcul de la transmissivité et de la perméabilité de l'aquifère.

$$T = 1,4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$
$$K = 2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Comme le laissait prévoir la granulométrie du matériel alluvial, la perméabilité est bonne. Elle permet une alimentation correcte de l'ouvrage.

## I-2- LES NAPPES DE LA HAUTE VALLEE DE L'AINAN

Les études géophysiques dans la vallée de l'Ainan, ont montré que le remplissage quaternaire de la dépression molassique entre Chirens et l'Arsenal était très épais : 30 mètres à l'Arsenal, 60 mètres à Chirens. C'est dans ce remplissage que la Compagnie Générale de forages " C.O.F.O.R. " a réalisé en 1965 des pompages sur le forage F<sub>16</sub> de 48 m de profondeur en tête du marais, tout près de la station de pompage de Voiron. Le forage avait rencontré deux nappes. La première, superficielle, a une puissance de 10 mètres. Sa surface piézométrique est sub-affleurante. Elle se développe dans des graviers sablo-argileux. La seconde est plus profonde puisqu'elle se trouve à 38,50 mètres sous la surface du sol. Son mur est à 43,50 mètres de profondeur. L'aquifère est là aussi gravelo-sableux. Au droit du forage, on a donc deux nappes superposées, séparées par 30 mètres de limons argileux plus ou moins sableux entrecoupés de passées de graviers et galets.

### I-2-1- Essais de pompage

#### A. Sur la nappe profonde

L'essai qui a duré 3 jours, a permis de conclure qu'il existait une relation entre la nappe profonde et la nappe superficielle, malgré le caractère argileux des alluvions séparant les deux aquifères. Les piézomètres implantés dans la nappe supérieure ont en effet été influencés. Aussi devrait-on parler d'une seule nappe à perméabilité différentielle suivant la nature sédimentologique des horizons et non de deux nappes distinctes. Le débit critique du forage pour l'exploitation de cette nappe profonde est de 120 m<sup>3</sup>/h. Pour le débit de 100 m<sup>3</sup>/h le rabattement était de 2,4 mètres; pour 165 m<sup>3</sup>/h il était de 14,4 mètres.

#### B. Sur la nappe profonde et la nappe superficielle

Cet essai, qui a sollicité les deux nappes en même temps, s'est déroulé en deux parties :

- 1° partie . Un pompage de 5 jours par paliers successifs, qui donne un débit critique de 250 m<sup>3</sup>/h.
- 2° partie . Un pompage de 5 jours à débit constant ( 150 m<sup>3</sup>/h ). En fin de pompage le rabattement était faible puisqu'il n'atteignait que 1,34 mètres.

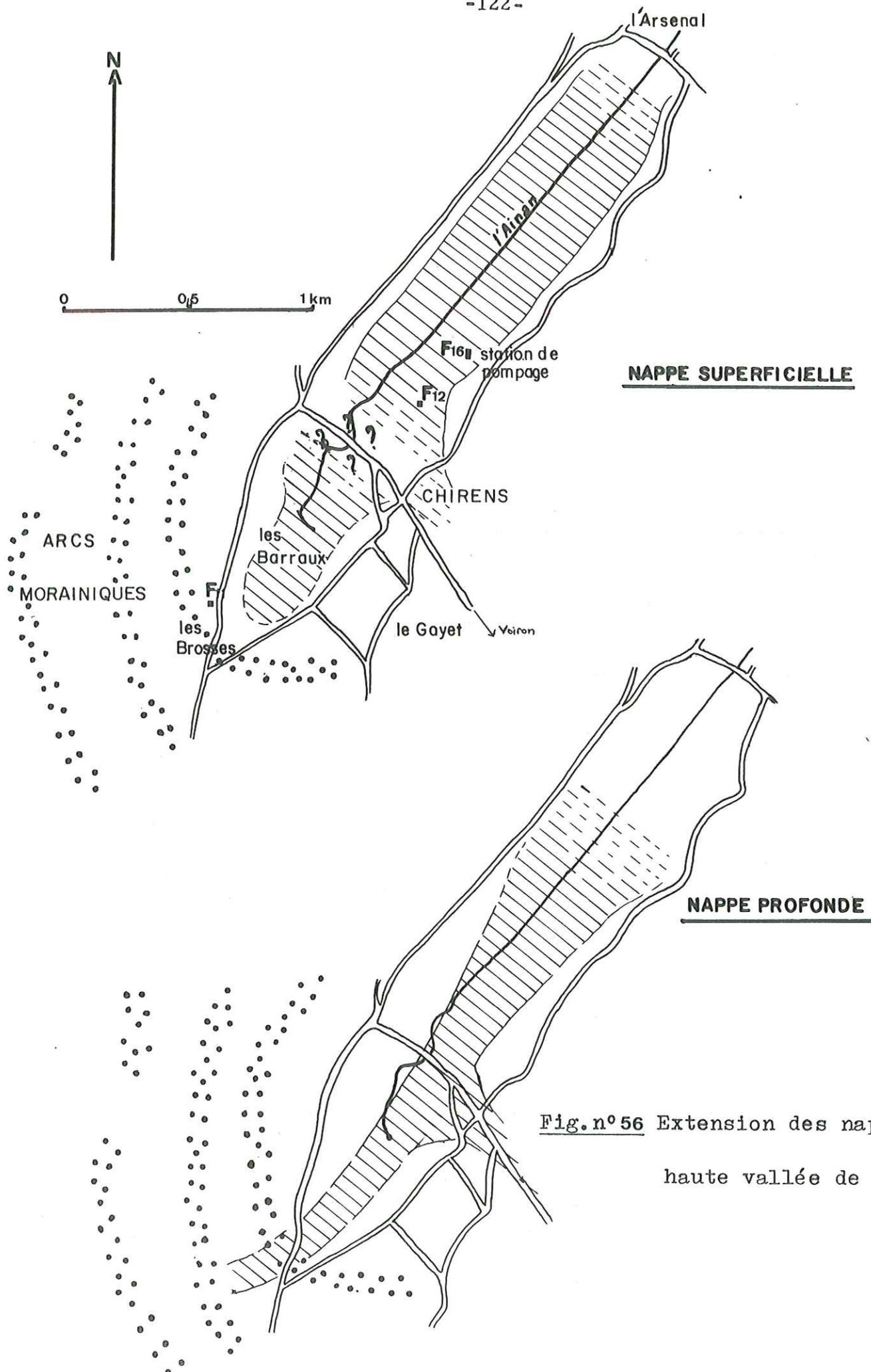


Fig.n° 56 Extension des nappes de la haute vallée de l'AINAN.

Les principales caractéristiques de la nappe ont été déterminées par l'entreprise à partir de ce dernier essai à débit constant.

- Transmissivité :  $T = 2,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
- Perméabilité :  $K = 4,6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
- Coefficient d'emmagasinement :  $S = 0,65 \%$

Il est évident que si on s'intéressait uniquement aux deux niveaux aquifères graveleux, les valeurs de ces caractéristiques hydrodynamiques seraient plus élevées. La perméabilité notamment serait comprise entre  $10^{-2}$  et  $10^{-3} \text{ m/s}$

Actuellement les pompages de la station de la ville de Voiron ne prélèvent que dans la nappe superficielle. Le débit moyen pompé est de  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ce débit pourrait être augmenté par un pompage dans la nappe profonde.

#### I-2-2- Extension, alimentation et écoulement des nappes ( fig. n°56 et n°57 )

La nappe superficielle semble se limiter à la surface du marais, bien qu'il ne soit pas interdit de penser, qu'elle est en relation avec la nappe de l'amphithéâtre morainique de Chirens, dont l'un des exutoires est la source des Barraux. Des piézomètres implantés au niveau du village de Chirens seraient nécessaires pour vérifier cette hypothèse.

Son alimentation se fait surtout à partir de l'infiltration directe des précipitations. Son écoulement s'effectue depuis Chirens vers l'Arsenal. Elle est drainée par l'Ainan.

Nous avons peu d'éléments pour définir l'extension de la nappe profonde. Cependant nous pensons, qu'elle doit suivre celle du sillon profond imprimé dans le substratum molassique, qui semble naître justement sous le marais de Chirens et se poursuivre vers la vallée de la Fure, le Guillermet-Bonpertuis. La nappe profonde de la haute vallée de l'Ainan représenterait donc la partie amont de la nappe du sillon de la Fure.

L'écoulement se ferait du Nord-Est vers le Sud-Ouest dans un sens opposé à celui de la nappe superficielle. La pente du substratum molassique déterminée par géophysique y serait favorable ( fig. n° 57 ).

L'alimentation de la nappe profonde doit s'effectuer par :

- infiltration à partir de la nappe superficielle;
- infiltration des eaux de ruissellement dans les éboulis de pied de versants molassiques;
- drainage possible de la molasse renfermant des niveaux sableux aquifères.

#### I-2-3- Propriétés physiques et chimiques des eaux

Seules, les eaux de la nappe superficielle ont pu être analysées à partir des prélèvements de la source de débordement située près de la station de pompage. Ce sont des eaux bicarbonatées calciques dont les propriétés physiques et le détail des teneurs des différents éléments sont rapportés

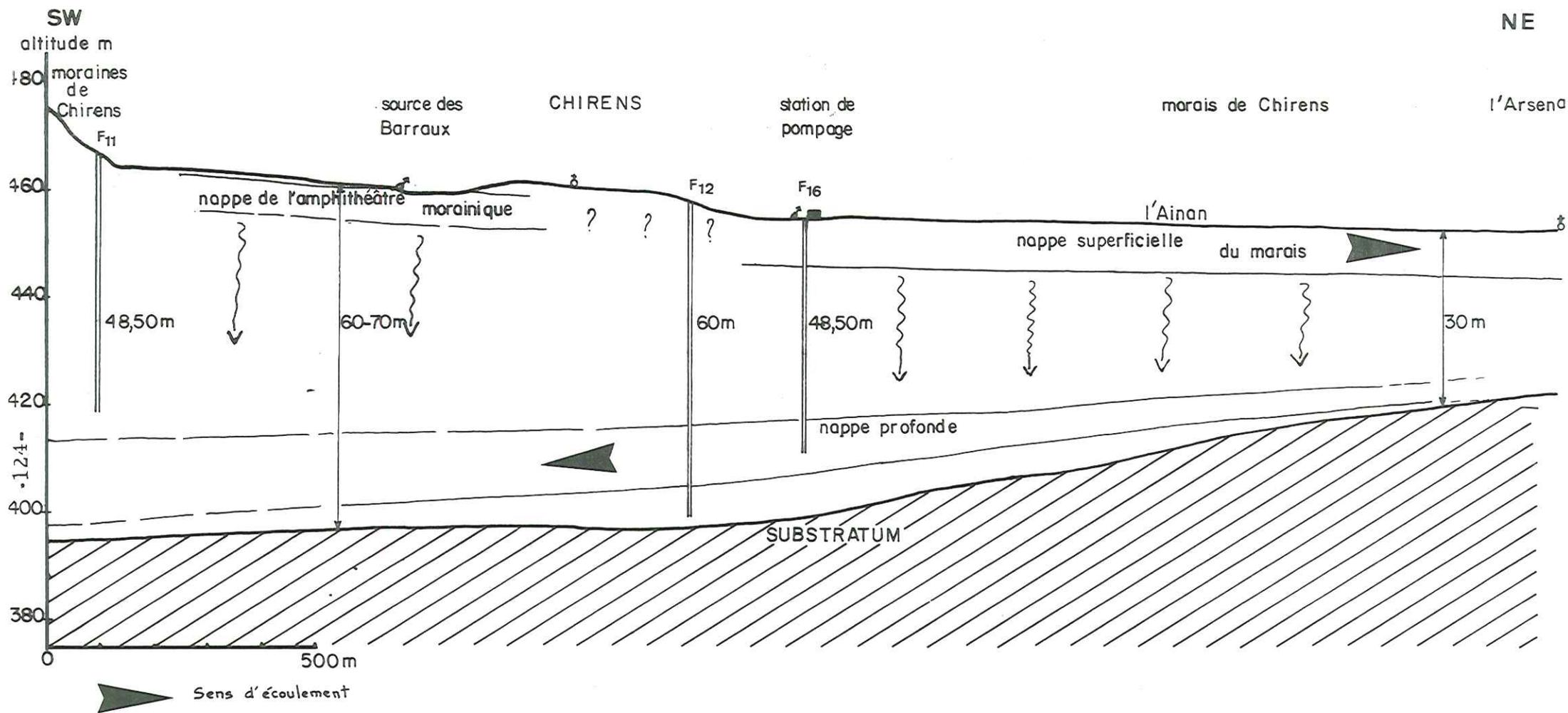


Fig.n°57 Coupe hydrogéologique longitudinale de la haute vallée de l'AINAN.

dans le paragraphe " La nappe du sillon de la Fure " où nous comparons plusieurs eaux entre-elles.

## II- LA NAPPE DU SILLON DE LA FURE

### II-1- GEOMETRIE, EXTENSION, BASSIN D'ALIMENTATION ( fig. n°31 p62 )

Comme son nom l'indique la nappe du sillon de la Fure s'écoule dans le surcreusement molassique, qui a été décelé sous une importante épaisseur d'alluvions dans la dépression empruntée par la Fure et qui sépare les collines du Bois de Bavonne de celles dominant Apprieu et Plan-Bois.

Son écoulement se fait du Nord-Est vers le Sud-Ouest.

L'extension de la nappe suit le développement du surcreusement. On a déduit des données géophysiques et hydrologiques que :

- son bassin d'alimentation est représenté en partie par le bassin de la haute vallée de l'Ainan;
- son individualisation se fait sous la plaine de Chirens, puis elle passe sous les arcs morainiques de Chirens et se dirige vers le Guillermet d'abord et Bonpertuis ensuite;
- à l'aval de Bonpertuis, elle s'écoule vers le Sud sous la terrasse de Saint-Blaise-du-Buis;
- dès qu'elle s'introduit sous cette dernière terrasse, son tracé devient hypothétique, la géophysique n'ayant pu préciser ici le tracé du surcreusement.

Précisons ce dernier point. On peut supposer que la nappe s'étend vers Réaumont. Mais les caractéristiques chimiques semblables des sources de Réaumont et des eaux de la nappe à Bonpertuis et au Guillermet, ne suffisent pas pour affirmer que l'exutoire de la nappe est représenté par ces sources dont le débit est supérieur à 250 l/s en étiage. De même, bien qu'il faille envisager leur alimentation autrement que par l'intermédiaire du vallon de Saint-Cassien, il n'est pas démontré qu'elle s'effectue à partir de circulations profondes guidées par une paléomorphologie, qui est en relation directe avec le sillon de la Fure. Elle pourrait se faire suivant un ancien réseau hydrographique drainant les terrasses de Saint-Blaise-du-Buis et indépendant du sillon de la Fure. Pour ces raisons, on ne peut affirmer que la nappe du sillon de la Fure relie bien Bonpertuis à Réaumont, même si la chimie semble le prouver.

En ce qui concerne la section de la nappe, on ne peut l'estimer qu'à partir des données géophysiques, là où le surcreusement a été bien défini. Les chiffres que nous donnons sont approximatifs. Au niveau du Guillermet et de Bonpertuis les sections ont des grandeurs comparables. En basses eaux (H=20m) la section de la nappe est évaluée à 1500 m<sup>2</sup>. En hautes eaux ( H.nappe ≈ 35 m) la section de la nappe dépasse 3000 m<sup>2</sup>. Ces grandeurs peuvent être étendues aux sections sous l'amphithéâtre morainique de Chirens.

## II-2- PIEZOMETRIE DE LA NAPPE

Les forages mécaniques F9 du Guillermet et F7 de Bonpertuis ont été équipés de limnigraphes afin d'étudier les variations du niveau piézométrique de la nappe du sillon. On s'intéressera en particulier à la période d'enregistrement commune sur les deux piézomètres qui débute en mars 1978 et s'arrête en décembre 1979. A cette dernière date le forage de Bonpertuis fut en effet mis hors d'usage à la suite de l'écrasement d'une crépine.

Les résultats de ces observations sont reportés sur la figure n°58 . La figure n°59 présente plus en détail les résultats de la période commune d'enregistrement ainsi que les précipitations journalières.

### II-2-1- Généralités

Les enregistrements de Bonpertuis et du Guillermet montrent qu'il s'agit, en ces deux points , de la même nappe. Les fluctuations dans le temps sont identiques, l'amplitude des battements est comparable. Les deux courbes du niveau piézométrique peuvent être amenées en coïncidence. Chaque pic enregistré au Guillermet se retrouve à Bonpertuis.

Entre les deux points d'observation la continuité de l'aquifère est assurée. Le gradient de la nappe en moyennes eaux est de 0,35 %. Il est assez élevé. Il peut indiquer que la zone d'alimentation de la nappe est proche.

### II-2-2- Amplitude des fluctuations

L'amplitude des fluctuations du toit de la nappe est importante. Ainsi à Bonpertuis entre début octobre 1976 et fin février 1977 la profondeur du toit de la nappe est passée de 34,27 mètres à 6,32 mètres sous la surface du sol. En moins de 5 mois la variation a dépassé 28 mètres. De même entre avril 1978 et janvier 1979 le toit a baissé de 26 mètres. Ce sont là des amplitudes considérables qui montrent que :

- le réservoir de la nappe est modeste;
- l'essentiel du volume de la nappe est contenu dans le sillon. Il est à la mesure de celui-ci ( profond certes mais étroit );
- le sillon n'est pas seulement conduit d'écoulement, il est aussi et surtout réservoir.

### II-2-3- Recharge et vidange de la nappe

La recharge de la nappe s'effectue en février, mars et avril c'est-à-dire pendant la période où les pluies sont les plus abondantes. C'est aussi la période où l'évapotranspiration est faible. En conséquence l'infiltration est alors maximale. Les précipitations de décembre et janvier reconstituent le stock d'eau du sol disparu au cours de l'été et de l'automne.

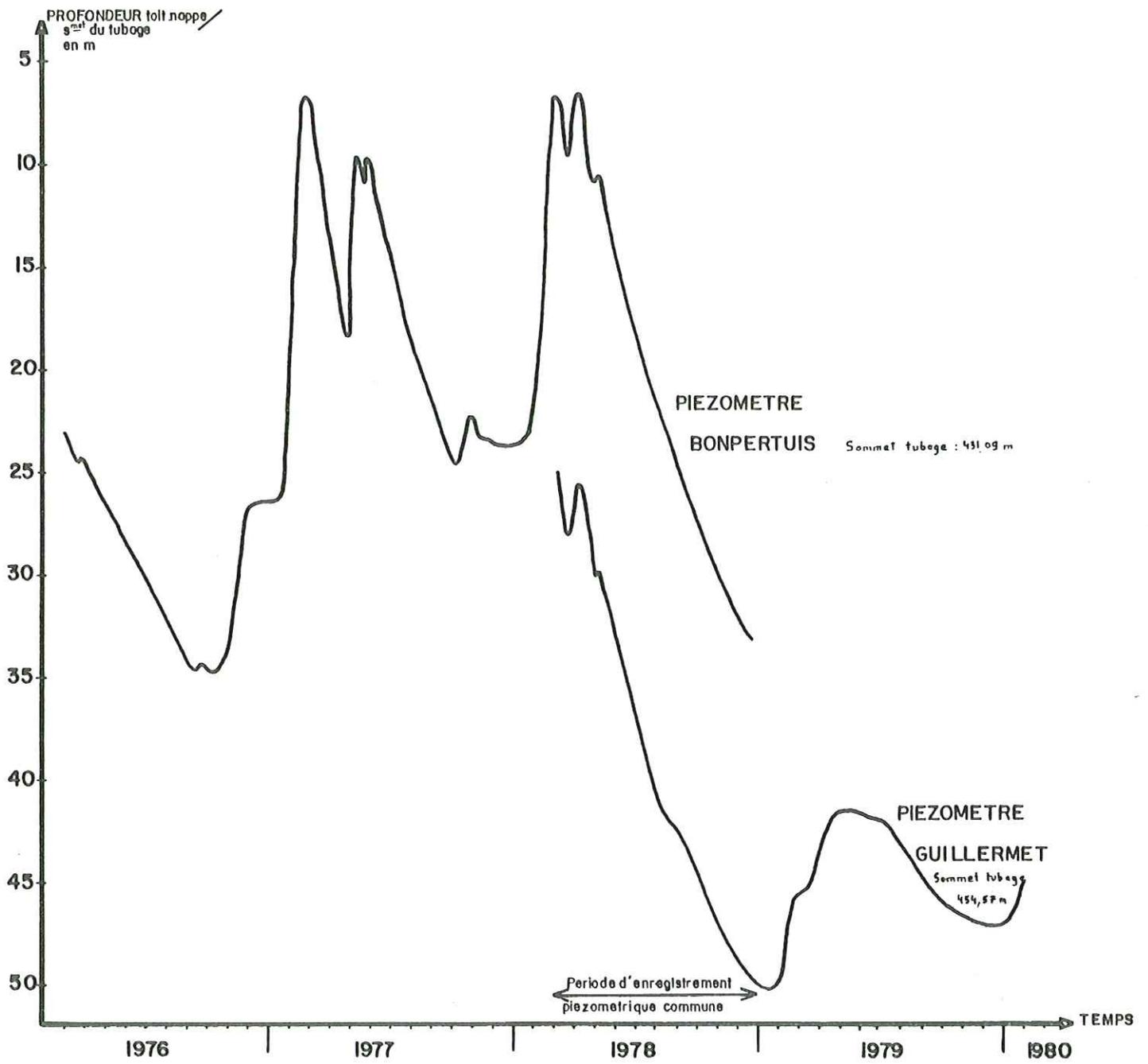
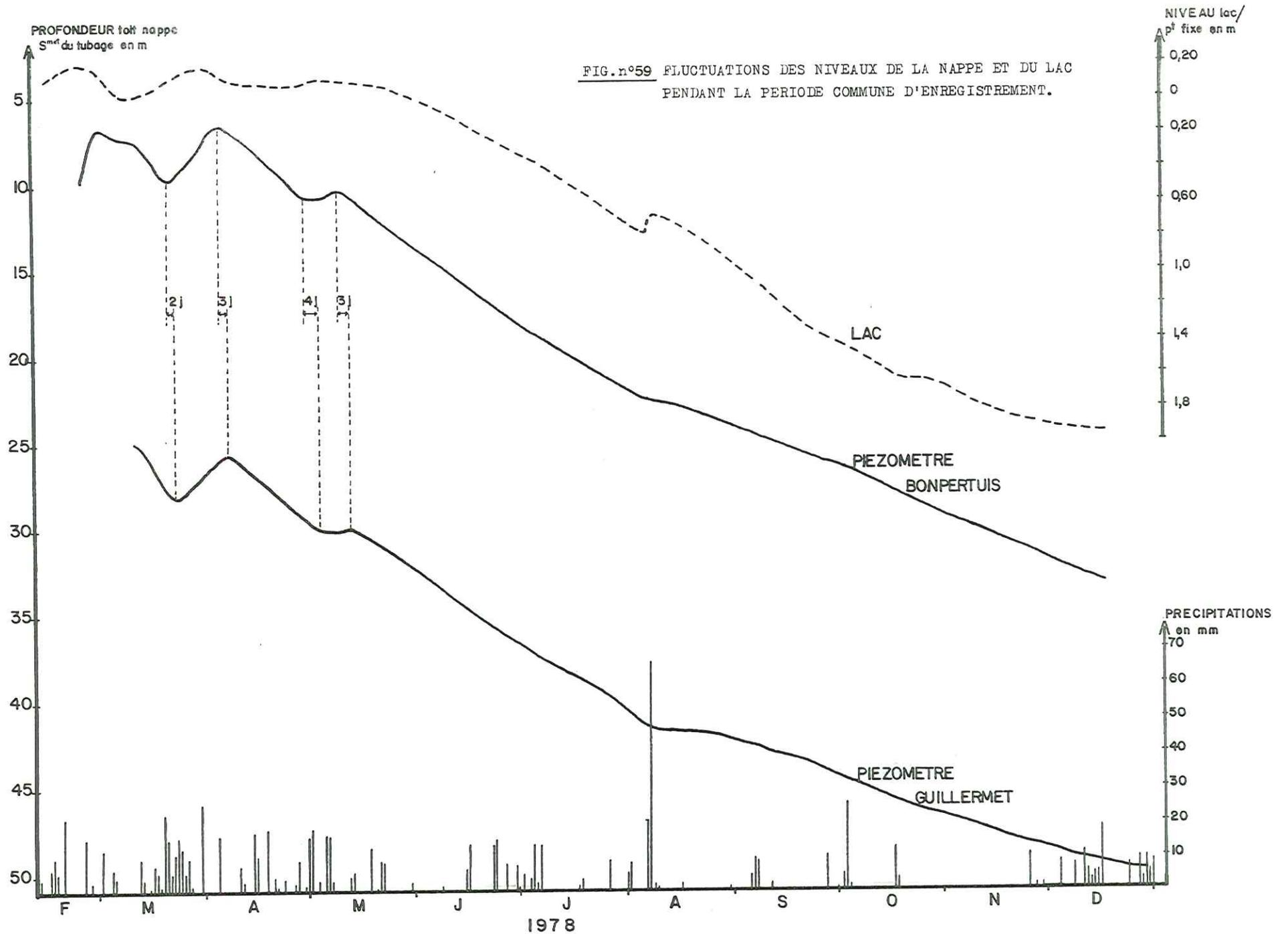


FIG. n°58 FLUCTUATIONS DU NIVEAU DE LA NAPPE DU SILLON DE LA FURE.



C'est à partir de février, que les eaux infiltrées depuis la surface du sol, parviennent à la zone saturée et alimentent donc la nappe. La figure n°59 permet de définir un temps de réponse de la nappe. En mars 1978 les précipitations du 19 au 27 ont atteint 100 mm. La remontée de la nappe a commencé le 22. Le temps de réponse fut donc de 4 jours. Il est bref et indique une bonne perméabilité de la zone d'alimentation et de l'aquifère. Le temps de réponse de 4 jours se retrouve en août 1978, où une pluie de 66 mm tombée le 7 a entraîné l'arrêt de la baisse du niveau piézométrique le 11.

La vidange de la nappe commence en mai-juin. Elle se poursuit jusqu'en décembre.

#### II-2-4- Relation niveau du lac - niveau de la nappe

En adaptant une échelle appropriée nous avons reporté sur la figure n°59 les variations du niveau du lac parallèlement à ceux de la nappe. La conformité des courbes nous amène à poser la question suivante ; existe-t-il une relation entre la charge du lac et le niveau de la nappe ? Cela revient à poser le problème de l'existence d'une communication entre le lac et la nappe. On a vu dans les précédents chapitres que les données géophysiques, géologiques et hydrologiques (bilan) s'opposent à cette communication.

Il nous semble peu probable qu'un battement du lac inférieur à 20 cm entraîne des variations de près de 3 m du toit de la nappe au niveau du Guillermet et de Bonpertuis, comme c'est le cas en mars et avril 1978.

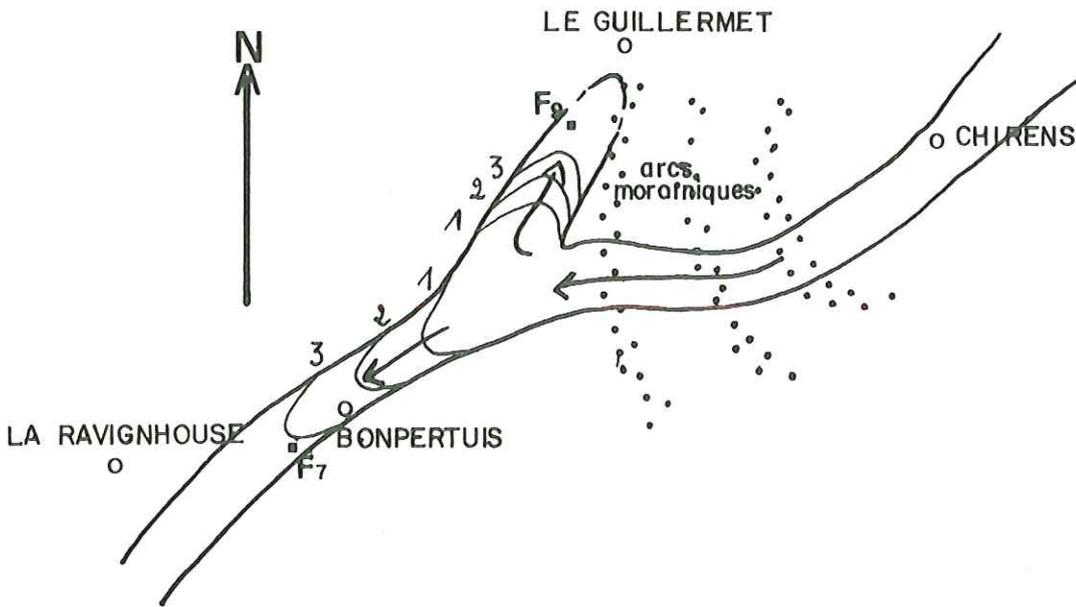
La similitude des courbes ou encore la concordance des pics des niveaux du lac et du toit de la nappe trouve leur explication si on considère le facteur commun aux événements " montée et baisse " du lac et de la nappe. Ce facteur est la pluviométrie. Le lac et la nappe sont en réalité deux réservoirs distincts soumis au même régime pluviométrique. Il est donc normal que leur réaction soient similaires avec toutefois un décalage dans le temps. L'alimentation du lac se fait à partir du ruissellement de surface. Elle est donc plus rapide que celle de la nappe, qui s'effectue suivant les processus d'infiltration et de percolation ( phénomènes lents ).

#### II-2-5- Problème du décalage des réponses entre les piézomètres de Bonpertuis et du Guillermet

L'écoulement de la nappe s'accomplit dans le sens Guillermet-Bonpertuis. Le bassin d'alimentation se situe à l'amont du Guillermet ( hte vallée de l'Ainan ). Au cours d'une crue de la nappe, le piézomètre amont ( Guillermet ) devrait réagir avant le piézomètre aval ( Bonpertuis ). Or on observe justement l'inverse ( fig. n°59 ). Le décalage est de l'ordre de 2 à 4 jours entre les instants où la nappe remonte à Bonpertuis et au Guillermet. On émet deux hypothèses pour l'expliquer :

1°) Le décalage est dû au tracé du chenal et donc à l'extension de la nappe.

Le sillon passe toujours sous les moraines de Chirens comme le montre le schéma de la page suivante . Mais au-delà, il se dirige non plus



vers le Guillet mais vers Bonpertuis. En rive droite, un chenal appendice se raccorde au sillon principal et permet le développement de la nappe jusqu'au Guillet. La pente du substratum est telle que l'onde de crue schématisée sur le croquis et notée successivement 1-2-3, atteint le piézomètre de Bonpertuis deux à quatre jours avant le piézomètre du Guillet. L'étude géophysique n'accorde que peu de crédit à cette hypothèse, aussi ne la retiendrons nous pas.

2°) Le décalage est lié à la profondeur du toit de la nappe sous la surface du sol, qui est différente au niveau des deux piézomètres. Elle est en moyenne de 35 à 40 mètres au Guillet et de 15 à 20 mètres à Bonpertuis. Les terrains perméables rencontrés sur toute la hauteur des forages des deux sites permettent des infiltrations depuis la surface. Leur front rencontre plus rapidement le toit de la nappe à Bonpertuis qu'au Guillet. Le niveau piézométrique monte donc d'abord à Bonpertuis puis ensuite au Guillet. Il est possible aussi que vers le Guillet il existe des niveaux argileux, qui ne se rencontreraient plus vers Bonpertuis, favorisant alors une alimentation de la nappe plus rapide en ce dernier point. On admet dans ce cas que la nappe est alimentée non seulement à partir du bassin de la haute vallée de l'Ainan mais aussi par les infiltrations des eaux de pluie et de la Fure dans cette dernière vallée.

## II-3- LES ESSAIS DE POMPAGE

### II-3-1- Présentation

Sept essais de pompage ont testé la nappe sur les sites du Guillet et de Bonpertuis à différentes époques. Ils permettent de préciser les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère ainsi que les débits d'exploitation envisageables sur les différents ouvrages.

On présente les résultats des essais sur chacun des deux sites, par l'intermédiaire des courbes caractéristiques des forages. Les courbes d'un même site seront d'abord comparées. Elles le seront enfin d'un site à l'autre.

En ce qui concerne les calculs de T ( transmissivité ) et K ( perméabilité ), nous ne détaillerons les calculs que lorsqu'ils auront été établis par nos soins. Dans les autres cas les valeurs de ces paramètres fournies par l'entreprise ou la D.D.A. seront simplement rapportées.

L'obtention des caractéristiques hydrodynamiques s'est fait par exploitation des courbes de remontée du niveau dynamique dans les puits, après arrêt des pompages. La droite représentative de la courbe de remontée est obtenue sur un diagramme semi-logarithmique en portant en abscisse les logarithmes des rapports  $\frac{t}{t'}$  et en ordonnée les rabattements résiduels. Les pompages n'étant pas réalisés à débit constant, le temps t correspond à un temps fictif égal au rapport du volume d'eau global extrait au débit de pompage maximum, t' correspond au temps écoulé depuis l'arrêt de pompage. La solution de la droite satisfait à la formule d'approximation logarithmique de Theiss-Jacob :

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{t}{t'} \quad (1)$$

Le coefficient angulaire de la droite C est égal à :  $\frac{\partial \Delta}{\partial \log t/t'}$   
Sa valeur est donnée par l'accroissement du rabattement résiduel dans un cycle logarithmique.

$$\text{De (1) on tire } = T = \frac{0,183 Q}{C} \quad (2)$$

Connaissant h, puissance de la nappe, on tire K la perméabilité.

$$K = \frac{T}{h}$$

### II-3-2- Les essais de pompage sur le site du Guillermet

#### A. Résultats

Deux essais ont été réalisés sur le forage F9 :

- le premier s'est déroulé du 22 au 23 novembre 1977. Le niveau statique avant pompage était de - 43,38 m ( Essai I ).

- le second eut lieu du 5 au 7 octobre. N.S. = -44,80 m  
( Essai II )

Un essai a été réalisé sur le forage F8 situé à 20 mètres du précédent :

- il s'est déroulé du 12 au 15 novembre 1979. NS = - 45,75 m  
( Essai III ).

Les niveaux statiques sont mesurés depuis le sommet des tubages.

Les courbes caractéristiques sont données sur la figure n°60.

Les rabattements sont calculés non pas par rapport au niveau statique de début de pompage, mais en référence à un niveau statique théorique, qui tient compte des variations naturelles de la nappe au moment considéré. Les droites représentatives des courbes de remontée des essais I et II sont présentées figure n°61 .

- La première est construite à partir du tableau n°23 .

Temps	Rabattement en m	t. fictif en mm	t' en mn	t / t'
8h30	0,37	1372	0	
31	0,27	1373	1	1373
32	0,20	1374	2	687
33	0,16	1375	3	458
34	0,15	1376	4	344
35	0,14	1373	5	275

Tableau n°23 : Remontée de l'essai I

Pente de la droite : C = 0,21

$$T = \frac{0,183 \times 0,024}{0,21} = \underline{\underline{2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}}}$$

La puissance de la nappe était lors de l'essai I de 18 mètres,

$$\text{donc } K = \frac{2 \times 10^{-2}}{18} = \underline{\underline{1 \times 10^{-3} \text{ m/s}}}$$

- La seconde est construite à partir du tableau n°24 .

Temps	Rabattement en m	t. fictif en mm	t' en mn	t / t'
12 h	0,68	1374	0	
12h10	0,21	1384	10	138
12h20	0,20	1394	20	79
12h30	0,19	1404	30	47
12h40	0,185	1414	40	35
12h50	0,18	1424	50	28
13h	0,17	1434	60	24
13h30	0,16	1464	90	16

Tableau n°24 : Remontée de l'essai II

Pente de la droite : C = 0,06

$$T = \frac{0,183 \times 0,033}{0,06} = \underline{\underline{1 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}}}$$

La puissance de la nappe était lors de l'essai II de 15,2 mètres,

$$\text{donc } K = \frac{1 \times 10^{-1}}{15,2} = \underline{\underline{6,5 \times 10^{-3} \text{ m/s}}}$$

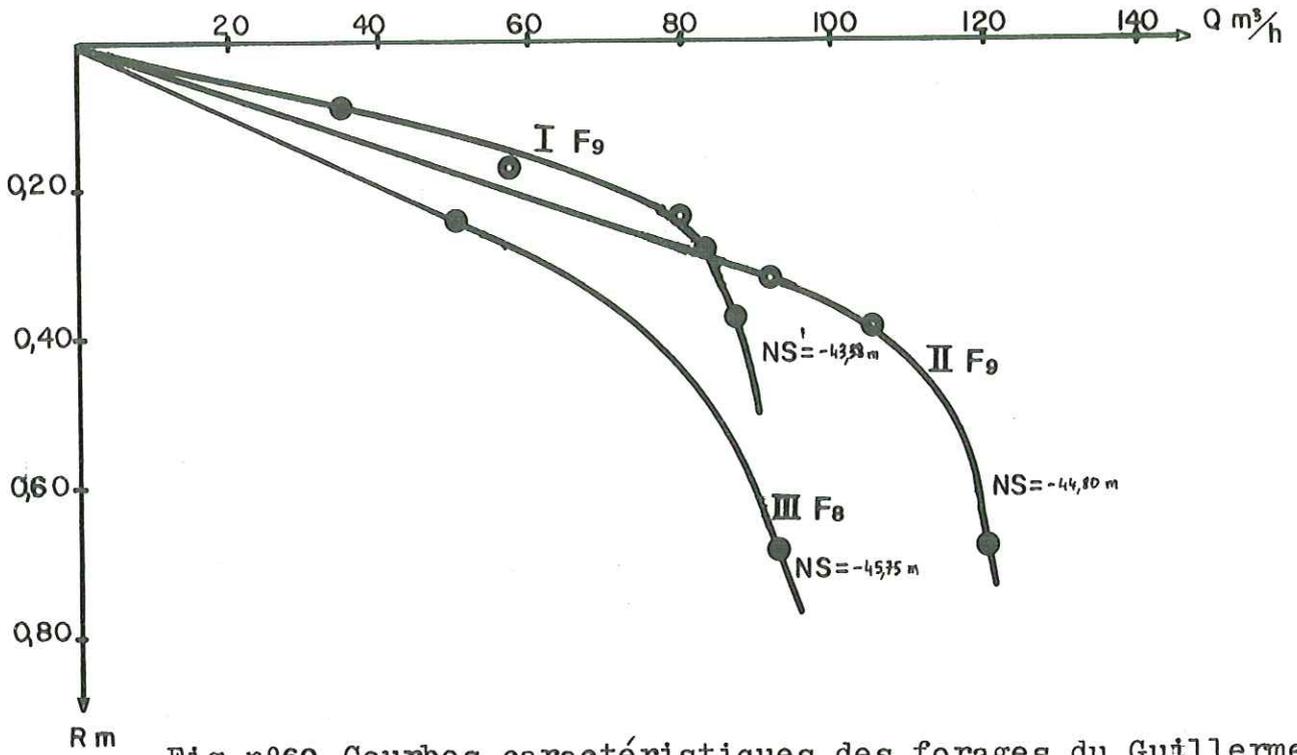


Fig. n°60 Courbes caractéristiques des forages du Guillermet.

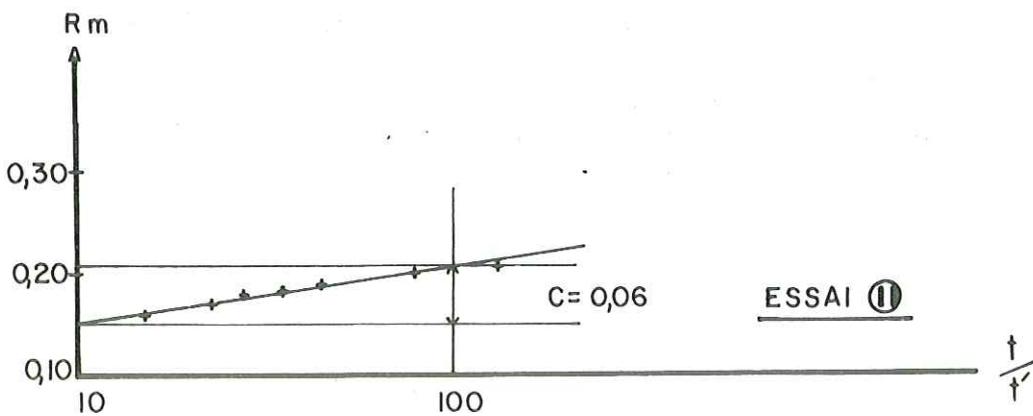
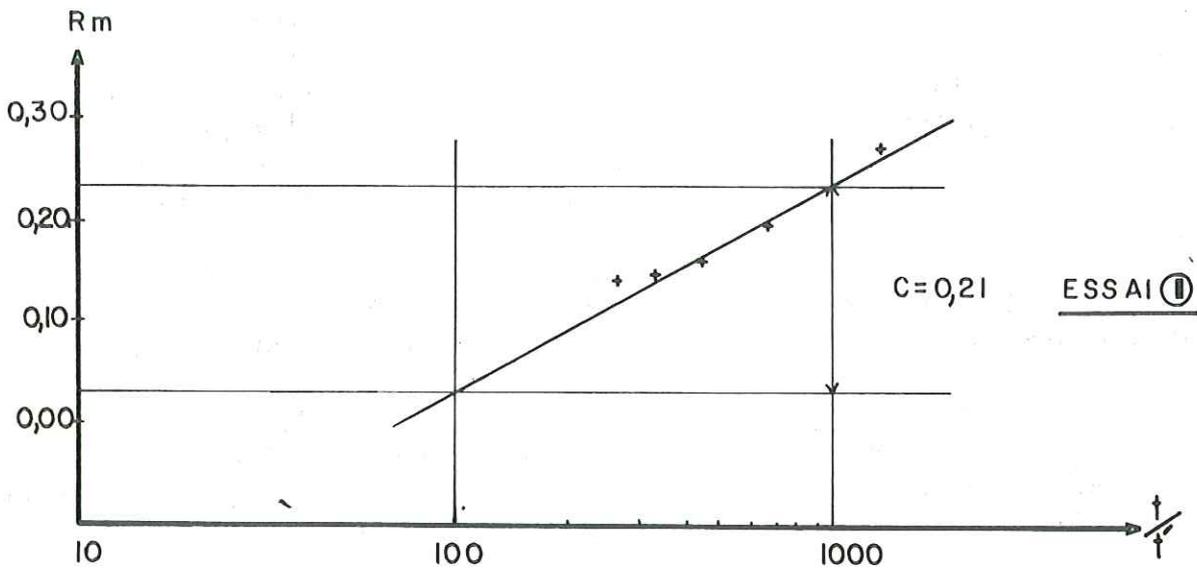


Fig. n°61 Droites représentatives des courbes de remontée. Essais I et II, le Guillermet.

## B. Commentaires

Au Guillermet, la nappe varie entre - 27 m et - 50 m. Ces chiffres indiquent que les 3 essais de pompage ont été exécutés en période d'étiage, quand le débit de transit de la nappe est faible, puisque le niveau statique était à chaque fois en dessous de -4,3 m.

### a) Les courbes caractéristiques

Les courbes I et III sont comparables. Elles donnent des débits critiques voisins :  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  pour I,  $70$  à  $75 \text{ m}^3/\text{h}$  pour III. Le niveau statique plus bas dans le cas III se traduit par un débit critique plus faible mais aussi par des rabattements plus importants. Il faut noter qu'une passée argileuse de -38 à -45 m a été signalée sur le forage F<sub>8</sub>. Elle n'a pas été rencontrée sur le forage F<sub>9</sub>. Sa présence peut aussi justifier les rabattements de l'essai III.

La courbe II se différencie des précédentes. Elle révèle un débit critique de  $105 \text{ m}^3/\text{h}$  bien que l'essai II ait été fait dans des conditions plus défavorables que l'essai I ( NS II = - 44,80<sub>3</sub> m, NS I = - 43,38 m). Les paliers obtenus à  $92 \text{ m}^3/\text{h}$  et à  $105 \text{ m}^3/\text{h}$  et  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  sont très courts. Il n'est pas certain qu'une stabilisation réelle ait été atteinte dans les trois cas. La courbe ne serait donc plus exploitable. Toutefois au débit de  $83 \text{ m}^3/\text{h}$  le rabattement mesuré correspond bien à un palier de stabilisation. Ce rabattement est proche de celui donné par l'essai I pour un débit voisin. Le débit critique pourrait être de l'ordre de  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ . Il nous semble peu probable qu'il atteigne  $105 \text{ m}^3/\text{h}$  compte tenu des résultats de l'essai I.

On insistera sur la valeur des rabattements qui reste faible ( moins de 1 m ) même pour des débits de l'ordre de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ . L'alimentation des puits, donc la perméabilité de l'aquifère est bonne.

### b) Caractères hydrodynamiques de l'aquifère

Les deux courbes de remontée dont nous disposons donnent des caractéristiques différentes. Nous accorderons plus de crédit à la remontée de l'essai II. Son observation a duré plus longtemps et les mesures sont plus nombreuses. Le calcul est plus précis.

Une transmissivité de  $1 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$  et une perméabilité de  $6,5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  sont retenues. Elles sont confirmées par les valeurs tirées de la remontées de l'essai III que nous n'avons pas rapportée car imprécise :  $T \approx 1,2 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $K \approx 8,5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ . Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère sont donc très bonnes au niveau du Guillermet. La nature du matériel essentiellement graveleux le laissait présager.

## II-3-3- Les essais de pompage sur le site de Bonpertuis

### A. Résultats

Trois essais ont été exécutés sur le forage F7:

- du 25 au 26 février 1976 , NS = -22,15 m ( Essai IV );
- du 10 au 12 octobre 1978, NS = - 27,15 m ( Essai V );
- en décembre 1978, NS = - 33,25 m ( Essai VI ).

Un dernier essai sur le forage F<sub>6</sub> situé 250 mètres à l'aval du précédent s'est déroulé du 11 au 14 janvier 1980, NS = -27,55 m ( Essai VII ).

Les courbes caractéristiques correspondantes sont présentées sur la figure n°62 .

Les transmissivités et perméabilités fournies par les essais IV, V et VI sont les suivantes :

- Essai IV :  $T = 2,88 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$  , Puissance de la nappe = 26 m  
 $K = 1,1 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ .
- Essai V :  $T = 1,34 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$  , Puissance de la nappe = 21 m  
 $K = 6,4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
- Essai VI :  $T = 9,3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$  , Puissance de la nappe = 15 m  
 $K = 6,2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

Enfin nous avons tracé la droite représentative de la courbe de remontée de l'essai VII à partir du tableau.(fig.63).

Rabattement en m	t. fictif en mn	t' mn	t/ t'
0,90	2434	0	2435
0,22	2435	1	2435
0,22	2436	2	1218
0,21	2440	6	407
0,205	2441	7	349
0,20	2444	10	244
0,195	2449	15	163
0,19	2454	20	123
0,185	2459	25	98

Tableau n°25 : Remontée de l'essai VII

Pente de la droite : C = 0,038

$$T = \frac{0,183 \times 0,065}{0,038} = \underline{\underline{3,1 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}}}$$

La puissance de la nappe était lors de l'essai VII de 19 mètres,

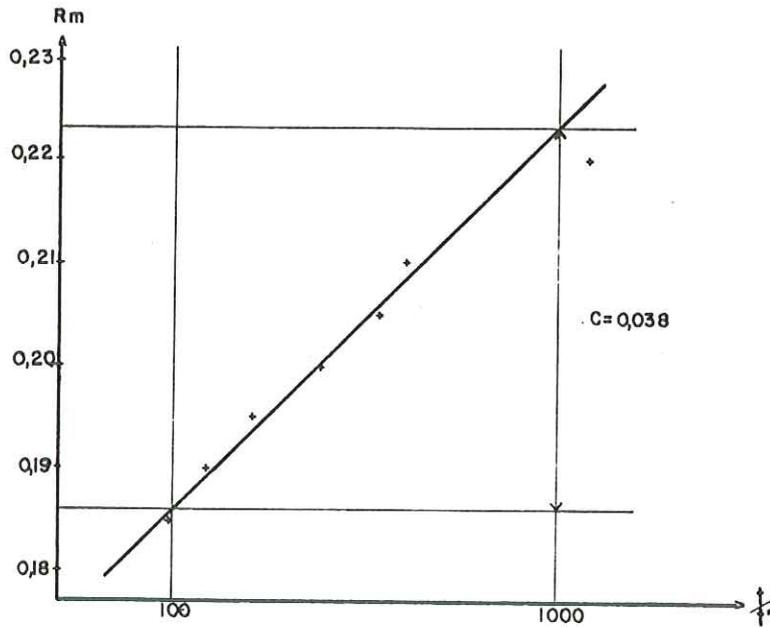
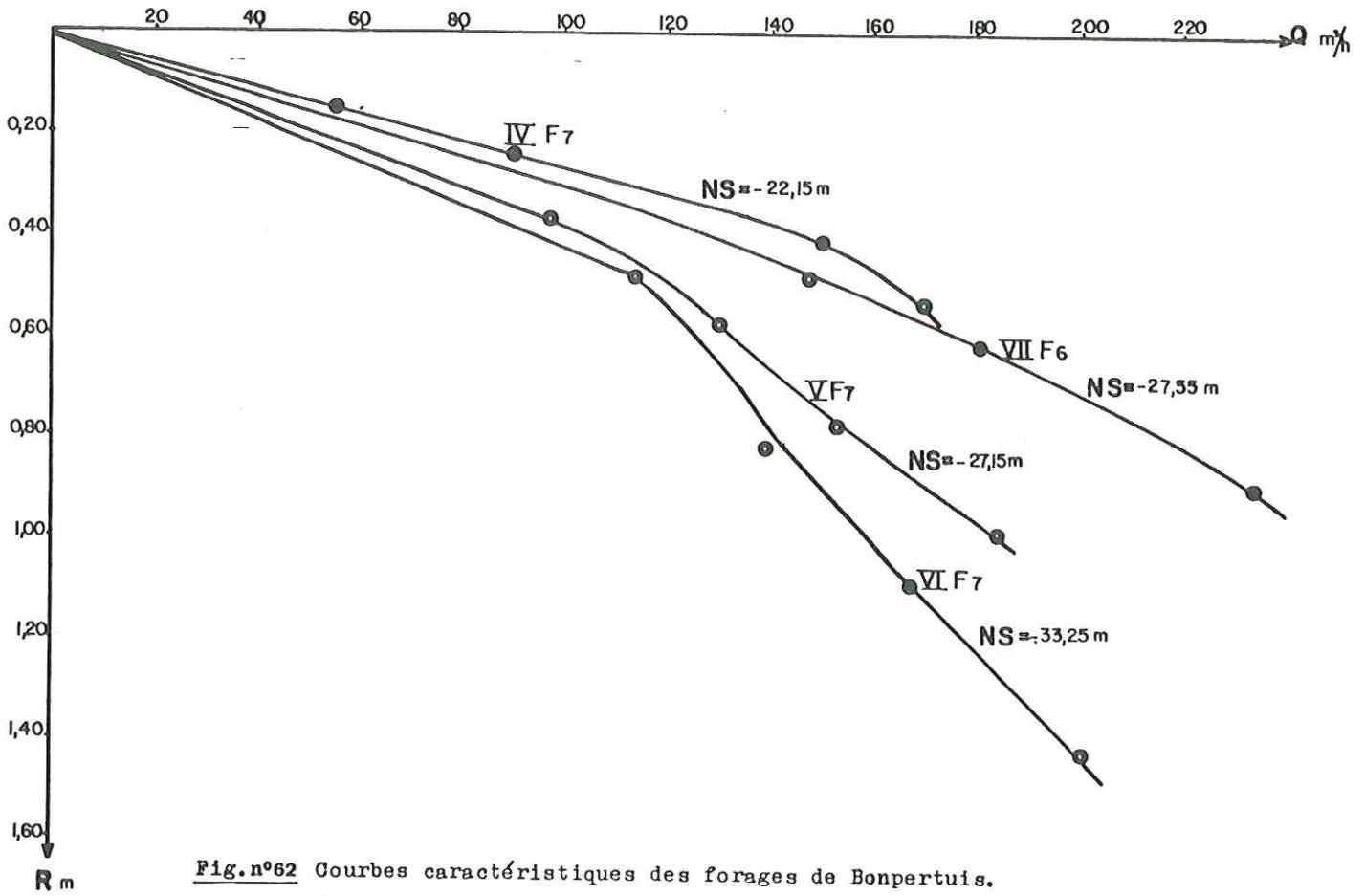
$$\text{donc } K = \frac{3,1 \times 10^{-1}}{19} = \underline{\underline{1,6 \times 10^{-2} \text{ m/s}}}$$

### B. Commentaires

Les enregistrements ont montré que la nappe variait entre -7 et -34 m à Bonpertuis. Les essais V, VI et VII sont donc réalisés en période de basses eaux. Par contre l'essai IV fut réalisé plutôt en moyennes eaux ( NS IV = - 22,15m).

#### a) Les courbes caractéristiques

Pour les essais effectués sur le forage F7 , deux débits critiques distincts sont fournis. Le plus élevé ( essai IV), de l'ordre de 150 m<sup>3</sup>/h, est obtenu pour le niveau statique d'avant pompage le plus haut. L'autre, de 115 m<sup>3</sup>/h environ, correspond aux deux pompages réalisés en période d'étiage très sévère. Le débit critique de l'ouvrage est fonction de la puissance de la nappe. Les rabattements de plus en plus forts au fur et à mesure de la baisse du niveau statique peuvent indiquer une diminution de



la perméabilité de haut en bas de l'aquifère. Cette diminution est d'ailleurs mise en évidence, comme nous allons le voir, par les essais de perméabilité et les calculs de perméabilité.

Lors de l'essai VI, bien que le débit critique ait été de  $115 \text{ m}^3 / \text{h}$  il faut savoir qu'une stabilisation a été obtenue pour un débit à  $168 \text{ m}^3 / \text{h}$  après 17 heures de pompage. Le rabattement est resté acceptable (  $1,10 \text{ m}$  ). Un débit d'exploitation de cet ordre de grandeur pouvait être envisagé sur le forage F7, qui aujourd'hui n'existe plus et cela pendant les périodes d'étiage les plus prononcées.

L'essai réalisé sur le forage F6 laisse entrevoir des possibilités d'exploitation encore plus intéressantes que précédemment. Des stabilisations sont obtenues assez rapidement pour les débits de 181 et  $235 \text{ m}^3 / \text{h}$ . Le débit critique pourrait se situer entre ces deux valeurs. Cependant il convient de rester prudent car, même si le niveau statique avant pompage était très bas (  $-27,55 \text{ m}$  ), la nappe remontait (  $6 \text{ cm/j}$  ). L'essai s'est donc déroulé suivant des conditions d'alimentation favorables et il ne peut être pris comme essai de référence. Les rabattements qu'il a occasionné montrent, en outre, que la perméabilité aux alentours du forage est très bonne.

#### b) Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère

Des essais de perméabilité par pompage à rabattement constant au cours de l'avancement du forage F ont donné à :

$$x - 29 \text{ m} , K = 2,5 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$x - 41,60 \text{ m} , K = 1,06 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$x - 44,60 \text{ m} , K = 1,2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

On constate que de haut en bas de l'aquifère la perméabilité diminue. Elle n'en reste pas moins bonne à tous les niveaux. Nous rappelons que les essais fournissaient pour des niveaux statiques :

$$\text{à } - 22,15 \text{ m} , K = 1,1 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$\text{à } - 27,15 \text{ m} , K = 6,3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Ces valeurs sont plus faibles que les précédentes mais elles confirment la diminution de la perméabilité vers le fond de l'aquifère.

Pour sa partie inférieure, que nous avons plus spécialement étudiée, l'aquifère a une transmissivité moyenne  $T = 1,7 \times 10^{-1} \text{ m}^2 / \text{s}$ , une perméabilité moyenne  $K = 8 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  ( valeurs tirées des essais IV, V et VI ). Ces grandeurs intéressent la zone située autour du forage F7 .

Plus à l'aval au niveau du forage F6 , T et K sont plus élevées :

$$T = 3,1 \times 10^{-1} \text{ m}^2 / \text{s} , K = 1,6 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

Ce sont là des valeurs très importantes, qui expliquent les débits élevés qu'il est possible de tirer du forage F6 avec des rabattements faibles.

Sur le site de Bonpertuis on observe donc d'amont en aval (du forage F7 vers le forage F6 ) une amélioration des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère.

#### II-3-4- Comparaison des résultats obtenus sur les deux sites

Les résultats obtenus sur les deux sites montrent que les débits exploitables au Guillermet (  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  ) sont plus faibles qu'à Bonpertuis (  $180 \text{ m}^3/\text{h}$  ) sur le forage F<sub>6</sub> . L'alimentation du puits est donc meilleure à Bonpertuis qu'au Guillermet. La perméabilité de l'aquifère plus élevée à Bonpertuis peut en être en partie responsable, mais il faut aussi admettre que d'amont en aval, le débit de transit de la nappe augmente et permet en conséquence des débits d'exploitation plus importants en ce dernier lieu.

L'augmentation du débit de transit serait due ;

- à un drainage des eaux de la Fure dans la région de Bonpertuis, là où le sillon vient en profondeur à l'aplomb de la vallée;
- à un drainage profond par le sillon des terrasses situées entre Plan-Bois et Bonpertuis, terrasses qui se développent à l'aval du Guillermet;
- à un drainage de la molasse dans laquelle est creusé le chenal.

Nous donnons ici un débit de transit approximatif de la nappe, calculé pour les conditions d'étiage de décembre 1978, à partir de la formule :

$$Q = K.S.i$$

où

$$K = \text{perméabilité moyenne de l'aquifère } 7,25 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$S = \text{section mouillée de l'aquifère } 1200 \text{ m}$$

$$i = \text{pente de la nappe entre le Guillermet et Bonpertuis} = 4,6 \text{ ‰}$$

$$\text{On obtient } Q = 144 \text{ m}^3/\text{h}$$

Il s'agit d'un débit imprécis compte tenu principalement de l'incertitude sur le terme S défini à partir de l'étude géophysique. Il a cependant l'avantage de donner un ordre de grandeur du débit total, qu'il serait souhaitable de ne pas dépasser lors des pompages pendant les étiages, afin de ne pas entraîner une surexploitation de la nappe.

#### II-4- PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES EAUX

Nous examinerons d'abord les caractéristiques importantes que sont la température et la résistivité. On s'intéressera ensuite aux propriétés chimiques à partir des analyses effectuées au laboratoire d'hydrogéologie de l'Institut Dolomieu où nous avons dosé les ions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  et accessoirement les nitrates et la silice. Les méthodes d'analyses et les appareils de mesures seront décrits dans le chapitre " Etude des sources ".

Il a paru intéressant d'exposer parallèlement aux propriétés physiques et chimiques des eaux de la nappe, celles des eaux des sources de Réaumont, de la Fure, de la nappe superficielle de l'Ainan afin d'établir d'éventuelles relations entre ces points de prélèvements. Tous les paramètres physiques et chimiques énoncés plus haut ont été suivis durant une année, de novembre 1978

à octobre 1979. Les prélèvements étaient faits régulièrement entre le 15 et le 20 de chaque mois. Les eaux de la nappe du sillon étaient prélevées sur le forage F9 du Guillermet puis sur le forage F7 de Bonpertuis. Hélas deux échantillons seulement ont été recueillis en ce dernier point, le forage ayant été détruit en cours d'étude. Les eaux de la nappe superficielle du marais de l'Ainan provenaient de la source de débordement située près de la station de pompage de la ville de Voiron.

#### II-4-1- Propriétés physiques

##### A. Résistivités ( fig. n°64 )

Les eaux de la Fure se distinguent nettement des autres échantillons. Les eaux de surface sont en effet moins minéralisées que les eaux souterraines.

- Fure :  $3300 > \rho > 5300 \Omega.cm$   
- Eaux souterraines :  $2000 > \rho > 2500 \Omega.cm$

1) Pendant les deux mois de novembre et décembre 1978 au cours desquels on a pu faire deux prélèvements simultanés sur la nappe du sillon, les eaux de Bonpertuis se sont révélées plus résistantes que les eaux du Guillermet :

Bonpertuis =  $2400 \Omega.cm$

Guillermet =  $2000 \Omega.cm$

L'augmentation de la résistivité d'amont en aval peut s'expliquer par l'existence possible entre les deux forages de prélèvement d'infiltrations d'une eau résistante qui en l'occurrence serait celle de la Fure comme nous en avons déjà émis l'hypothèse en plusieurs occasions. Des apports d'eau de la molasse pourraient eux aussi favoriser l'augmentation de la résistivité observée.

2) Les eaux prélevées dans la nappe du sillon au Guillermet présentent un pic de résistivité remarquable en février, mois où justement le niveau de la nappe remonte rapidement suite aux précipitations importantes de janvier et du début février. Aux périodes de crues, correspondent donc des résistivités élevées. Les eaux infiltrées, qui alimentent la nappe, circulent alors rapidement dans l'aquifère et se chargent peu en éléments solubles.

On exclut que l'alimentation dont il est question soit due aux infiltrations de la Fure. En janvier le débit de la Fure est de 400 l/s. Il est de 500 l/s en février. Nous ne pensons pas, en effet, que l'augmentation du débit de 100 l/s provoque des infiltrations telles qu'elles entraînent un accroissement de la résistivité de  $1500 \Omega.cm$  des eaux de la nappe profonde.

3) On notera la similitude des résistivités relatives aux eaux des sources de Réaumont et des eaux de la nappe du sillon, sans pour autant en conclure, qu'il existe une relation entre les sources et la nappe, dans la mesure où toutes les eaux souterraines, qui circulent suffisamment longtemps dans les formations quaternaires locales, acquièrent des résistivités variant entre 2000 et  $2500 \Omega.cm$ . La même remarque peut être faite en ce qui concerne les eaux de la nappe de l'Ainan et les eaux de la nappe du sillon.

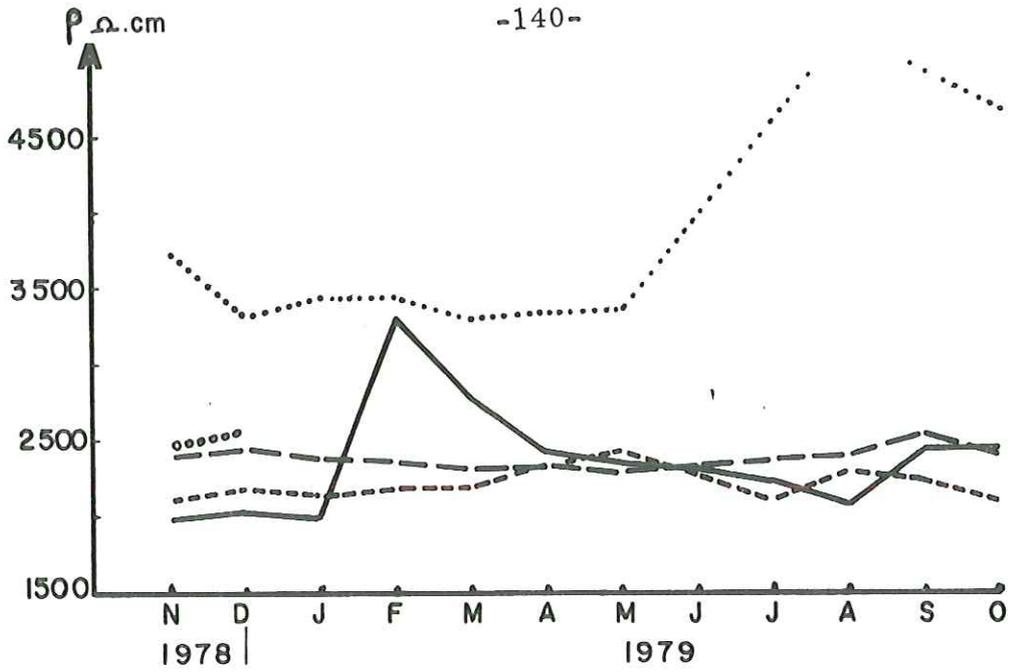


Fig.n°64 Variations des résistivités.  
(Cours d'eau, forage, source)

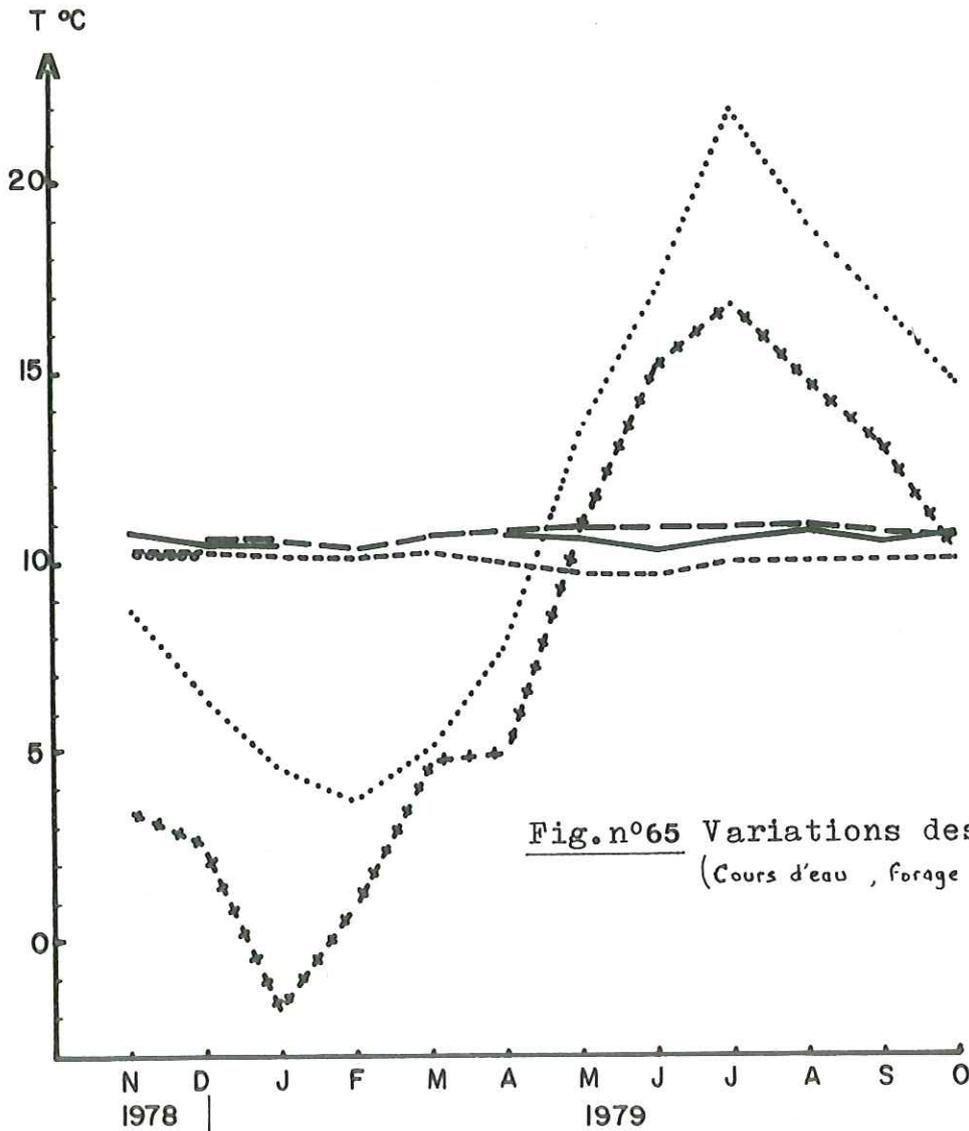


Fig.n°65 Variations des températures.  
(Cours d'eau, forage, source)

légende commune  
aux fig.

- ..... la FURE
- REAUMONT
- GUILLERMET
- oooo BONPERTUIS
- CHIRENS
- + + + f. air

B. Températures ( fig. n°65 )

Les eaux de la Fure suivent fidèlement l'évolution de la température de l'air. Ce n'est pas le cas des eaux souterraines, qui sont bien isolées des variations climatiques. L'amplitude des variations de chacune de ces eaux ne dépasse pas 0,6°C au cours de l'année. Leur température moyenne est comprise en 10°C et 11°C. Si les mesures mensuelles montrent qu'au Guillermet la température de l'eau de la nappe du sillon ne varie qu'entre 10,3°C et 10,8°C il semble en être différemment à Bonpertuis. Là, un enregistrement en continu des températures de l'eau sur le forage F6, de fin janvier à fin juillet 1980, révèle des variations beaucoup plus importantes

Mois	J	F	M	A	M	J	J
T en °C	7,3	7,6	7,6	9,2	9,8	10	10,5

Les valeurs notées ci-dessus sont celles relevées en fin de mois. L'écart entre janvier et juillet est de 3,2°C. Il nous paraît considérable compte tenu du fait, que pendant la période d'observation le niveau de la nappe s'est toujours maintenu en-dessous de la profondeur - 20 mètres et qu'ainsi, il s'est toujours agi d'une nappe profonde à priori isolée des variations saisonnières. Or, l'évolution mensuelle montre incontestablement, qu'il existe une relation entre les températures de l'air et donc du cours d'eau et les températures de la nappe.

On est ainsi amené à conclure que dans la région de Bonpertuis il y a des infiltrations des eaux de la Fure assez importantes, qui entraînent des variations notables de la température de la nappe profonde en fonction des températures de l'air.

II-4-2- Propriétés chimiques

Dans ce paragraphe, on précisera :

- la composition chimique moyenne des eaux qui sera représentée sur le diagramme de Schoeller-Bergaloff;
- le faciès chimique des eaux définies par l'anion et le cation les plus abondants et la formule caractéristique traduisant l'importance relative des différents ions;
- l'évolution dans le temps des principaux paramètres chimiques.

A. Composition chimique moyenne ( fig. n°66 )

Les diagrammes de Schoeller montrent des eaux dont les compositions chimiques moyennes sont semblables. On peut cependant distinguer les eaux de la Fure, qui présentent des teneurs toutes plus faibles que celles des autres eaux. On relèvera toutefois une exception. Elle concerne la teneur en sodium, qui est au moins égale aux concentrations des eaux souterraines. Les eaux de la nappe de Chirens, les plus minéralisées, ont des teneurs en sodium et chlorures plus importantes. Les engrais utilisés en agriculture peuvent en être la cause. On note aussi que les eaux de Bonpertuis se différencient des eaux du Guillermet par leur teneur en sodium. Elle est plus importante sur les eaux du forage de Bonpertuis. On peut y voir une confirmation de l'alimentation de la nappe du sillon par les eaux de la Fure dans la région de Bonpertuis. Enfin, les eaux des sources de Réaumont

### DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

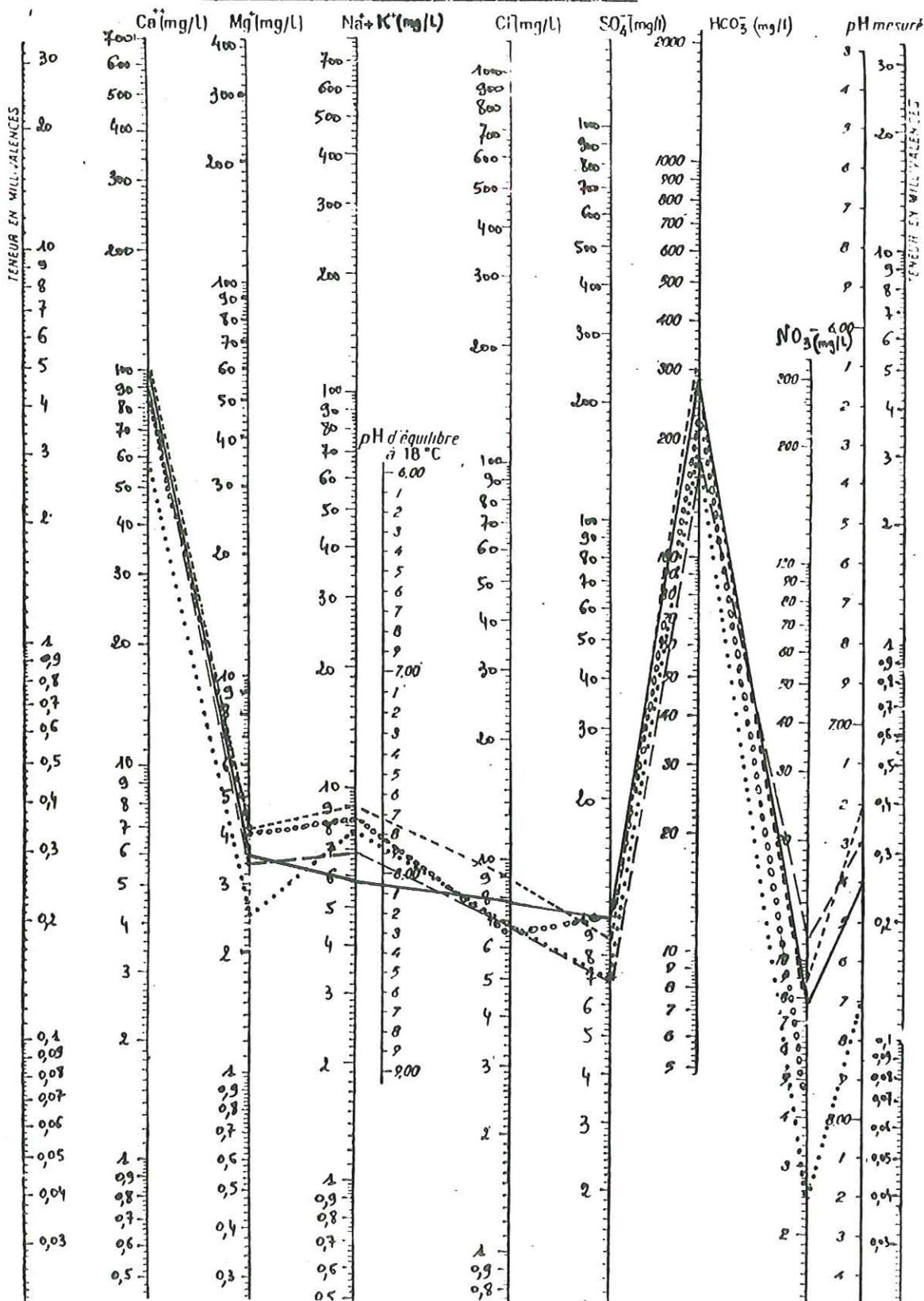


Fig. n°66 Compositions chimiques moyennes des eaux de:  
 La Fure....., Réaumont---, Le Guillermet—,  
 Bonpertuis.....et Chirens.....

ont des caractéristiques très voisines des eaux du Guillermet et de Bonpertuis, mais on ne peut pas pour autant en déduire qu'elles représentent l'exutoire de la nappe du sillon de la Fure.

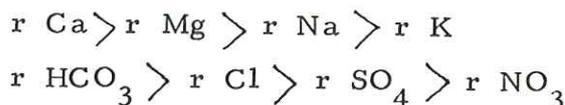
Les concentrations moyennes des eaux étudiées sont les suivantes :

- Fure	= 246 mg/l
- Nappe du sillon ( Guillermet )	= 450 mg/l
- Nappe du sillon ( Bonpertuis )	= 357 mg/l
- Sources de Réaumont	= 394 mg/l
- Nappe de Chirens	= 444 mg/l

### B. Faciès chimiques et formules caractéristiques

Toutes les eaux ont comme cation dominant le calcium  $\text{Ca}^{++}$  et comme anion dominant le bicarbonate  $\text{HCO}_3^-$ . Ce sont donc des eaux bicarbonatées calciques, qui reflètent l'environnement calcaire dans lequel elles ont circulé.

La formule caractéristique la plus fréquemment observée est la suivante :



Une modification est apportée pour les eaux de la Fure et de la nappe de l'Ainan où  $r \text{ Na} > r \text{ Mg}$  de même que pour les eaux des sources de Réaumont où  $r \text{ SO}_4^{2-} > r \text{ NO}_3^-$ .

### C. Evolution dans le temps des principaux ions ( fig. n°67 )

#### a) Calcium et bicarbonates

Ces deux éléments principaux varient d'une manière identique dans le temps. C'est remarquable sur les eaux du Guillermet où l'on retrouve le pic de février déjà noté dans l'étude des résistivités. Mis à part la valeur particulière de ce mois pour les eaux du Guillermet, les autres eaux souterraines ont des teneurs relativement constantes :

$$90 \text{ mg/l} < \text{Ca}^{++} < 220 \text{ mg/l}$$

$$260 \text{ mg/l} < \text{HCO}_3^- < 300 \text{ mg/l}$$

Les concentrations de ces éléments dans les eaux de la Fure en août et octobre sont plus faibles que lors des mois précédents :

$$- \text{Ca}^{++} = 40 \text{ mg/l} \text{ contre } 60 \text{ mg/l}$$

$$- \text{HCO}_3^- = 110 \text{ mg/l} \text{ contre } 185 \text{ mg/l}$$

Elles sont dues au fait que les prélèvements des deux mois considérés eurent lieu 4 à 5 jours après des pluies très importantes ( $>$  à 60 mm dans les deux cas). Les eaux de ruissellement étaient donc peu chargées.

#### b) Sodium et chlorures

Les variations dans le temps de ces deux éléments sont faibles. Elles sont inférieures à 2 mg/l pour  $\text{Na}^+$  et 3 mg/l pour  $\text{Cl}^-$ . Une augmentation progressive des teneurs en  $\text{Cl}^-$  est notée de janvier à juin,

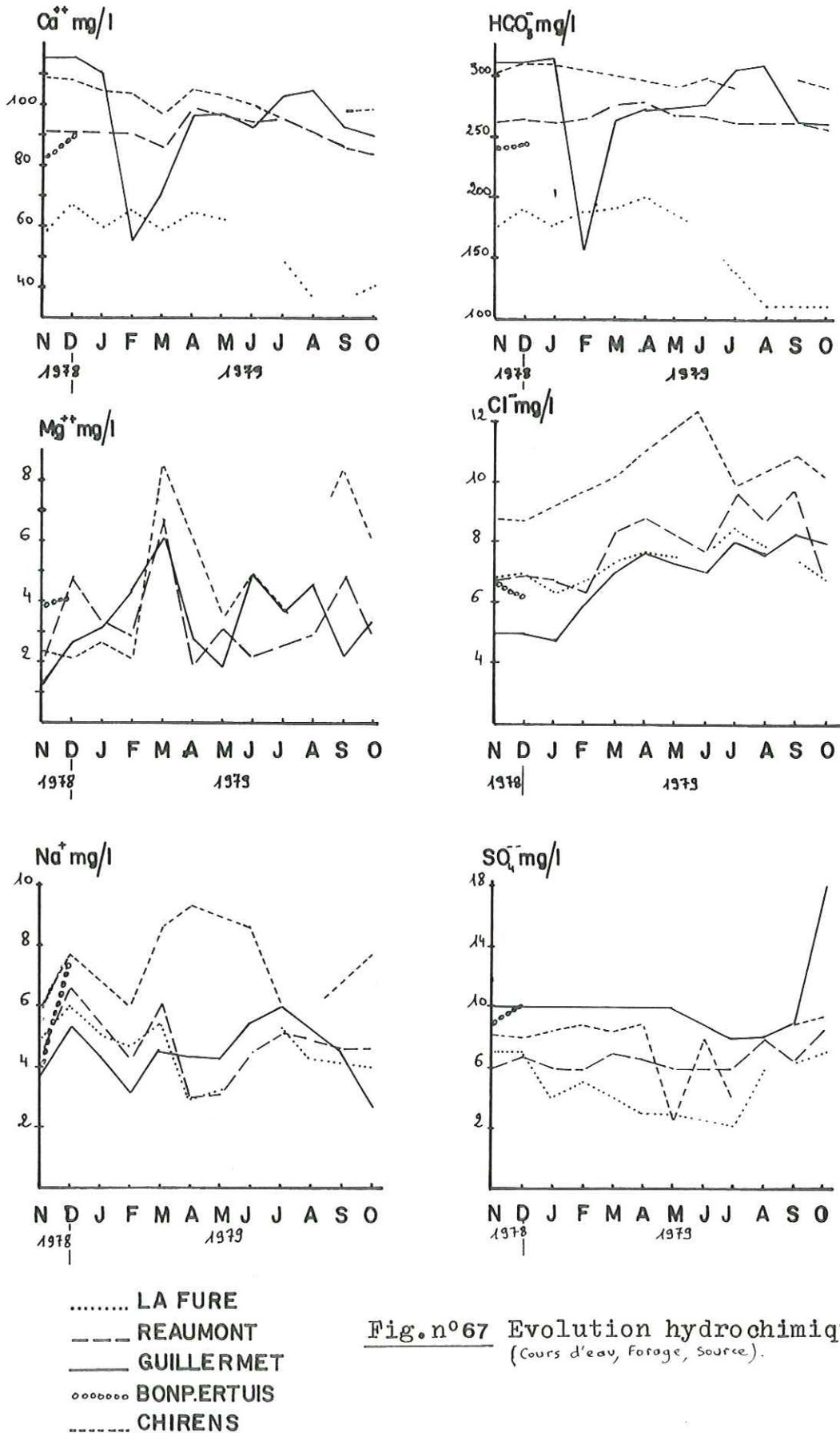


Fig. n°67 Evolution hydrochimique des eaux.  
 (Cours d'eau, Forage, Source).



II-6- ESSAI DE TRACAGE SUR LA NAPPE DU SILLON

Début février 1980, nous avons tenté un traçage sur la nappe du sillon de la Fure en injectant de la saumure dans le forage F<sub>8</sub> du Guillermet. Le forage F<sub>6</sub> de Bonpertuis constituait le point de contrôle où devait être détecté le passage du nuage salin. Il fut équipé d'un résistivimètre enregistreur dont la sonde descendue 40 mètres sous la surface du sol baignait dans l'eau de la nappe. Le passage du nuage salin devait se traduire par une chute des résistivités. Le but de la manipulation était :

- de vérifier la communication entre les deux forages;
- de préciser le temps de transit entre les deux points;
- d'approcher le débit de transit à partir de dépouillement de la courbe de restitution ( courbe des résistivités )

Après avoir estimé le débit de la nappe et pris en compte la sensibilité de l'appareil, la quantité de sel à injecter avoisinait une tonne. Une chance supplémentaire de réussite de la manipulation était donnée par l'injection définitive de 1850 kg de chlorure de sodium sous forme de saumure. Le volume injecté atteignait 6300 litres. La concentration de la saumure était de 295 g de Na Cl par litre d'eau. L'injection se fit en 1h45 mn, temps suffisamment court devant le temps de transit calculé théoriquement pour considérer qu'il s'agissait là d'une injection instantanée. Afin de laver le tubage pour éviter une corrosion par le sel, 1500 l d'eau furent ensuite déversés dans le forage.

\* Temps de transit théorique

. vitesse apparente d'écoulement =  $V_a = Ki$  ;  $K = 7,25 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

$i = 0,46\% = 4,6 \times 10^{-3}$   
 $V_a = 0,33 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

. vitesse réelle d'écoulement =  $V_r = \frac{V_a}{n}$  ; 5 % n 20 % (n=porosité)

si n = 5 %  $V_r = 2,4 \text{ m/h}$

si n = 20 %  $V_r = 0,6 \text{ m/h}$

. Distance entre les deux forages F<sub>6</sub> et F<sub>8</sub> : D = 1700 m

. Temps de transit théorique :  $t = \frac{D}{V_r}$

. Suivant la valeur de n : 29 jours  $\left. \vphantom{\frac{D}{V_r}} \right\} t \left. \vphantom{\frac{D}{V_r}} \right\} 118 \text{ jours}$

Le contrôle des résistivités a duré plus de 150 jours. Aucune augmentation significative n'a été décelée durant ce laps de temps. Le temps de transit théorique maximum étant dépassé il fallait admettre l'échec de la manipulation. Cet échec ne saurait remettre en doute l'existence de la relation entre le Guillermet et Bonpertuis. Les données piézométriques suffisent à elles seules pour l'admettre.

On avance plusieurs raisons pour expliquer l'absence de résultats positifs de l'opération de traçage :

- piégeage dans une zone d'eau morte;
- dilution très importante due aux vitesses de transit lentes propres au milieu alluvial;
- dilution très importante due à la distance séparant le point d'injection du point de prélèvement;
- sous-estimation du débit de transit.

## CONCLUSION A L'ETUDE DES NAPPES

Les nappes souterraines contenues dans les alluvions quaternaires sont les principales ressources en eau de la région. Leur exploitation est précédée d'études et de travaux de reconnaissance, qui fournissent des informations sur le comportement hydrologique, les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères et les débits exploitables.

### - La nappe de Planche-Cattin

C'est une nappe superficielle qui est alimentée principalement par la Fure et les apports latéraux des terrasses d'Apprieu. La perméabilité de l'aquifère est de  $2 \times 10^{-3}$  m/s. Les débits d'exploitation pourront atteindre  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  sur le puits de captage du Syndicat des Eaux d'Apprieu.

### - Les nappes de la haute vallée de l'Ainan

Dans la dépression de Chirens, deux nappes dépendantes se superposent. L'une superficielle est exploitée par la ville de Voiron. L'autre plus profonde ne l'est pas.

L'écoulement de la nappe profonde, compte tenu de la pente du substratum se ferait vers le Sud-Ouest. Elle représenterait la partie amont de la nappe du sillon de la Fure.

La perméabilité moyenne du remplissage de la plaine est de  $4,6 \times 10^{-4}$  m/s.

### - La nappe du sillon de la Fure

Elle est contenue dans un surcreusement molassique profond, que la géophysique a individualisé dans la haute vallée de l'Ainan et qui se poursuit vers la Tête de Bièvre, en empruntant la trouée de la Fure. La nappe relierait donc en profondeur la haute vallée de l'Ainan et la vallée de la Fure.

L'écoulement de cette nappe se fait du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Le haut bassin de l'Ainan constituerait sa zone d'alimentation principale. Les battements de la nappe sont très importants, ils sont directement liés au régime pluviométrique. On en déduit que les réserves sont limitées. L'alimentation actuelle est prouvée par les analyses isotopiques, lesquelles peuvent suggérer une relation entre la nappe et le lac de Paladru.

Dans la région de Bonpertuis, on a mis en évidence des infiltrations assez importantes de la Fure vers la nappe. Elles justifient en partie les débits d'exploitations extractibles plus importants sur le site de Bonpertuis ( $180 \text{ m}^3/\text{h}$ ) que sur le site du Guillermet ( $80 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Le drainage par le sillon des terrasses d'Apprieu-Plan Bois en aval du Guillermet doit aussi augmenter le débit de transit de la nappe au niveau de Bonpertuis et par là même favoriser des débits d'exploitation plus substantiels en ce dernier lieu.

Les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère graveleux sont excellentes :

$$T \text{ moyen} = 1,5 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K \text{ moyen} = 7,25 \times 10^{-3} \text{ m/s.}$$

D'un point de vue chimique les eaux bicarbonatées calciques de la nappe sont correctes. Aucune trace de pollution industrielle ou agricole n'affecte la potabilité de l'eau. La variation des teneurs des différents éléments est faible au cours de l'année.

Enfin, on soulignera la similitude d'ordre chimique, qui existe entre les eaux de la nappe du sillon et les eaux des sources de Réaumont, sans pour autant en conclure qu'il y a une relation entre les deux, étant donné que dans la région, toutes les eaux souterraines présentent des caractéristiques peu différentes.

CHAPITRE VII

=====

ETUDE DES SOURCES

-----

- I - METHODE D'ETUDE DES SOURCES
- II - DESCRIPTION PHYSICO-CHIMIQUE DES SOURCES

## INTRODUCTION

Un chapitre particulier est réservé à l'étude des sources, à leurs propriétés physiques et chimiques. C'est pour deux raisons principales qu'il en est ainsi. La première est que les sources jouent un rôle important dans l'alimentation en eau de la région, en particulier dans les hameaux et habitations isolés des villages. Là, chaque ferme possède " sa " source ou " sa " fontaine fluante. La seconde raison présente un intérêt plus théorique mais intéressant pour le géologue. En effet nous avons déjà noté les difficultés, en certains endroits, qu'il y a de différencier à l'affleurement, la molasse conglomératique des alluvions quaternaires plus ou moins indurées. Les propriétés physico-chimiques des eaux seront un moyen d'identifier aisément le terrain dans lequel elles ont circulé. Les analyses permettront enfin de proposer des critères simples de classification des grandes familles de sources.

Une vingtaine d'émergences ont été suivies régulièrement. Parmi elles, nous en avons choisies dix, qui représentent assez bien les divers types de sources rencontrés sur le terrain. C'est leur étude détaillée que nous présentons maintenant. ( les résultats des analyses des eaux de sources sont donnés dans l'annexe II ).

### I - METHODE D'ETUDE DES SOURCES

#### I-1- ETUDE DES PARAMETRES PHYSIQUES

Les paramètres physiques étudiés sont : le débit, la température, la résistivité, le pH.

##### - Les débits

Chaque fois qu'il était possible nous avons mesuré le débit des sources à l'aide d'une capacité jaugée. Bien souvent, lorsque la source n'était pas captée, on devait réaliser des petits barrages en terre afin de créer un dénivelé permettant d'introduire la capacité sous le tuyau collecteur. Si le captage existait, le jaugeage était plus aisé et donc plus précis.

##### - La température

Elle était mesurée au griffon de la source à l'aide d'un thermomètre à mercure. La précision de la mesure est de  $\pm 0,1$  °C.

##### - La résistivité

Les mesures ont été faites au laboratoire sur l'échantillon, le jour même du prélèvement. L'appareil de mesure est un résistivimètre Philips GM 4249-01. Le coefficient de la cellule de Tacussel est égale à 0,81. Les

valeurs sont ramenées à la température de référence de 18°C.

- Le pH

Le pH ou cologarithme de la concentration en ions  $H^+$  a été mesuré au laboratoire à l'aide d'un pH-mètre PI à électrode combinée verre-calomel.

I-2- ETUDE DES PARAMETRES CHIMIQUES

Les paramètres chimiques pris en compte sont les suivants :  $SiO_2$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $NO_3^-$ . Les éléments  $Na^+$  et  $K^+$  ont été analysés au laboratoire de Chimie Analytique de la Faculté de Pharmacie, les autres au laboratoire d'hydrogéologie de l'Institut Dolomieu.

Trois méthodes de dosage sont utilisées :

- . la titrimétrie
- . la colorimétrie
- . la spectrométrie

Pour avoir plus de précision sur ces méthodes on se reportera au mémento " Analyses physiques et chimiques des eaux " de C. Armand et B. Delaquaize ( 1977 )

- Dosages titrimétriques

Ils sont utilisés pour l'analyse de :  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Cl^-$  et  $HCO_3^-$ . Les teneurs en  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  donnent la dureté totale ou titre hydrothimétrique total ( THT ). Notons de suite qu'aucune trace de  $CO_3^{--}$  ne sera trouvée dans les eaux, le pH étant inférieur à 8,3.

- Dosages colorimétriques

On utilise les propriétés qu'ont les substances de donner avec des réactifs une coloration dont la densité optique est fonction de la concentration. Par cette méthode, on a dosé les sulfates, les nitrates et la silice dissoute, à l'aide du photomètre HACH DC.DR dont la longueur d'onde incidente était ajustée au moyen de filtres.

- Dosages par spectrophotométrie

Le sodium est dosé par émission atomique tandis que le potassium l'est par absorption atomique.

I-3- CARACTERES GENERAUX DES EMERGENCES

Les sources étudiées sont localisées sur la figure n° 2 (hors texte)

I-3-1- Résistivité, conductivité, minéralisation totale

A. Résistivité

Deux ensembles de résistivités dominant. L'un est compris entre 1900 et 2500  $\Omega.cm$ . Il correspond au groupe des sources du quaternaire. L'autre

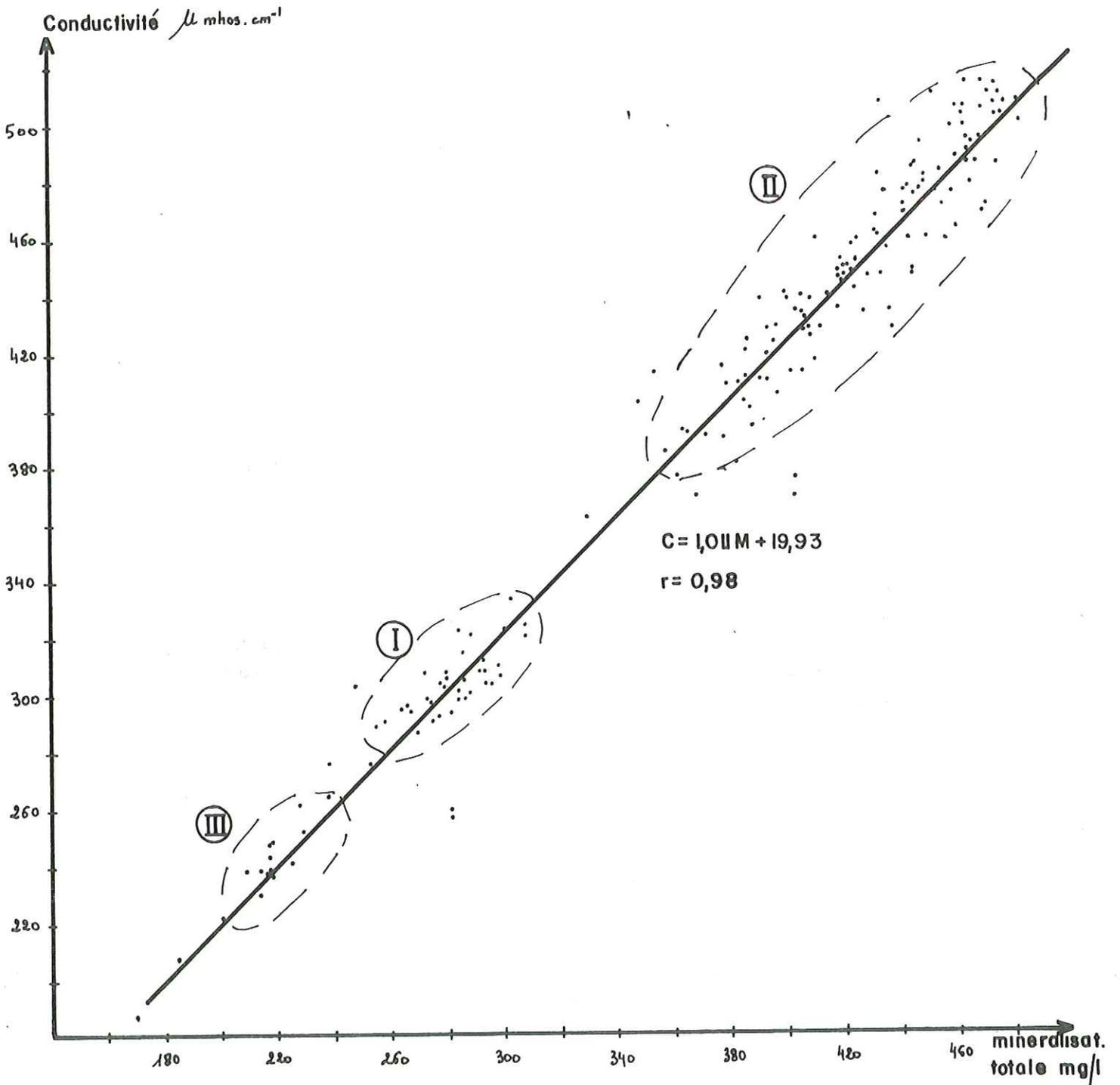


Fig. n°68 Relation conductivité - minéralisation totale.  
(ensemble des eaux étudiées)

compris entre 3000 et 3500  $\Omega$ .cm se rapporte au groupe des sources de la molasse. Il existe un troisième groupe moins important que les précédents qu'on qualifiera de groupe des sources mixtes. Il est caractérisé par des résistivités de l'ordre de 4 000  $\Omega$ .cm.

### B. Minéralisation totale

La concentration moyenne de l'ensemble des sources étudiées est de 370 mg/l. Les sources de la molasse ont une teneur globale moyenne de 275 mg/l, celle des alluvions quaternaires est de 450 mg/l. Pour les sources dites mixtes on retiendra la teneur de 210 mg/l.

Dans les trois groupes de sources le cation dominant est le calcium, l'anion dominant étant l'ion bicarbonate. Toutes les eaux sont donc bicarbonatées calciques. Les autres éléments,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{--}$  et  $NO_3^-$  sont représentés par de faibles teneurs ne dépassant que très exceptionnellement 10 mg/l. Seules des pollutions agricoles donnent dans certains cas, des teneurs en chlorure atteignant 15 mg/l et des teneurs en nitrates voisines de 20 mg/l.

### C. Relation conductivité - minéralisation totale

Nous avons établi une corrélation entre la conductivité C, ( inverse de la résistivité =  $1/\rho$  ), et la minéralisation totale M pour 185 couples, la relation obtenue est la suivante :

$$C = 1,011 M + 19,33 \quad \begin{array}{l} C \text{ en } \mu \text{ mho. cm}^{-1} \\ M \text{ en mg/l} \end{array}$$

Le coefficient de corrélation est de 0,98. La figure n°68 représente les variations de la conductivité en fonction de la minéralisation totale pour toutes les analyses chimiques des sources effectuées. Les trois groupes y apparaissent :

- groupe I = sources de la molasse;
- groupe II = sources des alluvions;
- groupe III = sources mixtes.

## I-3-2- Débits et températures des eaux de sources

### A. Les débits

En moyenne ils ne dépassent pas 1 l/s. Cependant le nombre des captages ainsi que l'avantage qu'ils ont de fournir une alimentation par gravité confèrent à ces adductions d'eau une certaine importance dans l'alimentation des collectivités ( R. Michel, 1961 ). Pour l'ensemble des sources le maximum de débit s'observe en février, mars et avril, le minimum en octobre, novembre et décembre. Les maxima sont liés à la période où l'évapotranspiration est moindre. L'infiltration profonde est alors importante. Les faibles débits sont la conséquence de l'évapotranspiration maximale de l'été et de l'automne qui entraîne une alimentation médiocre des nappes.

## B. Les températures

Elles suivent l'évolution de la température de l'air avec un minimum en février, mars et un maximum en septembre et octobre. La concordance, mise en évidence par R. Michel (1960), entre la température moyenne annuelle de l'air et la température des sources dans le département de l'Isère pour des altitudes inférieures à 1200 m est ici vérifiée pour les eaux de la molasse au degré près. En ce qui concerne les sources du quaternaire, la concordance existe aussi, mais elle est moins bonne. La température de l'eau dépasse généralement de 2°C la température moyenne annuelle de l'air.

## II - DESCRIPTION PHYSICO-CHIMIQUE DES SOURCES

La description physico-chimique des sources est présentée en trois grands paragraphes, chacun d'eux étant consacré aux trois types d'émergences différenciés :

- sources du substratum;
- sources des alluvions glaciaires, fluvio-glaciaires et fluviales;
- sources mixtes.

Pour chacune des sources on précise d'abord sa localisation et les conditions d'émergence puis les paramètres physiques et enfin les paramètres chimiques. On insistera sur les éléments qui permettent de faire une distinction entre les trois grands types de source. Systématiquement les variations mensuelles des débits, des températures, des résistivités, des teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{HCO}_3^-$  sont données. Il en sera de même pour les autres ions chaque fois que leur concentration atteint 2 mg/l. Le domaine de variation de la chimie de chaque source est indiqué sur les diagrammes logarithmiques de Schoeller-Bergaloff.

### II-1- LES SOURCES DU SUBSTRATUM

Elles sont situées à une altitude voisine de 600 m. Elles sont étagées sur le pourtour des collines molassiques. En reliant les émergences qui ont la même cote, on définit des niveaux sableux ou argileux intercalés dans la série conglomératique.

Les horizons sableux déterminent des aquifères alimentés par infiltration lente depuis la surface. Ils sont jalonnés de sources qui drainent la nappe. La molasse est en effet imperméable par rapport aux alluvions quaternaires. Elle ne l'est pas totalement en ce qui concerne les diverses couches sableuses ou argileuses qu'elle renferme. Ces dernières servent de niveaux collecteurs d'où l'existence de sources échelonnées sur les versants des collines.

## II-1-1- La source de Louisias

X = 849,45      Y = 352,87      Z = 590 m

Cette source est située sur le flanc occidental des collines du Bois du Grand Platon et du Châtelar à l'Est de Charavines.

### A. Conditions d'émergence

Aucun affleurement au niveau de la source ne permet de dire si elle apparaît à la faveur d'un niveau argileux ou sableux à l'intérieur du conglomérat. Elle est liée en tout cas à l'une ou l'autre de ces intercalations ( fig. n°69 ).

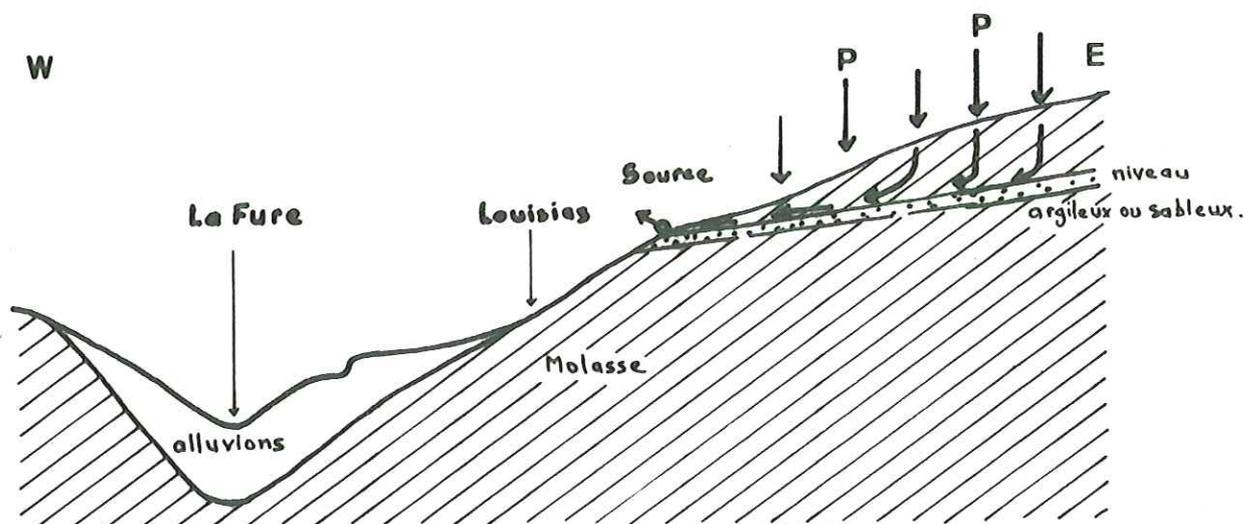


Figure n°69 : Conditions d'émergence de la source de Louisias

### B. Paramètres physiques ( fig. n°70 )

#### a) Débits

Le débit moyen annuel est de 1,2 l/s. On observe un maximum de 2,5 l/s en avril-mai et un minimum de 0,35 l/s fin automne, soit un coefficient de variabilité de 7. Le maximum de débit est atteint plus tardivement que pour les sources du quaternaire ou celui-ci se situe généralement en février. Les circulations dans l'aquifère molassique sont donc plus lentes.

#### b) Températures

Elles varient entre 8,2 et 9,8°C. Les conditions de mesure assez mauvaises n'autorisent pas de commentaires sur les variations mensuelles.

#### c) Résistivités

Elles sont relativement constantes tout au long de l'année. La moyenne est de 3400  $\Omega$ .cm. Cette constance révèle un aquifère assez important et des circulations lentes. Le pic d'avril est lié à l'infiltration près de l'émergence, des eaux de pluie tombées la veille du jour de prélèvement.

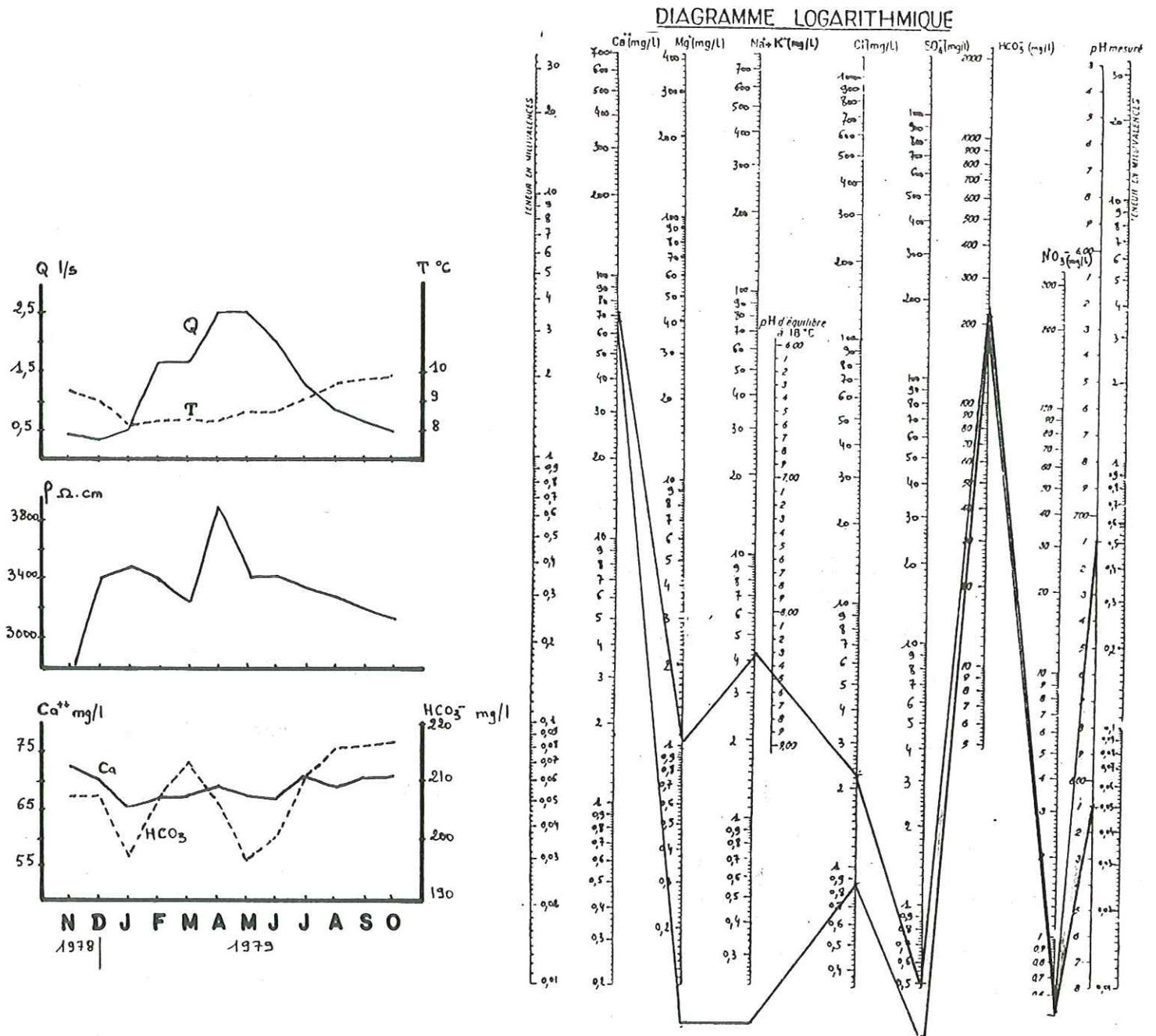


Fig.n°70 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de LOUISIAS.

d) pH

Le pH moyen est de 7,6.

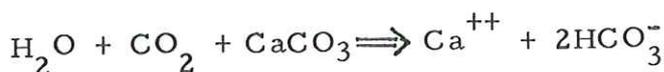
C. Paramètres chimiques ( fig. n°70 )

Les teneurs en calcium et bicarbonates sont constantes :  
66 mg/l < Ca<sup>++</sup> < 70 mg/l;  
200 mg/l < HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> < 215 mg/l

Tous les autres ions ont une concentration inférieure ou voisine de 2 mg/l =

$$\text{Mg}^{++} = 0,82 \text{ Mg/l} - \text{Na}^+ = 2,1 \text{ mg/l} - \text{K}^+ = 0,29 \text{ mg/l},$$
$$\text{Cl}^- = 1,4 \text{ mg/l} - \text{SO}_4^{--} = 0 - \text{NO}_3^- = 0,46 \text{ mg/l}$$

Toutes ces teneurs caractérisent un environnement essentiellement calcaire. L'eau peu minéralisée est bien protégée des pollutions agricoles, ( absence de sulfates et nitrates ). Le rapport ionique  $r \text{HCO}_3^- / r \text{Ca}^{++}$  est égal à 1. Les ions Ca<sup>++</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> proviennent de l'action du gaz carbonique sur les galets calcaires :



Nous verrons que pour les eaux issues des alluvions ce rapport ionique est inférieur à 1. Le rapport ionique  $r \text{Na}^+ / r \text{Cl}^-$  est compris entre 1 et 3. Na<sup>+</sup> proviendrait non seulement du chlorure de sodium mais aussi probablement des argiles de la molasse.

La formule caractéristique de la source est la suivante :

$$r \text{Ca} > r \text{Na} > r \text{Mg} > r \text{K}$$
$$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- > r \text{SO}_4^{--}$$

II-1-2- La source de la Combe Revatière

$$X = 830,28 \quad Y = 353,96 \quad Z = 625 \text{ m}$$

Elle est située en rive gauche du lac de Paladru à mi-distance entre le sommet du Bois du Grand Platon et le Petit-Bilieu.

A. Conditions d'émergence

On retrouve le schéma décrit pour la source de Louisias, ( niveau sableux ou limoneux intercalé dans la molasse ). La similitude des propriétés physiques et chimiques ainsi que les altitudes voisines, 590 m et 525 m, des sources de Louisias et Revatière laissent supposer qu'il s'agit d'un même niveau lithologique continu, déterminant un aquifère profond. Les deux émergences constituent des exutoires de la nappe.

\*  $r \text{HCO}_3^- / r \text{Ca}^{++}$  = rapport de concentrations ioniques exprimées en meq/l.

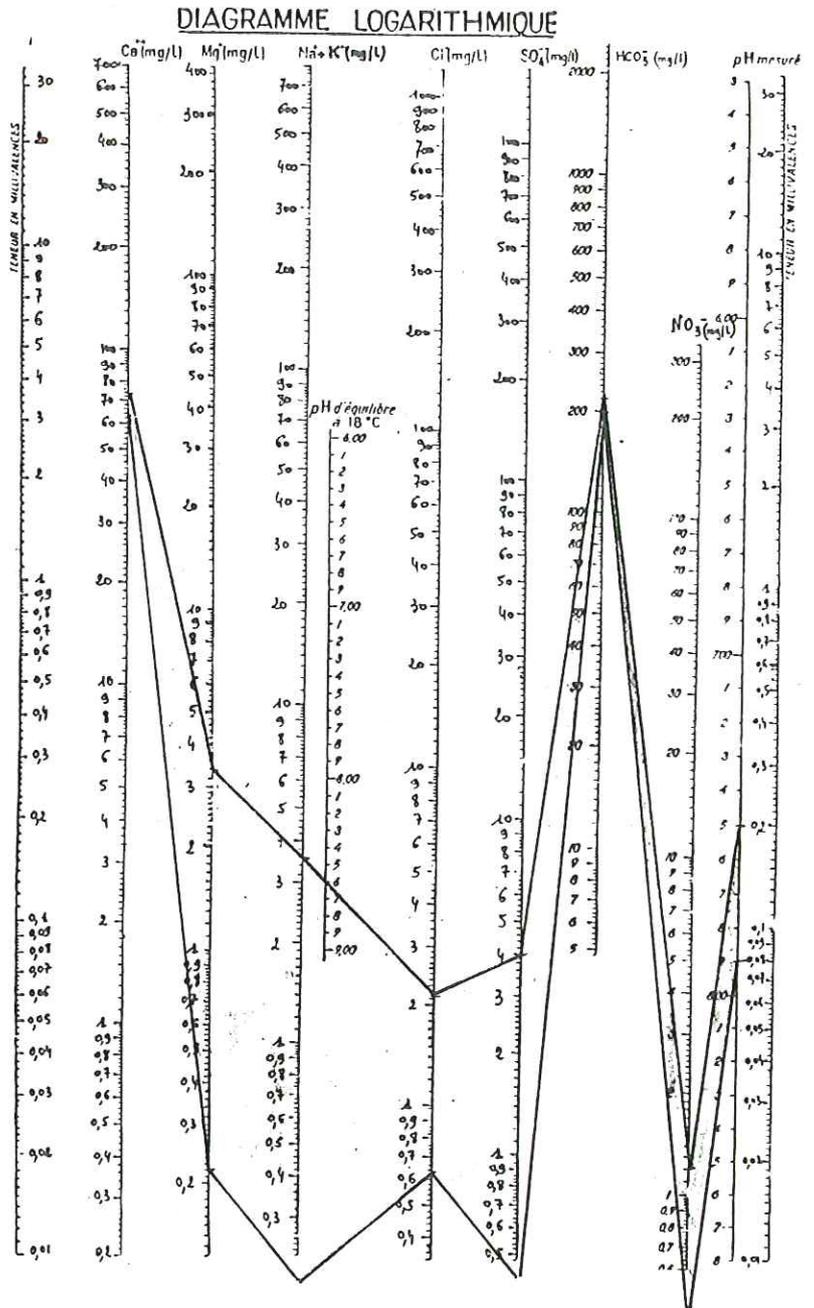
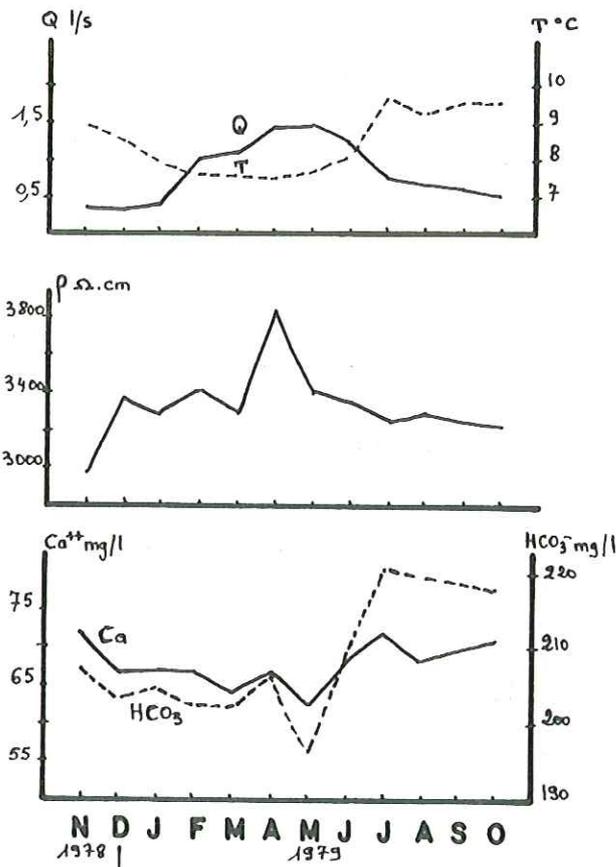


Fig.n°71 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de la COMBE REVATIERE.

B. Paramètres physiques ( fig. n° 71 )

a) Débits

Ils sont plus faibles que ceux de la source de Louisias ; débit moyen = 0,8 l/s, mais ils présentent des variations dans le temps similaires. Le coefficient de variabilité est de 4,3.

b) Les températures

Elles varient de 7,6 à 9,4 °C. Cette amplitude importante pour des eaux de la molasse est due à une circulation sous une couverture peu épaisse près de l'émergence.

c) Résistivités

Elles sont peu variables et voisines de celles de la source de Louisias.

$$\rho_{\text{Louisias}} = 3400 \Omega \cdot \text{cm}, \quad \rho_{\text{Revatière}} = 3300 \Omega \cdot \text{cm}$$

Ce seul paramètre peut justifier l'appartenance des deux émergences à un même aquifère.

d) pH

Sa valeur moyenne est de 7,8.

C. Paramètres chimiques ( fig. n° 71 )

La teneur moyenne en  $\text{Ca}^{++}$  est de 68 mg/l; celle des ions bicarbonates est de 208 mg/l. Ces valeurs sont identiques aux concentrations rencontrées dans les eaux de la source de Louisias.

Les autres éléments ne sont présents que sous forme de traces ( 2 mg/l )

$$\begin{aligned} \text{Mg}^{++} &= 1,5 \text{ mg/l.} - \text{Na}^+ = 1,8 \text{ mg/l.} - \text{K}^+ = 0,4 \text{ mg/l} \\ \text{Cl} &= 1,3 \text{ mg/l} - \text{SO}_4^{--} = 0 - \text{NO}_3^- = 0,9 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

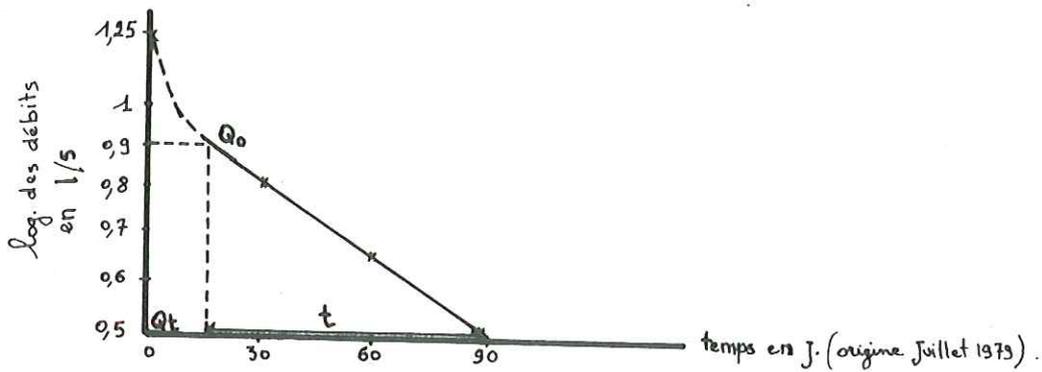
Les rapports ioniques  $r \text{Na} / r \text{Cl}$  et  $r \text{HCO}_3 / r \text{Ca}$  sont respectivement égaux à 2 et 1. La formule caractéristique de la source est la suivante :

$$\begin{aligned} r \text{Ca} &> r \text{Mg} > r \text{Na} > r \text{K} \\ r \text{HCO}_3 &> r \text{Cl} > r \text{NO}_3 > r \text{SO}_4 \end{aligned}$$

II-1-3- Estimation du volume des réserves régulatrices alimentant les sources de Louisias et de la Combe Revatière

A. Source de Louisias

Les débits mensuels permettent d'établir la droite de tarissement suivante :



- Détermination du coefficient de tarissement  $\alpha$

Appliquons la formule de Maillet afin de calculer  $\alpha$  ( cf. chapitre IV. parag. IV )

$\lg Q_t = \lg Q_0 - (0,4343 \alpha) t$  avec  $Q_t$  et  $Q_0$  en  $m^3/s$  et  $t$  en jours

$$\lg 0,0005 = \lg 0,0009 - (0,4343 \alpha) 75$$

$$0,26 = 32,5 \alpha$$

$$\alpha = 0,008$$

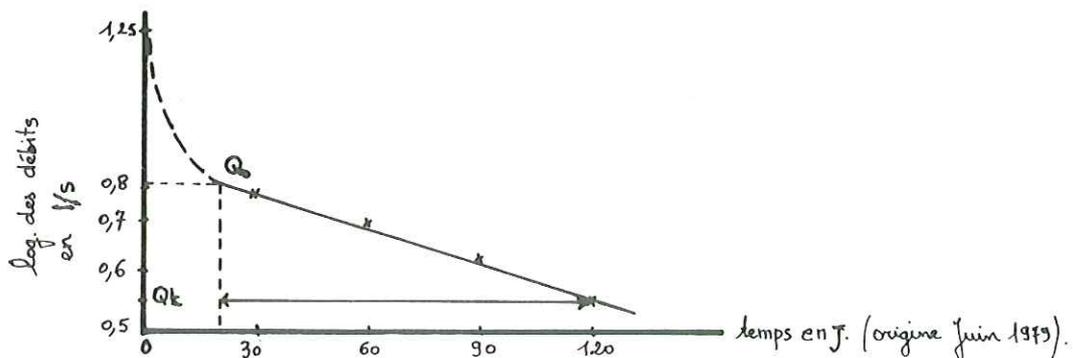
- Calcul des réserves régulatrices relatives à la source de Louisias

$$W_L = \frac{86400 \times Q_0}{\alpha} \quad \text{avec } W_L \text{ en } m^3 \text{ et } Q_0 \text{ en } m^3/s$$

$$W_L = \frac{86400 \times 0,009}{0,0080} = 9720 m^3$$

B. Source de la Combe Revatière

Les mêmes calculs que précédemment sont effectués à partir de la droite de tarissement suivante :



On obtient :  $\alpha = 0,0039$   
 $W_{C.R.} = 17.723 \text{ m}^3$

Si on admet que les deux sources représentent des exutoires d'une même nappe, le volume d'eau emmagasiné serait près de  $27\ 000 \text{ m}^3$  ( $W_L + W_{C.R.}$ ). Mais il ne s'agit là que d'un volume très approximatif destiné à donner un ordre de grandeur. Il existe entre ces deux sources une autre émergence que nous n'avons pas étudié mais qui, de par son altitude pourrait elle aussi constituer un autre point de déversement de la nappe. Auquel cas, le volume calculé ne représenterait qu'une partie du volume d'eau total de la nappe. Notons aussi que la fréquence mensuelle des mesures ne permet pas de connaître avec précision la valeur  $Q_0$  (débit de début de tarissement). Pour toutes ces raisons les résultats obtenus ne restent que des estimations imprécises.

II-1-4- La source du Mont Follet

$X = 848,35$        $Y = 351,77$        $Z = 610 \text{ m}$

La source du Mont Follet est captée. Elle participe à l'alimentation en eau de la commune de Charavines. Elle se situe sur le flanc nord du Mont Follet.

A. Conditions d'émergence

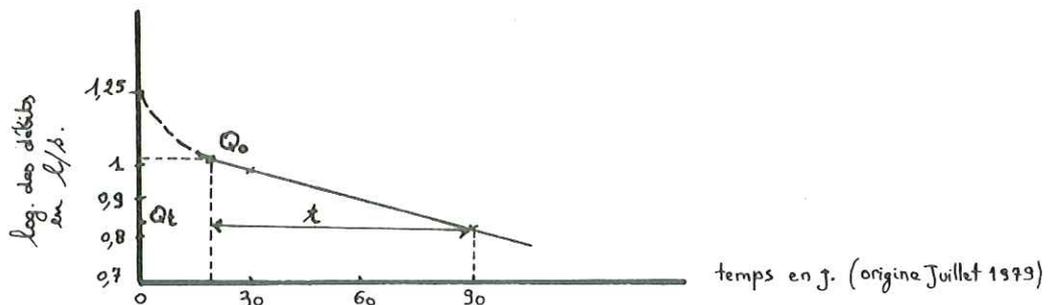
Elles sont identiques à celles des deux sources précédentes. L'altitude de la source, 610 m montre qu'elle peut provenir du même niveau lithologique que celui rencontré de l'autre côté de la vallée de la Fure. Il représenterait localement un horizon stratigraphique remarquable.

B. Propriétés physiques ( fig. n° 72 )

a) Débits

Le débit moyen de 1,1 l/s et surtout le coefficient de variabilité faible de 2,2 montrent que les réserves souterraines sont assez importantes. Les variations de la pluviométrie ne se font que très faiblement sentir.

De juillet à octobre le débit décroît régulièrement. Pendant cette période une grande partie des précipitations qui tombent repart dans l'atmosphère par évapotranspiration. L'écoulement de la source se fait alors en régime non-influencé. On peut donc étudier sa droite de tarissement.



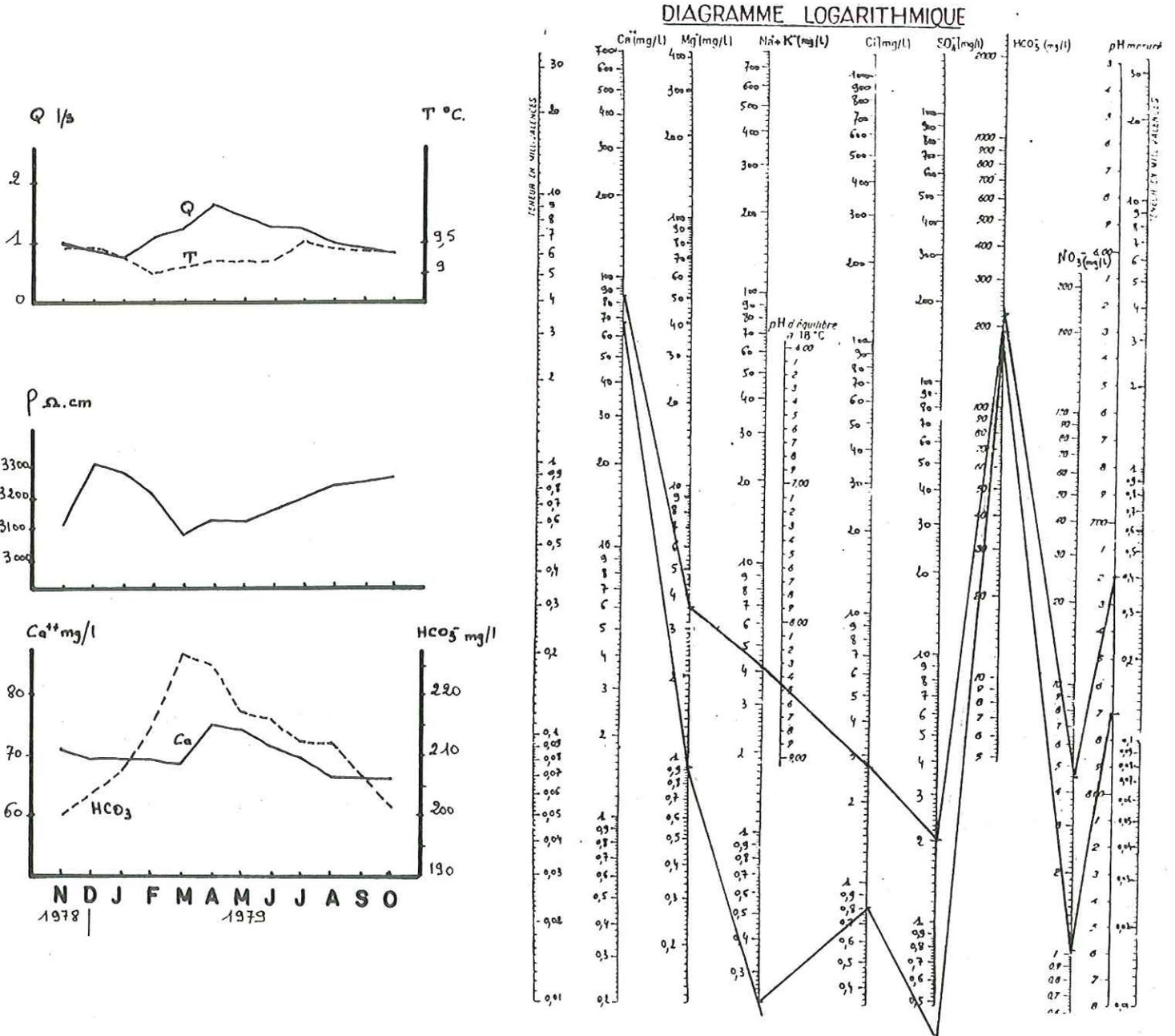


Fig.n°72 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source du MONT-FOLLET.

Le coefficient de tarissement  $\alpha$  obtenu à partir de la formule de Maillet est de 0,0030. Le volume d'eau  $W$  emmagasiné au dessus de l'exutoire serait de l'ordre de 30 000 m<sup>3</sup>.

b) Températures

Les températures des eaux de la source du Mont Follet varient très peu ( de 9 à 9,4°C ). Les variations de la température de l'air sont amorties. Le caractère profond et important de l'aquifère est confirmé.

c) Résistivités

Elles sont relativement constantes. Elles sont centrées autour de 3300  $\Omega$ .cm.

d) pH

Le pH moyen est de 7,45.

C. Propriétés chimiques ( fig. n°72 )

Les concentrations en Ca<sup>++</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> sont caractéristiques des eaux de la molasse. Elles sont respectivement de 70 mg/l et de 22 mg/l. Les autres ions sont très faiblement représentés :

$$\text{Mg}^{++} = 1,8 \text{ mg/l} - \text{Na}^+ = 2 \text{ mg/l} - \text{K}^+ = 0,45 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cl}^- = 1,7 \text{ mg/l} - \text{SO}_4^{--} = 0 - \text{NO}_3^- = 3,75 \text{ mg/l}$$

Les nitrates sont toutefois présents en quantité plus élevée que pour les deux sources précédentes.

Le rapport ionique  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  est compris entre 1 et 3, le rapport ionique  $r\text{HCO}_3^-/r\text{Ca}$  étant égal à 1.

La formule caractéristique de la source est la suivante :

$$\begin{aligned} r\text{Ca} &> r \text{Mg} > r \text{Na} > r \text{K} \\ r\text{HCO}_3^- &> r \text{NO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^{--} \end{aligned}$$

III-1-5- Conclusion à l'étude des sources du substratum

Les sources du substratum se caractérisent par :

- un débit moyen de l'ordre du litre par seconde;
- un coefficient de variabilité du débit assez faible ( 2 à 7 );
- une température moyenne de 8°C plutôt régulière dans le temps;
- des résistivités comprises entre 3200 et 3400  $\Omega$ .cm;
- des teneurs en Ca<sup>++</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> constantes de 70 et 210 mg/l;
- des teneurs en Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>-</sup> très faibles ( inférieures à 2 mg/l);
- l'absence de trace de sulfates;
- un rapport ionique  $r \text{Na}/ r \text{Cl}$  compris entre 1 et 3;
- un rapport ionique  $r \text{HCO}_3^-/ r \text{Ca}$  égal à 1.

Outre leur pérennité, les eaux des sources du substratum sont bien

filtrées et protégées d'autant plus que le sommet des collines molassiques est boisé et qu'ainsi il est soustrait aux pollutions agricoles. Les qualités chimiques des eaux sont donc excellentes.

## II-2- LES SOURCES DES ALLUVIONS GLACIAIRES, FLUVIOGLACIAIRES ET FLUVIATILES

Les sources de ces différentes alluvions sont regroupées ensemble d'une part parce qu'il n'est pas toujours possible de différencier les trois types de formations et d'autre part parce que leurs eaux présentent les mêmes caractéristiques.

Ces sources sont nombreuses et dispersées sur toute la surface occupée par les formations quaternaires qui remplissent principalement le fond des dépressions molassiques.

Dans les alluvions on distingue 4 types d'émergence :

1. émergence liée aux chenaux graveleux aquifères recoupés par une vallée;
2. émergence liée au contact molasse imperméable - alluvions perméables;
3. émergence liée aux niveaux plus indurés ou plus argileux au sein des graviers;
4. émergence liée au recoupement du niveau piézométrique de la nappe alluviale par la surface topographique dans le fond des vallées.

Un exemple de chacun de ces types d'émergence est donné.

### II-1-2- La source de la Ravignouse

X = 850,20      Y = 349,44      Z = 425 m

Cette source en rive droite de la Fure est située à l'Ouest du lieu-dit la Ravignouse. Elle n'est pas captée. Elle s'écoule vers la plaine alluviale de la Fure où elle se réinfiltré pour alimenter la nappe de Planche-Cattin.

#### A. Conditions d'émergence ( fig. n°73 )

La source de la Ravignouse se rapporte au 1er type d'émergence décrit précédemment. La vallée de la Fure entaille la terrasse fluvio-glaciaire de Bonpertuis - Apprieu. Elle recoupe un chenal aquifère profond et provoque l'apparition de cette source. Les émergences de Planche-Cattin, captées par le Syndicat d'Apprieu, obéissent au même schéma. Elles drainent les terrasses qui s'étendent depuis le pied des collines molassiques du Mont Levatel au Nord jusqu'à la vallée de la Fure au Sud.

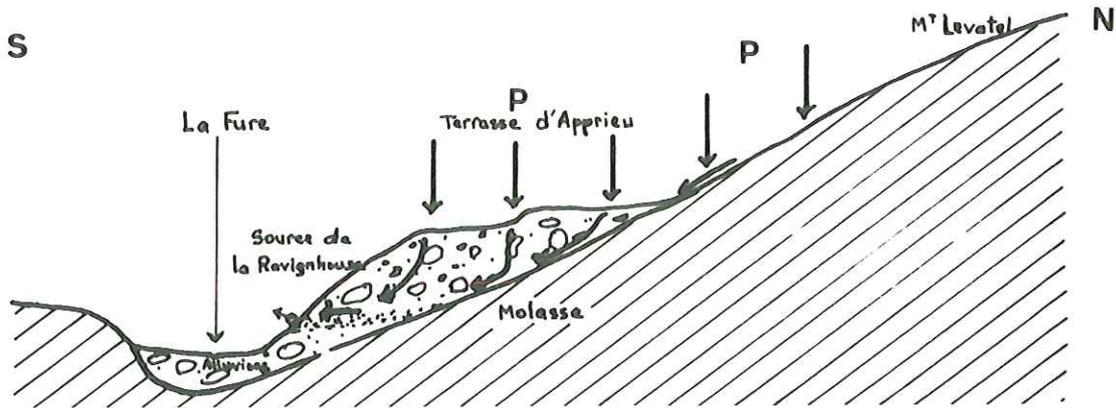
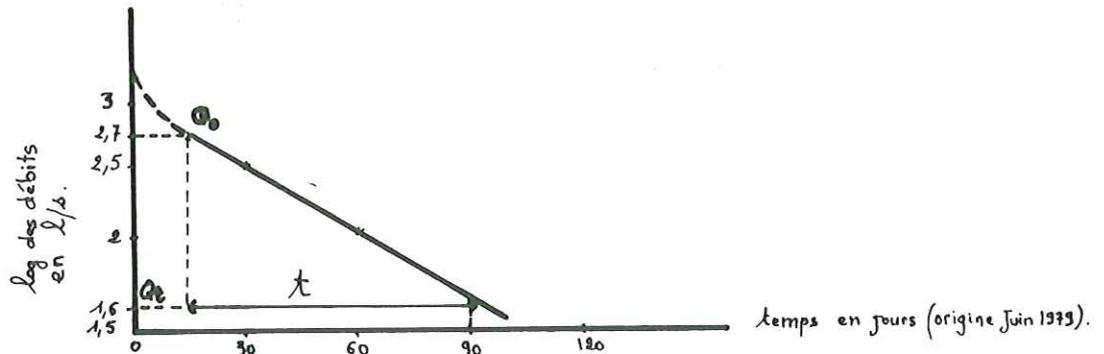


Fig. n° 73 : Conditions d'émergence de la source de Ravignouse

B. Propriétés physiques ( fig. n° 74 )

a) Débits

La source de la Ravignouse a un débit moyen de 2,7 l/s. Le débit maximum est de 5 l/s en février et le débit minimum de 1,5 l/s en décembre. Le coefficient de variabilité est assez faible : 3,3. Il révèle donc un aquifère important dont le volume d'eau qu'il contient peut être appréhendé à partir de la droite de tarissement suivante :



Son étude conduit à un coefficient de tarissement  $\alpha$  de 0,006. On en déduit un volume d'eau emmagasiné au dessus de l'exutoire qui approcherait  $39000 \text{ m}^3$ . Quelques écoulements diffus de part et d'autre de l'émergence indiquent que les réserves seraient en réalité supérieures à ce chiffre.

b) Températures

Pour une source des alluvions, les températures varient peu : T. max. = 11,6°C  
T. min. = 10,4°C

Ceci confirme l'importance de la nappe recoupée ainsi que le caractère profond des circulations ( 30 à 40 m sous la surface des terrasses )

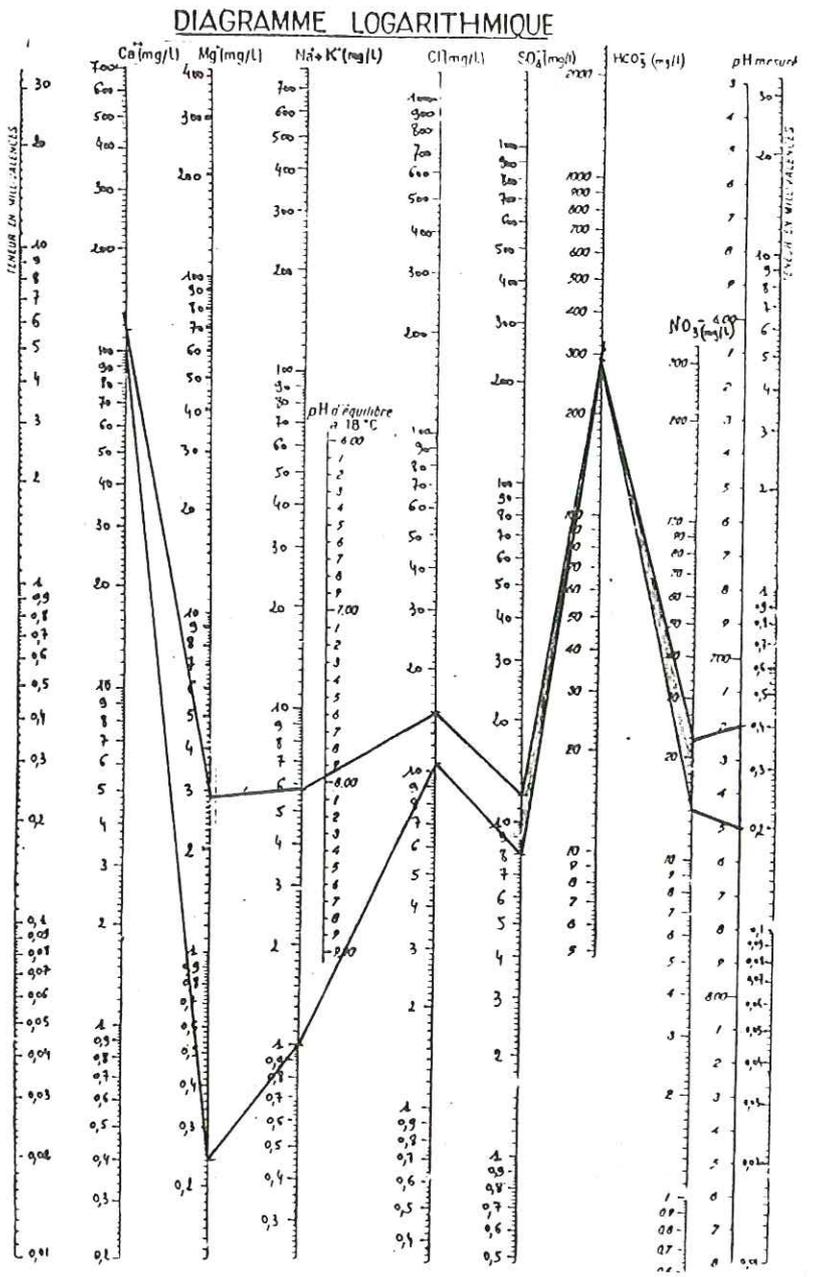
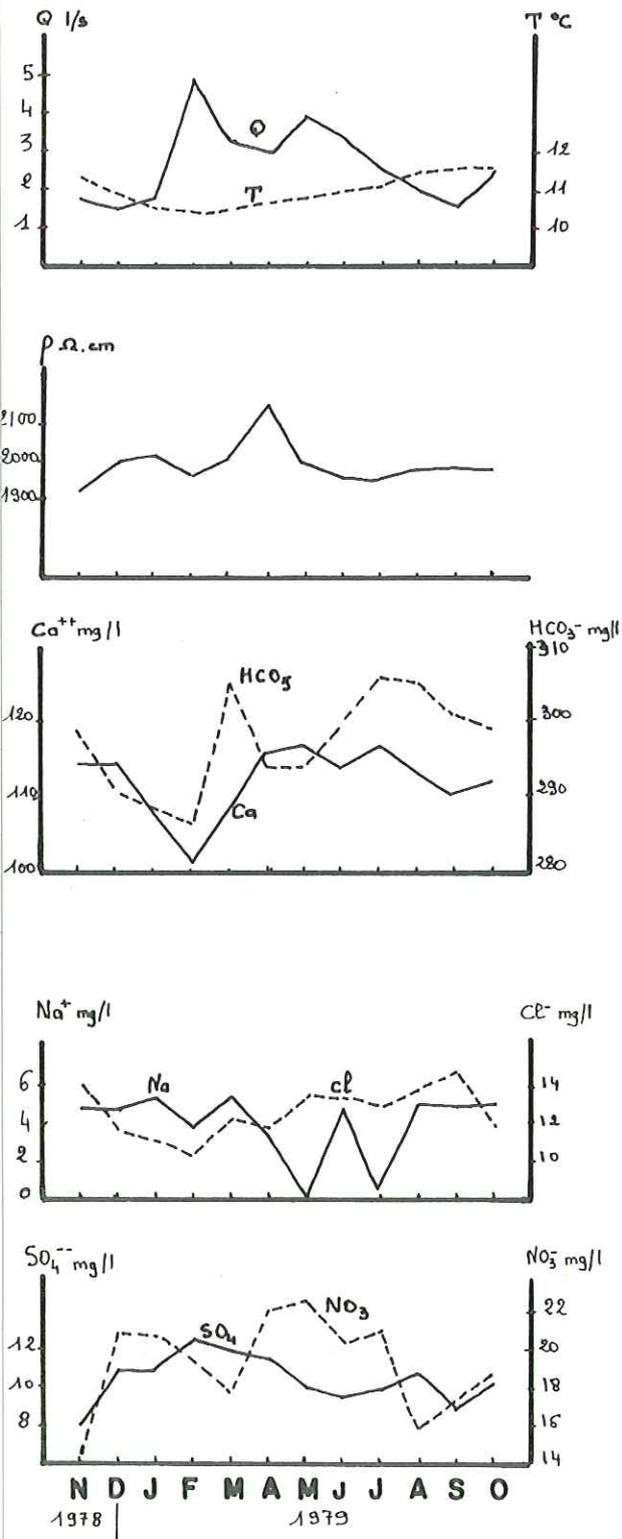


Fig.n°74 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de la RAVIGNHOUSE.

c) Résistivités

Elles sont constantes : 2 000  $\Omega$ .cm. L'infiltration lors des périodes humides, n'entraîne pas une augmentation remarquable de la résistivité. Les réserves sont donc importantes.

d) pH

Il est en moyenne de 7,25

C. Propriétés chimiques ( fig. n°74 )

Les ions  $Ca^{++}$  et  $HCO_3^-$  restent les éléments les plus importants : 112 mg/l pour  $Ca^{++}$ , 297 mg/l pour  $HCO_3^-$ .

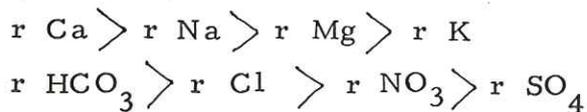
A la différence des eaux de substratum, les teneurs des éléments suivants :  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{--}$  et  $NO_3^-$  deviennent significatives. Elles sont respectivement en moyenne de 4,2 mg/l - 12,7 mg/l - 10,4 mg/l - 19,3 mg/l. Seules les concentrations en magnésium et potassium sont inférieures à 2 mg/l.

La présence d'éléments cristallins dans les alluvions peut être à l'origine des teneurs en  $Na^+$ ,  $Cl^-$  et  $SO_4^{--}$ . Les pollutions agricoles ( épandage d'engrais, élevage ), seraient la seconde origine possible de ces teneurs.

Le rapport  $r Na / r Cl$  varie entre 0,5 et 0,7.  $Cl$  n'est donc pas uniquement le résultat de la dissociation du sel  $Na Cl$ . Il faut envisager l'enrichissement des eaux en chlorures par des apports animaux et humains.

Le rapport  $r HCO_3^- / r Ca$  est de 0,8. Il différencie bien les eaux de la molasse des eaux des alluvions. Une partie du calcium peut provenir du chlorure de calcium. Ce sel permettrait à la fois d'expliquer les valeurs des deux rapports évoqués ci-dessus.

La formule caractéristique est la suivante :



II-2-2- La source du Cueun

X = 850,20      Y = 349,44      Z = 485 m

Elle se situe au Nord du point cité coté 442 m à l'intersection des routes de Chirens et Charavines. Elle est captée et alimente par gravité l'habitation toute proche.

A. Conditions d'émergence

Nous attribuons l'origine de cette source à la présence du contact molasse-alluvions comme l'indique la figure n° 75 .

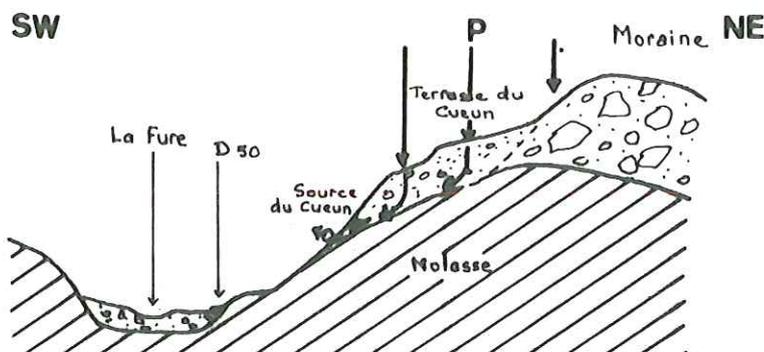


Figure n°75 : Conditions d'émergence de la source du Cueun

B. Propriétés physiques ( fig. n°76 )

a) Débits

Le débit moyen est très faible : 11 l/mn. Le coefficient de variabilité est de 7. Le réservoir est petit.

b) Températures

Elles varient de 9,6 °C à 11,4°C. L'écart de près de 2°C entre les températures maximales et minimales traduit le caractère plutôt superficiel du réservoir qui enregistre les variations climatiques.

c) Résistivités

Elles varient peu ( de 2000 à 2200  $\Omega$ .cm). L'infiltration et la circulation dans les alluvions sont lentes. Les eaux y acquièrent une minéralisation toujours constante.

d) pH

Sa valeur moyenne est de 7,3.

C. Propriétés chimiques ( fig. n°76 )

Les concentrations moyennes en calcium et bicarbonates sont les suivantes :  $Ca^{++} = 112$  mg/l

$HCO_3^- = 316$  mg/l

Les teneurs moyennes des autres éléments sont pour :

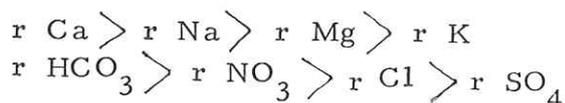
$Mg^{++} = 1,4$  mg/l -  $Na^+ = 3,5$  mg/l -  $K^+ = 0,5$  mg/l

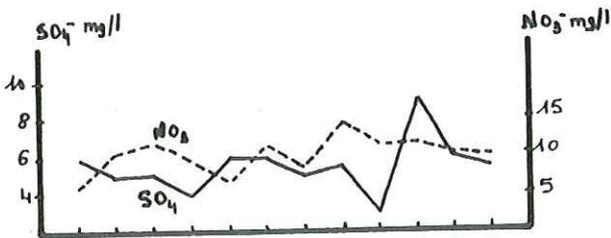
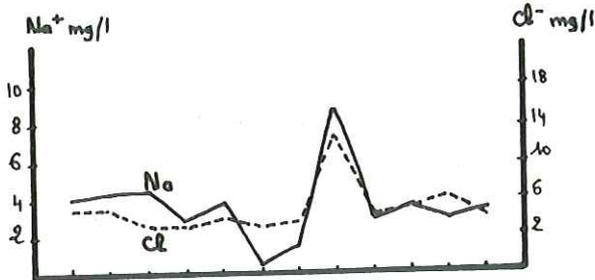
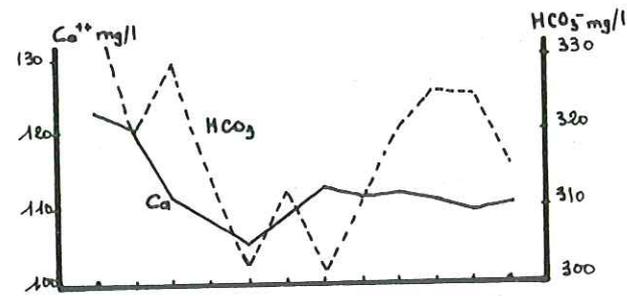
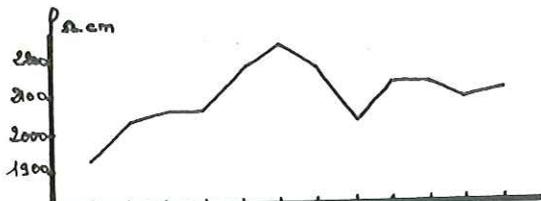
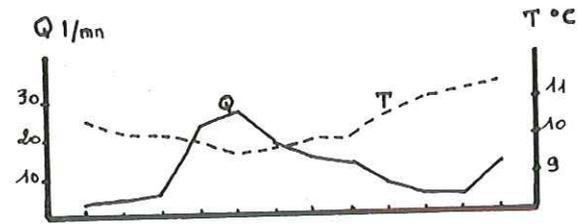
$Cl^- = 5,2$  mg/l -  $SO_4^{--} = 5,5$  mg/l -  $NO_3^- = 10,2$  mg/l

Le rapport ionique  $r Na / r Cl$  est voisin de 1.

Le rapport ionique  $r HCO_3 / r Ca$  est inférieur à 1

La formule caractéristique de la source est :





N D J F M A M J J A S O  
1978 | 1979

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

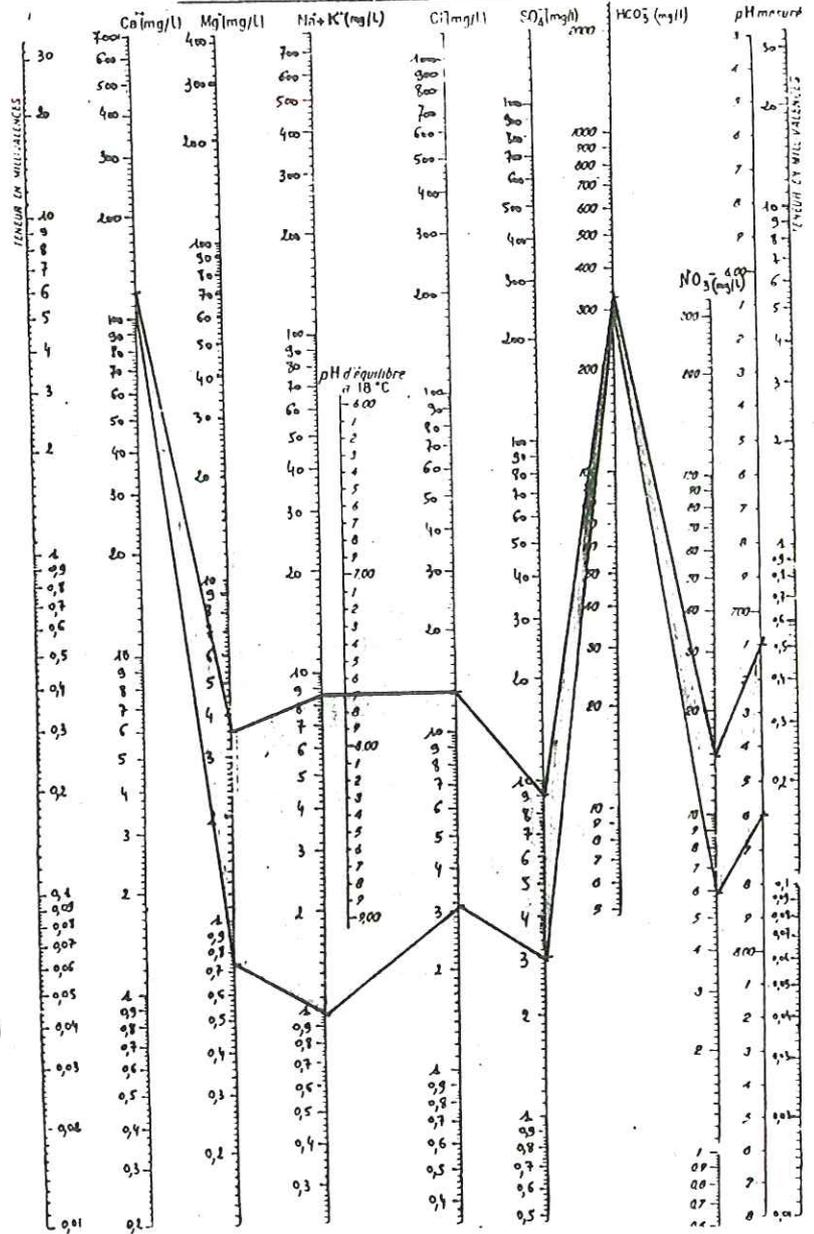


Fig.n°76 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source du CUEUN.

II-2-3- La source de la Haute Véronnière

X = 851,30      Y = 355,50      Z = 600 m

La source de la Haute Véronnière est située sur le versant oriental de la dépression du lac de Paladru en bordure de la route qui relie Bilieu et Montferrat entre les lieux-dits le Verney et la Haute Véronnière.

A. Conditions d'émergence

Le versant molassique est tapissé d'alluvions glaciaires. A l'intérieur de ces alluvions perméables, des niveaux argileux déterminent des niveaux de base le long desquels sortent des sources telle celle que nous étudions.

B. Propriétés physiques ( fig n°77 )

a) Débits

Le débit moyen annuel est de 1,9 l/s. Mais le coefficient de variabilité de 25 révèle des réserves faibles. De 0,2 l/s en période sèche le débit passe à 5 l/s en période humide. Il est fonction directe des précipitations. En l'absence d'un régime non-influencé assez long, on ne peut estimer les réserves souterraines à partir de la courbe de tarissement.

b) Températures

Elles sont également très variables. De 8,6°C en hiver elles atteignent 12°C en été. Ceci dénote le caractère superficiel de la nappe.

c) Résistivités

Elles sont de l'ordre de 2200  $\Omega$ .cm. Les eaux sont relativement chargées bien que le temps de séjour dans l'aquifère soit bref. La mise en solution des sels s'effectue rapidement.

d) pH

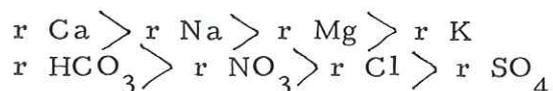
Il varie de 7,5 à 7,8.

C. Propriétés chimiques ( fig. n° 77 )

Elles sont en tout point comparables aux propriétés chimiques de la source du Cueun. Il ne nous paraît pas nécessaire de les reporter. Seuls  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{HCO}_3^-$  ont des teneurs plus élevées :  $\text{Ca}^{++} = 100 \text{ mg/l}$ ,  $\text{HCO}_3^- = 291 \text{ mg/l}$ .

$$r \text{ Na} / r \text{ Cl} = 0,98 \quad - \quad r \text{ HCO}_3 / r \text{ Ca} = 0,90$$

La formule caractéristique est la suivante :



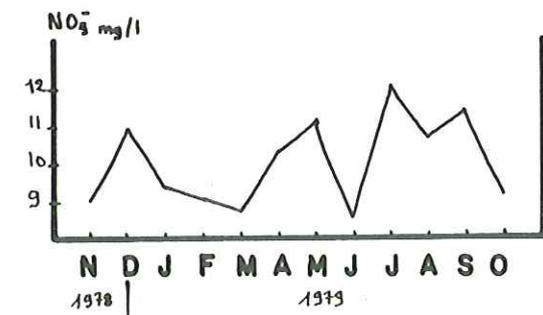
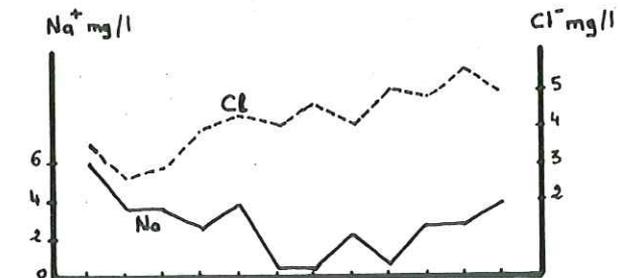
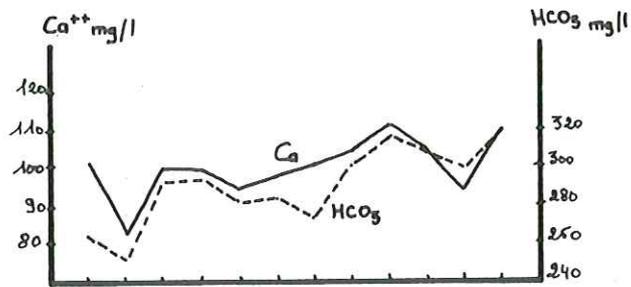
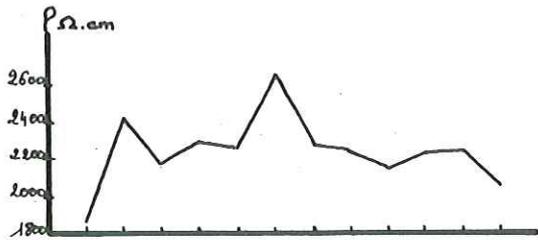
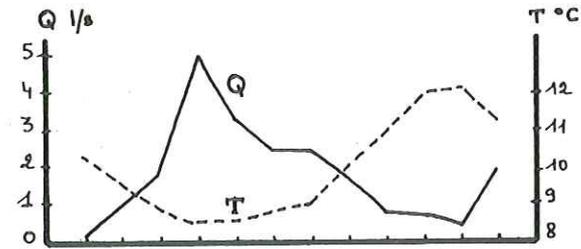


DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

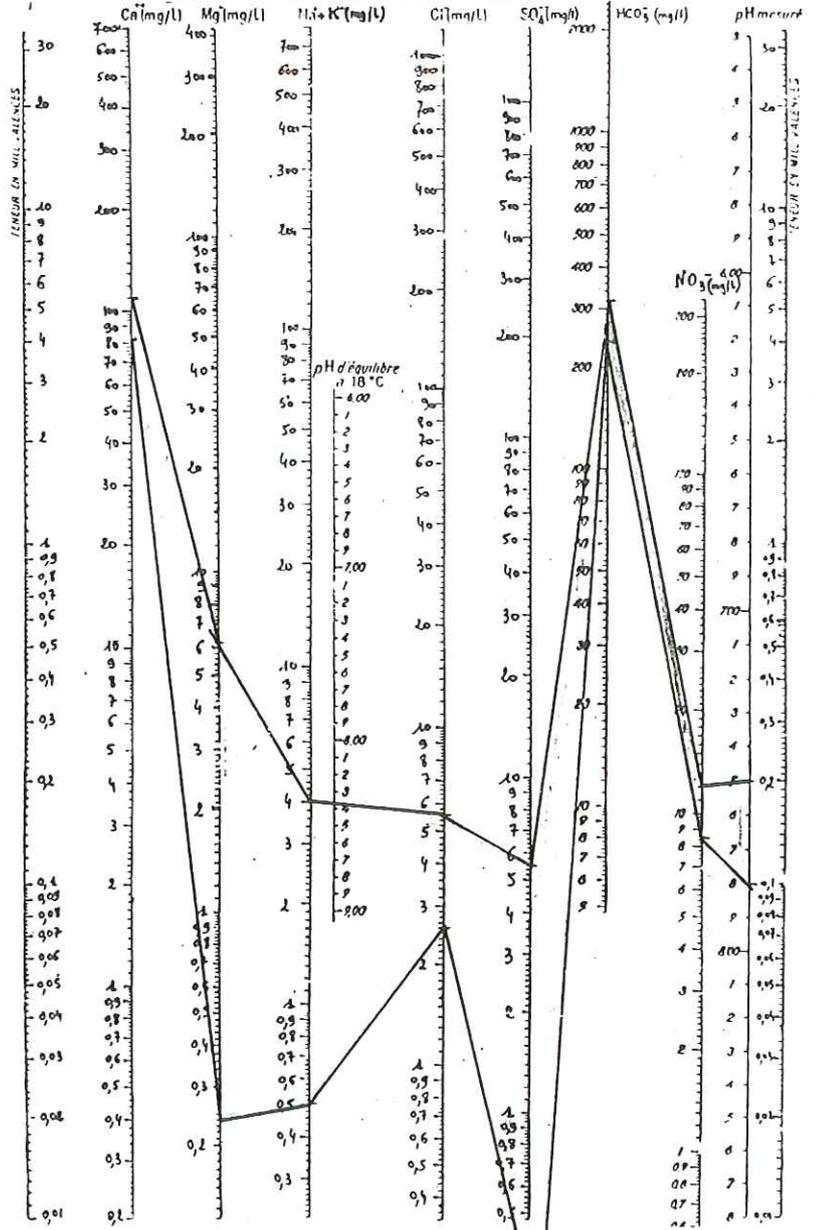


Fig.n° 77 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de la haute VERONNIERE.

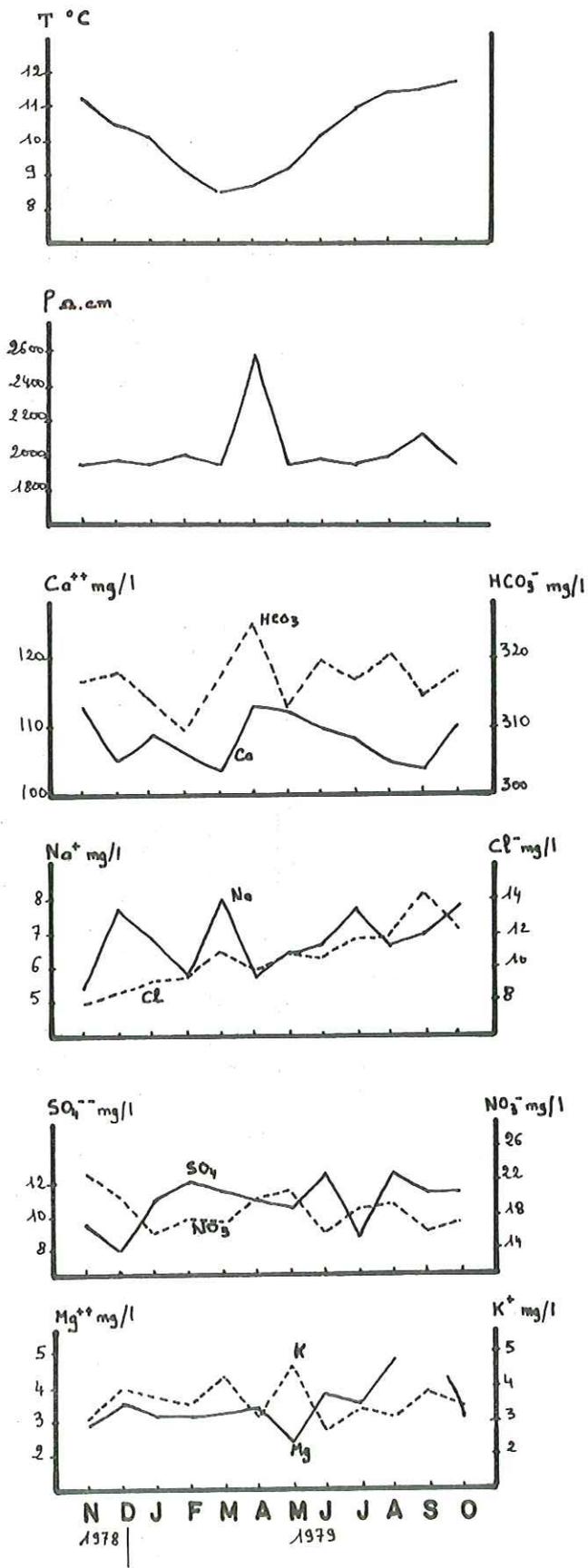


DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

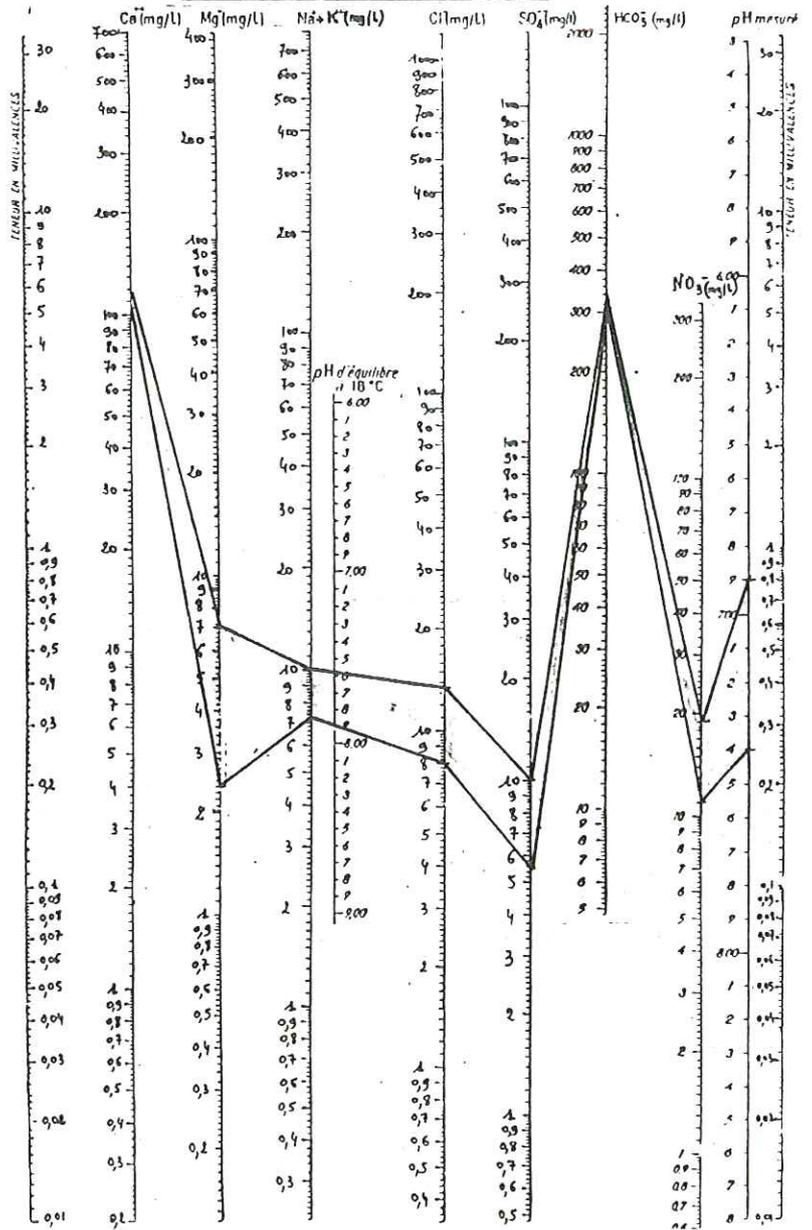


Fig.n°78 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source des BARRAUX.

II-2-4- La source des Barraux

X = 851,47      Y = 350,96      Z = 463 m

La source des Barraux est située au coeur de l'amphithéâtre morainique de Chirens. Elle constitue avec la source des Picconnières dans la vallée du Fagot, les deux principales émergences qui alimentent l'Ainan.

A. Conditions d'émergence

La source des Barraux représente l'un des exutoires de la nappe superficielle de l'amphithéâtre morainique. Elle sourd là, où la surface topographique recoupe la surface piézométrique.

B. Propriétés physiques ( fig. n°78 )

a) Débits

Les conditions d'émergence ne permettent pas la mesure des débits qui sont toutefois très variables. Quelques sources de la même nappe situées plus haut ont en effet tari à l'automne.

b) Températures

Les variations de la température sont importantes. De 8,5°C en hiver elle passe à 11,8 °C en été. La température de l'eau est liée directement à la température de l'air. La nappe est donc superficielle.

c) Résistivités

La valeur moyenne est de 1970 Ω.cm. Les variations sont très faibles. Les eaux d'avril sont toutefois plus résistantes mais nous avons déjà dit qu'il ne fallait pas tenir compte de ce mois dans la mesure où les prélèvements eurent lieu immédiatement après un épisode pluvieux.

d) pH

Il est égal à 7,2

C. Propriétés chimiques ( fig. n° 78 )

Cette source des Barraux se distingue des précédentes par les teneurs en  $Mg^{++}$  et  $K^+$ , qui bien que toujours faibles, ne sont plus négligeables :

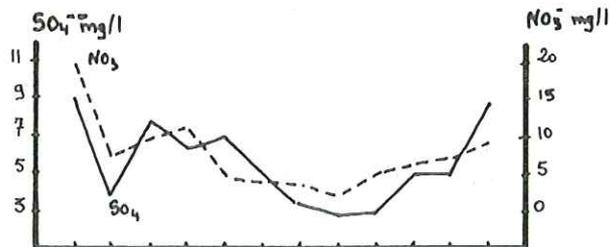
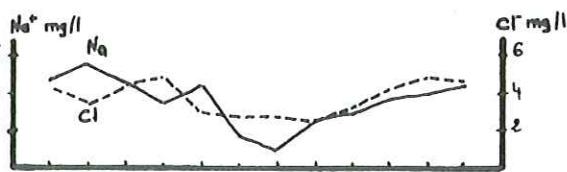
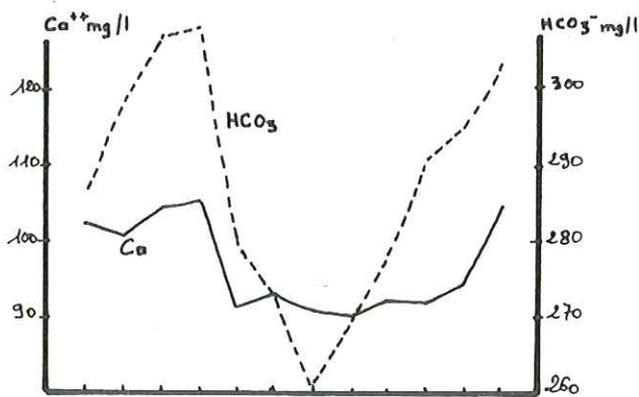
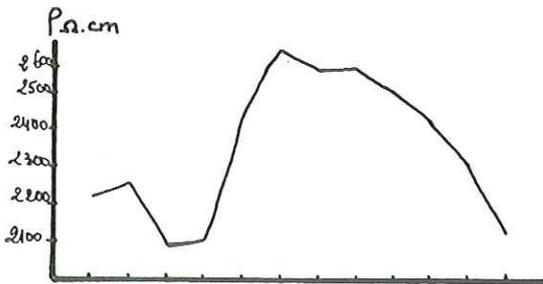
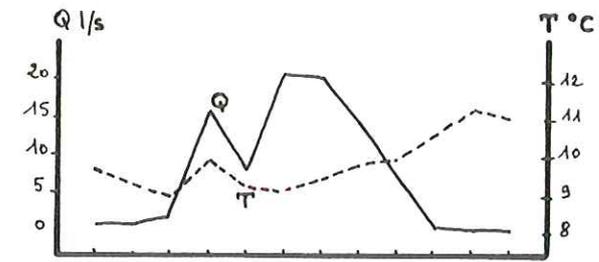
$Mg^{++} = 3,7 \text{ mg/l}$  -  $K^+ = 3,6 \text{ mg/l}$

Les autres ions ont les concentrations moyennes suivantes :

$Ca^{++} = 108 \text{ mg/l}$  -  $Na^+ = 6,8 \text{ mg/l}$  -  $Cl^- = 10,5 \text{ mg/l}$  -  
 $SO_4^{--} = 8,3 \text{ mg/l}$  -  $HCO_3^- = 317 \text{ mg/l}$  -  $NO_3^- = 13,7 \text{ mg/l}$

Les pollutions agricoles sont vraisemblablement responsables de la présence des sulfates, nitrates, chlorures et aussi du potassium. Plusieurs fermes sont en effet proches.

Les rapports ioniques  $r Na / r Cl$  et  $r HCO_3 / r Ca$  sont tous deux de 0,98.



N D J F M A M J J A S O  
1978 | 1979

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

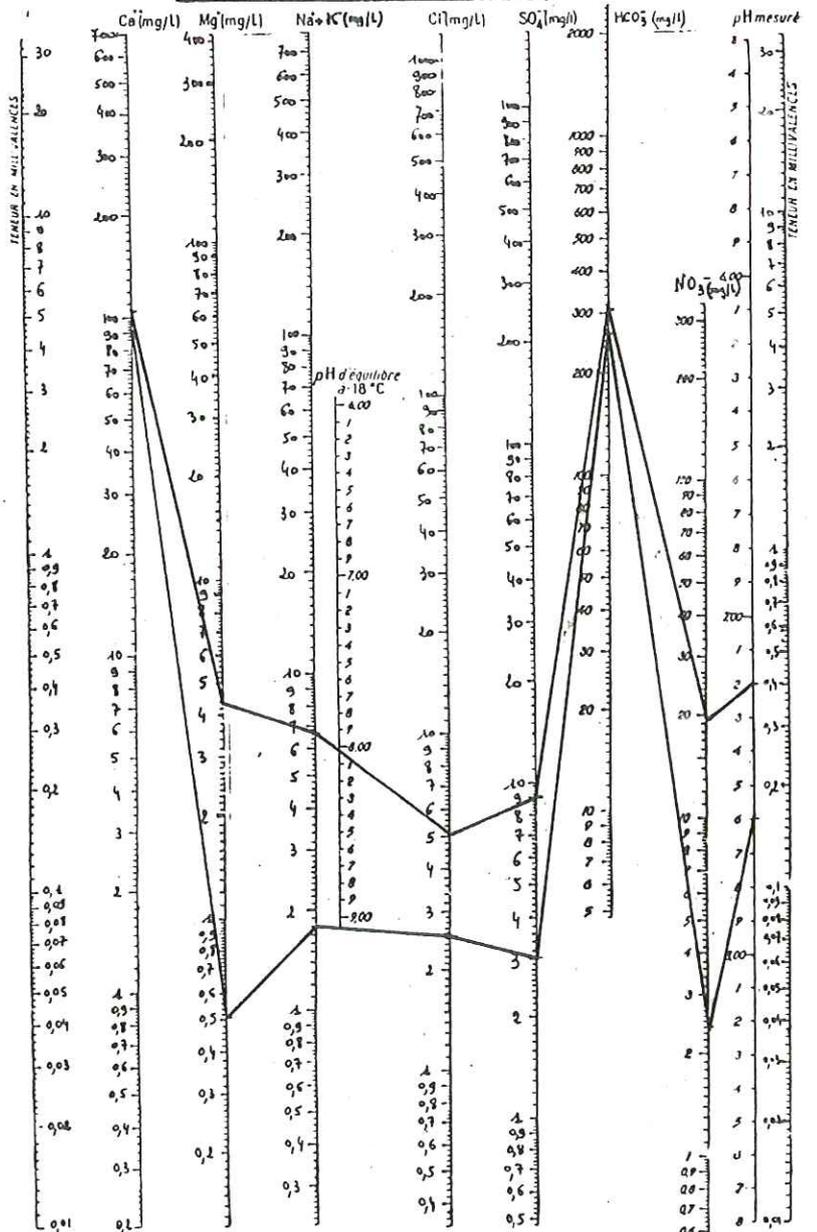
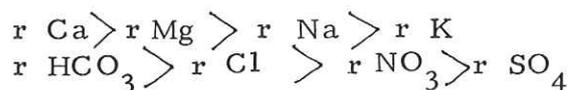


Fig.n°79 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source d'AIGUEBELLE.

La formule caractéristique de la source s'établit ainsi :



#### II-2-5- La source d'Aiguebelle

X = 830,51      Y = 351,81      Z = 545 m

Située à l'Ouest de Clermont ( commune de Chirens ), elle alimente un petit ruisseau qui se jette dans la Fure au niveau du Guillermet.

#### A. Conditions d'émergence

De gros blocs cristallins indiquent que la source est issue de formations morainiques qui s'appuient sur la colline de la Tour de Clermont. Il est probable qu'elle draine la Combe des Habits au Nord.

#### B. Propriétés physiques ( fig. n°79 )

##### a) Débits

Ils sont très variables puisque le minimum observé est de 0,5 l/s et que le maximum atteint est de 20 l/s. Le coefficient de variabilité est donc de 40. Le réservoir est peu important. Les débits sont fonction directe des précipitations.

##### b) Températures

Elles varient de 8,9 à 11,2 °C. Elles sont fortement influencées par les variations climatiques.

##### c) Résistivités

Comme les débits, elles sont variables au cours de l'année ( 2100 à 2600  $\Omega$ .cm ). Leur variation traduit de faibles réserves.

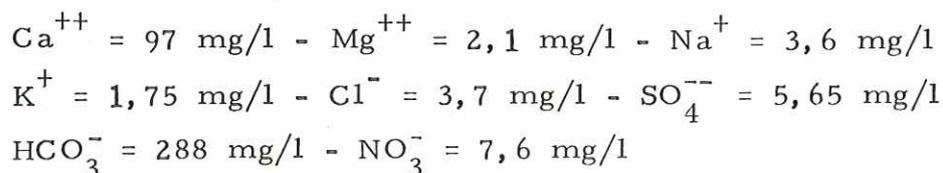
##### d) pH

Il varie de 7,2 à 7,4

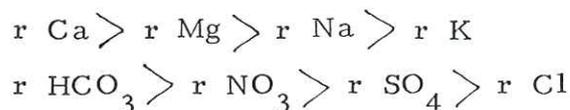
#### C. Propriétés chimiques ( fig. n° 79 )

Les propriétés chimiques des eaux de la source d'Aiguebelle sont identiques aux propriétés chimiques de celles de la source des Barraux. Bien qu'à priori les circulations dans l'aquifère soient rapides, les eaux infiltrées acquièrent une minéralisation assez importante.

Les teneurs moyennes des différents ions sont les suivantes :



On tire la formule caractéristique ci-dessous :



## II-2-6- Conclusion à l'étude des sources des alluvions

- Les sources des alluvions se caractérisent dans l'ensemble par :
- des débits très variables en fonction des précipitations. La variabilité est réduite dans le cas d'aquifère profond;
  - des températures dont l'amplitude des variations supérieure à 2°C est le reflet atténué des variations des températures de l'air;
  - des résistivités comprises entre 2000 et 2400 $\Omega$ .cm;
  - des teneurs en Ca<sup>++</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> voisines de 110 mg/l pour le premier élément, de 300 mg/l pour le second
  - des teneurs en SO<sub>4</sub><sup>--</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sub>1</sub><sup>-</sup> de l'ordre de 10 mg/l chacune;
  - des teneurs en Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> faibles mais supérieures à celles des sources de la molasse;
  - un rapport ionique r Na/ r Cl le plus souvent égal à 1;
  - un rapport ionique r HCO<sub>3</sub>/ r Ca compris entre 0,9 et 1.

Bien que les zones d'alluvions soient intensément cultivées, les concentrations en nitrates, sulfates et chlorures restent faibles. Il faut admettre que les alluvions jouent un rôle de filtre efficace vis à vis des engrais épandus, à moins que le phénomène de l'évapotranspiration ne maintienne ces éléments dans la zone aérée ou non saturée.

## II-3- LES SOURCES MIXTES

Même si elles sortent des moraines plaquées contre le versant nord du Mont Levatel, ces sources sont très différentes des sources des alluvions que nous venons d'étudier. Elles représentent les eaux souterraines les plus résistantes que nous ayons rencontrées. Nous exposons leurs caractéristiques, lesquelles justifieront l'appellation " source mixte ".

### II-3-1- La source de la Combe Noire

X = 847,33      Y = 315,50      Z = 685 m

Cette source est captée. Elle alimente une partie du Verney ( commune d'Oyeu ). Elle se situe à mi-distance entre le village, au pied de la colline molassique, et le relais hertzien implanté sur la crête du relief miocène séparant la Tête de Bièvre au Sud, les Terres Froides au Nord.

#### A. Conditions d'émergence

La source de la Combe Noire est certainement liée à la présence d'un niveau argileux au sein de la moraine qui s'appuie sur la molasse.

#### B. Propriétés physiques ( fig. n°80 )

##### a) Débits

Le débit moyen annuel est faible : 37 l/mn. Il est intéressant de noter le coefficient de variabilité qui est de 3. Il est comparable à celui des sources de la molasse. Les réserves semblent relativement importantes.

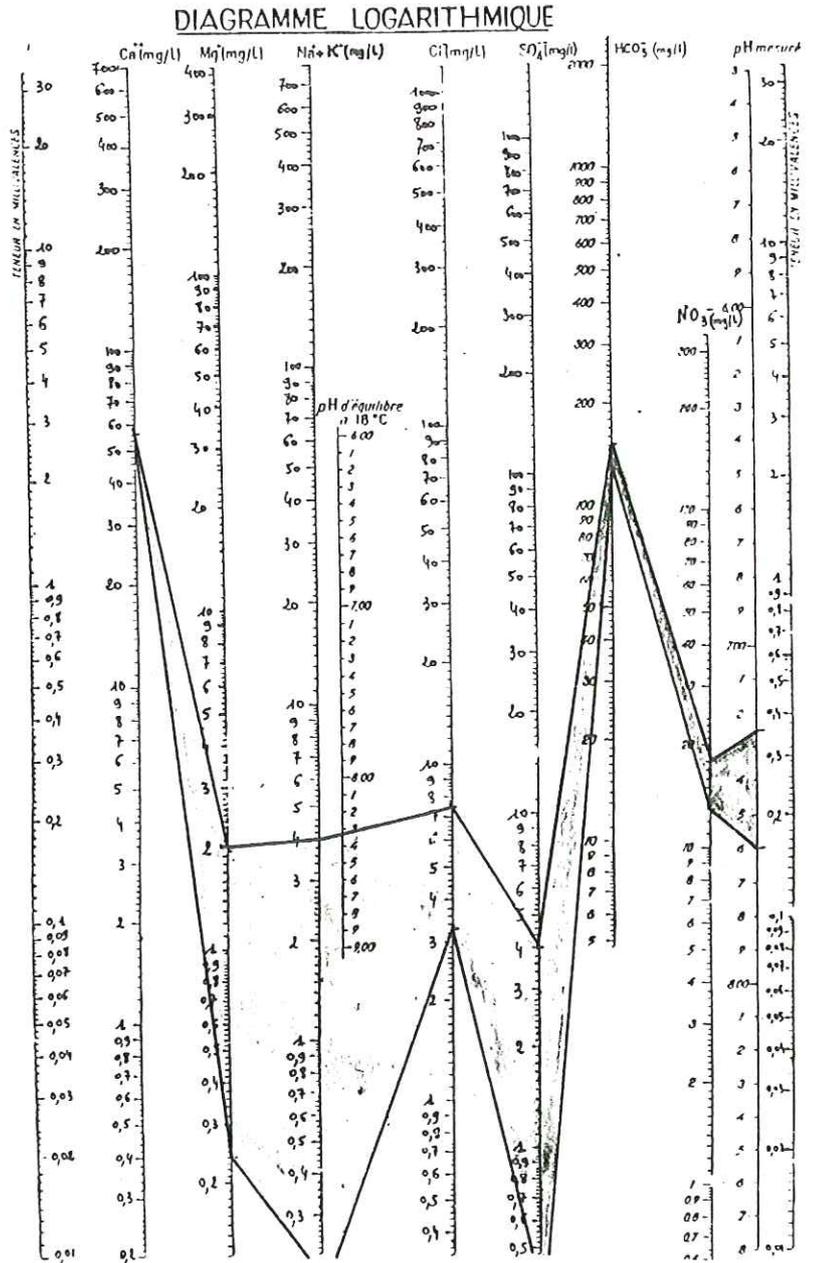
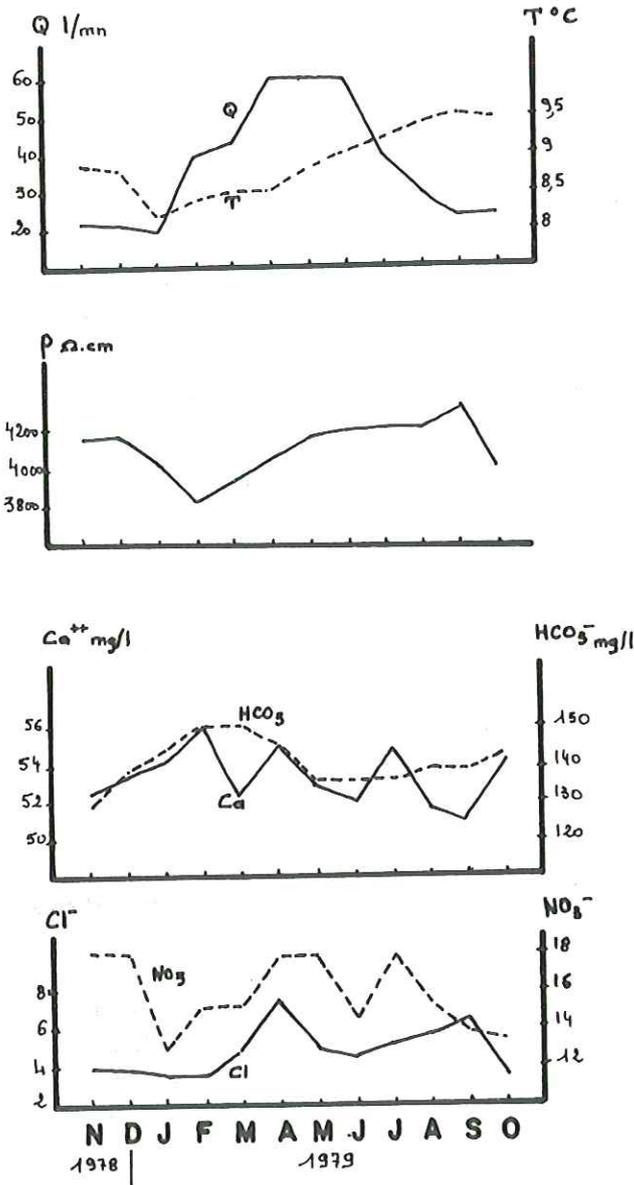


Fig. n° 80 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de la COMBE NOIRE.

b) Températures

Elles sont assez constantes puisqu'elles varient de 8,5°C à 9,5°C. Là aussi ces variations sont comparables à celles des sources de la molasse.

c) Résistivités

Elles sont élevées. La moyenne annuelle est de 4100Ω.cm. Sur le diagramme des variations annuelles de la résistibilité, on note que la valeur minimale est atteinte en février, la valeur maximale en été. Ces eaux sont plus résistantes en période d'étiage qu'en hautes eaux, alors que pour toutes les sources étudiées jusque là on observait justement l'inverse. C'est cette particularité qui va nous permettre de définir l'origine de la source après avoir examiné ses propriétés chimiques.

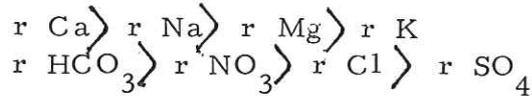
C. Propriétés chimiques (fig.80)

La faible minéralisation se traduit par des teneurs en Ca<sup>++</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> peu élevées : Ca<sup>++</sup> = 53 mg/l, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 140 mg/l. Il faut mentionner l'absence de sulfates comme pour les eaux de la molasse. Les nitrates ( 16 mg/l ), sont apportés par les pollutions agricoles ( zone d'élevage ).

Les teneurs des autres éléments sont faibles :

Mg<sup>++</sup> , Na<sup>+</sup> , K<sup>+</sup> < 2 mg/l , Cl<sup>-</sup> = 5 mg/l

La formule caractéristique est la suivante :



D. Origine de la source (Fig.81)

Un seul schéma montrant l'origine de la source rend compte des propriétés physiques et chimiques exposées. C'est le suivant :

- La source de la Combe Noire est une source qui au départ est issue de la molasse. Son eau a une résistivité supérieure à 4 000Ω.cm dans cette formation. Avant d'émerger elle circule dans la moraine où elle se mélange à une eau moins résistante qui ne circule que dans les alluvions glaciaires. Suivant les proportions des deux constituants du mélange, la résistivité varie. En période sèche c'est l'eau de la molasse qui assure le débit :  $\rho > 4000 \Omega \cdot \text{cm}$ . En période humide ( hiver, printemps ), il y a infiltration des eaux de pluie dans la moraine. L'eau de la source correspond au mélange eau de la molasse, eau de la moraine. Sa résistivité est alors inférieure à 4000Ω. cm. On peut ainsi parler d'eau mixte ou de source mixte.

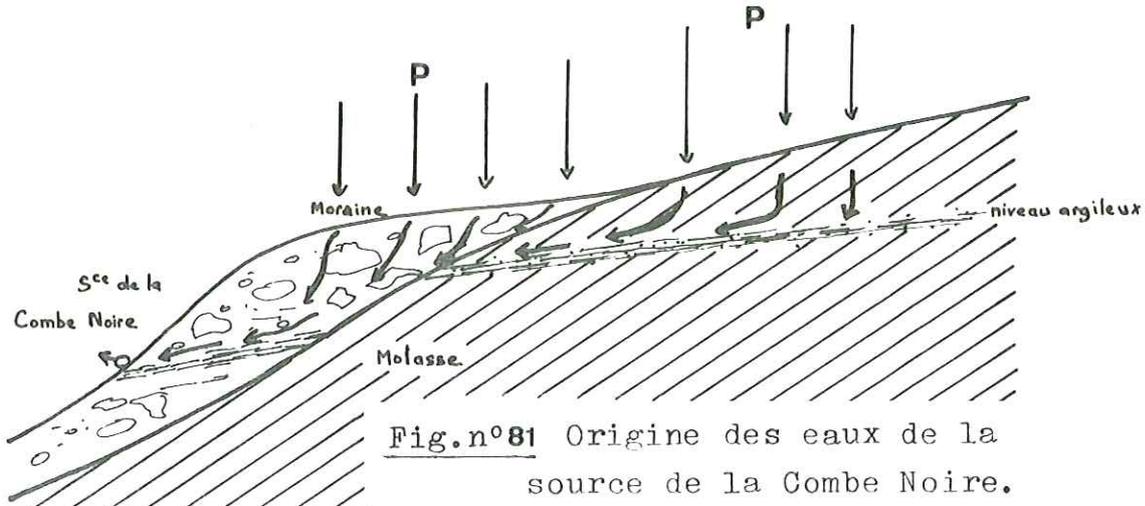


Fig.n°81 Origine des eaux de la source de la Combe Noire.

II-3-2- La source du Thivoley

X = 846,94      Y = 351,50      Z = 685 m

La source du Thivoley se situe à la même cote que la source de la Combe Noire mais 300 m plus à l'Ouest. Elle sourd toujours de la même moraine plaquée contre la molasse. Les conditions d'émergence et l'origine des eaux des deux sources sont identiques.

Si nous relatons les caractéristiques de cette source c'est qu'elle montre mieux encore que la précédente l'origine mixte de ses eaux.

A. Propriétés physiques ( fig. n°82 )

a) Débits

Le débit moyen est de 18 l/ mn. Le coefficient de variabilité de 2,3 est identique à celui de la source du Mont Follet issue de la molasse plus à l'Est.

b) Températures

Les températures que nous avons relevées sont faussées. En effet les mesures s'effectuaient à l'extrémité d'un drain subaffleurant sur plusieurs mètres si bien qu'il enregistrait les variations de la température de l'air.

c) Résistivités

La courbe d'évolution de la résistivité dans le temps confirme la mixité de l'eau de source. A l'automne le débit est assuré en grande partie par l'eau de la molasse :  $\rho = 4000 \Omega \cdot \text{cm}$ . En hiver et au printemps, l'eau des précipitations s'infiltré dans les alluvions morainiques. Elle se charge en éléments solubles puis se mélange à l'eau provenant de la molasse pour donner des résistivités inférieures à  $3300 \Omega \cdot \text{cm}$ . En été, la proportion du mélange relative aux eaux infiltrées directement dans la moraine est moindre. La résistivité de la source évolue alors progressivement vers la résistivité de l'eau de la molasse :  $\rho = 4000 \Omega \cdot \text{cm}$ .

d) pH

Sa valeur moyenne est de 7,4.

B. Propriétés chimiques ( fig. n°82 )

Les teneurs des ions sont légèrement plus élevées pour les eaux de cette source que pour celles de la Combe Noire. Elles restent toutefois faibles devant la minéralisation des autres émergences étudiées.

$\text{Ca}^{++} = 62,1 \text{ mg/l}$	$\text{HCO}_3^- = 164 \text{ mg/l}$
$\text{Mg}^{++} = 0,9 \text{ mg/l}$	$\text{Cl}^- = 5,3 \text{ mg/l}$
$\text{Na}^+ = 1,8 \text{ mg/l}$	$\text{NO}_3^- = 16,5 \text{ mg/l}$
$\text{K} = 0,5 \text{ mg/l}$	$\text{SO}_4^{--} = 0$

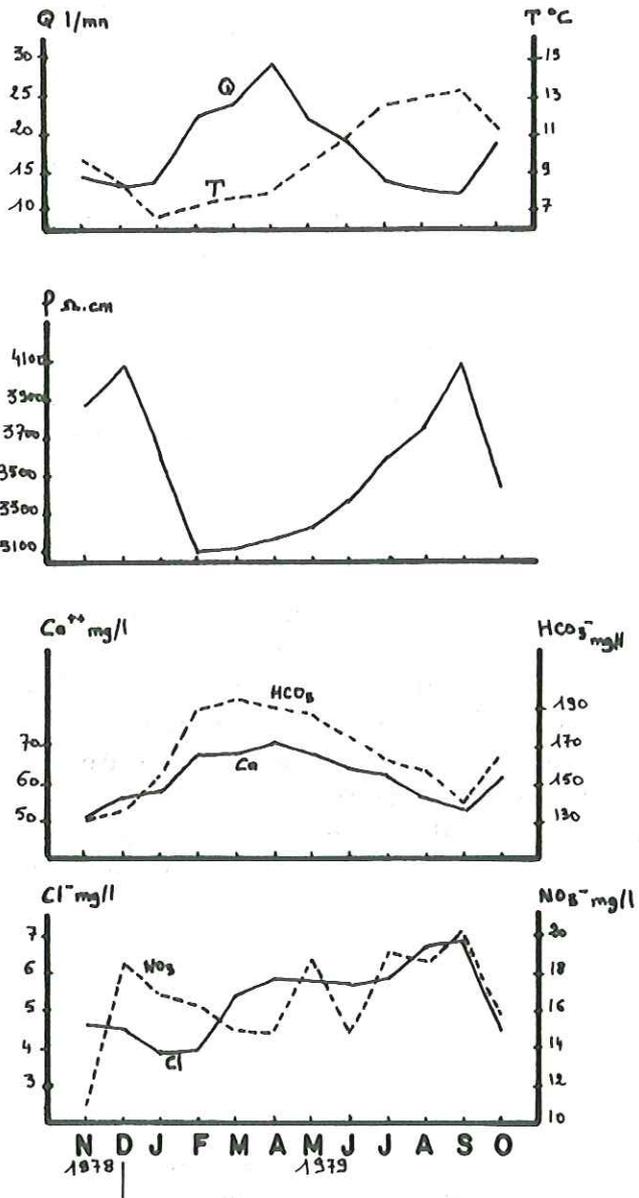


DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

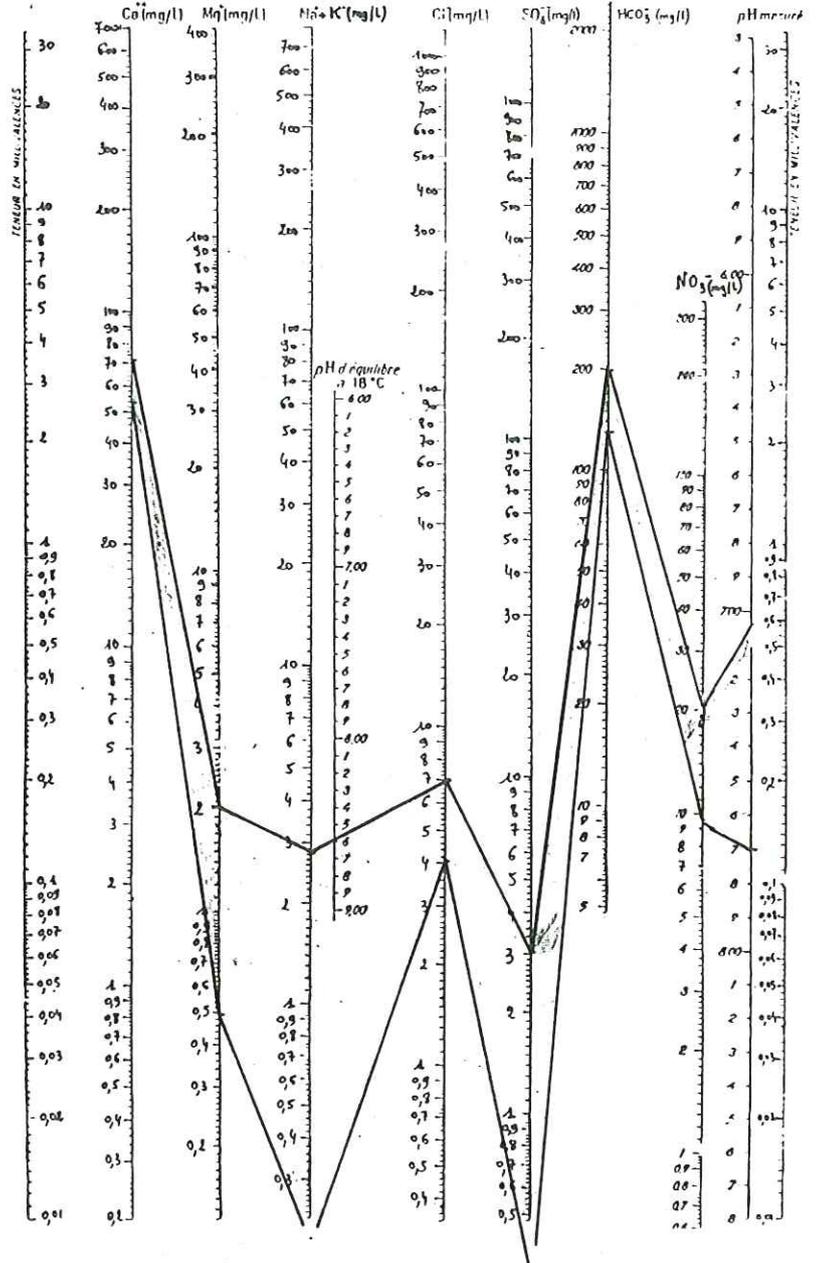
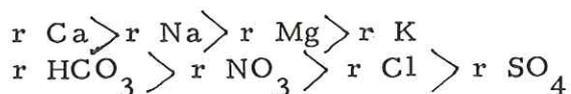


Fig.n°82 Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source du THIVOLEY.

La formule caractéristique sera :



### II-3-3- Conclusion à l'étude des sources mixtes

Les sources, que nous appelons mixtes, correspondent à des eaux des aquifères de la molasse, qui avant d'apparaître à la surface du sol se mélangent à d'autres eaux, qui elles, circulent dans les terrains quaternaires. Localement, les sources mixtes étudiées proviennent d'eaux résistantes de la molasse ( $\rho > 4000 \Omega \cdot \text{cm}$ ) qui se mélangent à des eaux plus minéralisées des moraines ( $\rho < 3000 \Omega \cdot \text{cm}$ ). La résistivité moyenne obtenue est de  $3800 \Omega \cdot \text{cm}$ .

D'une manière générale les eaux mixtes se caractérisent par :

- un coefficient de variabilité faible représentatif des sources de la molasse;
- des propriétés physiques et chimiques intermédiaires entre les eaux de la molasse et les eaux des alluvions quaternaires;
- l'absence de sulfates qui montre la prépondérance des eaux de la molasse dans le mélange.

### CONCLUSION A L'ETUDE DES SOURCES

Toutes les eaux de source qui ont fait l'objet d'analyses se sont révélées bicarbonatées calciques, traduisant ainsi l'environnement essentiellement calcaire. Trois groupes se distinguent. Les deux premiers ont un caractère régional tandis que le troisième, moins important, semble plus local. Ce sont d'une part les sources du substratum molassique et des alluvions quaternaires et d'autre part les sources mixtes.

Nous proposons trois critères simples et accessibles pour différencier les sources de la molasse des sources des alluvions quaternaires, qu'il s'agisse d'alluvions glaciaires, fluvioglaciaires ou fluviales. Ce sont :

- la résistivité,
- les teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{HCO}_3^-$
- les teneurs en  $\text{SO}_4^{--}$

	Résistivité $\Omega \cdot \text{cm}$	$\text{Ca}^{++}$ mg/l	$\text{HCO}_3^-$ mg/l	$\text{SO}_4^{--}$ mg/l
Source de la molasse	3000 à 3500	70	210	0
Source des alluvions	2000 à 2500	110	300	5 à 15

D'autres critères tels que le coefficient de variabilité des débits et les rapports ioniques  $r \text{ Na} / r \text{ Cl}$  et  $r \text{ HCO}_3 / r \text{ Ca}$  sont autant de facteurs de différenciation mais ils sont cependant moins univoques que les précédents.

Enfin, les sources mixtes dont les eaux ont circulé dans la molasse et dans les alluvions présentent des caractéristiques variables suivant la pluviométrie qui détermine les proportions de mélange. Lors des périodes pluvieuses, les eaux des alluvions interviennent pour une plus grande part dans le mélange. Ces eaux, plus minéralisées que celles de la molasse, entraînent une diminution de la résistivité. C'est donc en suivant l'évolution dans le temps du paramètre résistivité qu'on distinguera les sources mixtes.

Malgré un débit moyen assez faible ( 1 l/s ), le nombre des sources confère à celles-ci un rôle non négligeable pour les besoins de l'agriculture et aussi pour l'alimentation de la population d'autant plus qu'elles présentent des qualités chimiques très acceptables, qu'elles sortent de la molasse ou des alluvions. Dans de petits projets éventuels de renforcement du réseau d'adduction d'eau, l'apport des sources ne devrait pas être sous-estimé.

CONCLUSION GENERALE

-----

## CONCLUSION GENERALE

L'ensemble de l'étude, que nous venons de présenter, avait pour but d'approfondir nos connaissances sur l'hydrogéologie de la région du lac de Paladru en Bas-Dauphiné. Il convenait en effet, de préciser les relations entre paléomorphologie et circulations souterraines, puis de localiser des ressources exploitables, tout en définissant les caractéristiques physico-chimiques des eaux et hydrodynamiques des aquifères locaux.

La région de collines, centrée autour du lac de Paladru et le seuil séparant les vallées de l'Ainan et de la Fure, ont fait l'objet de nombreux travaux de reconnaissance qui, associés à nos investigations personnelles, permettent d'en présenter les principales caractéristiques d'ordre géologique et hydrogéologique.

Du point de vue géologique, les formations quaternaires occupent les plus grandes surfaces d'affleurement du secteur d'étude. Elles comblent totalement les dépressions de l'Ainan et du Pin-Valencogne, partiellement celle du lac de Paladru. La nature assez argileuse des dépôts liés au dernier retrait glaciaire würmien, confère aux remplissages, une origine glacio-lacustre ou fluvio-lacustre. Les autres accumulations quaternaires se présentent sous forme de terrasses. Le matériel plus ou moins induré y est plus grossier (terrasses de la vallée de la Fure se rattachant insensiblement au Sud aux terrasses de la Tête de Bièvre et du Seuil de Rives). Enfin, les moraines abandonnées en amont de la vallée de l'Ainan, dans la dépression du Pin et en Tête de Bièvre, sont les témoins des derniers stades de retrait des glaciers du Rhône et de l'Isère qu'il est possible de reconstituer.

Les alluvions reposent sur un substratum molassique d'âge Vindobonien. C'est un conglomérat très induré à dominante calcaire. Les éléments cristallins très friables permettent de le différencier de certains conglomérats quaternaires. Son ciment calcaro-argileux compact, le rend imperméable vis à vis des formations quaternaires sus-jacentes.

Au Pliocène alors que des sédiments continuent de se déposer dans la partie occidentale du Bas-Dauphiné, la partie orientale est déjà en proie à une érosion intense. A différentes époques du Quaternaire dont celle du Riss, l'action des glaciers et de leurs eaux de fonte, remodèle dans le détail, les grands traits du relief existant. Cette action s'est traduite par l'édification d'une morphologie particulière, qui a été précisée par une étude géophysique (prospection électrique).

Un sillon profond de 60 mètres a été mis en évidence dans la haute vallée de l'Ainan. Par contre, en aval de Charavines, aucun surcreusement de cette importance n'a été détecté. Nous supposons donc, que le sillon de la vallée de la Fure, reconnu antérieurement et qui renferme une nappe dont l'écoulement se fait vers le Sud-Est, se raccorde au sillon de l'Ainan. Il existe une communication entre les deux vallées. Vers l'aval, au sortir des collines molassiques, le surcreusement abandonne la vallée de la Fure. Il se dirige vers le Sud, sous les terrasses de Saint-Blaise-du-Buis. Il n'a pas été décelé par géophysique dans la région de Réaumont, mais des données hydrologiques montrent qu'il y aboutit vraisemblablement. Le sillon constitue un axe drainant. Son fond est penté vers le Sud-Est.

L'étude hydrologique des bassins versants du lac de Paladru et de l'Ainan a confirmé la relation d'ordre morphologique, qui existe entre la vallée de la Fure et la vallée de l'Ainan.

En effet, l'hydrologie de surface a révélé, pour l'année 1978-1979 que nous avons étudié, un débit spécifique de  $16,1 \text{ l/s/km}^2$  ( $R \bar{=} 507 \text{ mm}$ ) sur le bassin versant du lac alors qu'il n'est que de  $13 \text{ l/s/km}^2$  ( $R = 409 \text{ mm}$ ) sur le bassin de l'Ainan. Dans le même temps, l'étude hydroclimatique montrait que les facteurs pluviométrie et évapotranspiration étaient comparables à quelques unités près, sur les deux bassins.

Bassin versant lac :  $P = 1142 \text{ mm}$  ,  $E_{Tr} = 565 \text{ mm}$ .  
Bassin versant Ainan :  $P = 1154 \text{ mm}$  ,  $E_{Tr} = 550 \text{ mm}$ .

Ces résultats nous ont conduit à établir des bilans d'eau. Mais l'imprécision sur les termes P, Q et E ne permet pas d'en tirer des conclusions définitives. Toutefois ils indiquent des fuites, certaines sur le bassin versant de l'Ainan , plus hypothétiques sur le bassin versant du lac de Paladru.

Sur le bassin du lac de Paladru, les fuites ou sous-écoulements pourraient se faire par les trouées d'Oyeu ou de la Fure, mais aucun élément apporté par la prospection géophysique ne le suggère.

Sur le bassin versant de l'Ainan, la morphologie du substratum est favorable à des sous-écoulements vers le sillon de la Fure, correspondant à un débit d'au moins  $23 \text{ l/s}$ . La nappe du sillon de la Fure serait donc alimentée à partir des infiltrations profondes se produisant sur la haute vallée de l'Ainan.

La piézométrie de la nappe ainsi que les analyses isotopiques ont laissé entrevoir qu'une relation lac-nappe était également possible. Elle nous paraît peu probable compte tenu des données énoncées précédemment, mais toute incertitude à ce sujet, pourrait être écartée par un traçage naturel, qui consisterait à maintenir à l'aide des vannes, le niveau du lac très bas en période de hautes eaux et de suivre l'évolution du niveau de la nappe à l'aval. L'absence de réaction du niveau piézométrique mettrait en évidence une liaison entre la charge du lac et la nappe. L'observation contraire confirmerait définitivement la correspondance entre la vallée de l'Ainan et le sillon de la Fure.

L'étude plus spécifique de la nappe du sillon de la Fure a montré, en étiage, que l'aquifère possédait des caractéristiques hydrodynamiques très intéressantes :  $T = 1,5 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $K = 7,25 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ . Mais les réserves sont assez faibles, témoins les battements maximaux de 28 mètres entre les hautes eaux ( printemps ) et basses eaux ( automne ). Aussi, les débits d'exploitation des ouvrages de captage en place ne devront pas dépasser  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  sur le site du Guillermet,  $180 \text{ m}^3/\text{h}$  sur le site de Bonpertuis où, à ce niveau de la vallée, une alimentation de la nappe se fait entre autre, par une infiltration des eaux de la Fure. Ce sont là des débits de basses eaux. Ils pourraient être supérieurs en hautes eaux mais ils restent à définir en fonction de la puissance de la nappe.

Enfin, une étude physico-chimique des sources, qui assurent encore aujourd'hui une part importante de l'alimentation des villages et hameaux de la région, a permis de distinguer 3 types d'émergences, bien que leurs eaux toujours bicarbonatées calciques soient peu contrastées. Ce sont :

- les sources de la molasse aux caractéristiques physiques et chimiques constantes dans le temps;

- les sources des alluvions aux propriétés plus variables ;

- les sources mixtes, dont les eaux qui ont circulé dans la molasse puis les alluvions, sont identifiables par l'évolution de leur résistivité au cours du temps.

Sur un plan plus général, nous soulignerons l'intérêt fondamental d'une connaissance précise de la morphologie masquée du substratum, pour localiser et étudier les aquifères alluviaux d'une région, qui a été occupée par les glaciers. Cette connaissance s'acquiert par une étude géophysique, qui ne peut commencer qu'après une étude géologique générale du secteur étudié. Ensuite, les études hydrologiques précisent les relations entre ces aquifères et les régions naturelles avoisinantes. C'est la démarche que nous avons suivie, et nous espérons qu'elle aura, d'une part, contribué à une meilleure compréhension de l'hydrogéologie de la région du lac de Paladru et des hautes vallées de l'Ainan et de la Fure, et d'autre part, montré le caractère indissociable des domaines théoriques et pratiques en hydrogéologie comme dans toutes les Sciences de la Terre.

---

---

BIBLIOGRAPHIE  
-----

- AL ANBAR N. - 1979 - Infiltration et écoulement en milieu karstique. Etude statistique des données climatologiques et hydrologiques. Hydrologie du bassin versant du Furon-Vercors ( France ).  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- ANDRE H., AUDINET M., MAZERAN G., RICHER C. - 1976 - Hydrométrie pratique des cours d'eau.  
Ed. Eyrolles, Paris.
- ARMAND Cl. - 1978 - Régime des eaux souterraines et paléomorphologie, géologie et hydrogéologie de la basse vallée de l'Arve ( Haute-Savoie ).  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- ARMAND Cl., DELAQUAIZE B. - 1977 - Analyse physico-chimique des eaux. Mémento pratique.  
Publication interne du laboratoire d'hydrogéologie de l'Institut Dolomieu.
- ASTIER J.L. - 1971 - Géophysique appliquée à l'hydrogéologie.  
Ed. Masson, Paris.
- BERTRAND Y. - 1967 - La prospection électrique appliquée aux problèmes des Ponts et Chaussées.  
Bulletin de liaison des Laboratoires Routiers. Ministère de l'équipement. Spécial i.
- BHATTACHARYA P.K. , PATRA H.P. - 1968 - Methods in geochemistry and geophysics Direct current geoelectric sounding. Tome IX.  
Ed. Elsevier.
- BOCQUET J. - 1966 - Le delta de Voreppe. Etude des faciès conglomératiques du Miocène des environs de Grenoble.  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- BOURDIER F. - 1961 - Le bassin du Rhône au Quaternaire : géologie et préhistoire. 2 vol.  
Ed. C.N.R.S. Paris.
- BOZONNAT J.P. - 1980 - Infiltration et circulation des eaux dans les calcaires fissurés. Hydrogéologie et bilan hydrique du secteur septentrional massif de la Chartreuse .  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- BRAVARD Y. - 1963 - Recherches sur la morphologie d'un piémont alpin.  
-Thèse géographie, Grenoble, Impr. Allier.
- B.E.G. Ménard - 1976 - Prospection électrique dans la région de Planche Cattin.  
Rapport inédit, D.D.A. Isère.

- B.E.G. Ménard - 1976- - Prospection électrique de la vallée de la Fure-Chirens.  
Rapport inédit, D.D.A. Isère.
- CAGNIARD L. - 1952 - La prospection géophysique des eaux souterraines -  
Congrès sur l'hydrologie des zones arides, UNESCO, Ankara,  
Turquie.
- CASTANY G. - 1967 - Traité pratique des eaux souterraines.  
Ed. Dunod, Paris.
- CASTANY G. - 1967 - Introduction à l'étude des courbes de tarissement  
Chronique d'hydrogéologie n° 10, B.R.G.M.
- CASTANY G. - 1968 - Prospection et exploitation des eaux souterraines.  
Ed. Dunod, Paris.
- CASTANY G. - 1977 - Dictionnaire français d'hydrogéologie. B.R.G.M.
- CLAUDON G. - 1977 - Etude hydrogéologique de la plaine de Pontarlier.  
Thèse 3ème cycle, Besançon.
- C.F.E.G.-1977 - Zone du Guillermet, commune de Charavines. Reconnaissance  
géophysique de l'aquifère.  
Rapport inédit n° E 77-145, D.D.A. Isère.
- C.F.E.G. - 1977 - Zone de Planche-Cattin, commune d'Apprieu. Reconnaissance  
géophysique de l'aquifère.  
Rapport inédit n° E 77-200, D.D.A. Isère .
- C.O.F.O.R. - 1964 - Rapport sur les forages de reconnaissance et l'étude de  
la nappe du marais de Chirens.  
Rapport inédit, D.D.A. Isère.
- C.P.G.F. - 1968 - Prospection électrique dans la région de Chirens.  
Rapport inédit n° 544, D.D.A. Isère.
- C.P.G.F. - 1980 - Etude géophysique à Chirens .  
Rapport inédit n° 1936, D.D.A. Isère.
- DAVID L. - 1959 - Quelques considérations sur la topographie anté et post-  
vindobonienne de la région du Bas-Dauphiné.  
C.R. Acad.Sc., t 249, p. 141-142.
- DEBELMAS J. - 1953 - Plissement paroxymal et surrection des Alpes Franco-  
Italiennes.  
Trav. Lab. Géol. Fac. Sc. de Grenoble, t.39, p. 125-171.
- DELAQUAIZE B. - 1979 - Etude géologique, hydrogéologique et limnologique  
dans une région de moyenne montagne. Le bassin versant des  
lacs de Laffrey et Petichet ( Isère ).  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.

- DELBECQUE A. - 1894 - Les lacs du Dauphiné.  
Extrait de l'Annuaire de la Société des Touristes du Dauphiné,  
n° 8, p. 39 - Grenoble.
- DEMARCO G. - 1962 - Etude stratigraphique du Miocène Rhodanien.  
Thèse Fac. Sc. Paris, n° 4723.
- DOUXAMI H. - 1896 - Etude sur les terrains tertiaires du Dauphiné.  
Thèse Sc. Nat., Paris, n° 17.
- DUBUS, BOMBARD, BARTALA - 1968 - Etude des ressources en eau de la  
vallée de l'Isère. Seuil de Rives - Plaine de Moirans - Avant  
pays de Chartreuse - Service du Génie Rural des Eaux et des  
Forêts. D.D.A. Isère.
- FOURMARIER P. - 1958 - Hydrogéologie. Introduction à l'étude des eaux  
destinées à l'alimentation humaine et à l'industrie.  
Ed. Masson, Paris.
- FOURNEAUX J.C., SARROT-REYNAULD J. - 1977- Déficit d'écoulement et  
évapotranspiration dans les Alpes du Nord.  
102ème Congrès national des Sociétés Savantes, Limoges.
- FOURNIER D. - 1974 - Etude hydrogéologique du versant sud de la plaine de  
Bièvre. Bas-Dauphiné. Bassin versant du haut-Rival ( Isère )  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- GIDON M. - 1970 - Notice de la feuille Voiron au 50 000è.
- GIDON M., MONJUVENT G., STEINFATT E. - 1968 - Sur la morphologie  
fluvioglaciaire aux marges des glaciers würmiens alpins. Le  
dispositif moraine - chenal marginal.  
Bulletin de l'Association Française pour l'étude du Quaternaire,  
t.2, p. 125-149.
- GIGNOUX M., MORET L. - 1952 - Géologie Dauphinoise.  
Ed. Masson, Paris.
- GIGOUT M. - 1969 - Recherche sur le Quaternaire du Bas-Dauphiné et du  
Rhône moyen - Mémoire du B.R.G.M., n° 65.
- HAMELIN L.E. - 1952 - La position structurale du Bas-Dauphiné. R.G.A.,  
t XL, fasc. IV, p. 567-581.
- JAMIER, VIAL - 1979 - Rapport sur six sondages électriques au lieu-dit  
Bonpertuis, commune d'Apprieu.  
Rapport inédit, D.D.A. Isère.
- KOEFOED, O. - - A generalized CAGNIARD graph for the interpretation  
of geoelectrical sounding data. - Geophysical laboratory of the  
Technological University at Delft, Netherlands.

- KRUSEMAN G.P., DE RIDDER N.A. - 1974 - Interprétation et discussion des pompages d'essais  
Bulletin 11 F. International Institute for land reclamation and improvement. Wageningen, Netherlands.
- LASFARGUES P. - 1957 - Prospection électrique par courants continus.  
Ed. Masson, Paris.
- LASFARGUES P. - 1979 - Cours de géophysique appliquée. Université d'Alger, Fac. Sciences
- LATREILLE G. - 1969 - La sédimentation détritique au Tertiaire dans le Bas-Dauphiné et les régions limitrophes.  
Doc. lab. géol. fac. sc. Lyon, n° 33.
- LE PRIOL J. - 1974 - Etude hydrogéologique du bassin versant de la Bourbre. Application à l'étude d'une ville nouvelle : l'Isle d'Abeau.  
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- MICHEL M. - 1976 - Etude hydrogéologique du quadrilatère Voironnais. Service du Génie Rural des Eaux et des Forêts. D.D.A. Isère
- MICHEL R. - 1960 - Contribution à l'étude de la température des sources dans le département de l'Isère.  
Trav. Lab. Géol. Fac. Sc. de Grenoble, t. 36, p. 115-131.
- MICHEL R. - 1961 - Aperçu d'ensemble sur la structure géologique du département de l'Isère dans ses rapports avec l'hydrogéologie souterraine.  
R.G.A., t. XLIX, p. 129-142.
- MICHEL R. - 1974 - Rapport géologique sur la protection sanitaire des ressources en eau potable ( Région Voironnais ).  
Rapport inédit, D.D.A. Isère.
- MILLON A. Abbé - 1930 - Le lac de Paladru .
- NICOLET C. - 1979 - Le Bas-Dauphiné septentrional. Etude stratigraphique et sédimentologique.  
Thèse 3ème Cycle, Grenoble.
- OLIVE P. - 1979 - Eléments de climatologie - Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains.
- ORELLANA E., MOONEY H. - 1966 - Master tables and Curves for vertical electrical sounding over layered structures.- Interciencia, costanilla de los Angeles, 15, Madrid.
- PLOTNIKOV - 1962 - Ressources en eaux souterraines : classification et méthodes d'évaluation.  
Ed. Gauthier-Villard, Paris.
- RICARD C. - 1967 - Les sources et les nappes de la région de Paladru.  
D.E.S. Géographie, Grenoble.

- ROCHE M. - 1963 - Hydrologie de surface.  
Ed. Gauthier-Villars, Paris.
- ROUSSELOT D., GUDIFIN M., PUTTABLEZ J. - 1978 - Etude hydrogéologique de la molasse du Bas-Dauphiné entre le Rhône et l'Isère.  
Rapport préliminaire, B.R.G.M., 78 SGN 225 SJ AL.
- SARROT-REYNAULD J. - 1963 - Deux exemples de régime hydrogéologique dans les collines du Bas-Dauphiné.  
Trav. Lab. Géol. Fac. Sc de Grenoble, t. 39, p. 231-238.
- SHOELLER H. - 1962 - Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources.  
Ed. Masson, Paris.
- SOCIETE AURELE FORAGE. - 1976, 1977 - Rapports sur des forages et essais de pompage.  
Rapports inédits, D.D.A. Isère.
- SOCIETE CINQUIN Frères - 1974 - Rapports sur des forages de recherche d'eau.  
Rapports inédits, D.D.A. Isère.
- SOCIETE HYDROFORAGE - 1978 , 1980 - Rapports sur des forages et essais de pompage.  
Rapports inédits, D.D.A. Isère.
- SOCIETE L'EAU - 1963 - Etude hydrogéologique par prospection électrique dans la région de Chirens. Rapport inédit n° D.225, D.D.A Isère.
- SOCIETE THOMASSET & Cie - 1969, 1970, 1972, 1973. - Rapports sur des forages de recherche d'eau -  
Rapports inédits, D.D.A. Isère.
- S.R.C.E. - 1977, 1979 - Rapports sur des forages et essais de pompage.  
Rapports inédits, D.D.A. Isère.
- STEINFATT E. - 1975 - Géologie de la feuille Voiron au 1/50 000è. Etudes sur le Miocène et le Quaternaire de l'avant pays alpin.  
Thèse 3è cycle, Grenoble.
- TRUPIN G. - 1969 - Manuel pratique des pompages d'essai. 2è Ed. B.R.G.M., département d'hydrogéologie, 69 SGL 258 HYD.

-----

#### Abréviations

- B.R.G.M. - Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
C.F.E.G. - Compagnie Française d'Etudes Géotechniques.  
C.N.R.S. - Centre National de la Recherche Scientifique.  
C.P.G.F. - Compagnie de Prospection Géophysique Française.  
D.D.A. - Direction Départementale de l'Agriculture.  
R.G.A. - Revue de Géographie Alpine.  
S.R.C.E. - Société de Recherche et de Captage d'Eau.

## ANNEXES

-----

Annexe n° 1 - Sondages électriques

Annexe n° 2 - Analyses physico-chimiques des eaux

## SONDAGES ELECTRIQUES ENTRE LE GUILLERMET ET CHARAVINES

AB/2	SE1 ρ <sub>a</sub>	SE2 ρ <sub>a</sub>	SE4 ρ <sub>a</sub>	SE5 ρ <sub>a</sub>	SE10 ρ <sub>a</sub>	AB/2	SE3 ρ <sub>a</sub>	SE6 ρ <sub>a</sub>	SE7 ρ <sub>a</sub>	SE8 ρ <sub>a</sub>	SE9 ρ <sub>a</sub>
1	132	140	72	160	126	1	90	404	86	264	329
1	122	152				1,2	97	398	83	271	352
2	95	159	102	233	202	1,5	94	389	82	278	379
3	80	170	131	280	250	2	111	381	82	314	406
3	82	160	132	274	253	2	122	402	93	281	374
5	75	195	196	332	310	3	132	367	105	308	396
5	77	182	195	330	305	4	162	338	113	350	387
7	85	207	216	320	332	4	133	323	115	285	345
10	102	235	254	331	312	5	147	298	127	316	411
15	118	253	308	341	240	7	152	255	140	310	432
15	123	275	281		240	10	193	212	140	305	440
20	120	264		340	210	10	269	228	154	273	441
20	125	278	328	315	217	15	299	178	137	255	419
30	131	260	302	275	178	20	324	161	120	247	430
40	130	242	291	271	181	30	271	169	92	207	
50	127	238	322	270	175	30	310	168	91	220	
50	142	249	331	262	195	40	247	172	94	208	
75	127	221			228	50	207	164	104	190	
75	134	227	303	263	216	70	202	194	117		
100	136	194	291	252	251	70	226	197	120		
150	149	194	249	240	260	100	203	180	142		
180			234			125			155		
180			231			150	215				

Nota : AB/2 est exprimé en mètres, ρ<sub>a</sub> en ohms-mètres

## SONDAGES ELECTRIQUES DANS LA VALLEE DE L'AINAN

AB/2	SE11 ρ <sub>a</sub>	SE12 ρ <sub>a</sub>	SE13 ρ <sub>a</sub>	SE14 ρ <sub>a</sub>	SE15 ρ <sub>a</sub>	SE16 ρ <sub>a</sub>	SE17 ρ <sub>a</sub>	SE18 ρ <sub>a</sub>	SE19 ρ <sub>a</sub>	SE20 ρ <sub>a</sub>	SE21 ρ <sub>a</sub>	SE22 ρ <sub>a</sub>	SE23 ρ <sub>a</sub>
1	101	45	45	51	72	44	140	113	46	35	36	43	59
2	171	43	45	61	78	63	180	150	40	40	41	43	66
3	237	40	42	58	65	58	224	173	40	40	47	43	65
3	241	39	40	57	64	54	210	163	36	38	43	43	66
5	331		37	50	57	52	292	174	41	36	46	47	75
5	326	37	38	53	51	51	271	172	43	32	47	47	73
7	409	38	35	49	45	49	292	181	44	37	57	50	83
10	396	39	33	43	42	45	319	188	60	38	67	50	94
15	396	38	34	47	38	46		163	59	47	80	50	105
15	393	39	36	46	36	47	322	183	58	42	78	52	102
20	350			46		45		155	58	57	87	56	114
20	337	38	37	47	34	44	303	166	58	53	82	57	115
30	286	40	39	49	36	42		138	74	67	94	63	117
40	238	44	42	55	45	44	221	132	75	83	93		121
50	233	45	49	57	51	52	203	127	80	85	101	91	
50		46	46	56	48	49	218	128	75	91	106	84	131
75	200	65	62	70			177	138	113	82	126	110	110
75	201	65	56	69	60	60	170		111	84	120	105	121
100	204	73	66	85	73	73	140		101	81	124	134	117
150		85	91	104	83	93	151		146	101	126	136	121
180		98	101	110	95	101				101	139	145	138
180		101	99	110	98	107	57		160	107	139	150	138
200		101	101	114	95	108			168	105	130	142	123

SONDAGES ELECTRIQUES DE L'AMPHITHEATRE MORAINIQUE DE CHIRENS

AB/2	SE24	SE25	SE26	SE27	SE28	SE29	SE30	SE31	SE32	SE33
	Pa									
1	34	69	31	69	56	97	212	268	286	146
2	27	76	36	77	59	114	345	273	452	167
3	45	86	39		58	103	430	331	440	203
3	48	80		89	55	96	437	316	414	194
5	58	103	46		48	55	526	430	510	291
5	58	98	45	103	47	55	538	411	475	271
7	72	106	51	111	43	47	594	486	481	360
10	81	103	55	122	49	55	666	549	495	449
15	99	116	64	134	59	85	665	582	497	596
15	88	116	66	123	57	83	704	529	492	545
20		116	67				640			
20	92	116	62	133	64	99	620	495	421	582
30	100	119	73	154	72	103	441	402	292	648
40	105	124	75	175	71	89	323	292	235	546
50	114	128	87	199	74	84	299	247	209	337
50	110	113	88	188	82	84	275	266	209	394
75		123		233						
75	120	113	105	213	94	77	160	163	178	268
100	125	135	112	181	98	84	132	155	170	247
120				172						
150	128	138	122		106	77	127	132	157	
180	128		121			76				
180	125		119		124	90				
200						82				

SONDAGES ELECTRIQUES DE L'AMPHITHEATRE MORAINIQUE DE CHIRENS

AB/2	SE34	SE35	SE36	SE37	SE38	SE39	SE40	SE41	SE42	SE43	SE44
	Pa										
1	117	261	123	259	265	73	77	131	164	160	121
2	210	393	150	460	355	100	92	176	188	238	191
3	288	468	163	544	465	129	91	224	217	301	221
3	281	496	164	514	465	126	93	170	210	290	236
5	424	588	171	663	587	177	103		298		278
5	391	566	182	622	603	182	99	241	283	383	280
7	459	584	192	770	678	219	121	266	354	449	327
10	507	545	229	805	676	242	144	268	407	529	437
15	552	477	250	685	567	250	170	269	451	579	382
15	547	522	264	596	531	241	175	244	425	570	365
20	503	442	277	538	515	287	174	283			266
20	488	449	262	532	484	250	191	268	460	672	238
30	450	395	258	394	414	275	190	256	423	662	193
40	326	350	180	285	323	255	190	263	403	695	186
50	232	301	157	195	242	268	216	246	371	472	130
50	257	316	203	198	246	256	231	276	368	511	140
75	198										
75	170	222	133	179	172	261	230	216	289	310	
100	124	194	130	183	175	221	188	182	213	228	
150		185		183	190	204	156	154	135		
180				158				163			
180				178							

SONDAGES ELECTRIQUES DANS LA VALLEE DU FAGOT ( Entre CHIRENS et SAINT NICOLAS DE MACHERIN )

AB/2	SE45 Pa	SE46 Pa	SE47 Pa	SE48 Pa	SE49 Pa	SE50 Pa	SE51 Pa	SE52 Pa	SE53 Pa	SE54 Pa	SE55 Pa	SE56 Pa	SE57 Pa	SE58 Pa	SE59 Pa
1	282	137	134	316	78	37	43	158	160	76	85	127	111	131	215
2	445	190	167	367	171	54	46	133	129	90	101	160	184	198	205
3	416	217	312	422	216	59	36	215	135	104	94	182	226	238	237
3	393	270	221	387	325	59	34	206	144	107	91	181	229	224	237
5	388	286	279	496	273	76	35	170	173	124	99	228	282	300	
5	370	295	337	481	468	71	36	156	169	124	95	221	289	303	287
7	412	322	381	509	582	77	39	198	235	140	107	238	340	357	340
10	460	357	416	587	722	101	47	246	307	133	123	259	322	414	380
15	544	544	414	606	890	118	71	309	354	139	162	266		457	386
15	545	513	383	622	786	122	67	312	362	152	147	248	260	454	381
20		489				155		377	435	169	147				
20	592	342	355	718	850	125	69	371	380	156	153	230	248	445	373
30	617	389	302	658	733	144	84	439	392	137	163	197	201	425	
40	535	328	262	517	514	147	93	431	360	129	154	195	185	345	243
50	425	336	239	355		161	93	446	363	98	123	190	164	324	202
50	402	291	262	370	388	180	110	475	347	88	129	189	154	327	210
75							111	374	283	63	120				
75	289	245	197	254	250	136	113	440	284	60	132	158	147	191	162
100	229	215	190	221	155	142	116	353	237	57	116	153	148	166	140
150	225					142	138	235	216	46	103	152	141	66	
180								181	181	61	109		163		
180								191	124	55	80		116	145	
200									147		87				

SONDAGES ELECTRIQUES DANS LA REGION DE LA RAVIGNHOUSE

AB/2	SE60 Pa	SE61 Pa	SE62 Pa	SE63 Pa	SE64 Pa	SE65 Pa	SE66 Pa	SE67 Pa	SE68 Pa	SE69 Pa	SE70 Pa	SE71 Pa	SE72 Pa	SE73 Pa	SE74 Pa	SE75 Pa	SE76 Pa	SE77 Pa	SE78 Pa
1	294	203	233	753	444	409	551	917	1619	399	287	658	441	100	592	238	355	420	241
2	246	299	411	546	413	442	377	771	1411	615	326	993	395	126	799	227	329	390	307
3		351	509	507	495	496	320	802		842	398	1314	428	147	774	300	360	486	393
3	233	342	476	487	444	542	309	792		813	396	1334	390	145	786	286	345	486	395
5					605	592	370	802	927	1291	514	1717	432	188	752		426	667	526
5	312	420	576	546	554	640	356	801	923	1245	518	1723	412	187	727	343	407	655	541
7	316	413	594	526	606	649	419	847	994	1533	600	1848	385	236	633	502	443	765	633
10	319	408	587	601	573	626	465	876	1026	1740	593	1771	325	288	585	500	476	851	707
15		455		695	533	574	546	795	1077	1758	686	1446	226	340	482	536	510	879	663
15	343	454	572	527	498	472	519	695	1251	1590	632	1405	208	368	477	508	495	880	621
20						541	624	666	1051	1610	644	1089	179	352	418	500	553	818	
20	340	429	567	529	505	428	559	611	1202	1431	589	1089	158	388	412	454	504	809	544
30	320	365	485	538	450	417	473	606	1073		360	818	148	357		322	528	635	478
40	334	334	392	528	396	395	393	615	937	691	332	562	161	300	286	252	500	470	410
50	316	326	311	517	348	418	413	580	833	533	338	415	183	266	274	186	454	389	344
50	298	314	320	455	343	393	400	550	698	498	348	429	172	298	245	279	464	368	343
75										322									
75	266	238	213	329	230	353	390	507	613	403	353	272	187	190	195	189	355	249	242
100		203	184	292	250	295	382	498	598	339	230	209		140	149	197	292	227	230
120		185		290															
150						292	377	450	556	225	180				141		292		
180						436	430	430	385								246		



Nota : Dans tous les tableaux qui suivent, les teneurs en  $\text{SiO}_2$  et de tous les ions ainsi que la minéralisation totale  $\Sigma$  sont exprimés en mg/l

## SOURCE DU LOUISIAS

DATE	Q l/s	t °C	18° cm	pH	$\text{SiO}_2$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^{++}$	$\text{K}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{--}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{NO}_3^-$	$\Sigma$
19.11.78	0,41	9,4	2695		7	72,1	0,48	3,35	0,29	1,11	0	207,4	0	285
14.12.78	0,33	9	3406			70,1	0,24	2,96	0,29	0,86	0	207,4	0	282
19.01.79	0,5	8,2	3488		6,2	65,7	0,48	2,88	0,29	0,77	0	197,6	1	269
19.02.79	1,7	8,3	3398	8,1		67,7	0,97	2,1	0,29	1	1	207,4	1	281
19.03.79	1,7	8,4	3993	7,8		67,7	2,4	2,6	0,28	1,35	3	213,5	1,3	292
20.04.79	2,5	8,4	3890	7,1	7,2	69	0,97	0	0,24	1,62	3	207	0,6	282
18.05.79	2,5	8,6	3404	7,6		67,7	0	0	0,28	1,83	0	196,4	0,4	267
17.06.79	2	8,7	3427	7,5		67,3	0,5	1,7	0,2	1,3	0	201,3	0,2	273
18.07.79	1,25	9,1	3348	7,3	7,1	71	0	2,6	0,4	2	0	211	0,6	288
20.08.79	0,71	9,6	3284	7,4		69,3	1	2,5	0,25	2,3	2	216	0,6	294
16.10.79	0,5	9,8	3149			71,3	1,9	2,2	0,4	1,2	0,5	217	1,3	296

## SOURCE DE LA COMBE REVATIERE

19.11.78	0,35	8,9	2967		7,3	72,1	0,5	3,25	0,39	1,2	2	207,4	0,6	289
14.12.78	0,33	8,5	3369			66,9	0,24	2,88	0,39	0,64	0	203,7	0,6	275
19.01.79	0,4	7,9	3324		7,2	67,7	1,94	2,64	0,40	0,69	0	204,9	1,05	279
19.02.79	1	7,6	3408	7,9		66,9	1,5	1,9	0,38	1	2,5	202,5	1,05	278
19.03.79	1,1	7,6	3296	7,9		64,1	2,9	2,3	0,28	1,24	4	202,5	1,27	279
20.4.79	1,5	7,5	3842	7,5	7	67	2,4	0	0,24	1,62	2	207	0,6	281
18.05.79	1,5	7,7	3380	7,6		62,1	3,4	0	0,28	2,15	0,5	196,4	0,4	266
17.06.79	1,25	8,1	3349			68,5	1,9	1,4	0,3	1,4	0	210	1	284
18.07.79	0,77	9,7	3268	7,9	7,7	72,1	0,24	2,1	0,62	1,62	0	221	1	299
20.08.79	0,7	9,2	3285	7,8		68,9	1,7	1,84	0,45	2,11	1	219,6	0,84	296
19.09.79	0,63	9,5												
16.10.79	0,5	9,6	3223			71,3	1,5	1,98	0,44	0,9	4	217	1,4	298

## SOURCE DU MONT FOLLET

19.11.78	1	9,4	3111		4,7	70,9	0	3,8	0,46	1,24	0	200	1,05	277
14.12.78	0,87	9,4	3308			69,3	1,7	2,96	0,44	1,89	0	203,7	4,4	284
19.01.79	0,77	9,3	3282		8,3	68,1	1,94	2,72	0,46	1,09	0	207,4	4,13	286
19.02.79	1,11	9	3207	7,7		69,3	1,45	1,9	0,46	0,98	1	214,7	3,5	293
19.03.79	1,25	9,1	3079	7,7		68,9	2,7	2,6	0,32	2,6	0	227	4,1	308
20.04.79	1,7	9,2	3125	7,4	8,5	75	1,95	0,2	0,32	1,8	0	225	3,7	308
18.05.79	1,4	9,2	3128	7,4		74,1	1	0	0,41	1,7	0	217	4,1	298
17.06.79	1,25	9,5	3162	7,3		71,3	1,2	1,7	0,31	1,9	0	216	3,9	296
18.07.79	1,25	9,5	3201	7,2	7,7	69,7	1,7	2,6	0,62	2,0	0	212,3	3,7	293
20.08.79	1	9,4	3243	7,6		66,5	2,2	2,1	0,55	2,7	2	212,3	4,6	293
16.10.79	0,82	9,4	3270			66,1	3,7	1,7	0,55	0,82	2	201,3	4,1	280

## SOURCE DE LA RAVIGNHOUSE

19.11.78	1,8	11,3	1931		8,2	114,6	0,48	4,8	0,7	14,1	8	298,9	14,2	456
14.12.78	1,5	10,9	2005			114,6	2,9	4,8	0,7	11,7	11	291,5	21,2	458
19.01.79	1,8	10,5	2027		8,7	108,2	3,4	5,4	0,68	11,2	11	287,9	20,8	448
19.02.79	5	10,4	1973	7,5		101,4	1,2	3,8	0,7	10,5	10,5	287	19,5	434
19.03.79	3,3	10,5	2021	7,5		108,2	2,4	5,3	0,65	12,4	12	305	17,7	464
20.04.79		10,7	2160	7,2	9,3	116	0,24	3,5	0,62	11,9	11,5	294	22,1	460
18.05.79	4	10,8	2004	7,2		116,7	0	5,3	0,62	13,5	10	294	22,6	463
17.06.79	3,3	11	1975	7,2		114,2	1,46	4,7	0,63	13,4	9,5	299	20,4	463
18.07.79	2,5	11,2	1970	7,2	10	117	0	5,15	0,82	13	10	306,2	21,3	473
20.08.79	2	11,5	1984	7,2		113,4	0,97	5,15	0,75	14	11	305	15,8	480
19.09.79	2	11,6	1983			110,6	2,9	5,04	0,8	14,9	9	301,3	17,3	462
16.10.79	2,5	11,6	1978			111,8	2,9	5,24	0,75	11,9	10,2	299	18,7	460

SOURCE DU CUEUN

DATE	Q l/s	t °C	l <sup>8</sup> cm	pH	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ
19.11.78	0,06	10,5	1925		7,7	121	0	4	0,55	5,22	6	314,7	5,9	457
14.12.78	0,06	10,2	2032			120,6	0,97	4,16	0,50	5,2	5	319,6	10,5	458
19.01.79	0,09	10,1	2059		8,7	111,8	0,73	4,5	0,55	3,18	5	329,4	12	467
19.02.79	0,38	9,9	2063	7,6		108,6	0,97	2,7	0,55	3,22	4	314,7	9,9	445
19.03.79	0,45	9,6	2165	7,3		105	2,4	3,9	0,45	4,25	6	302,6	6,8	431
20.04.79	0,31	9,7	2235	7,1	7,3	109	1,2	0,7	0,47	3,65	6	312	11,6	445
18.05.79	0,25	9,9	2168	7,1		112,7	0	1,53	0,5	4	5	301,3	8,1	433
17.06.79	0,22	10	2032	7,6		111,8	1,5	8,3	0,55	13,2	5,5	311	14,7	466
18.07.79	0,12	10,5	2121	7,3	7,5	112	0,72	2,85	0,62	4,3	3	320	11,8	455
20.08.79	0,08	11	2130	7,3		111	1,2	3,63	0,55	5,4	9	325,7	11,6	468
19.09.79	0,07	11,2	2088			109,8	3,64	3,08	0,6	6,3	6	325	10,3	465
16.10.79	0,02	11,4	2102			110,2	3,64	3,22	0,62	4,11	5,5	316	10,2	453

SOURCE DE LA HAUTE VERONNIERE

19.11.78	0,2	10,3	1867		2,7	101,8	0,24	6	0,4	3,52	3	267,2	9	391
14.12.78		9,5	2424			82,1	0,73	3,6	0,38	2,62	0	253,7	11	354
19.01.79	1,8	8,9	2176		8,3	100,6	0,48	3,6	0,39	2,96	0	292,8	9,4	410
19.02.79	5	8,6	2293		7,8	99,8	1,2	2,6	0,36	3,82	1	294	9,2	412
19.03.79	3,3	8,6	2265	7,8		95,3	2,2	3,75	0,32	4,25	2	283	8,8	400
20.04.79	2,5	8,8	2658	7,5	7,7	98	0,73	0,35	0,28	4,06	2	287	10,3	403
18.05.79	2,5	9,1	2279	7,6		101	0	0,52	0,32	4,5	0	274,5	11,2	392
17.06.79	1,7	10	2288	7,5		104,6	0,49	2,21	0,24	4,0	5,5	303,2	8,54	429
18.07.79	0,77	10,9	2174	7,5	7,9	111,4	0	3	0,47	4,91	0,5	317,2	12,1	450
20.08.79	0,7	11,9	2236	7,6		104,6	1,22	2,6	0,5	4,67	2,5	307,4	10,7	434
19.09.79	0,33	12,1	2242			94,2	6,8	2,71	0,47	5,48	0	298	11,4	419
16.10.79	1,9	11,2	2069			110,6	2,18	3,63	0,5	4,86	4,5	320	9,2	455

SOURCE DES BARRAUX

19.11.78		11,2	1952		6	113,4	2,9	5,4	3,13	7,99	7	317,2	18,6	476
14.12.78		10,5	1982			105	3,6	7,8	3,9	8,6	5,5	318,4	15,5	468
19.01.79		10,1	1946		7,4	109,8	3,1	6,9	3,7	9,3	8,5	314,7	10,9	463
19.02.79		9,1	2009	7,4		106,2	3,16	5,8	3,5	9,5	9,5	309,8	12,5	460
19.03.79		8,5	1940	7,4		104,6	3,3	8	4,3	11	9	317,2	12	469
20.04.79		8,7	2601	6,9	8,1	113	3,4	5,72	3,12	9,95	8,5	325	15,6	484
18.05.79		9,2	1942	7,2		112,2	2,43	6,4	4,7	10,8	8	313,5	16	474
17.06.79		10,2	1985	7,3		109,8	3,9	6,67	2,7	10,6	10	319,6	11,2	474
18.07.79		10,9	1957	7,2	8,1	108,2	3,64	7,68	3,32	11,6	6	317,2	13,8	471
20.08.79		11,4	1970	7,0		115,4	2,67	3,86	1,25	7,15	6	340,4	12,1	489
19.09.79		11,5	2123			103,8	7,04	7	3,9	13,5	9	314,7	11,4	470
16.10.79		11,6	1959			110,2	3,16	7,82	3,5	12	9	318	12,5	476

SOURCE D'AIGUEBELLE

19.11.78	0,46	9,6	2227		6,4	102,6	0,48	4,75	1,75	4,04	9	286,7	1,9	411
14.12.78	0,43	9,2	2260			101	3,4	5,52	1,75	3,44	4	298,9	7,2	425,2
19.01.79	1,6	8,9	2094		6,5	104,6	2,43	4,64	1,75	4,36	8	307,4	9,8	443
19.02.79	15	9,9	2106	7,4		105,4	2,67	3,5	1,6	4,9	6,5	308,6	11,4	445
19.03.79	8	9,2	2437	7,4		91,4	2,92	4,5	1,8	3	7	279,4	4,6	394
20.04.79	20	9,1	2630	7,6	6,9	93	1,45	1,69	1,12	2,7	5	273	4,1	382
18.05.79	15	9,4	2558	7,3		91	0,97	1,2	1,06	2,8	3,5	261,1	3,92	366
17.06.79	15	9,8	2563	7,3		90,1	1,21	2,58	1,1	2,48	3	269,6	2,37	372
18.07.79	8	9,9	2498	7,3	6,9	92,6	0,5	3,1	1,98	3,17	3	278,2	5	388
20.08.79	0,8	10,6	2422	7,2		92,6	2,2	3,7	1,75	4,14	5	290,4	6,6	406
19.09.79	1	11,2	2299			94,6	4,37	4	2,5	5,1	5	295	7,2	418
16.10.79	0,8	11	2133			105	3,16	4,4	2,75	4,5	8,8	304	9,2	442

SOURCE DE LA COMBE NOIRE

DATE	Q l/s	t °C	18 cm	pH	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ
19.11.78	0,37	8,9	4177		4,8	52,5	0,73	3,8	0,5	4,04	0	129,3	18	209
14.12.78	0,35	8,8	4182			53,3	1,94	2,5	0,4	3,8	0	137,8	18	218
19.01.79	0,33	8,2	4026		6,7	54,1	0	2,4	0,6	3,5	0	143,9	12,7	217
19.02.79	0,66	8,4	3813	7,8		56,1	0,24	2,4	0,5	3,65	0	150	15,3	228
19.03.79	0,71	8,5	3951	7,6		52,5	1,2	2	0,4	4,98	1	151,3	15,1	229
20.04.79	1	8,6	4071	7	6,9	55	0,49	0	0,45	7,5	0	145	17,8	226
18.05.79	1	8,8	4174	7,4		52,9	0,7	0	0,4	5,4	0	137	17,8	214
17.06.79	0,9	9	4201	7,3		52,1	0,7	1,2	0,3	4,6	0	135,4	14,3	209
18.07.79	0,66	9,2	4220		7,3	54,9	0	2,35	0,6	5,2	0	135,4	18	216
20.08.79	0,5	9,4	4224	7,5		51,7	0	1,3	0,6	5,6	4	139,1	15,6	218
19.09.79	0,4	9,5	4345			51,3	1	1,3	0,5	6,5	0,5	139	13,8	214
16.10.79	0,4	9,4	4012			54,1	0,7	1,4	0,5	3,4	2	142,7	13,3	218

SOURCE DU THIVOLEY

19.11.78	0,24	9,7	3883		3,2	53,7	0,7	2,1	0,5	4,6	0	130,5	9,4	201
14.12.78	0,22	8,5	4101			56,1	0,7	2,4	0,5	4,5	0	135,4	18,6	218
18.01.79	0,23	6,6	3624		7,9	58,9	0,8	2,5	0,6	3,9	0	154,9	16,9	238
19.02.79	0,37	7,1	3094	7,7		68,1	1,9	2,3	0,5	4	0	190,3	16,4	284
19.03.79	0,4	7,5	3107	7,4		68,5	0,7	2,3	0,4	5,5	0	196	15,1	289
20.04.79	0,48	8	3179	7,3	8,5	71	1,5	0	0,4	5,9	0	192	15,1	286
18.05.79	0,36	9,4	3244	7,4		68,1	0,5	0	0,4	5,9	0	178,1	18,9	272
17.06.79	0,31	10,8	3386	7,4		65,1	1,34	1,7	0,4	5,64	1,5	173,2	14,7	264
18.07.79	0,23	12,6	3617	7,1	8,3	62,9	0	2,2	0,6	6	0	162,3	19	253
20.08.79	0,22	12,9	3768	7,5		57,3	0,5	2,1	0,6	6,7	0	142,5	18,6	238
19.09.79	0,21	13,3	4126			53,7	1	1,98	0,6	6,9	0	140,3	20,4	225
16.10.79	0,3	11,5	3457			62,1	1,22	2	0,6	4,6	3	165,9	15,8	255

SOURCE DE CHIRENS ( Station pompage )

19.11.78		10,3	2029		5,2	109	2,4	11,7	1,5	8,8	8,5	305	11,5	458
14.12.78		10,3	2099			108,6	2,1	7,8	1,5	8,6	8	311,1	11,4	459
19.01.79		10,2	2087		8,2	105,4	2,7	6,9	1,4	7,7	8,5	311,1	5,4	449
19.02.79		10,1	2084	7,2		104,6	2,2	6	1,5	9,8	9	307,4	8,8	449
19.03.79		10,3	2060	7,4		97	8,5	8,6	1,8	10,2	8,5	301,3	9,4	445
20.04.79		10	2177	7,2	8,1	105	6,1	9,2	1,6	18,3	9	296	11,6	457
18.05.79		9,7	2100	7,1		103	3,4	8,9	1,6	15,1	3	290,4	9,9	435
17.06.79		9,7	2121	7,3		99,8	4,9	8,6	1,4	14	8	298,9	6,6	442
18.07.79		10	2228		7,5	95,8	3,9	6	1,25	9,7	4	291,6	6,8	419
19.09.79		10,3	2186			91,4	8,5	6,9	1,7	11,9	9	298,9	6,3	435
16.10.79		10,3	2073			99	6,1	7,8	1,6	10,2	9,6	292	7,2	433

SOURCE DE REAUMONT

19.11.78		10,8	2395		5	91,4	1,9	8,6	1,2	6,7	6	262,7	10,6	389
14.12.78		10,6	2440			91,7	4,8	6,8	1,1	6,9	6,5	265	9,8	392
19.01.79		10,6	2374		7,1	91	3,4	5,4	1,2	6,8	6	262,3	11,1	387
19.02.79		10,4	2359	7,4		90,6	2,9	4,3	1,2	6,4	6	265,9	9,8	387
19.03.79		10,7	2300	7,4		86,5	6,8	6	1,5	8,4	7	278,2	9,9	404
20.04.79		10,8	2338	7,3	7,4	99	2	2,9	0,32	8,8	6,5	279	13,8	412
18.05.79		10,9	2285	7,1		96,6	3,2	3,2	1,33	8,4	6	268,4	13,6	401
17.06.79		10,9	2329	7,3		94,8	2,2	4,5	1	7,7	6	267,2	10,5	394
18.07.79		10,9	2356	7,2	6,9	95,8	0,2	5	1,3	9,7	6	264,7	13,6	396
20.08.70		11	2384	7,4		91,8	2,9	4,9	1,3	8,8	8	263,5	12,1	393
19.09.79		10,8	2538			86,2	4,9	4,6	1,2	9,7	6,5	263,5	11,6	388
16.10.79		10,7	2392			90,2	2,9	4,6	1,15	6,66	8,6	256,2	9,7	380

EAUX DE LA FURE A CHARAVINES ( Vannes )

DATE	t °C	18 cm	pH	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Σ
19.11.78	8,8	3726		2,4	56,9	1,95	9,7	1,5	6,62		161	1,05	246
14.12.78	6,5	3318			67,7	3,2	6	1,5	6,8	1	190	3,7	280
19.01.79	4,6	3436		3,2	60,1	1,2	5	1,4	6,4	4	178,1	1,9	258
19.02.79	3,8	3436	7,9		65,5	1,7	4,7	1,6	6,6	5	188	3,7	275
19.03.79	5,1	3289	7,4		59,7	2,9	5,5	1,3	7,4	4	193	3,7	277
20.04.79	7,8	3338	7,7	1,9	65	4,4	3	1,4	7,7	3	200	3,7	288
18.05.79	13,5	3338	8		62,5	3,9	2,53	1,4	7,6	3	189,1	3,25	273
18.07.79	21,9	4348	7,6	0,5	48,9	0	5,4	1,5	8,4	2	139,1	1,5	207
20.08.79	19	5328	7,5		37,6	1,2	4,3	1,4	8	6	111	0,8	170
16.10.79	14,8	4801			40,5	2,2	4	1,5	6,8	7	122	1,5	185

EAUX DE LA NAPPE DU SILLON DE LA FURE : Forage du Guillermet

19.11.78	10,8	1970		5,7	115,8	1,3	7,6	0,9	5	10	320,8	5	466
14.12.78	10,5	2023			116,6	2,7	5,3	0,8	5	10	320,8	7,6	469
19.01.79	10,5	1983		9,2	110,6	3,2	4,4	0,8	4,7	10	329,4	13,6	477
19.02.79		3297	7,9		55,7	6,56	3,1	0,75	6	10	159	6,8	248
19.03.79		2763	7,7		70,1	6,1	4,5	0,7	7	10	224,5	7,2	330
20.04.79	10,7	2419		5,5	97	2,7	4,4	1,2	7,6	10	272	7,6	402
18.05.79	10,6	2338	7,2		96,2	1,95	4,4	0,8	7,3	10	270,8	8,1	409
17.06.79	10,3	2301	7,4		92,2	4,9	5,5	0,7	7	9	278,2	6,3	404
18.07.79	10,6	2227	7,2	6,3	103	3,7	6	1	8	8	306	9,2	445
20.08.79	10,8	2058	7,2		105	4,6	5,2	1,1	7,6	8	319,6	11,4	463
19.09.79	10,5	2429			91,4	2,2	4,6	1,1	8,2	10	262,3	13,9	388

EAUX DE LA NAPPE DU SILLON DE LA FURE : Forage de BONPERTUIS

19.11.78	10,6	2463		3,8	80,9	5,8	7,4	0,8	6,6	9	237,9	1,9	350
14.12.78	10,3	2546			88,1	4,1	7,3	0,8	6,4	10	240,3	7,6	364

EAUX DE LA NAPPE D'ACCOMPAGNEMENT DE LA FURE : Forage de PLANCHE CATTIN

19.01.79	11,1	2488		0,2	80,2	5,8	5,8	1,2	8,5	0	241,5	6,3	349
19.02.79	8,8	2634	7,3		80,9	2,4	10,3	1,5	8	10	233	7,2	353
19.03.79	8,2	2694	7,6		86,5	3,2	6,3	1,1	9,5	11	227	7,2	352
20.04.79	8,8	3380	7,4	3,7	74	5,8	3,7	1	9,7	8,2	220	9,9	332
18.05.79	10,2	3010	7,3		96,6	2,4	3,9	1	10,2	2	262,3	7,2	386
17.06.79	12,5	2995	7,6		72,1	2,2	4,7	1	9	7	206,2	0,4	303
18.07.79	10,9	2932	7,2	3,5	71,3	1,5	6,2	1,1	10,1	12	207,4	3,2	313
20.08.79	15,2	3005	7,3		68,5	2,9	5,4	1,2	9	9	211	3,7	311
19.09.79	15,1	3076			68,5	3,2	5,7	1,2	8,3	8,5	207,4	3,3	306
16.10.79	14,2	2675			74,9	2,4	5,8	1,3	7,3	9,7	223	6,3	331

LISTE DES FIGURES

P.

Figure n° 1	: Schéma de situation de la région étudiée .....	3
n° 2	: Région du lac de Paladru. Carte toponymique ( h.t. ) ..	
n° 3	: Région du lac de Paladru. Carte géologique simplifiée ( h.t. ) .....	
n° 4	: Coupes des forages ( h.t. ) .....	
n° 5	: Localisation des affleurements de molasse étudiés.....	8
n° 6	: Granulométrie du conglomérat molassique .....	8
n° 7	: Coupe schématique transversale des moraines de Chirens .....	12
n° 8	: Granulométrie - Moraines de Chirens ( Les Rivoires )..	14
n° 9	: La terrasse d'Apprieu . Coupe.	17
n° 10	: Granulométrie - Terrasse d'Apprieu .....	19
n° 11	: Granulométrie - Alluvions de la Fure, puits F5 de Planche-Cattin.....	19
n° 12	: Le lac de Paladru - Carte bathymétrique .....	23
n° 13	: Coupes géophysiques. Plaine du Courbon .....	24
n° 14a	: Retrait glaciaire - Etapes I et II.....	26
n° 14b	: Retrait glaciaire - Etapes III et IV .....	28
n° 14c	: Retrait glaciaire - Etapes V et VI .....	30
n° 15	: Coupes géophysiques dans la vallée de la Fure .....	35
n° 16	: Convergence des queues de sondages électriques vers la résistivité vraie de la molasse .....	41
n° 17	: Situation des coupes géophysiques .....	42
n° 18	: Sondages électriques. Coupe 1 ( Terrasse du Plan )..	44
n° 19	: Coupe géophysique 1 ( Terrasse du Plan ) .....	44
n° 20	: Sondages électriques. Coupes 2 et 3 ( Marais de l'Ainan )	46
n° 21	: Coupes géophysiques 2 et 3 ( Marais de l'Ainan ).....	46
n° 22	: Sondages électriques. Coupe 4 et 5 ( Amphithéâtre de Chirens ) .....	49
n° 23	: Coupes géophysiques 4 et 5 ( Amphithéâtre morainique de Chirens ) .....	49
n° 24	: Sondages électriques. Coupes 6, 7 et 8 ( Vallée du Fagot)	51
n° 25	: Coupes géophysiques 6, 7 et 8 ( Vallée du Fagot )....	52
n° 26	: Sondages électriques. Coupes 9 et 10 ( La Ravignouse )	55
n° 27	: Coupes géophysiques 9 et 10 ( La Ravignouse ).....	56
n° 28	: Sondages électriques ( La Plaine de Voye - Réaumont )	58
n° 29	: Exemple de courbe de sondage électrique obtenue sur la plaine de Voye ).....	58
n° 30	: Bloc diagramme. Les sources de Réaumont .....	60
n° 31	: Le tracé du surcreusement d'après l'étude géophysique.	62
n° 32	: Equipement des bassins versants pour l'étude hydro-climatique .....	67
n° 33	: Les précipitations mensuelles à Charavines et à Chirens l'Arsenal de 1947 à 1979.....	70
n° 34	: Distribution normale des totaux annuels des précipitations aux stations de Charavines et de Chirens-l'Arsenal....	70
n° 35	: Représentation graphique des précipitations mensuelles à Charavines, à Chirens-l'Arsenal et à Montferrat ...	72
n° 36	: Température moyenne mensuelle à la station de Montferrat	74

		p.
<u>Figure</u> n° 37	: Fréquence moyenne des directions du vent par groupes de vitesses .....	80
n° 38	: Déficit d'écoulement d'après le diagramme de Wundt.....	80
n° 39	: Limites et équipement hydrologique des bassins versants.	87
n° 40	: Courbe de tarage de la station de Paladru sur le Courbon	89
n° 41	: Courbe de tarage de la station du Pin sur le Chantabot..	89
n° 42	: Schéma du dispositif d'épuration du lac de Paladru.....	90
n° 43	: Tarage du siphon du lac de Paladru en fonction de la cote du plan d'eau .....	92
n° 44	: Courbe de tarage de la station de l'Arsenal sur l'Ainan..	92
n° 45	: Corrélation entre les débits de l'Ainan et du Chantabot..	95
n° 46	: Influence des pompages de la ville de Voiron sur le débit de l'Ainan.....	96
n° 47	: Représentation graphique des débits moyens mensuels des cours d'eau .....	97
n° 48	: Débits moyens journaliers, courbes des débits classés, Le Courbon .....	99
n° 49	: Débits moyens journaliers, courbes des débits classés, L'Ainan .....	99
n° 50	: Courbes de tarissement, Le Courbon et l'Ainan .....	102
n° 51	: Circulations souterraines, Bassins versants du lac de Paladru et de la haute vallée de l'Ainan .....	112
n° 52	: Extension de la nappe de Planche-Cattin.....	118
n° 53	: Les différents types d'alimentation de la nappe de Planche-Cattin .....	118
n° 54	: Débits de la Fure - résistivités des eaux et piézométrie de la nappe de Planche-Cattin .....	119
n° 55	: Courbes caractéristiques des ouvrages sur la nappe de Planche-Cattin .....	119
n° 56	: Extension des nappes de la haute vallée de l'Ainan .....	122
n° 57	: Coupe hydrogéologique longitudinale de la haute vallée de l'Ainan .....	124
n° 58	: Fluctuations du niveau de la nappe du sillon de la Fure .	127
n° 59	: Fluctuations des niveaux de la nappe et du lac pendant la période commune d'enregistrement .....	128
n° 60	: Courbes caractéristiques des forages du Guillermet .....	133
n° 61	: Droites représentatives des courbes de remontée, Essais I et II. Le Guillermet.....	133
n° 62	: Courbes caractéristiques des forages de Bonpertuis.....	136
n° 63	: Droite représentative de la courbe de remontée de l'essai VII, Bonpertuis ).....	136
n° 64	: Variations des résistivités .....	140
n° 65	: Variations des températures .....	140
n° 66	: Compositions chimiques moyennes des eaux.....	142
n° 67	: Evolution hydrochimique des eaux .....	144
n° 68	: Relation conductivité-minéralisation totale (ensemble des eaux étudiées).....	152
n° 69	: Conditions d'émergence de la source de Louisias .....	155
n° 70	: Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de Louisias .....	156

	p.
<u>Figure n°71</u> : Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de la Combe Revatière .....	158
n°72 : Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source du Mont Follet .....	162
n°73 : Conditions d'émergence de la source de la Ravignouse	165
n°74 : Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de la Ravignouse .....	166
n°75 : Conditions d'émergence de la source du Cueun .....	168
n°76 : Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source du Cueun .....	169
n°77 : Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de la haute Véronnière .....	171
n°78 : Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source des Barraux .....	172
n°79 : Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source d'Aiguebelle .....	174
n°80 : Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source de la Combe Noire .....	177
n°81 : Origine des eaux de la source de la Combe Noire.....	178
n°82 : Variations dans le temps et domaine de variation des paramètres physiques et chimiques de la source du Thivoley .....	180

LISTE DES TABLEAUX

	p.
<u>Tableau</u> n° 1 : Précipitations mensuelles à Charavines et à Chirens-l'Arsenal .....	68
n° 2 : Répartition moyenne des précipitations saisonnières ( 1947- 1979 ) .....	69
n° 3 : Moyennes pluviométriques, écarts types, coefficients de variation .....	69
n° 4 : Précipitations annuelles extrêmes à Charavines et à Chirens-l'Arsenal .....	71
n° 5 : Précipitations mensuelles à Charavines, Montferrat et à Chirens-l'Arsenal .....	71
n° 6 : Températures moyennes mensuelles au Pin et à Montferrat .....	74
n° 7 : Températures moyennes annuelles au Pin de 1967 à 1976 .....	75
n° 8 : Hygrométrie moyenne mensuelle à Montferrat .....	76
n° 9 : Evapotranspiration réelle à partir de la méthode de Thornthwaite .....	79
n°10 : Evapotranspiration de novembre 1978 à octobre 1979 (en mm).	81
n°11 : Pression de vapeur saturante mensuelle à la température du lac .....	82
n°12 : Pression de vapeur d'eau de l'air .....	83
n°13 : Température moyenne mensuelle des maximums journaliers .....	83
n°14 : Evaporation sur le lac de Paladru .....	83
n°15 : Résultats des jaugeages du siphon .....	91
n°16 : Débits moyens et débits spécifiques du Courbon .....	91
n°17 : Débits moyens et débits spécifiques du Chantabot ....	93
n°18 : Débits moyens et débits spécifiques de la Fure à Charavines .....	94
n°19 : Débits moyens et débits spécifiques de l'Ainan.....	95
n°20 : Débits caractéristiques ( l/s) du Courbon et de l'Ainan	98
n°21 : Lames et volumes d'eau écoulés sur les bassins versants	100
n°22 : Coefficients de tarissement et volumes d'eau emmagasinés	103
n°23 : Remontée de l'essai I.....	132
n°24 : Remontée de l'essai II .....	132
n°25 : Remontée de l'essai VII .....	135

Dernière page d'une thèse

---

VU

Grenoble, le 16 septembre 1980

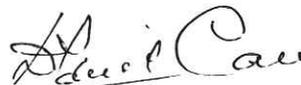
Le Président de la thèse

  
\_\_\_\_\_

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le 18.9.80 .

Le Président de l'Université Scientifique et Médicale



G. CAU

