



**HAL**  
open science

## Hydrogéologie du Grésivaudan

Jean Claude Fourneaux

► **To cite this version:**

Jean Claude Fourneaux. Hydrogéologie du Grésivaudan. Hydrologie. Université de Grenoble, 1968. Français. NNT: . tel-00683564

**HAL Id: tel-00683564**

**<https://theses.hal.science/tel-00683564>**

Submitted on 29 Mar 2012

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

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



## THESE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES  
DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Ex n°2

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR DE 3<sup>ème</sup> CYCLE

Spécialité : Sciences de la Terre

Mention Géologie appliquée

25 OCT. 1993

par

Jean-Claude FOURNEAUX

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1

INSTITUT DE GÉOLOGIE

**DOCUMENTATION**

15, RUE MAURICE GIGNOUX

F 38031 GRENOBLE CEDEX

TÉL. (33) 76 63 59 66

FAX. (33) 76 87 82 43

## Hydrogéologie du Grésivaudan

Soutenue le 9-12-68 devant la Commission d'Examen

Président : R. BARBIER Professeur

Examineurs : R. MICHEL  
J. SÁRROT - REYNAUD ProfesseursInvité : P. RAMBEAUD Ingénieur général  
du Génie rural des Eaux et Forêts

Doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle  
N° d'ordre

**THESE**

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES 25 OCT. 1993  
DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR DE 3<sup>ème</sup> CYCLE

Spécialité : Sciences de la Terre

Mention Géologie appliquée

par

Jean-Claude FOURNEAUX

**Hydrogéologie du Grésivaudan**

Soutenue le 9-12-68 devant la Commission d'Examen

Président : R. BARBIER - Professeur

Examineurs : R. MICHEL  
J. SARROT - REYNAUD Professeurs

Invité : P. RAMBEAUD Ingénieur général  
du Génie rural des Eaux et Forêts

4016032

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

THÈSE  
PRÉSENTÉE  
à l'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE  
pour l'obtention du  
DIPLOME DE DOCTEUR EN SCIENCES  
DE LA FACULTÉ DES SCIENCES

LE GABRIEL DE  
GEOLOGIE

PAR  
M. G. G. G.

Hydrogéologie  
GABRIEL DE  
GEOLOGIE



Le Prof : alors, vous croyez qu'il ya  
de l'eau par ici !?

## AVANT - PROPOS

Avant de commencer ce mémoire, je veux remercier tous ceux sans qui ce travail n'aurait pu voir le jour, ceux qui m'ont initié à la géologie et ceux qui m'ont aidé dans cette étude. Ces derniers sont trop nombreux pour que je puisse tous les citer ici, depuis mes parents jusqu'à ceux qui m'ont fourni un à un tous les renseignements qui sont la base de ce travail.

Je veux remercier tout spécialement Monsieur SARROT-REYNAULD, qui m'a confié ce travail et en a suivi la réalisation pas à pas, avec un intérêt toujours renouvelé. Ses conseils m'ont été d'un grand secours.

Ma gratitude va aussi à Monsieur DUBUS, qui a guidé et encouragé mes premiers efforts, qui, lui aussi, a suivi cette étude avec un grand intérêt, sans jamais ménager ses avis et sa peine. Cette thèse doit beaucoup à son amitié et à ses compétences.

Je veux remercier aussi l'Administration Départementale de l'Agriculture et le Conseil Général du Département de l'Isère pour l'appui matériel qu'ils m'ont apporté.

Je ne veux pas oublier ici le Laboratoire du Service d'Etude et de Surveillance des Eaux de la Faculté de Médecine de Grenoble et particulièrement Madame CHOUTEAU à qui le chapitre V doit beaucoup.

Messieurs les Professeurs BARBIER et MICHEL ont suivi avec attention ce travail.

Les services des Ponts et Chaussées, ceux de l'E.D.F. et les industriels de la vallée du Grésivaudan m'ont ouvert leurs dossiers avec beaucoup d'amabilité et n'ont pas hésité à me consacrer du temps.

Mes collègues et amis m'ont aidé par des conversations et des discussions toujours fructueuses.

Je n'oublierai pas non plus les membres du personnel du laboratoire à qui je dois notamment l'édition de ce texte.

SOMMAIRE

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.  
MAISON DES GEOSCIENCES  
DOCUMENTATION  
B.P. 53  
F-38041 GRENOBLE CEDEX  
Tel: 04 76 83 54 27 - Fax 04 76 51 40 58  
Mail: platour@ujf-grenoble.fr

|  | pages |
|--|-------|
| <u>INTRODUCTION</u> .....  | 1     |
| Géographie générale et cadre .....   | 1     |
| Présentation géomorphologique .....  | 3     |
| Géologie générale .....  | 3     |
| Description sommaire des assises .....   | 6     |
| Structure .....  | 10    |
| Aperçu climatique et hydrologique .....  | 10    |
| <u>I. - ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL</u> .....                                  | 14    |
| Méthodes d'études mises en œuvre .....   | 14    |
| Description des formations du remplissage alluvial .....                         | 15    |
| Description de la structure du remplissage alluvial .....                        | 20    |
| Hypothèse sur le remplissage profond .....                                       | 20    |
| Nature du remplissage alluvial .....   | 21    |
| Schéma des dernières phases de l'histoire du Grésivaudan .....                   | 21    |
| Conclusion sur le remplissage alluvial .....                                     | 23    |
| <u>II. - EXISTENCE DE LA NAPPE</u> .....   | 24    |
| Méthodes d'études mises en œuvre .....   | 24    |
| Plan d'étude .....   | 25    |
| <u>III. - ECOULEMENT DE LA NAPPE</u> .....                                       | 33    |
| Remarques préliminaires .....  | 33    |
| Forme générale de l'écoulement .....   | 33    |
| Conclusion sur l'écoulement .....  | 47    |
| <u>IV. - ALIMENTATION DE LA NAPPE</u> .....                                      | 48    |
| A) Alimentation par les apports de la plaine .....                               | 48    |
| Alimentation de la nappe par les eaux de pluies .....                            | 48    |
| Alimentation de la nappe par l'Isère .....                                       | 49    |
| Alimentation par les canaux de drainage .....                                    | 51    |
| Alimentation par les affluents de l'Isère .....                                  | 52    |
| B) Alimentation de la nappe par les apports du versant de la rive gauche .....   | 52    |
| Géologie et morphologie .....  | 52    |
| Les modes d'alimentation de la nappe .....                                       | 53    |
| Evaluation des apports du versant rive gauche .....                              | 55    |
| C) Alimentation de la nappe par les apports du versant de la rive droite .....   | 57    |
| Rappel géologique et géomorphologique .....                                      | 57    |
| Evaluation des débits apportés à la nappe par le versant de la rive droite ..... | 61    |

|   | pages |
|---|-------|
| V. - <u>ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA NAPPE DE LA PLAINE DU GRESIVAUDAN</u> -----     | 62    |
| Méthodes d'étude -----  | 62    |
| Etude des résultats -----   | 63    |
| Conclusion sur la chimie des eaux -----   | 84    |
| VI. - <u>EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES DE LA NAPPE DE LA PLAINE DU GRESIVAUDAN</u> - | 85    |
| Etat actuel de l'exploitation -----   | 85    |
| Carte de transmissivité -----   | 86    |
| Débit naturel de la nappe -----   | 90    |
| Alimentation potentielle de la nappe -----  | 92    |
| Conclusion -----  | 93    |
| <u>CONCLUSION GENERALE</u> -----  | 94    |
| <u>BIBLIOGRAPHIE</u> -----  | 95    |

LISTE DES FIGURES

|   | pages      |
|---|------------|
| Carte schématique -----                                 | 2          |
| Coupes géologiques -----                                | 4          |
| Schéma structural -----                                 | 5          |
| Carte de formations quaternaires du Grésivaudan -----   | 7, 8, 9    |
| Débits de l'Isère au Pont Royal -----                   | 12         |
| Carte des bassins versants -----                        | 13         |
| Coupes du remplissage alluvial -----                    | 17, 18     |
| Courbe granulométrique des sablons du Grésivaudan ----- | 22         |
| Carte des points de mesures -----                       | 27, 28, 29 |
| Cartes isopièzes -----                                  | 35 à 43    |
| Profil en long de l'Isère -----                         | 45         |
| Courbe de l'infiltration en fonction du débit -----     | 60         |
| Carte des points de prélèvements -----                  | 65, 66, 67 |
| Carte de transmissivités -----                          | 87, 88, 89 |

## INTRODUCTION

### 1. - GEOGRAPHIE GENERALE ET CADRE -

La bordure est des chaînes subalpines est marquée par une large dépression. Cette entaille, profonde de 1500 à 2000 mètres est creusée dans les assises tendres du Lias, du Jurassique moyen et supérieur : c'est le sillon alpin de Raoul BLANCHARD. Bordée à l'Ouest par les falaises calcaires des massifs subalpins, elle est dominée à l'Est par les sommets déchiquetés de la chaîne de Belledonne. Un véritable fossé s'allonge sur 110 kilomètres depuis Ugine, en Savoie, jusqu'au Trièves au Sud de Grenoble. C'est le domaine des grandes vallées alluviales enserrées dans leur écrin de hauts sommets. Du Nord au Sud se définissent plusieurs ensembles naturels : la Combe de Savoie, le Grésivaudan, la plaine de Grenoble, le bassin de Vif-Pont de Claix.

La Combe de Savoie voit d'abord couler l'Arly, qui se jette dans l'Isère à Albertville. Cette dernière arrivant de la Tarentaise va emprunter le sillon alpin jusqu'à Grenoble. Au Sud de cette ville c'est le Drac qui coule dans le sillon alpin. A partir de Vif les grandes vallées disparaissent et le sillon alpin se transforme en une large dépression creusée dans les marnes et calcaires très marneux du Jurassique supérieur ; c'est le Trièves.

Toutes ces régions naturelles ont été des ombilics glaciaires et sont séparées par des verrous plus ou moins marqués. Rien ne permet d'affirmer toutefois que les glaciers soient seuls responsables du creusement de ces dépressions et que la tectonique n'y ait pas sa part.

De cette vaste entaille se détachent vers le Nord Ouest trois grandes cluses : celle d'Annecy à Ugine, celle de Chambéry à la limite entre la Combe de Savoie et le Grésivaudan, celle de Grenoble enfin que l'Isère emprunte pour quitter le domaine alpin.

Du Sud Est arrivent les grandes vallées transversales : la Tarentaise à Albertville, la Maurienne à l'amont de Montmélian et les vallées du Drac et de la Romanche dans le bassin de Vif - Pont de Claix.

Les cluses déterminent dans les chaînes subalpines des massifs très individualisés : les Bauges entre les cluses d'Annecy et de Chambéry, la Chartreuse entre les cluses de Chambéry et de Grenoble, le Vercors enfin au Sud de cette dernière.

Entre la Combe de Savoie et le Grésivaudan, le verrou de Pontcharra La Gache a déterminé la frontière entre la Savoie et le Dauphiné, province du Royaume de France. Le fort Barraux qui domine ce verrou, témoigne par sa présence des luttes dont cette frontière fut l'enjeu.

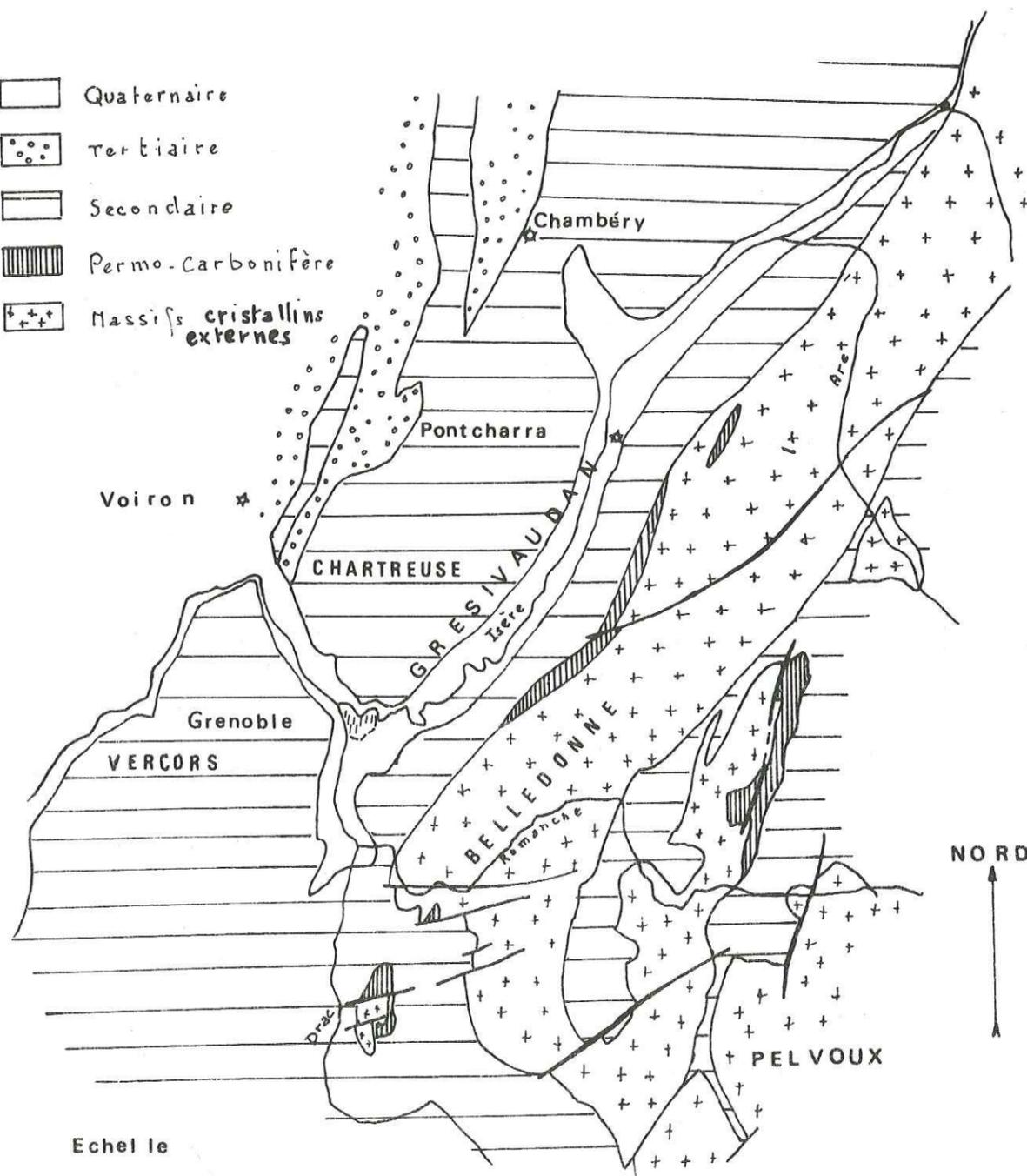
Le verrou qui sépare à Pont de Claix la plaine de Grenoble du bassin de Vif est entièrement entaillé dans les calcaires durs du Tithonique. Par contre entre le Grésivaudan et la plaine de Grenoble, il ne semble pas exister de tel verrou.

- 2 -  
**GRESIVAUDAN**

fig. 1

**CADRE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE**

-  Quaternaire
-  Tertiaire
-  Secondaire
-  Permo-Carbonifère
-  Massifs cristallins externes



Echelle



Cadre de l'étude.

Cette étude hydrogéologique du Grésivaudan devait avoir des limites précises. Ces limites devaient correspondre à une réalité naturelle et non administrative.

C'est ainsi que pour la partie nord, ce n'est pas la limite entre les départements de l'Isère et de la Savoie qui a été choisie mais le verrou de Pontcharra La Gache. Pour la limite sud c'est la zone de confluence entre la nappe de l'Isère et celle de la plaine de Grenoble, alimentée par le Drac, qui a été choisie. Cette zone s'étend sous le territoire de la commune de Saint-Martin-d'Hères.

2. - PRESENTATION GEOMORPHOLOGIQUE.

Le Grésivaudan se présente comme une large vallée à fond plat avec des flancs assez raides : c'est une auge glaciaire typique. Mais les versants offrent une grande dissymétrie due, d'une part à la lithologie et d'autre part à la structure géologique comme nous le verrons plus loin.

En rive droite, la plaine alluviale se raccorde avec les falaises tithoniques du bord subalpin par l'intermédiaire de pentes couvertes d'éboulis. Les cônes de déjections parfois très importants viennent interrompre ces pentes de place en place. En outre, on peut trouver des formations glaciaires ou fluvio-glaciaires. Ces dépôts forment des banquettes qui s'allongent au pied des pentes d'éboulis et qui cachent souvent les restes d'une falaise faite de calcaires du Dogger.

En rive gauche les calcaires marneux de ce même Jurassique moyen viennent au contact direct du remplissage alluvial de la plaine. Leur plongement ouest très fort, ou même inverse crée une pente forte. En remontant vers les sommets de Belledonne, on voit que cette pente fait place à une série de gouttières et de collines molles. On arrive ensuite à une sorte de sillon secondaire parallèle à la vallée, formé d'une succession de cols et de vallées larges : c'est le gradin supérieur de R. BLANCHARD. C'est seulement après ce sillon que l'on s'élève vers les sommets cristallins.

Cette morphologie joue un très grand rôle dans l'alimentation de la nappe alluviale de la plaine. Elle sera étudiée en détail plus loin.

3. - GEOLOGIE GENERALE.

Il est nécessaire, avant d'entreprendre une étude détaillée des facteurs géologiques qui conditionnent l'hydrogéologie, de replacer la zone qui fait l'objet de ce mémoire dans son contexte géologique.

Le Grésivaudan est la partie du sillon alpin qui s'insère entre le massif de la Grande Chartreuse et la chaîne de Belledonne. Ce dernier fait partie des massifs cristallins externes alors que la Chartreuse se rattache à la chaîne sub-alpine de la zone dauphinoise. Dans ce secteur des Alpes occidentales les différentes zones sont orientées NNE - SSW.

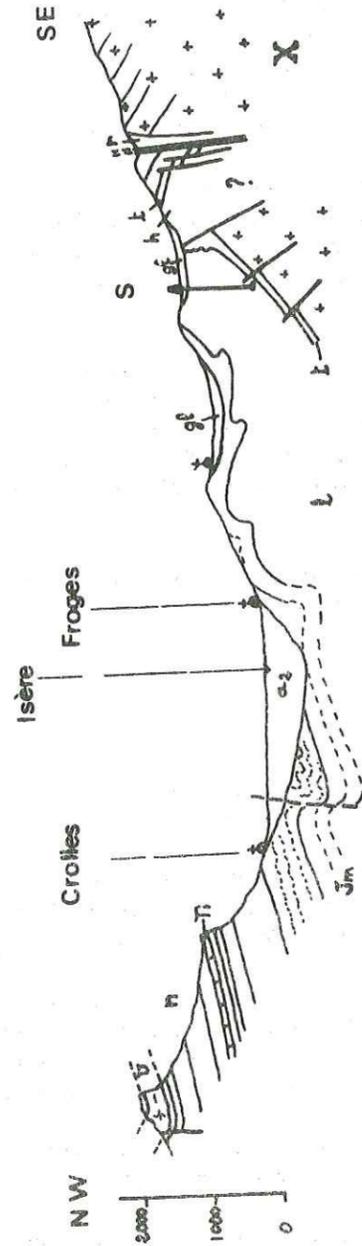
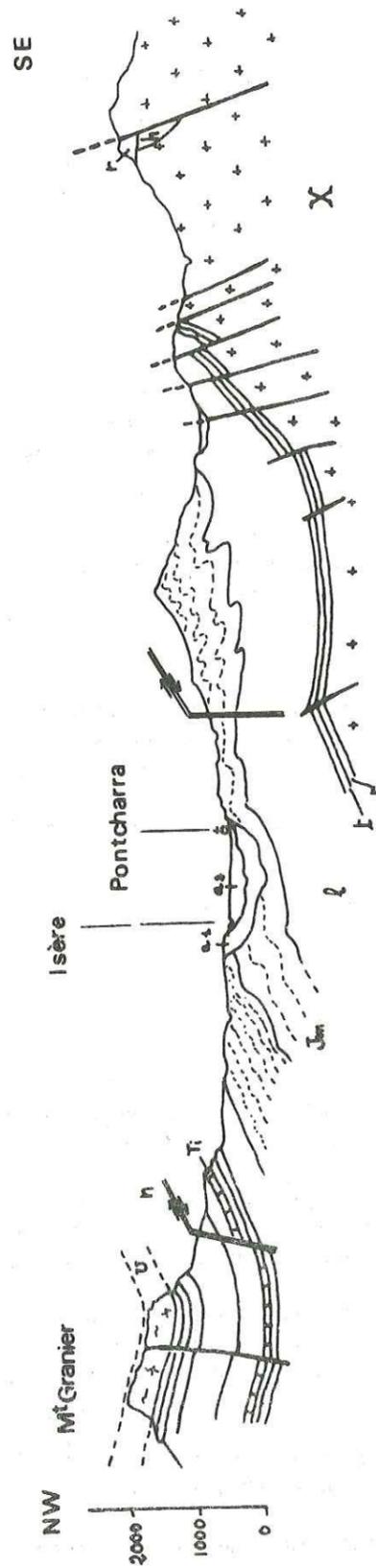
Toutefois il faut remarquer que la large entaille du Grésivaudan ne forme pas la limite entre les deux unités géologiques ; en effet la vallée est entièrement creusée dans les terrains sédimentaires de la zone dauphinoise qu'elle recoupe légèrement en biais. Il s'agit essentiellement des assises du Lias supérieur et du Jurassique moyen. Ces deux formations affleurent en rive gauche comme en rive droite.

En première approximation, il semble que l'on ait affaire à une série normale constituée d'un terrain cristallin et de sa couverture sédimentaire qui débute ici au Houiller et qui, se poursuit jusqu'au Crétacé.

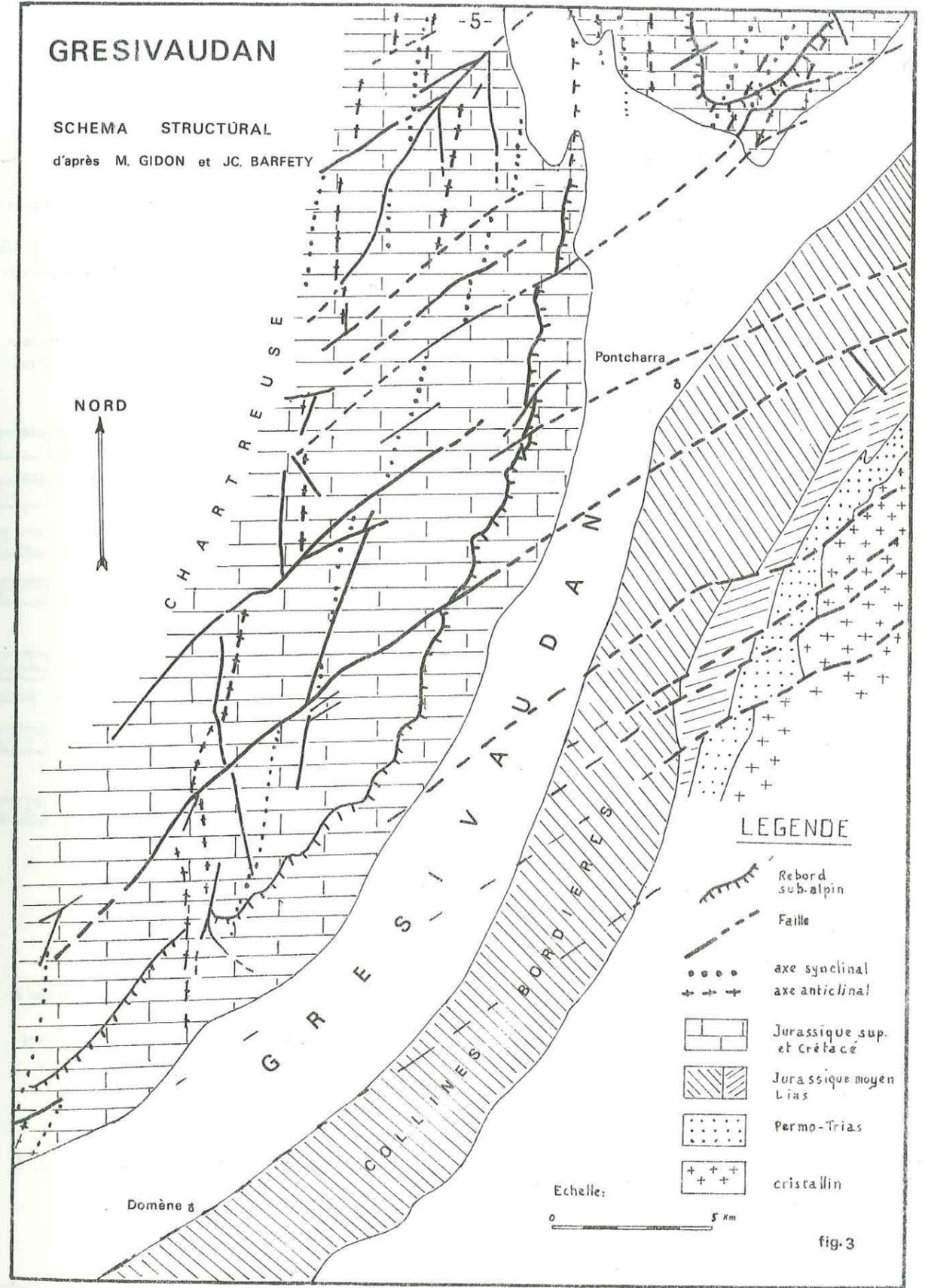
La lithologie de cette série stratigraphique qui s'appuie sur le cristallin joue un rôle important dans l'hydrogéologie.

GRESIVAUDAN

COUPES GEOLOGIQUES SCHEMATIQUES  
(d'après J. C. BARFETY, J. DEBELMAS et M. GIDON).



Légende : a1 : alluvions modernes ; a2 : alluvions anciennes ; G1 : dépôts glaciaires ; U : Urgonien ; n : Néocomien ; Ti : Tithonique ; Js : Jurassique supérieur ; Jm : Jurassique moyen ; l : Lias ; t : Trias ; r : Permien ; h : Houllier ; X : roches métamorphiques ; S : sondage E.D.F. du col des Mouilles.



LEGENDE

- Rebord sub-alpin
- Faille
- axe synclinal
- axe anticlinal
- Jurassique sup. et Crétacé
- Jurassique moyen Lias
- Permo-Trias
- cristallin

fig.3

logie, mais la structure intervient elle aussi. Une étude stratigraphique et une étude de la structure permettent de se faire une idée de l'influence réciproque de ces deux éléments.

#### 4. - DESCRIPTION SOMMAIRE DES ASSISES.

Les différentes assises lithologiques qui interviennent dans la stratigraphie de la région du Grésivaudan peuvent, dans le cadre de cette étude, se diviser en deux ensembles :

- les formations quaternaires qui se caractérisent par une porosité toujours importante, même si la perméabilité peut être très faible ou nulle comme dans les argiles et les limons;
- les formations du substratum rocheux ; il s'agit ici des calcaires marneux du Jurassique moyen surtout qui affleurent en rive droite et en rive gauche. Les autres ensembles lithologiques qui viennent au-dessus et au-dessous de ce Jurassique moyen ne jouent pas un rôle important dans l'hydrogéologie de la plaine. Ce rôle sera évoqué lorsque nous étudierons l'alimentation de la nappe.

Ces calcaires marneux ont toujours, lorsqu'ils ne sont pas altérés, une très faible porosité. Mais nous verrons plus loin qu'ils présentent souvent une zone altérée épaisse de un à plusieurs mètres. Cette altération, due à la combinaison d'une schistosité importante et de la décomposition des pyrites en gypse avec une forte augmentation de volume et un débit en "crayon" confère à la roche une porosité plus forte.

Les différentes assises du Quaternaire sont :

- les éboulis
  - récents ils sont encore vifs et alimentés par l'érosion actuelle ;
  - relativement anciens, ils sont stabilisés et colonisés par la végétation ;
  - anciens, ils sont entaillés par l'érosion actuelle.
- les éboulements et coulées à matériel boueux ;
- les cônes de déjections
  - modernes et encore actifs ;
  - stabilisés ;
  - anciens et découpés en terrasse.
- les formations glaciaires
  - moraines de retrait (Wurmien), à petits blocs de nature variée ;
  - moraines récentes des glaciers du massif de Belledonne ;
  - glaciaire indifférencié.
- les alluvions fluviales
  - elles forment le remplissage superficiel de la vallée du Grésivaudan ;
- les alluvions fluvioglaciales ;
  - elles forment les banquettes de Barraux, de Saint-Nazaire et la petite butte de La Pierre.

Le Jurassique moyen.

Sur la rive droite de l'Isère, à Corenc, affleure un calcaire noir, oolithique et à entroques. La macrofaune a permis de le dater du Bajocien.

Sur la rive gauche de l'Isère, le Bajocien forme la ligne des premiers reliefs (zone des collines liasiques des anciens auteurs). La stratigraphie de détail de ce complexe de calcaires marneux noirs est difficile en raison de l'extrême rareté des fossiles.

On peut cependant y distinguer deux ensembles superposés :

- l'ensemble supérieur, dont l'épaisseur paraît dépasser 300 m correspond à des calcaires marneux gris, à cassure noire, relativement compacts et durs, séparés par des lits marneux gris, en général très minces.
- l'ensemble inférieur correspond à des calcaires marneux noirs, plus friables, alternant avec des lits marneux noirs plus épais et plus tendres, toujours très schistosés.

## GRESIVAUDAN

### CARTE SCHEMATIQUE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

#### LEGENDE

-  alluvions modernes
-  fluvioglaciale
-  éboulis
-  cônes de déjections
-  substratum calcaire et marno-calcaire
-  anciens lits de l'Isère
-  moraines

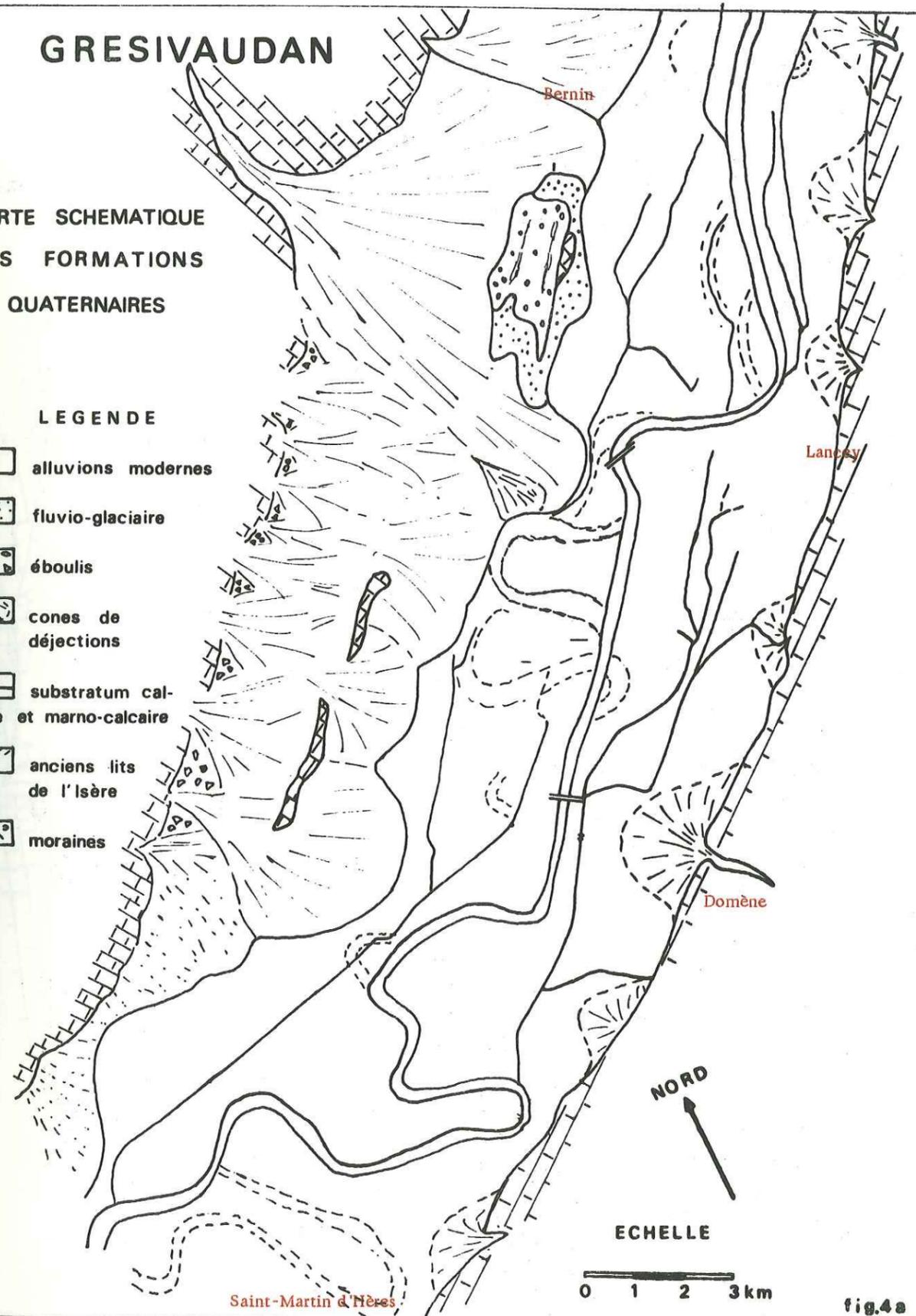


fig.4a

# GRESIVAUDAN

CARTE SCHEMATIQUE DES FORMATIONS QUATÉRNAIRES

## LEGENDE

-  alluvions modernes
-  fluvio-glaciaire
-  éboulis
-  cônes de déjections
-  substratum calcaire et marno-calcaire
-  anciens lits de l'Isère

NORD

ECHELLE

0 1 2 3 km

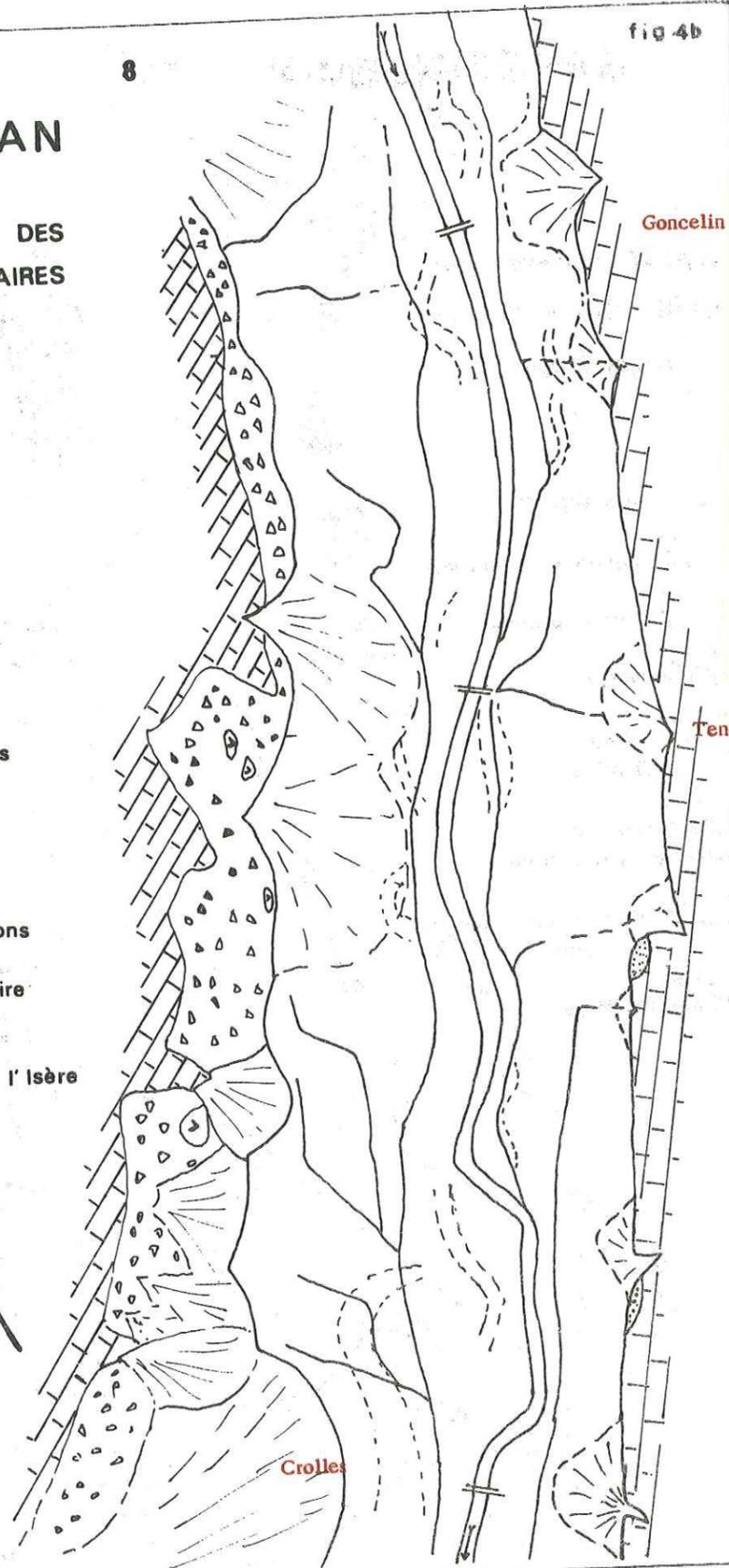


fig.4b

# GRESIVAUDAN

CARTE SCHEMATIQUE DES FORMATIONS QUATÉRNAIRES

## LEGENDE

-  alluvions modernes
-  fluvio-glaciaire
-  éboulis
-  cônes de déjections
-  substratum calcaire et marno-calcaire
-  anciens lits de l'Isère

NORD

ECHELLE :

0 1 2 3 km

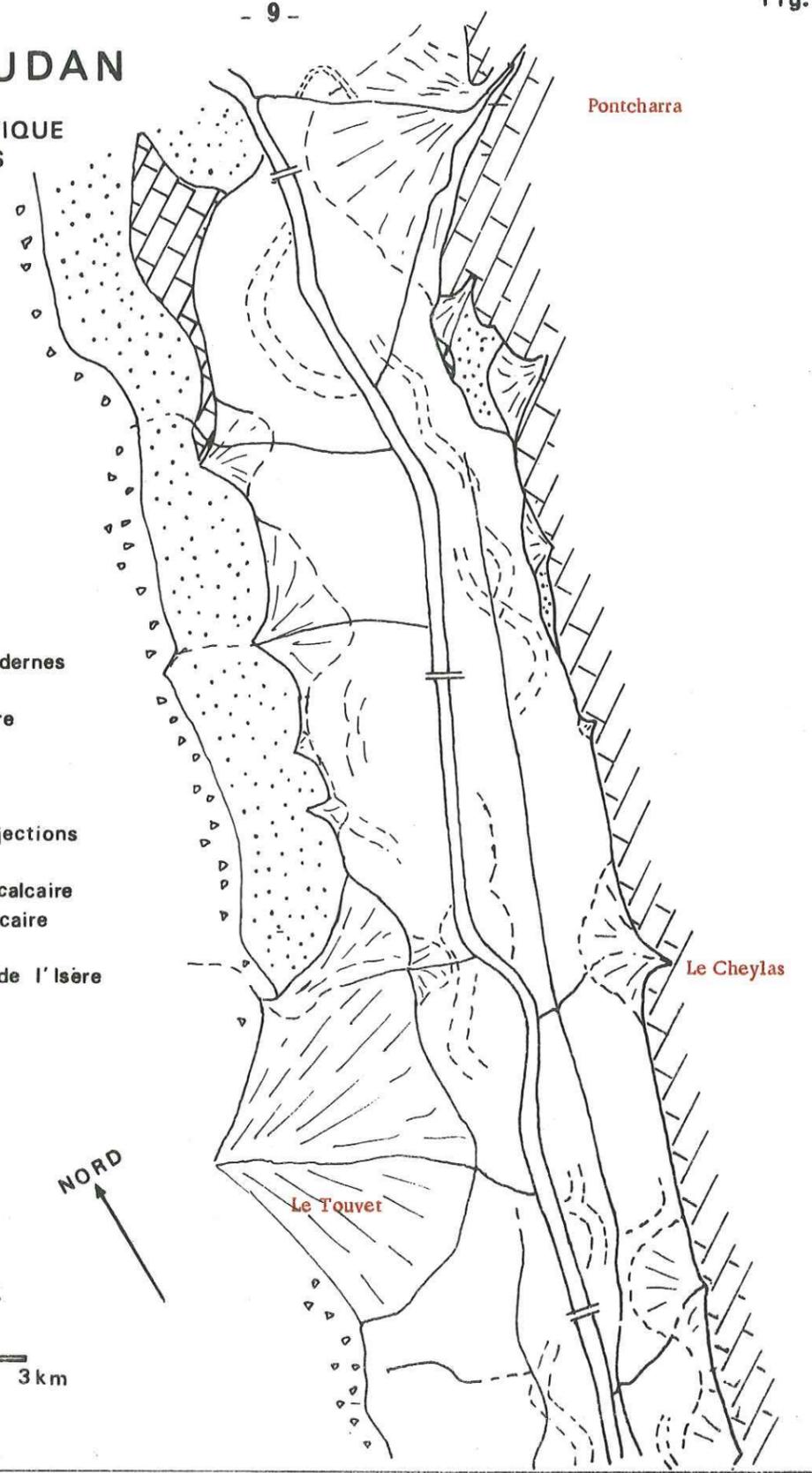


fig.4c

5. - STRUCTURE.

Les différentes formations géologiques qui interviennent dans la zone du Grésivaudan sont toutes orientées à peu près NNE - SSW. Cette direction correspond à l'axe de la chaîne de Belledonne dans ce secteur et à peu près à l'axe du sillon alpin dans ce même secteur.

Les plis des terrains sédimentaires de la Chartreuse sont recoupés très obliquement par l'entaille du Grésivaudan. Leur axe est en effet compris entre N 10 et N 20 ; cet élément structural permet de situer chronologiquement les différents événements les uns par rapport aux autres.

L'étude détaillée des coupes de la rive droite et de la rive gauche a montré qu'il existe une schistosité très importante en rive gauche dans les formations de calcaires marneux du Jurassique moyen et que cette schistosité disparaît en grande partie en rive gauche dans ces mêmes formations. Cet élément suggère une histoire différente pour les deux rives.

Pourtant il est possible de mettre en évidence des failles importantes de direction N 60 à la fois en Chartreuse et dans la zone des collines bordières. On arrive à retrouver dans cette zone la prolongation des failles beaucoup plus visible en Chartreuse. Ces failles se poursuivent parfois de façon visible dans les terrains cristallins.

Ces éléments majeurs de la structure régionale, témoins des différentes phases de l'histoire tectonique de ce secteur, conditionnent la structure de détail de chacun des flancs de la vallée. Et c'est surtout cette structure de détail qui a un rôle hydrogéologique.

En rive droite le pendage ouest est généralisé ; de ce fait on a, par rapport à la vallée une série monoclinale à pendage inverse. Quelques plis de faible amplitude rompent la monotonie de ces couches parallèles.

En rive gauche le pendage est beaucoup plus fort mais il est conforme à la pente. Les plis ont tendance à se déverser vers l'Ouest en allant vers le Nord. Mais ici, c'est la schistosité qui est la plus importante et ce déversement n'a pas une grande importance du point de vue hydrogéologique.

6. - APERÇU CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE.

Le Grésivaudan appartient à une zone des Alpes soumise aux influences parfois contradictoires, de plusieurs climats de types différents. Bien que la limite naturelle entre les Alpes du Nord et celles du Sud passe au col de la Croix-Haute, les influences méditerranéennes qui caractérisent ces Alpes du Sud, viennent se faire sentir sur le Grésivaudan. Mais les influences continentales et les influences océaniques atténuées viennent aussi s'opposer dans cette partie des Alpes.

Il en résulte une pluviométrie assez irrégulièrement répartie sur l'année, d'une année à l'autre ; les maxima peuvent se situer en mars, avril, mai, août, octobre ou décembre. Cela se traduit par des courbes de moyennes mensuelles différentes d'une année à l'autre et où seul le minimum de janvier semble rester fixe.

Les irrégularités des précipitations sont compensées par le fait qu'une partie importante de ces précipitations tombe sous forme de neige.

L'étude de la pluviométrie moyenne sur le Grésivaudan peut être faite grâce aux données de trois stations, données recueillies sur une période de trente ans de 1901 à 1930. La première station se trouve à la Terrasse, c'est-à-dire en rive droite de l'Isère, au pied du versant, la deuxième station est celle de Tencin qui est dans la vallée, en rive gauche, la troisième station est située à Theys, au cœur des collines bordières, sur les contreforts de Belledonne, à 600 mètres d'altitude.

Ces trois stations sont à peu près alignées sur une perpendiculaire à l'axe de la vallée et au milieu de celui-ci.

Les résultats recueillis là peuvent donc être étendus à toute la vallée sans que l'extrapolation soit abusive, comme la comparaison avec les résultats des stations de Chapareillan, de La Tronche et de Saint-Martin d'Hères, nous le montre d'ailleurs.

La moyenne annuelle, pour trente années, de la pluviométrie donne les chiffres suivants :

|             |              |
|-------------|--------------|
| La Terrasse | 1149,1 mm/an |
| Tencin      | 1102,3 mm/an |
| Theys       | 1235,4 mm/an |

soit pour l'ensemble de la vallée 1162,2 mm/an.

Mais en fait il vaut mieux prendre deux chiffres différents, l'un pour la plaine et l'autre pour l'ensemble de la vallée. La moyenne annuelle pour la plaine est alors de 1125,6 mm/an et pour la vallée toute entière on peut tabler sur 1200 mm/an, compte tenu de l'augmentation des précipitations sur les versants au-dessus de Theys, c'est-à-dire sur une surface assez importante de la vallée au sens large.

Les débits de l'Isère entre Pontcharra et Grenoble ne sont pas connus avec précision, faute d'échelle limnimétrique bien tarée sur cette portion du cours de l'Isère. L'échelle du pont de la Gache, située entre deux zones d'emprunt de gravier n'a plus aucune valeur. L'échelle du pont Marius Gontard, à Grenoble, est elle aussi détarée à cause du creusement du lit de la rivière. Si on s'en réfère à l'annuaire hydrologique de la France, on constate que pour l'année 1964 par exemple, les débits transités à cette échelle sont très souvent inférieurs aux débits transités à l'échelle de Pont-Royal, à l'aval du confluent de l'Arc, soit à plus de 60 kilomètres à l'amont ; ce déficit peut atteindre plus de 30 m<sup>3</sup>/h. Cette échelle du Pont-Royal est, elle, tarée régulièrement par des jaugeages au moulinet effectués par les services de l'E. D. F.

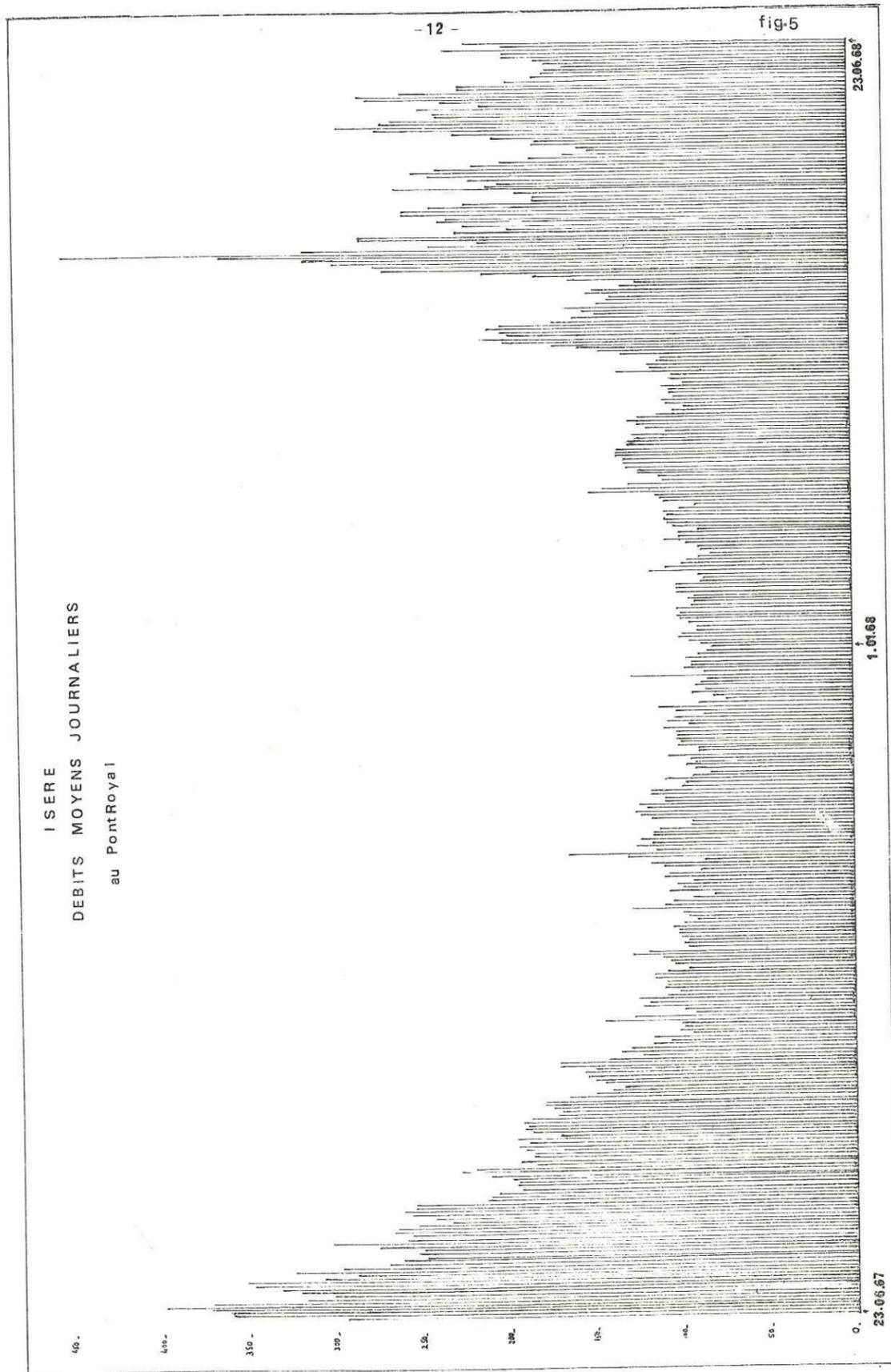
Les courbes de débits journaliers obtenues à l'échelle du pont Marius Gontard permettent tout de même d'avoir une idée assez exacte, du point de vue qualitatif, sur le régime de la rivière. Ces courbes ont par ailleurs une grande parenté avec celles obtenues à Pont-Royal.

Le régime de l'Isère, dans cette partie de son cours, peut être rattaché au type nivo-glaciaire. Les hautes eaux commencent avec la fonte des neiges et se poursuivent jusqu'au mois d'août, avec un maximum assez marqué au mois de juin. On assiste ensuite à une baisse des eaux qui va donner un étiage très marqué en janvier. Parfois des crues peuvent avoir lieu en décembre ou en février ; elles sont liées à des redoux dus eux-mêmes aux influences climatiques méditerranéennes (vent du midi). Ces pointes sont d'ailleurs beaucoup plus brutales à l'aval de Grenoble après le confluent du Drac.

Les affluents de la rive gauche ont tous un régime qui est analogue à celui de l'Isère, bien que parfois plus sensible aux influences pluviales pendant l'été. Les renseignements manquent malheureusement sur les débits de ces torrents, dont beaucoup sont utilisés pour la production de courant électrique.

En rive droite la plupart des affluents de l'Isère ne sont que des torrents intermittents et ne coulent qu'après les pluies et à la fonte des neiges. Sur ce versant l'évapotranspiration et l'infiltration sont très importantes. La neige d'autre part ne persiste pas longtemps sur ces pentes bien exposées à l'ensoleillement.

\* - Au moment où cette étude s'achève des travaux de tarage ont été entrepris par les services des Ponts et Chaussées.

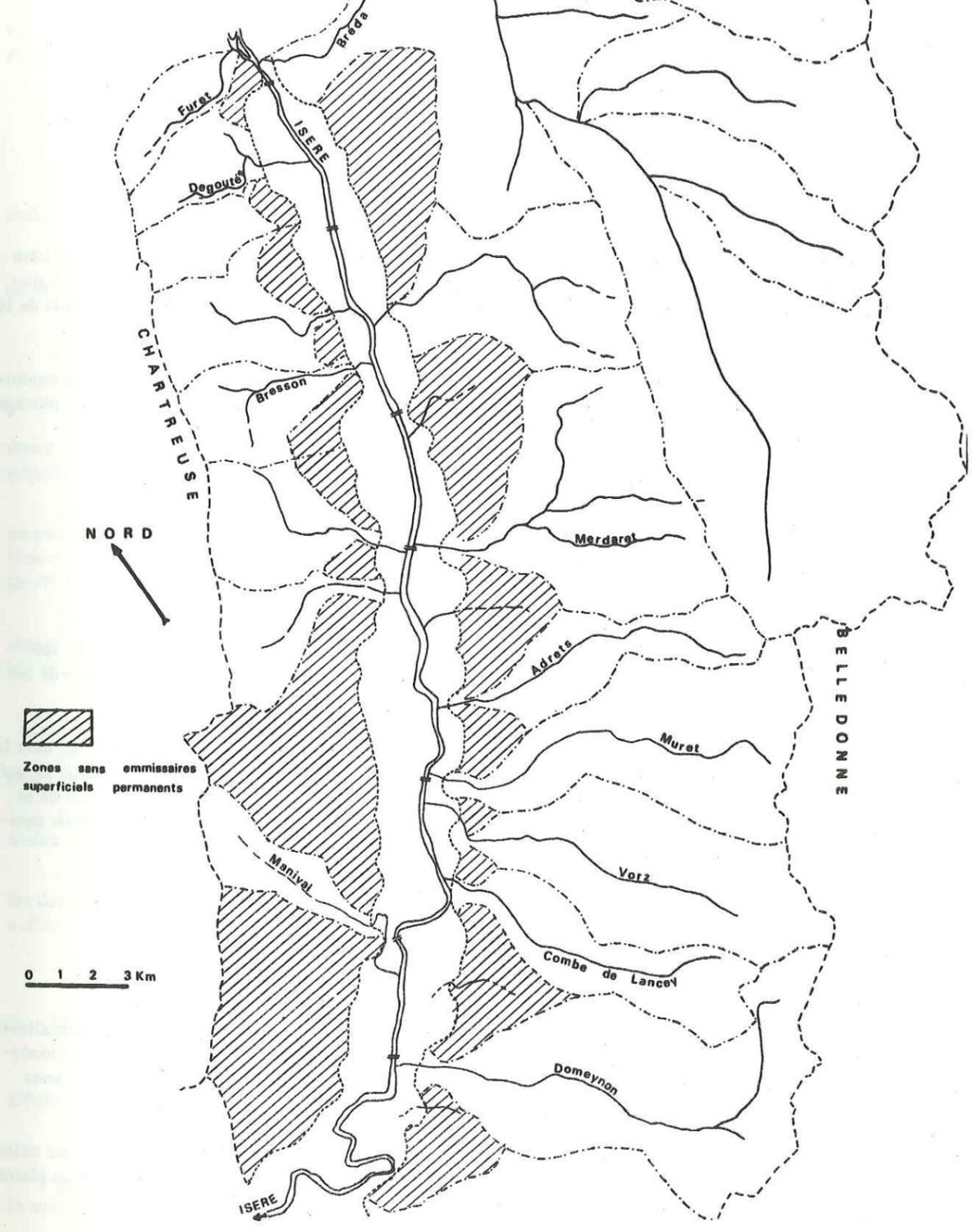


-13-

fig-6

## GRESIVAUDAN

### CARTE DES BASSINS VERSANTS



## I. - ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL DE LA PLAINE DU GRESIVAUDAN.

Dans ce paragraphe ne seront étudiés que les dépôts de la plaine, c'est-à-dire les alluvions récentes de l'Isère et les apports des versants qui viennent se mêler à eux. Les alluvions anciennes, les terrasses, les divers dépôts glaciaires, les éboulis et l'ensemble des cônes de déjections seront étudiés lorsqu'il sera question de l'alimentation de la nappe.

De la nature du remplissage alluvial de la vallée dépend la possibilité d'existence d'une nappe aquifère exploitable, ainsi que la forme de l'écoulement de cette nappe et les qualités physico-chimiques des eaux. Ce remplissage doit donc être aussi bien connu que possible, tant dans le plan horizontal que dans le plan vertical.

C'est à cet effet que toutes les méthodes classiques ont été mises en œuvre dans la mesure du possible :

- étude géologique de surface,
- étude géomorphologique et étude des photos aériennes,
- prospection géophysique,
- sondages mécaniques,
- étude pétrographique et granulométrique d'échantillons.

J'ai, par ailleurs essayé de rassembler le maximum de renseignements sur les travaux antérieurs. Je me suis aussi, le plus souvent possible, intéressé aux travaux présents. Ils ont fourni un certain nombre d'échantillons de ce remplissage alluvial.

Ces différents résultats ne concernent qu'une tranche relativement restreinte de ce remplissage alluvial, dans la majorité des cas tout au moins. Mais c'est cette tranche qui abrite la nappe aquifère qui est étudiée ici. Pour ce qui est du remplissage profond, seules les hypothèses et les corrélations avec ce qui est connu ailleurs permettent de se faire une idée de sa nature. On peut toutefois supposer sans trop de risques d'erreur qu'il existe d'autres nappes aquifères indépendantes ou non, de la nappe phréatique.

### 1. - METHODES D'ETUDE MISES EN OEUVRE. -

#### a) Etude géologique de surface.

Une prospection géologique de surface peut sembler, à première vue inutile lorsqu'il s'agit d'une plaine alluviale. Pourtant ce travail souvent ingrat, apporte une foule de renseignements. Il est nécessaire de visiter toutes les fondations en cours d'exécution, toutes les gravières et tous les étangs, en choisissant de préférence la saison des basses eaux. Il faut voir tous les trous et tranchées qui n'existent, le plus souvent, que de façon très temporaire.

L'exploration du lit des canaux et des ruisseaux permet de se faire une idée sur les zones colmatées et sur celles qui ne le sont pas. L'observation du ruissellement superficiel (ou de l'absence de ruissellement) après de fortes pluies, donne elle aussi des renseignements sur la nature du sol et du sous-sol.

La nature de la végétation naturelle et des cultures est aussi révélatrice des qualités hydrogéologiques du sous-sol.

#### b) Etude géomorphologique et étude des photos aériennes.

Les terrains quaternaires se distinguent le plus souvent par leurs formes. Même dans la plaine il est possible de trouver par l'étude des formes des renseignements sur le tracé des anciens lits mineurs de l'Isère, par exemple. Ces études géomorphologiques ont permis, en premier lieu, de tracer les limites exactes de la plaine.

L'étude des photographies aériennes permet de préciser les données de la géomorphologie.

#### c) Prospection géophysique.

C'est surtout la méthode électrique qui a été employée, pour l'étude du remplissage alluvial. Mais j'ai personnellement mis en œuvre la prospection géophysique par "petite sismique".

Si cette méthode ne permet que des investigations qui ne dépassent pas 10 à 15 mètres de profondeur ; la méthode électrique permet d'atteindre des profondeurs d'investigations de l'ordre de 150 à 200 mètres.

En tout, près de 200 sondages électriques ont été effectués dans la vallée du Grésivaudan.

#### d) Sondages mécaniques.

Les sondages mécaniques fournissent une coupe assez précise de la suite des formations lithologiques en un point donné. Mais, combiné avec une série de sondages électriques, un sondage mécanique permet d'établir un profil assez parlant, sur une profondeur intéressante.

Quatre sondages mécaniques, financés par le Conseil Général, ont été faits dans le cadre de cette étude. J'ai pu suivre pendant la période où j'ai travaillé dans le Grésivaudan, une dizaine de sondages effectués par des particuliers ou par des collectivités locales, dont un de 55 mètres au Domaine Universitaire de Saint-Martin d'Hères et un de 37 mètres à Pontcharra.

Enfin, j'ai pu dépouiller les coupes de plus de 200 sondages grâce aux documents fournis par les Ponts et Chaussées et par les industriels de la vallée. J'ai bénéficié en outre de tous les documents concernant les travaux effectués par le service du Génie Rural des eaux et des forêts, notamment dans la zone industrielle de Crolles.

#### e) Etude pétrographique et granulométrique d'échantillons.

Sur des échantillons prélevés dans des gravières, dans les cuttings de sondages ou au moment du forage d'un puits, des études ont été faites pour déterminer le pourcentage d'éléments d'origine sédimentaire.

Des courbes granulométriques ont été dressées chaque fois que l'on a pu disposer d'échantillons non lavés, c'est-à-dire d'échantillons d'où les fines particules n'avaient pas été entraînées par l'eau.

C'est à partir des résultats obtenus par toutes ces méthodes et des renseignements tirés du dépouillement de tous les documents recueillis qu'il est possible d'obtenir une représentation assez précise du remplissage alluvial de la vallée.

### 2. - DESCRIPTION DES FORMATIONS DU REMPLISSAGE ALLUVIAL. -

Avant de voir la structure de ce remplissage nous allons décrire rapidement les différentes formations lithologiques qui le constituent.

#### a) Les limons superficiels,

gris bleu, ils sont formés d'argile et de sable fin en proportion variable. Ils couvrent de grandes surfaces dans la vallée et ont une épaisseur qui peut atteindre 4 à 5 mètres. Il s'agit de dépôts de débordement de l'Isère, souvent

si récents qu'il n'existe pas encore de terre végétale au-dessus, et qu'ils affleurent directement.

b) Les alluvions grossières,

formées de galets, de graviers et sable, sont les dépôts des anciens lits mineurs de l'Isère ou des dépôts remaniés de cônes de déjections. Ce sont elles qui formeront l'essentiel de la couche aquifère. L'épaisseur de ces alluvions est très variable, puisqu'il s'agit surtout de lentilles.

c) Les "sablons",

se trouvent presque toujours sous les alluvions grossières. Ils sont formés de sable fin et d'argile et atteignent des épaisseurs importantes.

d) Les argiles plastiques

ont été trouvées dans quelques sondages profonds et par la géophysique. D'origine probablement lacustre elles constituent une partie importante du remplissage profond de la vallée, d'après M. GIGNOUX notamment.

e) Les éboulis de pentes

viennent sur les bords de la vallée s'imbriquer avec les dépôts de la rivière. Ils s'en distinguent par une forme plus anguleuse. D'autre part, ils sont toujours d'origine sédimentaire, c'est-à-dire ici calcaire ou calcaire argileux. Dans ce dernier cas ils s'altèrent très vite.

f) Les cônes de déjections

qui jouent un très grand rôle, viennent eux aussi s'imbriquer dans les dépôts de la plaine. Ils sont plus difficiles à différencier surtout lorsqu'ils sont remaniés.

g) Les alluvions anciennes

sont des alluvions grossières trouvées dans certains sondages et auxquelles la géophysique attribue une résistivité assez voisine de celle des sablons. Il s'agirait peut-être d'alluvions compactées (par le passage d'un glacier par exemple).

rapport granulométrie/résistivité et perméabilité/résistivité.

Dans l'ensemble de la vallée les différentes formations lithologiques présentent toujours à peu près la même résistivité ; il semblerait à première vue que cette résistivité soit liée à la granulométrie. Mais dans certain forage ou sondage où d'après la géophysique on s'attendait à trouver des sablons, ce sont des alluvions assez grossières qui ont été trouvées. Ces alluvions étaient assez compactées et avaient une perméabilité moindre que les alluvions se trouvant plus près de la surface. Il semble donc que la résistivité soit liée, non à la granulométrie mais à la perméabilité.

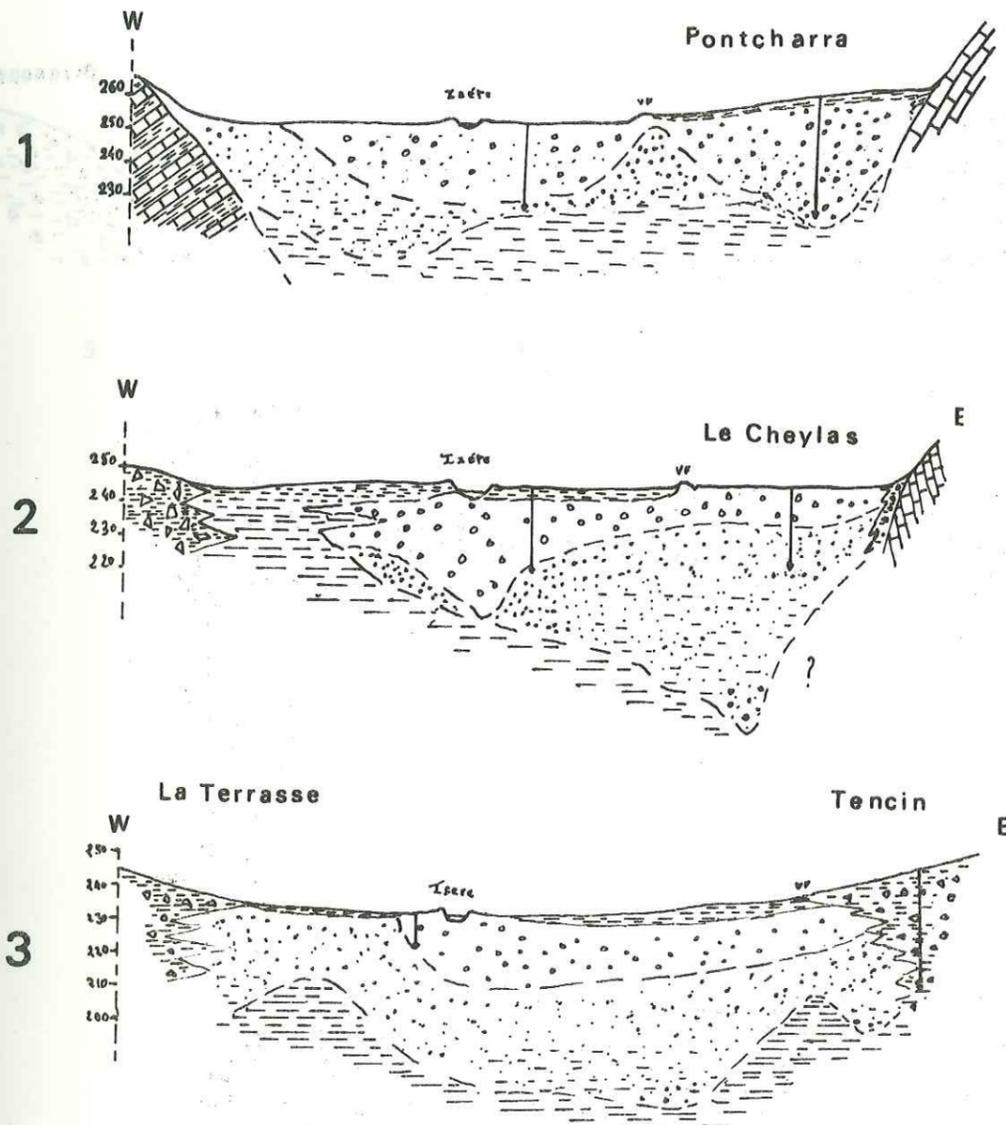
Le tableau suivant résume les rapports trouvés entre ces deux grandeurs :

| Formation  | Résistivité            | Perméabilité                            |
|--|------------------------|---|
| limon superficiel                                  | 80 $\Omega$ /m         | 10 <sup>-5</sup> à 10 <sup>-6</sup> m/s |
| alluvions grossières                               | 200 à 1000 $\Omega$ /m | 10 <sup>-2</sup> à 10 <sup>-4</sup> m/s |
| sablons  | 100 à 150 $\Omega$ /m  | 10 <sup>-4</sup> à 10 <sup>-6</sup> m/s |
| Argile plastique                                   | 100 $\Omega$ /m        | 10 <sup>-6</sup> m/s                    |
| alluvions compactées                               | 100 à 200 $\Omega$ /m  | 10 <sup>-3</sup> à 10 <sup>-5</sup> m/s |
| éboulis  | 50 à 500 $\Omega$ /m   | 10 <sup>-2</sup> à 10 <sup>-6</sup> m/s |
| cône de déjection<br>(selon le degré d'altération) | 100 à 250 $\Omega$ /m  | 10 <sup>-3</sup> à 10 <sup>-5</sup> m/s |

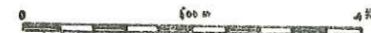
Ces remarques ne s'appliquent pas dans la région de Pontcharra, sur les alluvions dont la nappe est alimentée par les eaux du Bréda. Nous verrons plus loin que l'étude de la chimie des eaux explique très bien pourquoi. Il faut enfin noter que ces résultats sont entièrement empiriques.

GRESIVAUDAN

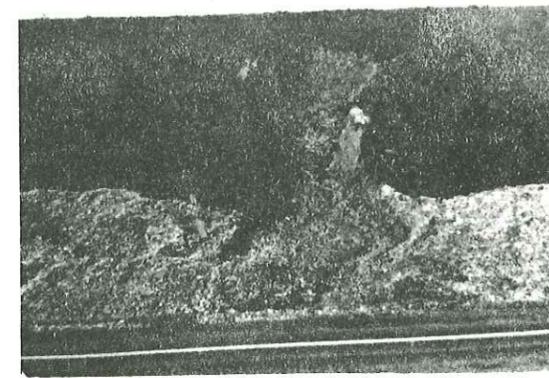
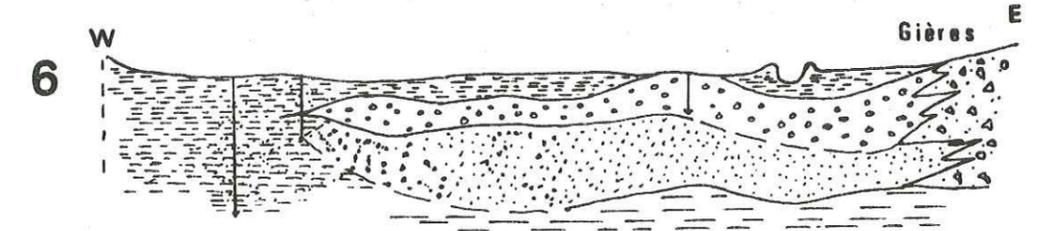
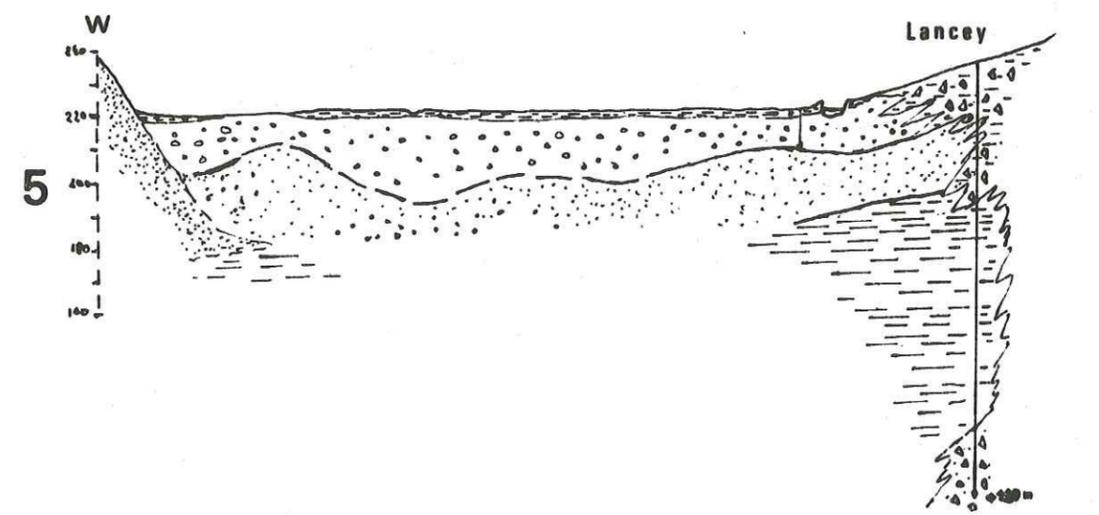
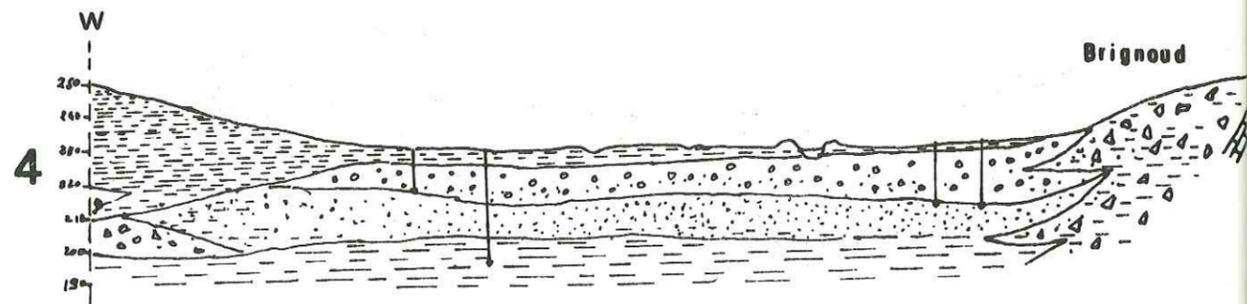
Coupes schématiques du remplissage alluvial



échelle:

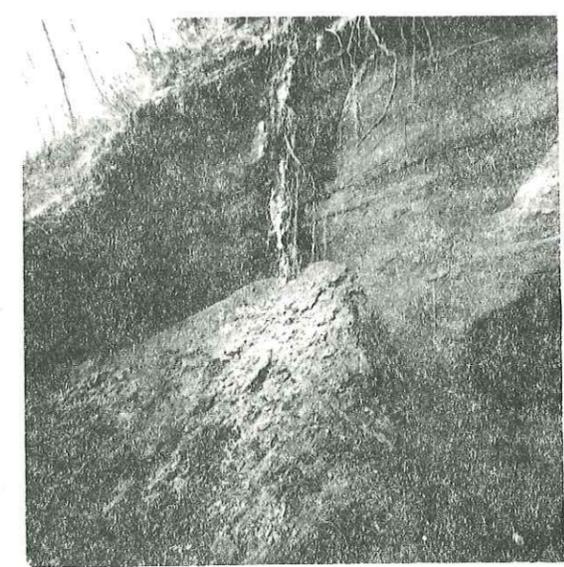


GRESIVAUDAN  
Coupes schématiques (suite)



Renard dans le talus de la voie expresse (traversée du cône du Manival).

Est



Ouest

Faille dans les formations sableuses de la banquette de Barraux (rejet 40 cm).

3. - DESCRIPTION DE LA STRUCTURE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL. -

A partir des données de la géophysique et des sondages, il est possible de dresser des coupes transversales du remplissage alluvial qui en montrent bien la structure.

- La première de ces coupes est située à l'aval immédiat de Pontcharra. La plaine est large ici de 2,200 km. La coupe met en évidence les apports grossiers du Bréda et ceux de l'Isère. On trouve sous ces dépôts grossiers des sables et des argiles plastiques. Ces dernières semblent avoir été recréusées par l'Isère et le Bréda. Un sondage, dont la position est indiquée sur la coupe n°1, est descendu jusqu'à - 37 m en restant tout le temps dans les alluvions grossières et sans atteindre la base de cette formation, alors que la géophysique laissait prévoir la présence de sables vers - 30 m. A partir de cette profondeur les alluvions étaient beaucoup plus compactées.

- La deuxième coupe donne un profil de la vallée entre Le Cheylas et Sainte-Marie d'Alloix. On retrouve la même succession de formations. Ici aucun sondage n'a dépassé la profondeur de 25 m. Mais la géophysique met en évidence un sillon assez profond rempli de sables (ou d'alluvions compactées) dans les argiles plastiques. En rive gauche, il n'y a pratiquement pas d'éboulis. En rive droite, on voit le cône de déjections venir s'imbriquer dans les argiles et les limons.

- La troisième coupe correspond à la transversale Tencin - La Terrasse. On retrouve ici aussi la même succession en surface. En rive gauche existe un double sillon dans les argiles plastiques. Des cônes de déjections viennent se mêler aux dépôts de l'Isère sur chacune des rives.

- La quatrième coupe, entre Brignoud et Crolles correspond à un élargissement de la vallée (4 km environ). Cela explique peut-être la disparition des sillons dans les argiles plastiques. Une autre particularité de cette coupe est la présence d'une épaisse zone limoneuse et tourbeuse en rive droite. Cette couche semble superposée au cône de déjections.

- La cinquième coupe, entre Lancey et Saint-Nazaire, correspond, au contraire à un rétrécissement de la vallée. En rive droite, des formations interglaciaires appuyées probablement sur des calcaires marneux du Jurassique moyen, s'avancent au milieu des alluvions. En rive gauche, un cône de déjections vient repousser l'Isère. Le sondage à -127 mètres effectué à Lancey en 1920 donne une représentation du remplissage alluvial, bien que sa position latérale ne permette pas de généraliser ses résultats. C'est le seul endroit dans le Grésivaudan où un sondage ait traversé les argiles plastiques.

- La sixième et dernière coupe est faite entre Gières et Meylan. Ici les alluvions grossières disparaissent en partie alors que les sables et les argiles prennent une importance considérable (à La Tronche un sondage à -70 mètres est resté entièrement dans les argiles).

4. - HYPOTHESES SUR LE REMPLISSAGE PROFOND. -

Les renseignements qui permettent de faire des hypothèses sur le remplissage profond de la vallée du Grésivaudan doivent être cherchés dans les autres vallées alpines ayant une histoire analogue.

A Beauvert, au Sud de Grenoble, un sondage de 400 mètres de profondeur n'a pas atteint le substratum rocheux et a traversé uniquement des alluvions plus ou moins fines.

La vallée de la Romanche, entre le Péage de Vizille et Vizille a fait l'objet de nombreux travaux et son remplissage est assez bien connu. En certains points, on retrouve des argiles plastiques sous les alluvions grossières, alors qu'en d'autres le remplissage est constitué uniquement de dépôts grossiers. (sable, gravier, galet).

Pour ce qui est du Grésivaudan, si la présence d'argiles plastiques en certains points indique un épisode lacustre dans l'histoire de cette vallée comme dans les autres, on peut penser retrouver tous les autres cas de figure.

Le glacier qui a creusé la vallée a pu laisser des dépôts grossiers en se retirant et avant que le lac ne s'installe. Pendant l'épisode lacustre, les torrents latéraux continuaient à apporter des éléments grossiers qui se sédimentaient dans ce lac.

Il est donc certain qu'il existe des formations grossières au sein du remplissage profond de la vallée du Grésivaudan. Rien n'empêche ces formations d'être aquifères. Si cette étude n'a pas permis de mettre en évidence ces ressources, des sondages profonds judicieusement implantés pourraient y remédier et fourniraient par la même occasion des renseignements très intéressants.

5. - NATURE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL. -

Les alluvions apportées dans le Grésivaudan par l'Isère et ses affluents traduisent la lithologie des bassins versants. Ceci se voit bien sur les formations grossières, galets et graviers, mais la plupart des roches sédimentaires qui existent, notamment sur les flancs mêmes de la vallée, sont très altérables. Cela se traduit par une diminution très nette de la teneur en CO3 Ca avec la taille des éléments.

Ainsi, en rive droite on trouve des teneurs en CO3 Ca de l'ordre de 50 % dans les couches d'alluvions grossières, alors que cette teneur tombe à 15 % dans les sables.

En rive gauche, le phénomène est encore plus net, car les assises du Jurassique moyen qui forment le flanc de la vallée, se décomposent très rapidement. A Frogès, dans des sables et graviers, la teneur en CO3 Ca est déjà de l'ordre de 15 %.

Résultats de mesure de calcimétrie sur des échantillons de sables :

|      |                       |                 |
|------|-----------------------|-----------------|
| N° 1 | SAINTE MARIE D'ALLOIX | CO3 Ca = 15,2 % |
| N° 2 | LA BUISSIÈRE          | CO3 Ca = 7,8 %  |
| N° 3 | FROGES                | CO3 Ca = 13,4 % |
| N° 4 | PONTCHARRA            | CO3 Ca = 7,6 %  |

Sablons de Saint-Martin d'Hères  
CO3 Ca = 17,2 %

Graviers de Saint-Martin d'Hères  
CO3 Ca = 39 %

Graviers et galets au Pont de Brignoud sur la voie express  
CO3 Ca = 44 %

6. - SCHEMA DES DERNIERES PHASES DE L'HISTOIRE DU GRESIVAUDAN. -

A partir des données des coupes étudiées plus haut, des hypothèses sur le remplissage profond, et de quelques observations faites sur les flancs de la vallée on peut essayer de reconstituer les dernières phases de l'histoire de la vallée. On obtient :

- un épisode de creusement glaciaire,
- un épisode de remblaiement lacustre  
argile plastique  
delta lacustre à la cote 300 à La Buisnière,
- un épisode glaciaire avec creusement  
sillons dans les argiles lacustres,
- érosion fluviale juste après le retrait du glacier,
- dépôts d'alluvions grossières,
- nouveau stade glaciaire peu important  
compactage des alluvions existantes  
dépôts des moraines des Drogeaux (Saint-Nazaire) ?
- retrait du glacier  
dépôts des alluvions actuelles.

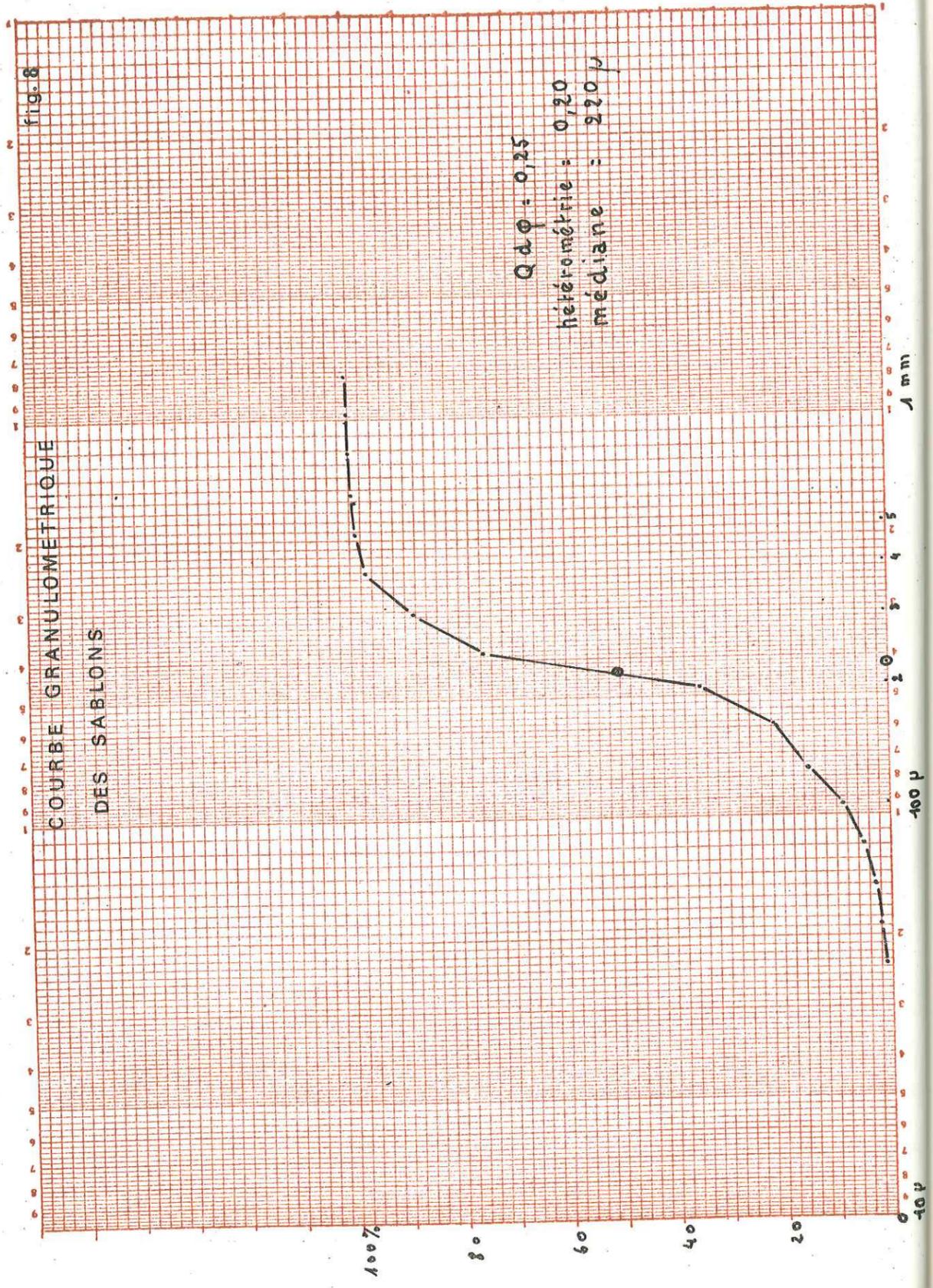
Univ. J. Fourier - O.S.U.G.  
 MAISON DES GEOSCIENCES  
 DOCUMENTATION  
 F. 38041 B.P. - 53  
 38041 GRENOBLE CEDEX  
 Tél. 04 76 83 54 27 - Fax 04 76 51 40 58  
 Mail: plalour@ujf-grenoble.fr

L'existence d'anciens lits de l'Isère a des cotes supérieures à celles du lit actuel, indique que le dépôt des alluvions modernes ne s'est pas fait de façon continue mais a été entrecoupé de phases de creusement.

CONCLUSION SUR LE REMPLISSAGE ALLUVIAL. -

Si dans le détail des différences apparaissent dans la structure du remplissage alluvial dans l'ensemble la même succession de formations se retrouve de haut en bas dans un sondage. Mais l'épaisseur des couches d'alluvions grossières et de graviers tend à diminuer de l'amont vers l'aval. Cette diminution a pour effet de rapprocher le toit des assises moins perméables de la surface topographique. Ces assises peu ou pas perméables (sablons et argiles plastiques), plus anciennes que les alluvions modernes auraient été surcreusées moins profondément dans la partie aval que dans la partie amont de la vallée. Des études granulométriques devraient permettre d'identifier ces formations avec plus de précision dans les sondages où on les rencontre.

Cette réduction d'épaisseur des couches perméables se traduit par des débits de la nappe de plus en plus faibles de l'amont vers l'aval comme nous le verrons plus loin.



## II. - EXISTENCE DE LA NAPPE -

Il suffit de parcourir la plaine du Grésivaudan, pour penser à l'existence d'une nappe phréatique. En effet, toutes les fermes isolées ont (ou avaient) un puits ou un pieu \* pour s'alimenter en eau. De nombreuses communes ou collectivités puisent dans la nappe leur eau. D'autre part de nombreux canaux d'assainissement appelés Chan-tourne drainent la partie supérieure de cette nappe, rendant ainsi les terrains plus propices à la culture.

Cette plaine fut le théâtre de combats incessants entre l'Isère et les habitants de la vallée. Cette lutte qui avait pour but de protéger les terres cultivables n'a pas toujours été menée de façon judicieuse. L'endiguement partiel provoquait des crues à l'aval, et l'exhaussement du lit entre les digues d'où une montée du niveau de la nappe qui transformait les terres en marécages. Ce n'est que depuis 1948 qu'existe un plan d'ensemble de protection et d'aménagement de l'Isère.

### 1. - METHODES D'ETUDE MISES EN OEUVRE. -

Le premier travail, pour étudier la nappe de la plaine du Grésivaudan a consisté à faire le recensement de tous les points où il était possible d'observer le niveau de la nappe. Ainsi ont été recherchés tous les puits de ferme encore ouverts, tous les piézomètres existants, tous les forages inexploités, les étangs et les ponts sur les canaux de drainage. Pour chacun de ces points il a fallu prendre un repère et le niveler. C'est ainsi que plus de 120 points ont été rattachés au nivellement général de la France.

Le deuxième travail a consisté à recenser tous les utilisateurs actuels de la nappe. Cet inventaire a permis de connaître quelles sont les zones de la vallée qui sont déjà sollicitées, de pouvoir estimer les débits déjà pompés.

Disposant d'un réseau de points d'observation nivelés, et d'une série d'échelles limnimétriques sur l'Isère, rattachées elles aussi au N.G.F., il est possible de connaître le niveau de la nappe en chaque point pour une date donnée. (En réalité deux jours pleins pour pouvoir mesurer ce niveau à tous les points du réseau).

A partir des mesures de niveau, on obtient la cote du toit de la nappe en chacun des points : il est alors possible de tracer la carte en courbe de niveau de ce toit de la nappe, pour la date choisie. C'est à partir de cette carte isopièze (ou piézométrique) que l'on va pouvoir déterminer l'écoulement de la nappe et voir de quelle manière elle est alimentée.

Les mesures de niveau étant faites en 48 heures, on peut se demander quelle erreur existe-t-il dans les cartes piézométriques.

\* - On appelle pieu, dans le Grésivaudan, les tubes crépinés, enfoncés par battage et sur lesquels on branche une pompe.

Si aucune précipitation importante n'est intervenue sur le bassin versant de l'Isère pendant les 48 heures précédant le début des mesures, de même pour les flancs de la vallée, l'erreur due à la variation du niveau piézométrique entre l'instant de la première mesure et celui de la dernière est du même ordre de grandeur que celle faite sur la mesure elle-même (+ ou - 2 cm). Il y a, de plus, une erreur sur le nivellement du point de mesure qui est de l'ordre de 1 cm.

Pour les mesures du niveau de la nappe, il n'y a donc aucun inconvénient majeur à les faire en 48 heures. Il n'en est pas de même pour les mesures du niveau de l'Isère. En effet, cette dernière subit des crues assez brutales qui peuvent faire varier son niveau de 0,5 à 1 mètre et plus en 24 heures. Il faut donc pour pouvoir valablement exploiter la carte dressée connaître les débits de l'Isère pour la semaine qui précède le moment où sont faites les mesures.

En dehors des cartes isopièzes, la géochimie permet d'obtenir des renseignements intéressants sur l'origine des eaux qui circulent en un point de la nappe. On retrouve par l'étude de la composition chimique de la charge minérale de l'eau, les principales sources d'alimentation de la nappe. Pour ce faire, deux campagnes de prélèvements systématiques ont été faites, l'une en période de basses eaux en décembre 1967, l'autre en période de hautes eaux, en juin 1968.

### 2. - PLAN D'ETUDE. -

Les cartes isopièzes sont le principal outil d'étude de la nappe de la plaine du Grésivaudan.

La forme de l'écoulement découle directement du tracé de ces cartes : ce sera donc elle qui sera étudiée en premier. Les facteurs qui régissent cet écoulement, une fois mis en évidence, il est possible de déterminer les modes d'alimentation de la nappe, car ceux-ci découlent de ceux-là.

Cette alimentation, cela ressort de la forme de l'écoulement, provient de deux sources différentes : les apports de la plaine (Isère etc...) et les apports des versants, comme il y a deux zones différentes dans la nappe : l'une à écoulement parallèle à l'axe de la vallée, l'autre à écoulement perpendiculaire à l'axe de la vallée.

Les résultats des études physico-chimiques viendront ensuite confirmer ces modes d'alimentation de la nappe.

Enfin, l'étude des débits de la nappe et des débits arrivant à la nappe, permettront d'évaluer les ressources exploitables sur l'ensemble de la plaine.

Figures 9a, 9b, 9c.

CARTE DES POINTS DE MESURE PIEZOMETRIQUE

- A : puits non exploités.
- B : pieux.
- C : piézomètres.
- F : forages en gros diamètre.
- S : sondages (petit diamètre).
- H : échelles limnimétriques sur l'Isère.
- K : échelles limnimétriques sur les canaux de drainage.

Les points disparus ou inutilisables ne figurent pas sur la carte.

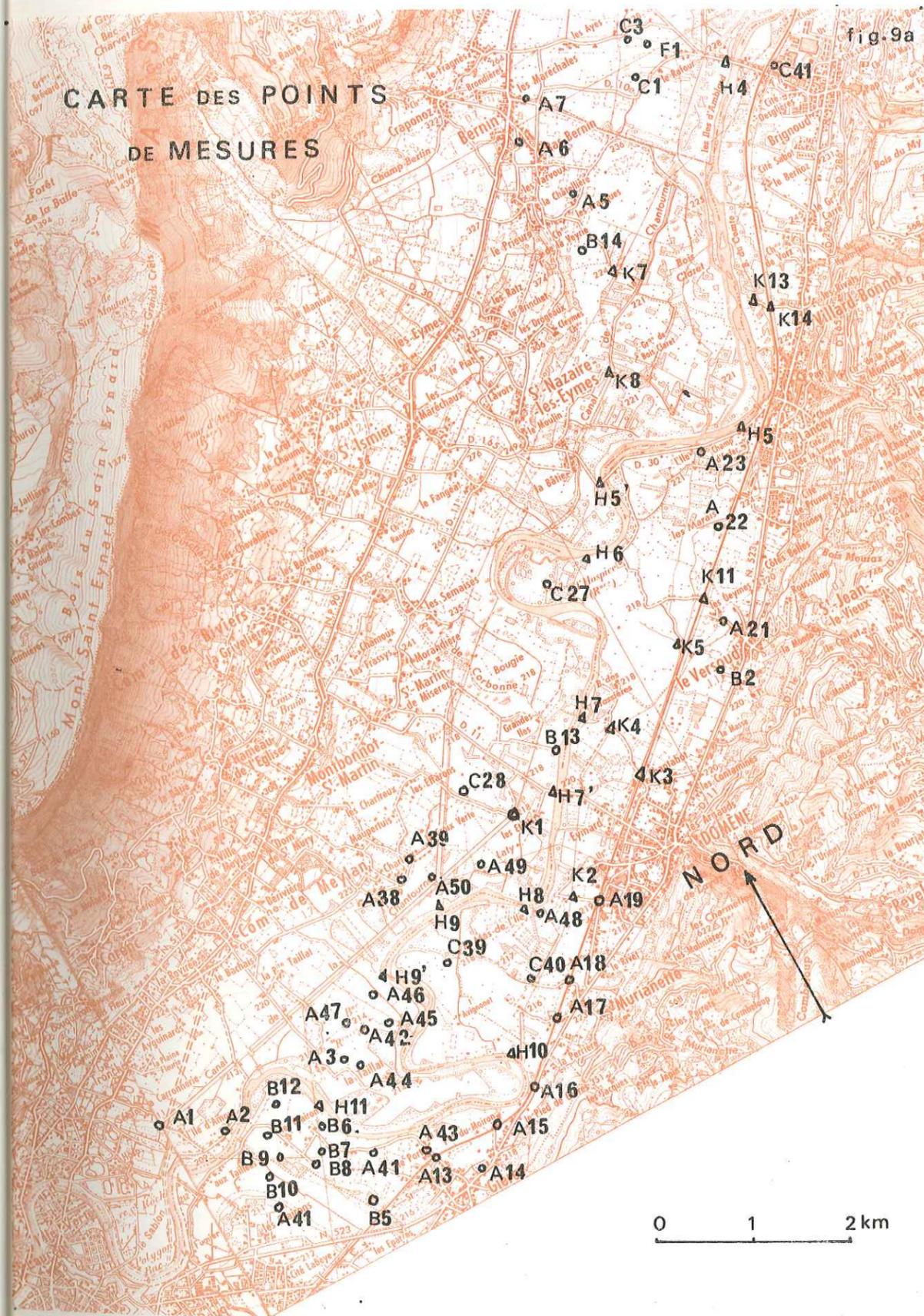
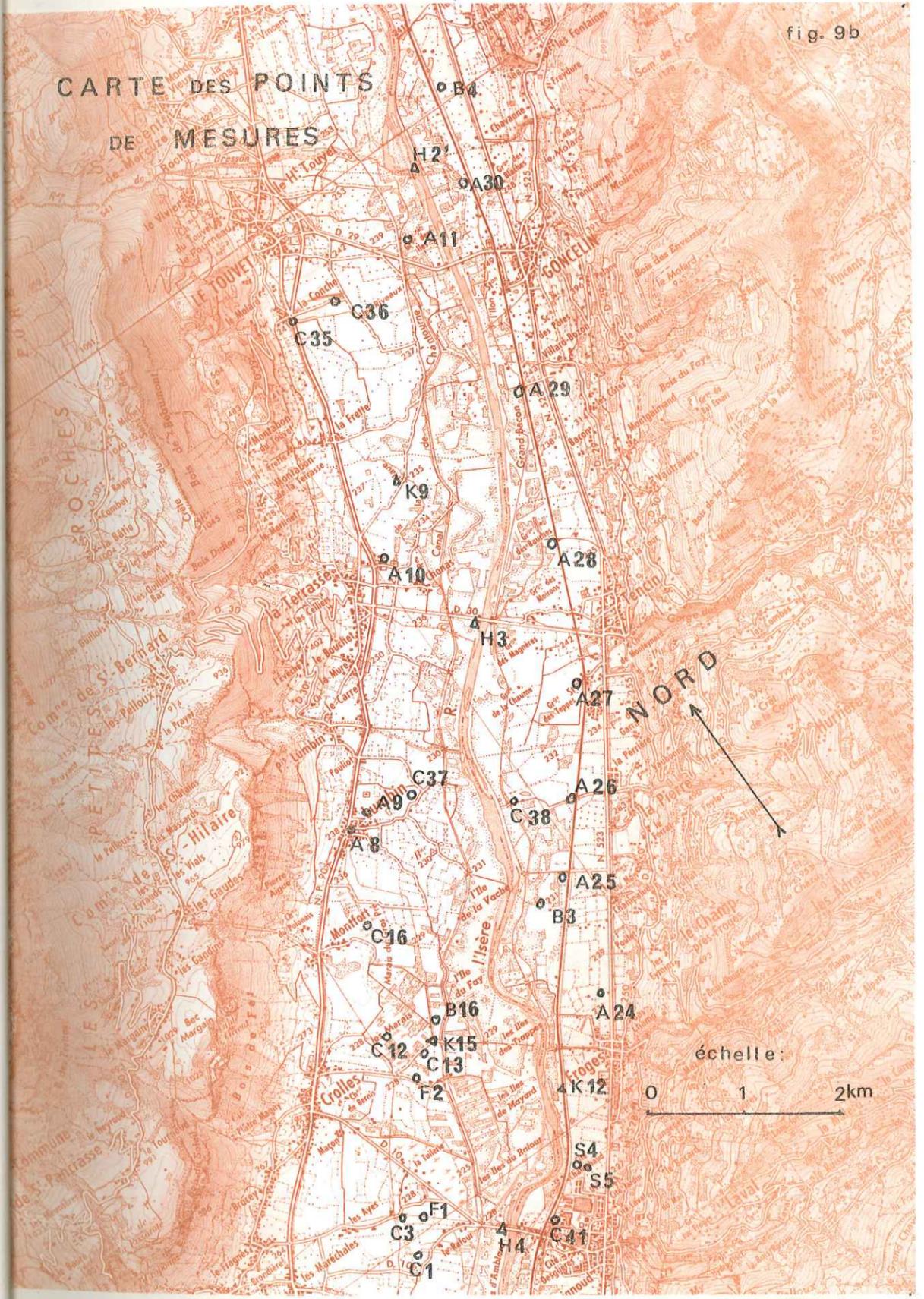
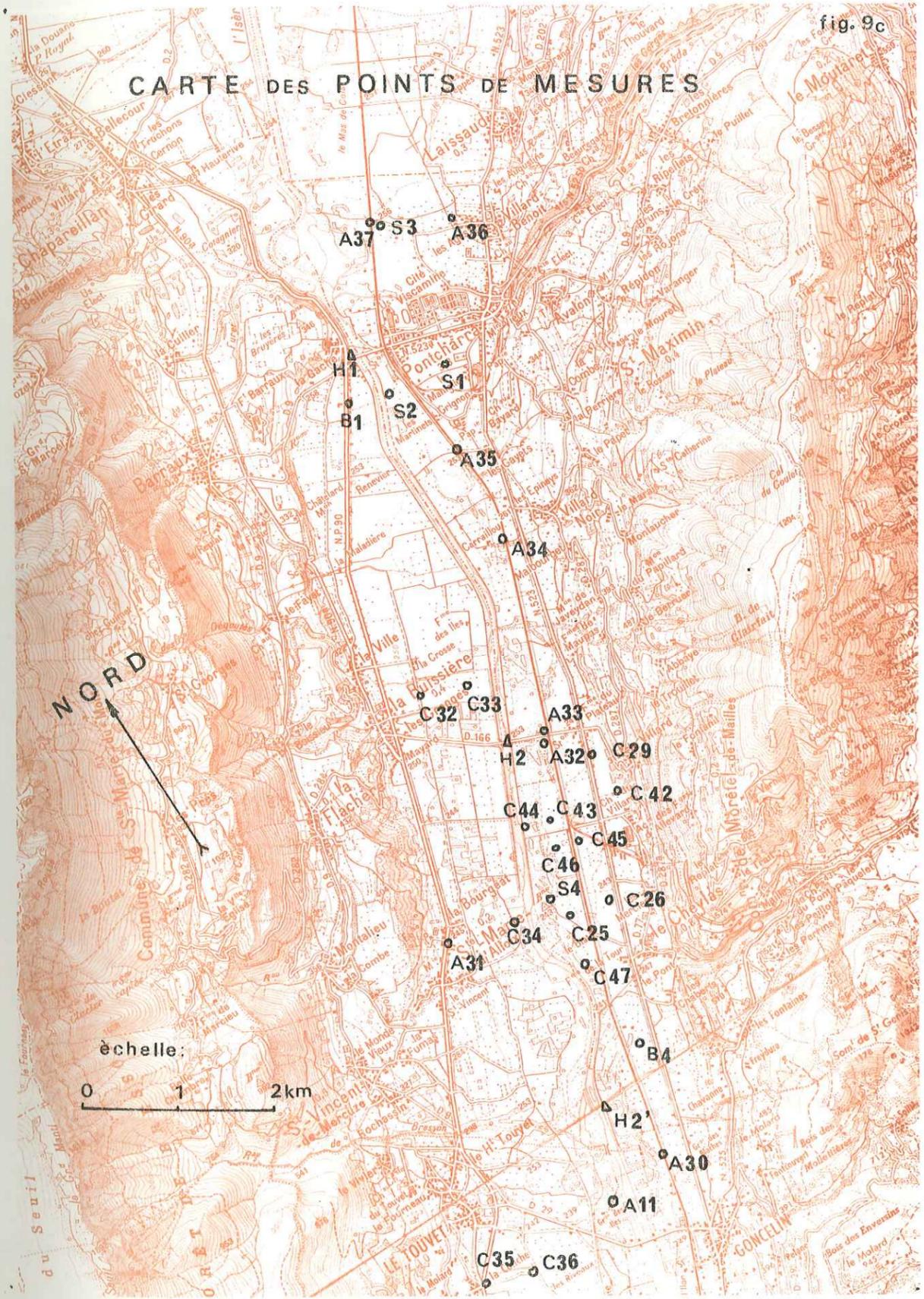


fig. 9b

# CARTE DES POINTS DE MESURES



# CARTE DES POINTS DE MESURES





Le flanc ouest du Grésivaudan

- La Dent de Crolles (Urgonien)
- Le Plateau des Petites Roches (Tithonique)
- Les éboulis de pentes
- La plaine alluviale

RELEVES PIEZOMETRIQUES EFFECTUES DANS LA PLAINE DU GRESIVAUDAN

| NUMERO | COTE N.G.F. | COTE DE LA NAPPE |              |                |
|--------|-------------|------------------|--------------|----------------|
|        |             | 2 et 3 07-67     | 2 et 3 10-67 | 12 et 13 06-68 |
| A 1    | 212,70      | 211,36           | 211,16       | 211,20         |
| A 2    | 213,67      | 210,78           | 209,22       | 209,67         |
| A 3    | 215,41      | 212,89           | 211,60       | 212,37         |
| A 5    | 245,91      | -----            | 232,16       | 234,16         |
| A 6    | 270,97      | 266,92           | 267,05       | -----          |
| A 7    | 264,05      | 256,07           | 254,90       | 254,50         |
| A 8    | 236,85      | 234,45           | 234,15       | 234,35         |
| A 9    | 235,51      | -----            | 232,09       | -----          |
| A 10   | 238,12      | 233,42           | 232,75       | 233,37         |
| A 11   | 238,49      | 237,31           | 236,86       | 237,16         |
| A 13   | 217,05      | 213,67           | 213,67       | 213,85         |
| A 14   | 220,75      | 216,36           | 215,27       | 216,05         |
| A 15   | 217,44      | -----            | 211,44       | 211,92         |
| A 16   | 218,34      | 213,43           | 213,40       | 213,40         |
| A 17   | 219,11      | 214,16           | 213,18       | 213,91         |
| A 18   | 217,95      | 215,60           | 214,71       | 216,03         |
| A 19   | 220,79      | 217,37           | 217,19       | 215,82         |
| A 21   | 221,61      | 218,43           | 217,96       | 218,18         |
| A 22   | 221,07      | 219,34           | 219,11       | 218,97         |
| A 23   | 223,58      | 221,48           | 220,58       | 220            |
| A 24   | 229,19      | 227,69           | 227,59       | 227,52         |
| A 25   | 233,37      | 228,47           | 228,25       | 228,32         |
| A 26   | 233,90      | 229,53           | 229,42       | 229,50         |
| A 27   | 237,87      | 232,17           | 231,58       | 232,25         |
| A 28   | 238,10      | 233,43           | 232,81       | 233,23         |
| A 29   | 240,17      | 235,22           | 234,54       | 234,84         |
| A 30   | 243,29      | 238,14           | 237,55       | 237,91         |
| A 31   | 257,16      | -----            | 243,06       | 243,50         |
| A 32   | 249,14      | 244,01           | 243,03       | 243,62         |
| A 33   | 249,18      | 243,99           | 242,68       | 243,68         |
| A 34   | 250,42      | 246,89           | 245,90       | 246,52         |
| A 35   | 253,90      | 249,00           | 248,08       | 248,64         |
| A 36   | 254,60      | 252,25           | 251,60       | 252,00         |
| A 37   | 256,82      | 252,22           | 251,54       | 251,80         |
| A 38   | 217,77      | 214,26           | -----        | -----          |
| A 39   | 218,37      | 216,25           | 215,79       | 216,20         |
| A 40   | 214,96      | 211,01           | 209,61       | 210,42         |
| A 41   | 212,96      | 210,66           | 209,31       | 209,86         |
| A 42   | 216,26      | 213,26           | 212,01       | 212,51         |
| A 43   | 219,81      | 212,51           | -----        | -----          |
| A 44   | 215,18      | 212,83           | 211,54       | 212,01         |
| A 45   | 215,03      | 213,35           | 212,23       | 212,45         |
| A 46   | 215,59      | 213,41           | 212,15       | 212,74         |
| A 48   | 216,63      | 214,83           | -----        | 214,25         |
| A 49   | 214,88      | -----            | 213,68       | -----          |
| A 50   | 216,87      | -----            | 213,87       | 214,17         |

| NUMERO | COTE N.G.F. | COTE DE LA NAPPE |            |                |
|--------|-------------|------------------|------------|----------------|
|        |             | 2 et 3 07-67     | 2 et 10-67 | 12 et 13 06-68 |
| B 1    | 252,35      | 248,93           | 247,90     | 248,47         |
| B 2    | 219,46      | 217,81           | 217,41     | 217,79         |
| B 3    | 228,86      | 228,46           | -----      | 228,46         |
| B 4    | 240,56      | 239,36           | 238,98     | 239,16         |
| B 5    | 214,74      | 211,29           | 210,64     | 211,34         |
| B 6    | 214,91      | 211,21           | 209,94     | 210,58         |
| B 7    | 212,84      | 210,99           | 209,74     | 210,64         |
| B 8    | 213,29      | 210,99           | 209,99     | 210,59         |
| B 9    | 213,68      | 210,62           | 209,78     | -----          |
| B 10   | 212,70      | 210,37           | 209,20     | 209,90         |
| B 11   | 213,58      | 210,72           | 209,43     | 210,15         |
| B 12   | 212,73      | 210,78           | 209,52     | -----          |
| B 13   | 219,62      | 217,47           | 216,37     | -----          |
| B 14   | 225,82      | 223,88           | -----      | -----          |
| B 16   | 229,75      | -----            | 227,55     | 227,57         |
| C 2    | 227,96      | -----            | 225,86     | 225,78         |
| C 3    | 229,10      | 226,77           | 225,88     | 226,40         |
| C 4    | 229,02      | 226,36           | -----      | -----          |
| C 5    | 228,12      | 226,36           | 225,69     | -----          |
| C 12   | 229,77      | -----            | 228,26     | 228,51         |
| C 13   | 230,27      | -----            | 228,29     | 228,45         |
| C 16   | 231,53      | -----            | 229,00     | 230,08         |
| C 25   | 243,23      | 241,86           | 240,95     | 241,56         |
| C 26   | 243,52      | 241,82           | 241,11     | 241,61         |
| C 27   | 221,13      | 218,78           | 217,53     | 217,68         |
| C 28   | 218,22      | 215,62           | 214,63     | 215,12         |
| C 29   | 245,62      | 243,42           | 242,62     | 243,17         |
| C 32   | 250,98      | 244,99           | 244,28     | 244,52         |
| C 33   | 246,53      | 244,64           | 244,35     | 244,44         |
| C 34   | 244,27      | 241,72           | 240,71     | 241,39         |
| C 35   | 239,99      | 236,96           | 234,41     | 237,37         |
| C 36   | 239,23      | 237,09           | 236,60     | 236,89         |
| C 37   | 232,16      | 226,76           | 228,55     | 229,66         |
| C 38   | 231,53      | 229,32           | 228,99     | 229,29         |
| C 39   | 216,83      | colmaté          | -----      | -----          |
| C 40   | 217,00      | 213,20           | 212,59     | 213,08         |
| C 41   | 228,52      | 224,44           | 223,34     | -----          |
| C 42   | 249,45      | 242,86           | 242,20     | 242,68         |
| C 43   | 244,56      | 242,89           | 242,08     | 242,56         |
| C 44   | 244,24      | 242,85           | 242,08     | 242,51         |
| C 45   | 244,16      | 242,54           | 241,70     | 242,13         |
| C 46   | 243,90      | 242,04           | 241,20     | 241,80         |
| C 47   | 242,78      | 242,25           | 240,27     | 240,75         |
| F 1    | 227,39      | -----            | 225,59     | 225,92         |
| F 2    | 230,92      | 228,14           | 227,84     | -----          |
| S 1    | 261,94      | 248,02           | 247,87     | 248,20         |
| S 2    | 250,27      | 248,88           | 247,87     | 248,37         |
| S 3    | 255,15      | 251,88           | 251,45     | 251,70         |
| S 4    | 243,98      | 242,09           | 241,09     | 241,58         |
| S 5    | 227,01      | -----            | -----      | 225,24         |

| NUMERO | COTE N.G.F. | COTE DE LA NAPPE |              |                |
|--------|-------------|------------------|--------------|----------------|
|        |             | 2 et 3 07-67     | 2 et 3 10-67 | 12 et 13 06-68 |
| S 6    | 227,00      | -----            | -----        | 225,26         |
| H 1    | 248,66      | 249,76           | 248,71       | 249,20         |
| H 2    | 243,09      | 244,49           | 242,89       | 243,69         |
| H 2'   | 237,83      | -----            | -----        | 238,25         |
| H 3    | 232,35      | -----            | 232,15       | 232,50         |
| H 4    | 224,23      | -----            | 224,73       | 224,10         |
| H 5    | 220,83      | -----            | 220,23       | -----          |
| H 5'   | 218,47      | -----            | -----        | 217,70         |
| H 6    | 218,90      | -----            | 219,60       | -----          |
| H 7    | 216,28      | -----            | 215,28       | 215,80         |
| H 7'   | 214,67      | -----            | -----        | 215,40         |
| H 8    | 214,47      | 215,22           | 213,47       | 214,20         |
| H 9    | 214,30      | -----            | 213,30       | 213,66         |
| H 9'   | 213,34      | -----            | -----        | 212,90         |
| H 10   | 212,29      | -----            | 212,82       | -----          |
| H 11   | 209,92      | -----            | 208,72 ??    | 210,18         |
| H 12   | 209,27      | -----            | 209,97       | -----          |
| K 1    | 217,59      | 215,53           | 215,00       | 215,39         |
| K 2    | 216,90      | -----            | 214,71       | 214,78         |
| K 3    | 221,83      | 216,93           | 216,85       | 216,84         |
| K 4    | 218,88      | 216,48           | 216,18       | 216,18         |
| K 5    | 219,18      | 216,68           | 216,48 ?     | 216,64         |
| K 7    | 223,78      | 222,29           | 222,17       | 222,09         |
| K 8    | 222,37      | 221,00           | 220,75       | 220,67         |
| K 9    | 235,08      | 233,43           | 233,22       | 233,22         |
| K 11   | 222,50      | -----            | 217,40       | 217,43         |
| K 12   | 227,88      | -----            | 225,71       | 225,85         |
| K 13   | 224,78      | -----            | 222,48       | 222,48         |
| K 14   | 228,42      | -----            | 223,12       | 222,77         |
| K 15   | 229,27      | -----            | 227,09       | 226,96         |

III. - ECOULEMENT DE LA NAPPE. -

1. - REMARQUES PRELIMINAIRES. -

L'étude des cartes isopièzes est le seul moyen de connaître la forme de l'écoulement d'une nappe, mais de telles cartes traduisent uniquement la forme de l'écoulement superficiel, qui peut parfois être différente de celle de l'écoulement profond.

En fait, cet écoulement, tant superficiel que profond, est surtout fonction de la perméabilité des terrains traversés. Comme nous l'avons vu précédemment, ces différences de perméabilité, qui dépendent de la nature du remplissage alluvial de la vallée, sont beaucoup plus connues dans la partie superficielle que dans la partie profonde, cette dernière n'ayant que rarement été atteinte par des sondages.

On peut toutefois affirmer qu'il n'existe qu'une seule nappe dans les trente à cinquante premiers mètres de ce remplissage alluvial. Toutes les mesures faites sur des ouvrages parfois très différents permettent d'être affirmatif sur ce point. Ceci est d'ailleurs en parfait accord avec ce que l'on sait de ce remplissage alluvial dont toutes les formations sont toujours plus ou moins lenticulaires.

2. - FORME GENERALE DE L'ECOULEMENT. -

Le tracé des courbes isopièzes, sur les trois cartes dressées permet de distinguer deux zones différentes, aussi bien en hautes eaux qu'en basses eaux.

Dans la partie centrale de la vallée, sur toute la longueur, mais avec une largeur variable, l'écoulement se fait parallèlement à l'axe de la vallée. Dans les parties latérales, par contre, de part et d'autre de ce courant central, l'écoulement est très oblique ou même perpendiculaire à cet axe de la vallée.

Ces deux zones n'ont pas une surface constante suivant les saisons, c'est-à-dire suivant la hauteur des eaux tout au moins là où les canaux de drainage ne limitent pas artificiellement ces deux zones.

a) Écoulement sur les flancs de la vallée.

L'écoulement de la nappe dans les parties latérales de la vallée se fait selon une direction perpendiculaire à l'axe de la vallée, si il existe une alimentation à partir des flancs et aussi longtemps que cette alimentation se maintient. Selon la plus ou moins grande perméabilité des terrains traversés, cet écoulement latéral se maintiendra plus ou moins longtemps.

En fait, ce cas de figure se présente de façon remarquable, en rive droite, dans la zone de Lumbin - Crolles déjà évoquée plus haut et dans la zone de Montbonnot - La Tronche. Les cartes isopièzes sont presque identiques en hautes eaux et en basses eaux.

Entre Lumbin et Crolles existe une couche de limon mêlé de tourbe dont l'épaisseur peut atteindre 10 mètres et plus. Cette assise imperméable maintient la nappe en charge. L'écoulement a toujours la même direction et le gradient reste très fort. Ceci a été observé même après une longue période de sécheresse (octobre 1967). Ces limons, s'ils sont imperméables n'en sont pas moins très poreux et constituent ainsi un réservoir considérable qui ne restitue

Figures n° 10a à 12c:

CARTES ISOPIEZES

Les isopièzes sont tracées de mètre en mètre.

Les figures 10a à 10c correspondent à la carte dressée les 2 et 3 juillet 1967 ; le débit de l'Isère pour la semaine qui a précédé les mesures était de 350 m<sup>3</sup>/s en moyenne à Grenoble.

Les figures 11a à 11c correspondent à la carte dressée les 2 et 3 octobre 1967 ; le débit de l'Isère, à Grenoble, était de 110 m<sup>3</sup>/s en moyenne pour la semaine qui a précédé les mesures.

Les figures 12a à 12c correspondent à la carte dressée les 12 et 13 juin 1968 ; le débit de l'Isère, à Grenoble, était de 250 m<sup>3</sup>/s en moyenne pour la semaine qui a précédé les mesures.

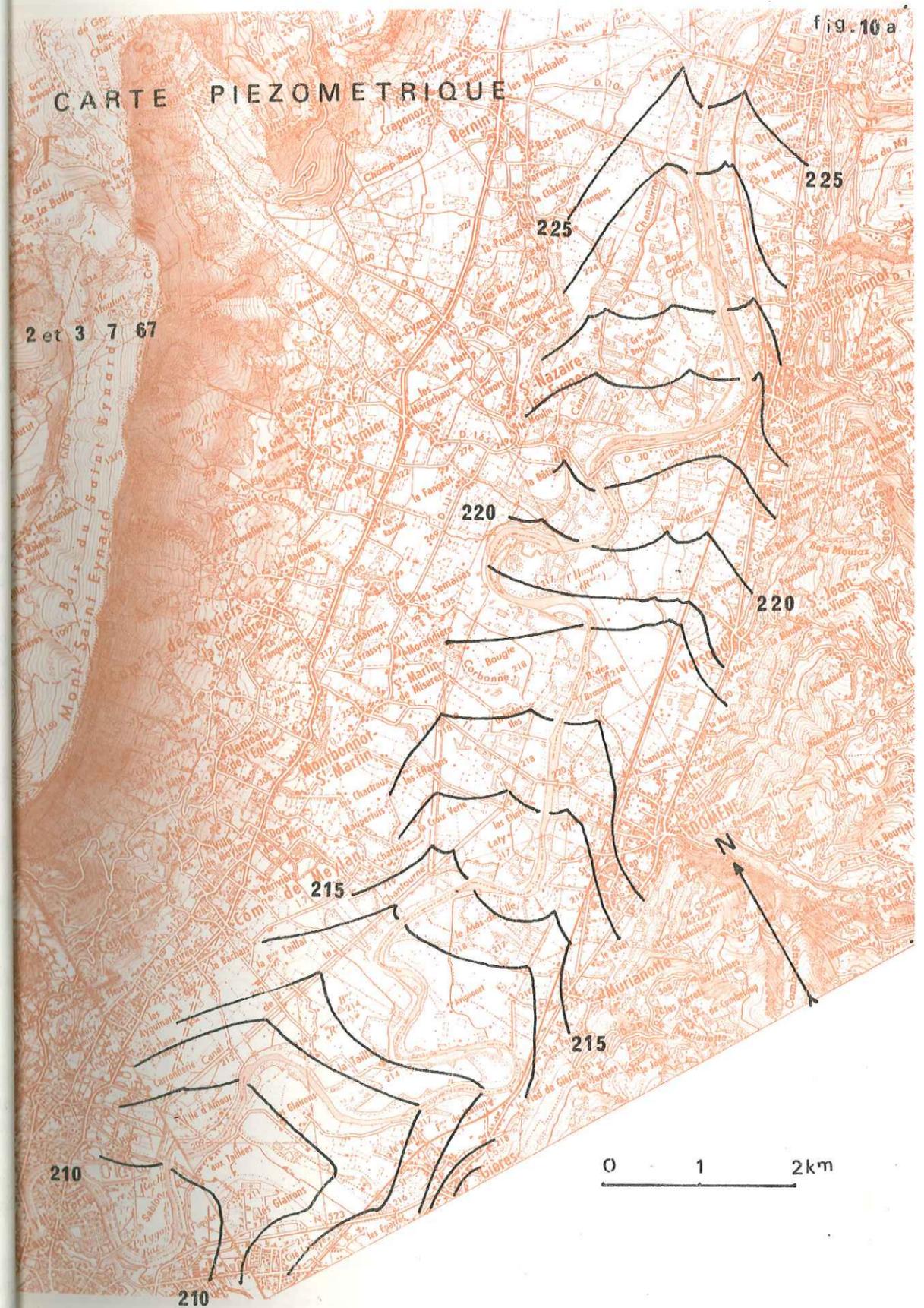
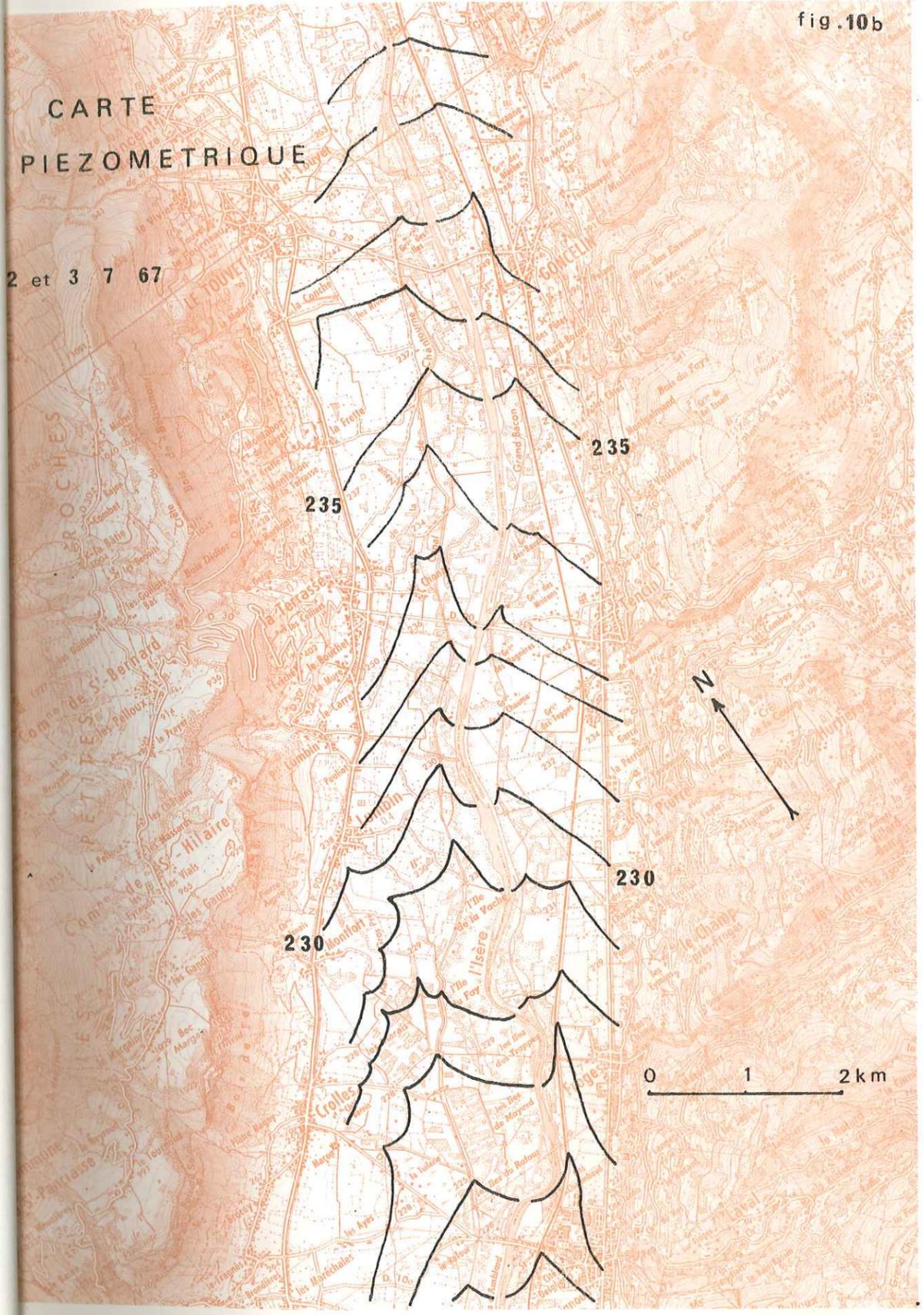


fig.10b

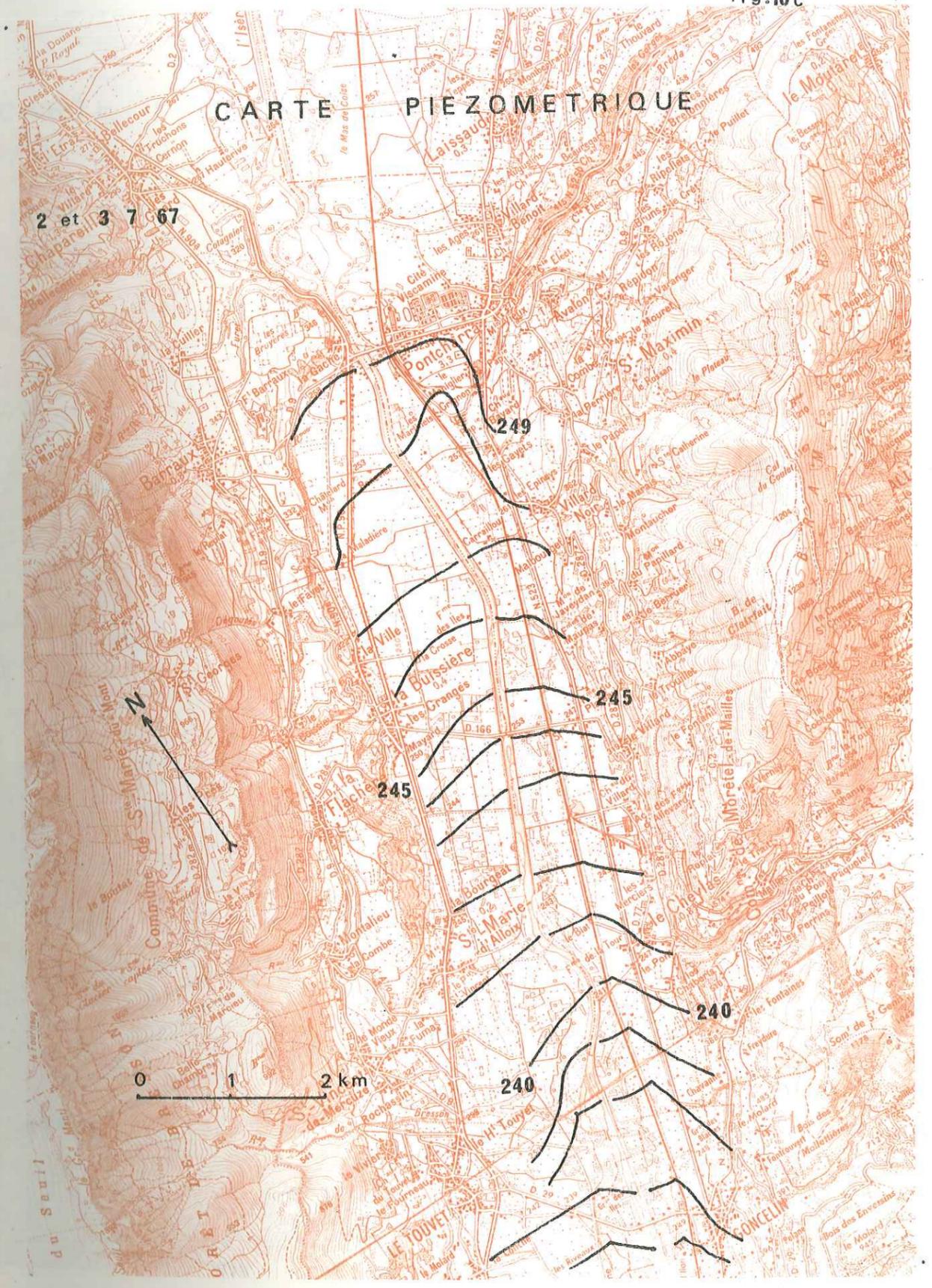
# CARTE PIEZOMETRIQUE

2 et 3 7 67



# CARTE PIEZOMETRIQUE

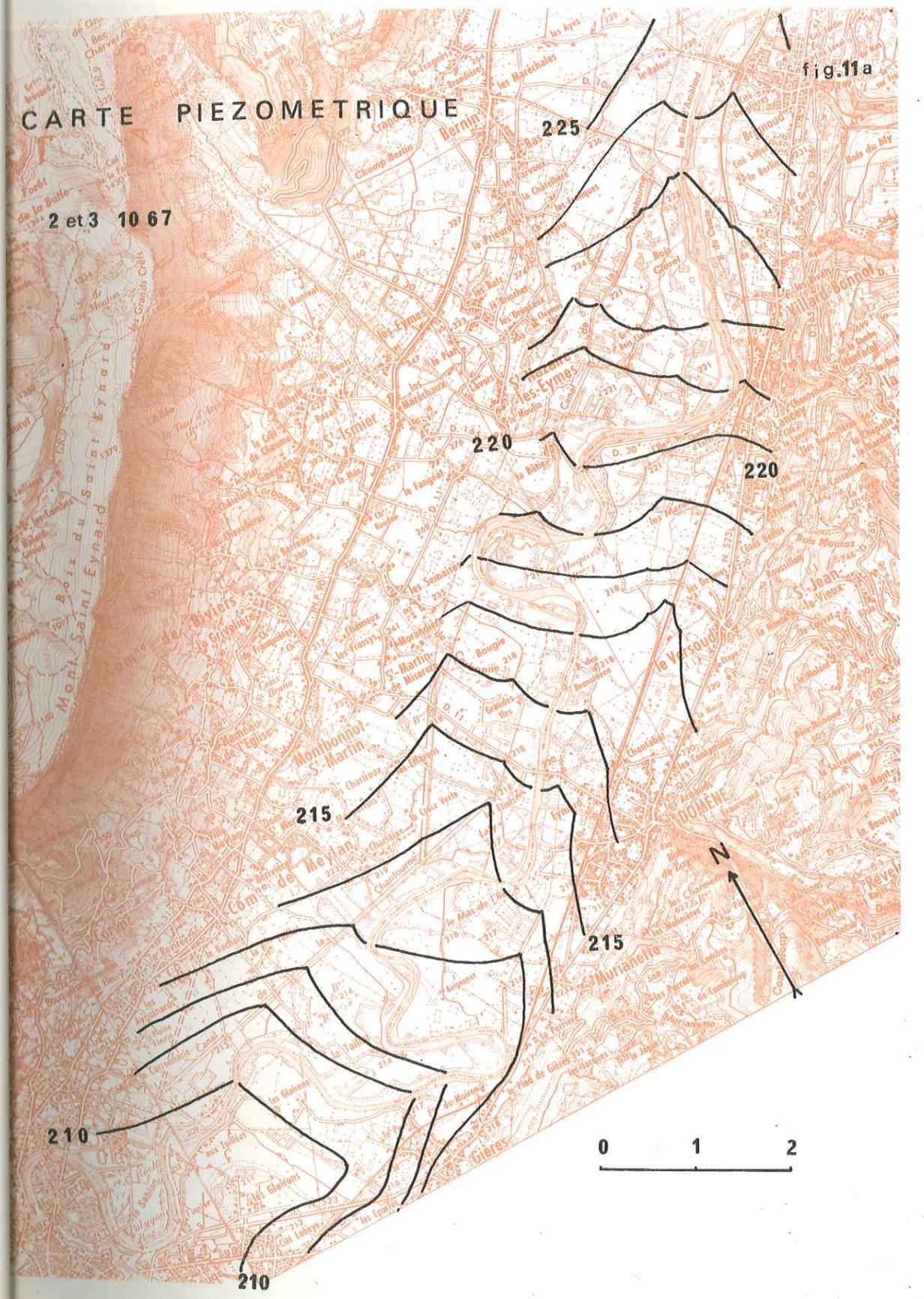
2 et 3 7 67



# CARTE PIEZOMETRIQUE

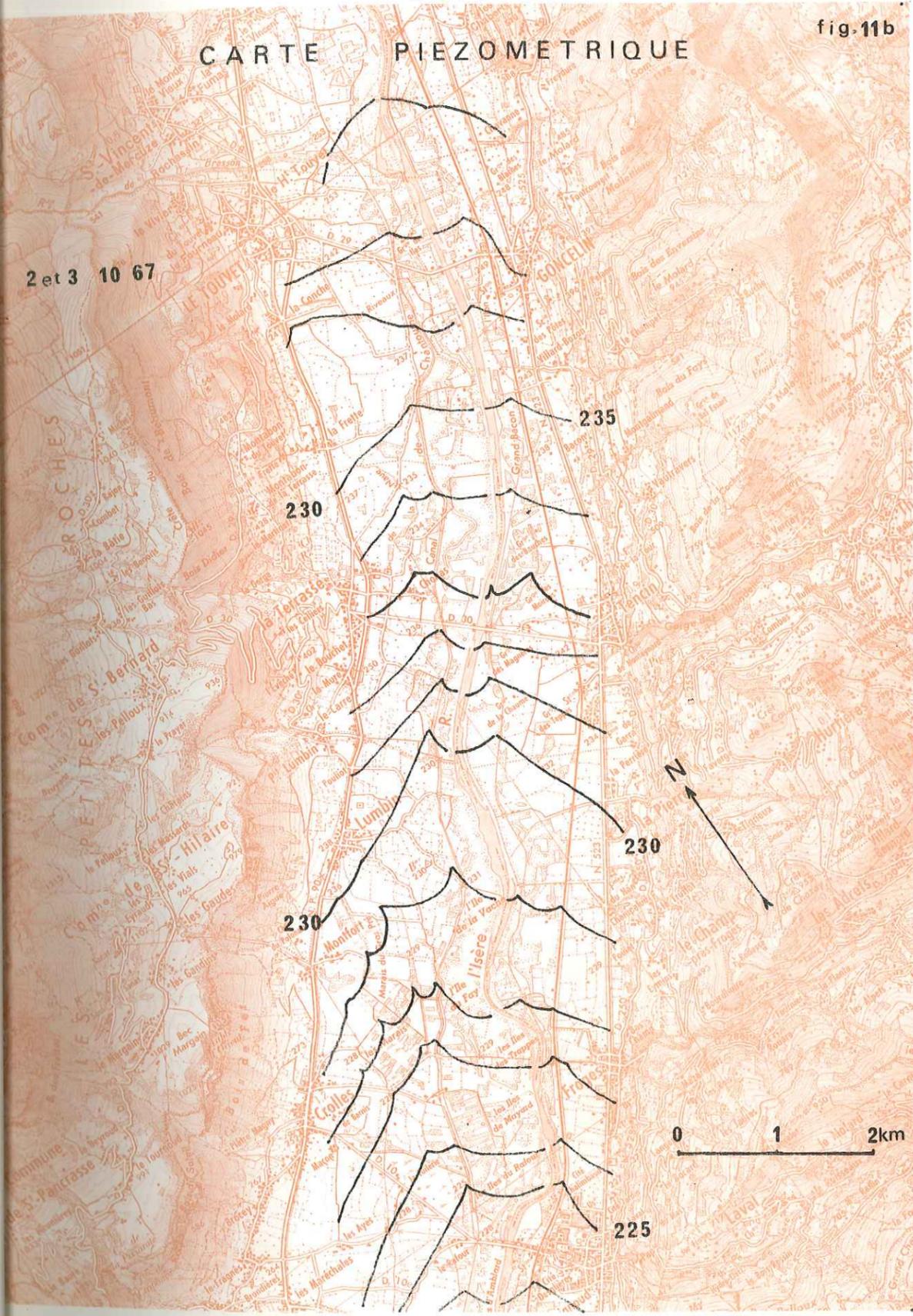
2 et 3 10 67

fig.11a



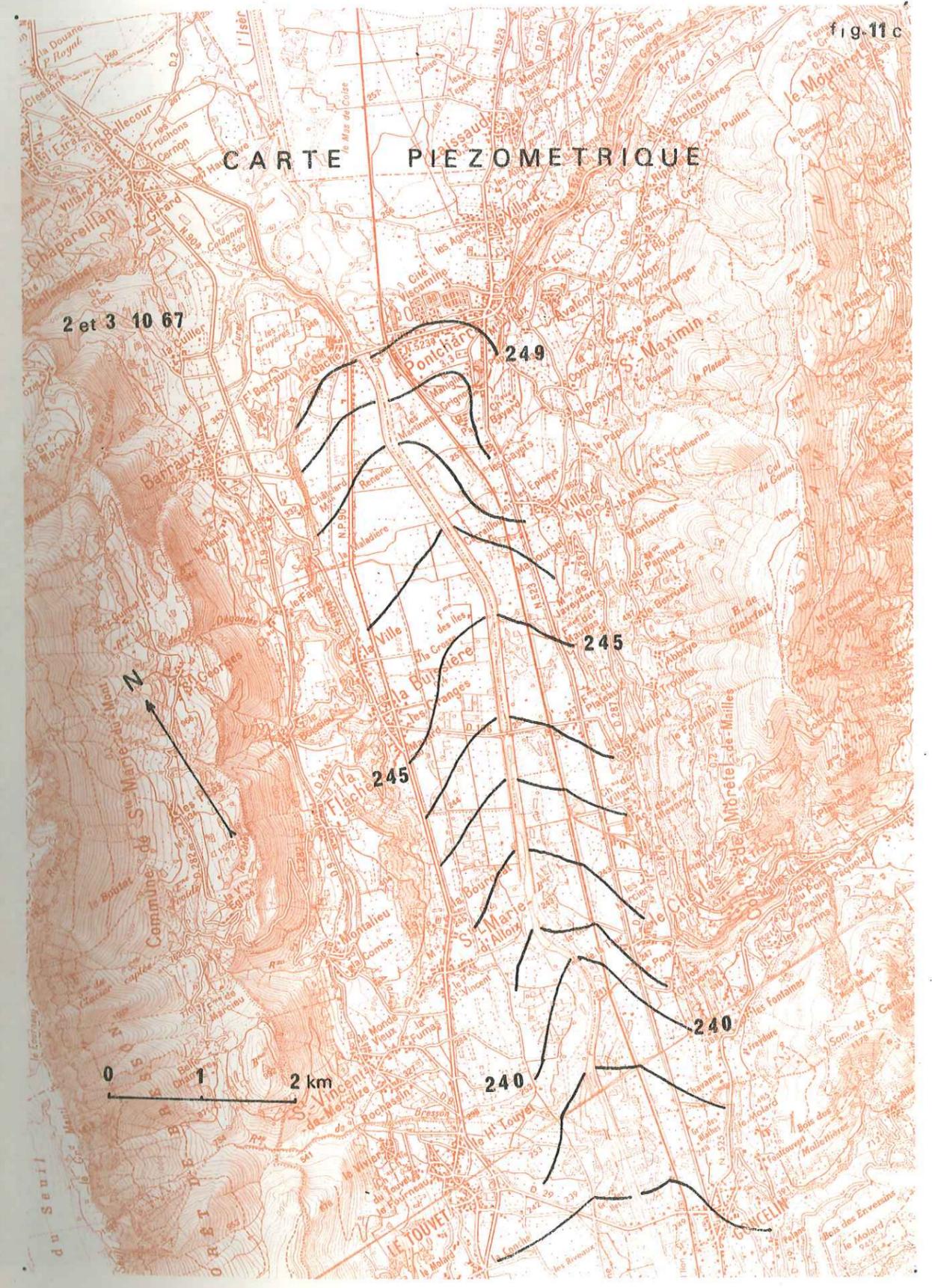
# CARTE PIEZOMETRIQUE

2 et 3 10 67



# CARTE PIEZOMETRIQUE

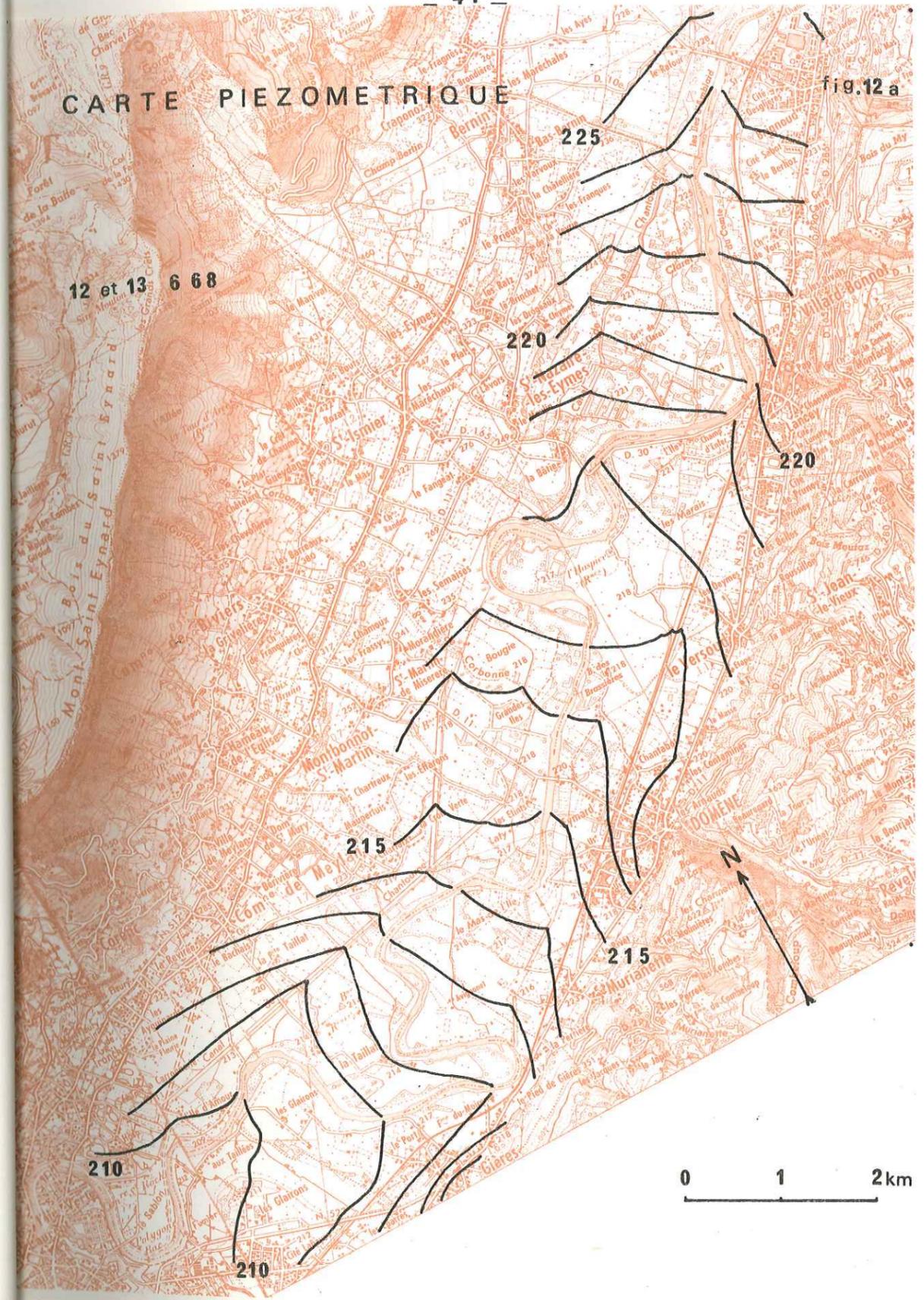
2 et 3 10 67



# CARTE PIEZOMETRIQUE

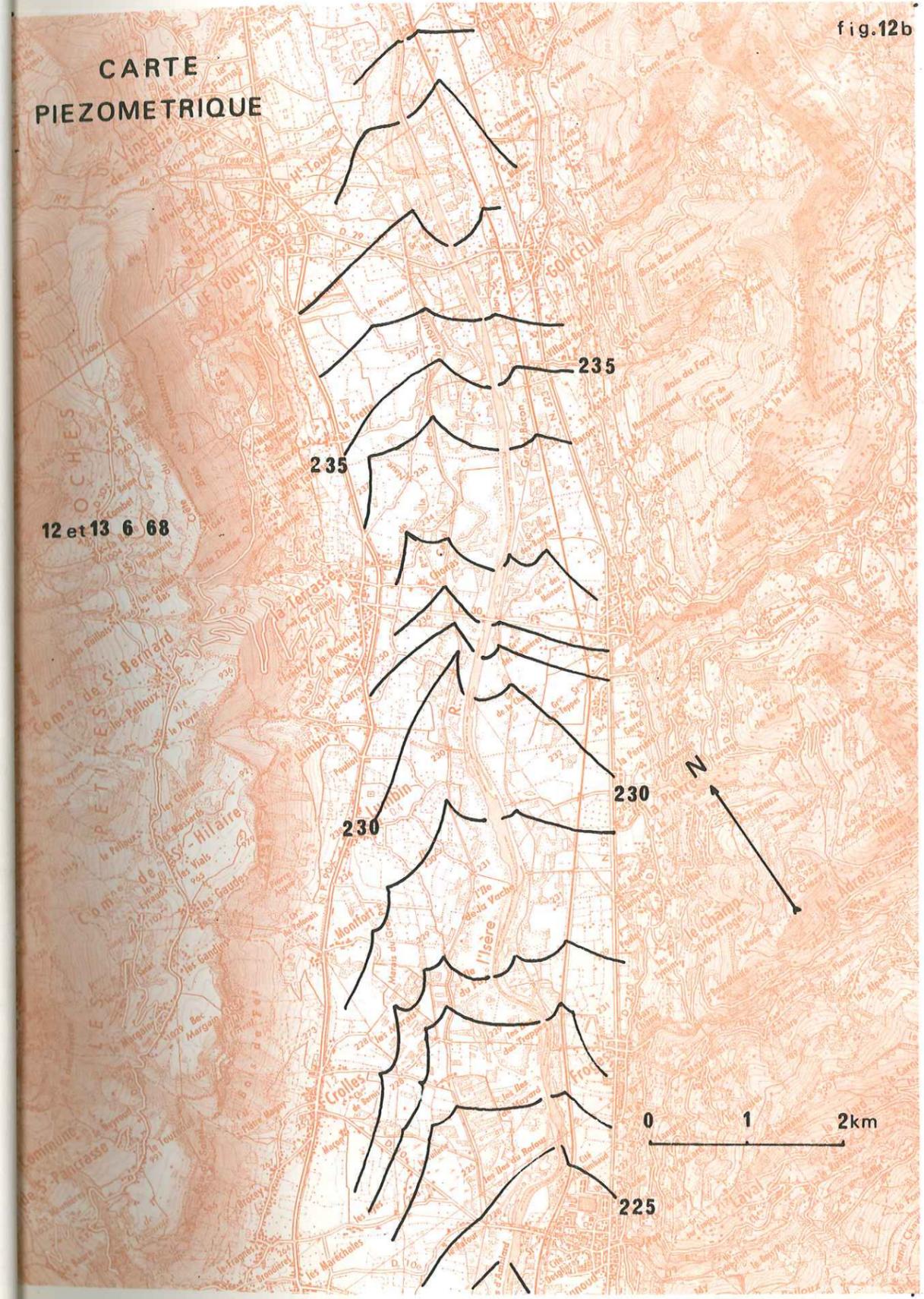
fig.12 a

12 et 13 6 68



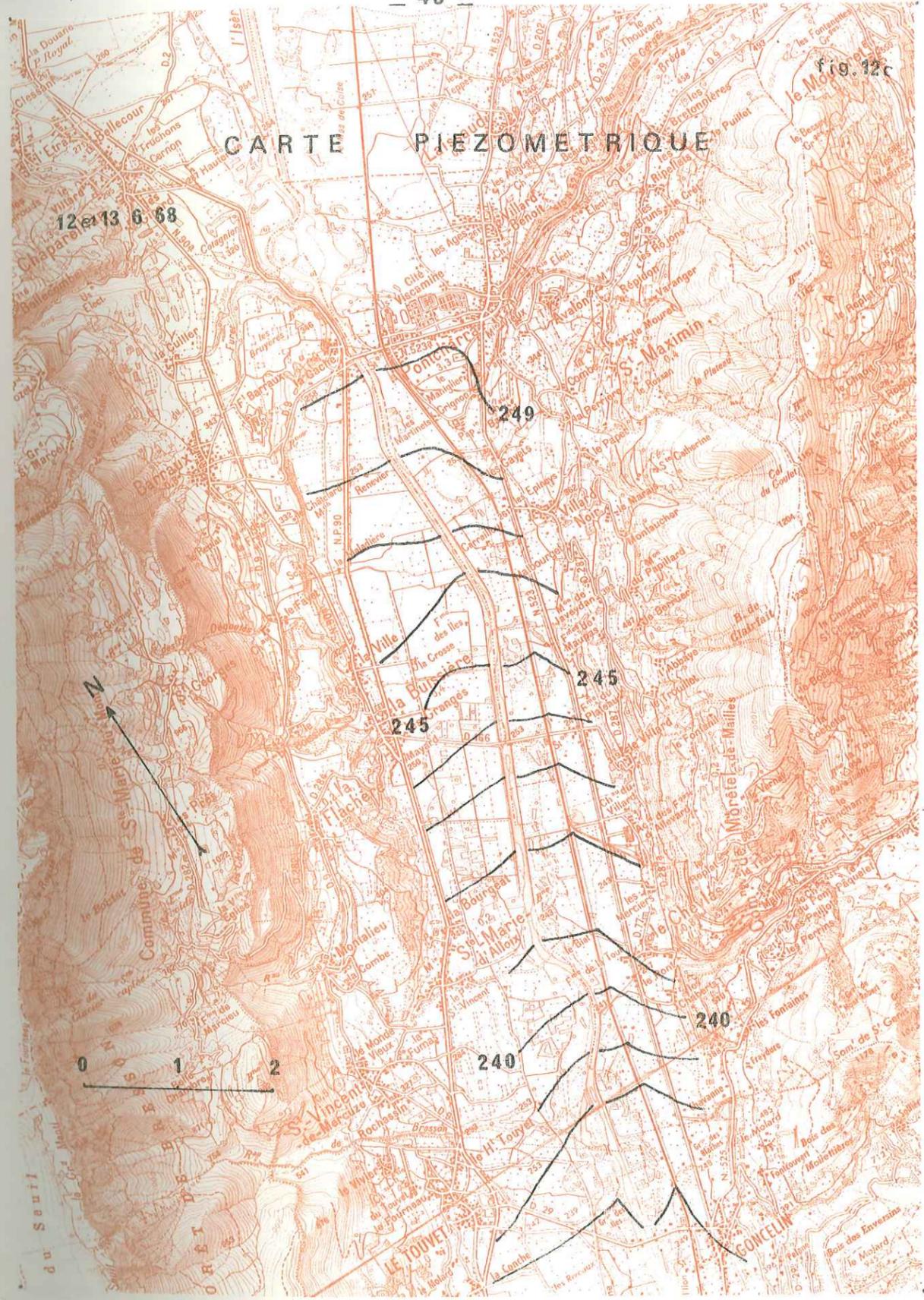
# CARTE PIEZOMETRIQUE

12 et 13 6 68



# CARTE PIEZOMETRIQUE

fig. 12c



12 13 6 68

0 1 2

240

245

245

249

240



Univ. J. Fourier - O.S.U.G.  
MAISON DES SCIENCES  
DOCUMENTATION  
B.P. 53  
38041 GRENOBLE CEDEX  
Tel. 04 76 83 54 21 - Fax 04 76 51 40 58  
Mail: platour@ujf-grenoble.fr

La partie sud du Grésivaudan  
Vue de Saint-Nizier

son eau que très lentement. Le trop-plein de la nappe n'est pas ici évacué par les nombreux canaux de drainage. Malgré ces canaux le sol reste marécageux en toute saison. C'est l'évapotranspiration, plus que les canaux qui puise dans les réserves de la nappe.

Une situation identique se retrouve entre Montbonnot et La Tronche. Ici existe une très grande épaisseur de sable argileux (plus de 70 mètres à La Tronche, plus de 45 mètres à Meylan) présentant une très faible perméabilité et une très grande porosité. Le tracé des courbes isopièzes est le même sur toutes les cartes.

Dans la partie amont de la rive droite, au contraire, la nappe réagit rapidement. L'influence des apports des versants n'est plus permanente et la zone latérale peut, en certaine période disparaître complètement, entre Le Touvet et La Gache par exemple en rive droite.

En rive gauche, les cônes de déjections beaucoup plus nombreux mais rarement très importants, donnent au tracé des courbes isopièzes une allure oblique, qui se retrouve, en toute saison, du Cheylas jusqu'à Gières. Seule la partie amont de cette rive gauche, entre Le Cheylas et Pontcharra est différente. Ici, on est dans le même cas que dans la partie amont de la rive droite : en certaine saison la zone latérale peut disparaître complètement.

Au niveau de Frogès on assiste, en période de basses eaux, à une dissymétrie entre la rive gauche et la rive droite. En effet, en rive droite la nappe reste haute avec un fort gradient perpendiculaire à l'axe de la vallée ; en rive gauche par contre, la nappe a un très faible gradient selon cette direction.

En résumé, on peut dire que l'écoulement sur les flancs de la vallée est fonction des apports par les versants que nous verrons dans le prochain chapitre et de la perméabilité des terrains qui forment ces flancs.

b) Écoulement dans la partie centrale de la vallée.

L'écoulement de la nappe dans la partie centrale de la vallée s'il est fortement influencé par l'Isère, montre tout de même des particularités notables.

- La pente de la nappe.

La figure 13 met en parallèle la pente de la nappe avec la pente moyenne du lit de l'Isère, donc avec la pente moyenne de la vallée.

Dans la partie amont de la vallée deux "rapides" apparaissent dans la pente de la nappe, l'un au niveau de Tencin, l'autre en amont de Goncelin.

Dans ce dernier cas, la forte pente de la nappe peut s'expliquer par la présence d'un "étroit" créé, en rive droite par le cône de déjections du torrent de Bresson et en rive gauche par le cône de déjections du ruisseau de Goncelin. La géophysique le confirme en mettant en évidence la présence de formations imperméables en rive droite et la présence d'un chenal perméable assez étroit sous le lit mineur actuel de l'Isère.

La situation est identique quoique moins nette pour la zone de Tencin. En rive gauche, il existe des formations imperméables à faible profondeur (10 à 20 mètres) sur lesquelles s'appuie le cône de déjections du Merdaret. En rive droite, c'est le cône de déjections du ruisseau Carré qui vient apporter dans la plaine des éléments peu perméables.

Sur la carte isopièze dressée les 12 et 13 juin 1968 une zone à forte pente apparaît en amont de Lancey. Cette forte pente de la nappe est due à la coupure de la boucle de Bois-Français.

Enfin, dans la partie aval de la vallée, entre Domène et Saint-Martin d'Hères, si la pente de la nappe reste parallèle à la pente du lit de l'Isère, à cause des sinuosités de ce dernier, la pente de la nappe présente des irrégularités par rapport à la pente de la vallée. Dans la boucle de la Taillat, par exemple, la nappe a souvent un fort gradient, parallèlement à l'axe de la vallée. Ce fort gradient se maintient grâce (ou à cause) à la présence de terrains très peu perméables dans le sous-sol de cette zone (voir fig. 7b).

Ceci nous amène au deuxième point remarquable, apparaissant sur ces cartes isopièzes.

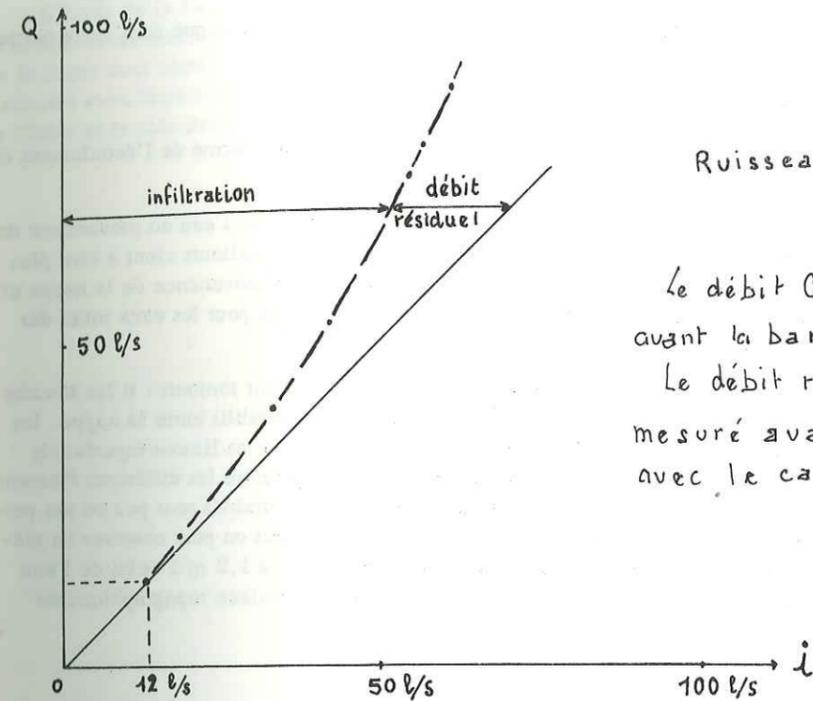
- Indépendance de la nappe par rapport au lit mineur de l'Isère.

Dans la partie amont de la vallée l'écoulement de la nappe semble lié étroitement au cours de l'Isère (pour ce qui est de la partie centrale de cet écoulement). En fait, on remarque que cet écoulement ne semble pas affecté par les coudes du lit mineur de la rivière (coude de Lumbin).

Dans la partie aval de la vallée, là où l'Isère décrit des boucles qui l'amène à couler parfois à contre pente,

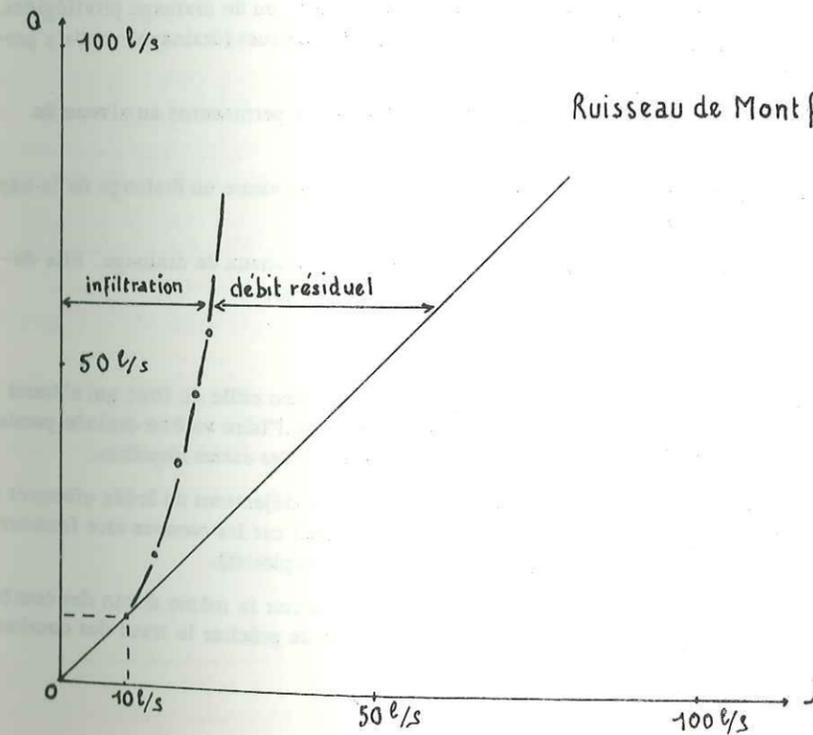
COURBE DE L'INFILTRATION EN FONCTION DU DÉBIT

fig.14



Ruisseau de Crolles

Le débit Q est mesuré avant la barre Tithonique  
Le débit résiduel est mesuré avant le confluent avec le canal de drainage



Ruisseau de Montfort

l'écoulement de la nappe reste parallèle à l'axe de la vallée et n'est perturbé en rien par ces sinuosités.

Si on compare, les cartes dressées avant et après la coupure de la boucle de Bois-Français, il est évident que seule la pente de la nappe a été modifiée, alors que la forme de l'écoulement n'a pratiquement pas changée.

Cette indépendance de l'écoulement par rapport au lit mineur de la rivière tient au fait que dans cette partie de la vallée, l'Isère coule juste au niveau de la plaine ; elle n'est ni surélevée ni enfoncée.

- Rôle des canaux de drainage.

Les cartes isopièzes montrent bien le rôle que jouent les canaux de drainage dans la forme de l'écoulement de la nappe.

Les canaux de drainage sont de deux sortes. Les uns sont alimentés uniquement par de l'eau en provenance de la nappe. De ce fait il arrive que ces canaux soient à sec, lorsque la nappe, drainée par ailleurs vient à être plus basse que le fond du lit de ces canaux. Les autres canaux sont alimentés par de l'eau en provenance de la nappe et en plus, ils reçoivent les eaux de certains ruisseaux et souvent aussi ils servent d'effluents pour les eaux usées des communes et des usines. Ces canaux coulent toute l'année.

Les canaux évacuent le trop-plein de la nappe. Mais le même phénomène intervient toujours : si les terrains drainés sont suffisamment perméables, le drainage se fait rapidement et l'équilibre se rétablit entre la nappe, les canaux et l'Isère. C'est le cas dans la zone comprise entre Pontcharra et Le Cheylas ; ici les limons superficiels sont presque complètement absents, la perméabilité d'ensemble est élevée, l'équilibre entre les différents éléments est très vite atteint. (carte isopièze des 2 et 3 juillet 1967). Si au contraire les terrains drainés sont peu ou pas perméables, l'équilibre n'est pratiquement jamais atteint. Dans la zone de Lumbin - Crolles on peut observer un piézomètre, placé en bordure d'un canal, où le niveau de la nappe est supérieur de 0,5 m à 1,2 m à celui de l'eau dans le canal. Dans cette zone le niveau moyen de la nappe se trouve au-dessus de la surface topographique en toutes saisons.

- Rôle des anciens chenaux de l'Isère.

L'étude du remplissage alluvial de la vallée nous a montré l'existence de nombreuses traces des anciens lits mineurs de l'Isère. Ces chenaux enterrés sous une couche plus ou moins mince de limons, ont en général une perméabilité d'ensemble plus forte.

Ces chenaux vont se traduire sur les cartes isopièzes par des zones d'alimentation ou de drainage privilégiées. La perméabilité d'ensemble étant plus forte, les ondes de crues (alimentation) ou de décrues (drainage) vont s'y propager plus vite que dans les alluvions alentour.

L'un de ces chenaux est bien visible et se caractérise par une alimentation quasi permanente au niveau de Crolles, juste à l'aval du coude de l'Isère.

Inversement, à Saint-Martin d'Hères, un des bras de l'ancienne boucle des Epars assure un drainage de la nappe dans cette zone, pratiquement en toutes saisons.

Malheureusement l'influence de ces chenaux est souvent masquée par celle des canaux de drainage. Elle demanderait, pour être bien observée, un réseau de points de mesure beaucoup plus dense.

c) Points particuliers.

La zone de Saint-Martin d'Hères constitue le confluent de la nappe de l'Isère avec celle du Drac qui s'étend sous la plaine de Grenoble. Cette dernière qui arrive perpendiculairement au cours de l'Isère va être drainée pendant toute la traversée de la ville. L'amorce de ce drainage est visible dans la partie aval des cartes isopièzes.

Dans la partie amont de la vallée, à l'aval de Pontcharra, les eaux du cône de déjections du Bréda viennent se mêler à celles de la nappe de l'Isère. Ceci n'apparaît pas bien sur les cartes isopièzes car les mesures sont faussées par d'importants pompages dans ce cône du Bréda (piézomètre à proximité de puits exploités).

Les différents cônes de déjections, en rive gauche tout au moins, doivent présenter le même dessin des courbes isopièzes que celui de Gières, mais faute de point de mesure il n'a pas été possible de préciser le tracé des courbes.

CONCLUSIONS SUR L'ÉCOULEMENT DE LA NAPPE.

L'étude de la forme de l'écoulement de la nappe a permis de déterminer deux zones distinctes dans cette nappe, de retrouver les observations faites sur le remplissage alluvial de la vallée et enfin elle permet de se faire une idée sur la façon dont cette nappe est alimentée. En effet, nous allons retrouver à propos de l'alimentation les deux zones distinctes avec leurs variations, nous allons voir à nouveau le rôle des canaux de drainage, le rôle des anciens lits de l'Isère et le rôle des sinuosités du lit actuel.

IV. - ALIMENTATION DE LA NAPPE. -

La forme de l'écoulement a déjà laissé entrevoir les différents modes d'alimentation de la nappe de la plaine du Grésivaudan.

Les apports "de la plaine" constituent la première source. Ils comportent la plus grande partie des eaux de pluie tombées sur cette plaine, et surtout les infiltrations à partir du lit de l'Isère. On peut noter qu'il existe aussi des infiltrations à partir des canaux de drainage et des affluents de l'Isère.

Les apports en provenance du versant rive gauche ont deux origines principales. Un débit important arrive de la nappe à partir des cônes de déjections. Une autre fraction provient des eaux de pluie tombées sur les premières pentes du versant et dont une grande partie n'est drainée par aucun cours d'eau permanent.

Les apports en provenance de la rive droite sont moins volumineux, à cause de la surface beaucoup plus réduite des bassins versants (85 km<sup>2</sup> au lieu de 250 pour la rive gauche). Si la morphologie du versant est assez variée, la circulation des eaux, par contre, obéit à peu près toujours aux mêmes règles.

A. - ALIMENTATION PAR LES APPORTS DE LA PLAINE. -

1. - ALIMENTATION DE LA NAPPE A PARTIR DES EAUX DE PLUIE TOMBEES SUR LA PLAINE. -

A la surface de la plaine du Grésivaudan, le ruissellement étant pratiquement nul, les eaux de pluie se partagent entre l'infiltration et l'évapotranspiration. La hauteur d'eau moyenne recueillie chaque année est de 1125 mm.

L'évapotranspiration peut être calculée à partir des données fournies par l'évaporomètre d'Eybens et en appliquant à ces résultats un coefficient de 0,80 dû à la nature des terrains superficiels de la vallée et à la proximité de la nappe.

Le chiffre obtenu pour la plaine du Grésivaudan est alors de 380 à 400 mm/an pour une pluviosité de 1100 à 1150 mm/an.

La surface de la plaine est de l'ordre de 110 km<sup>2</sup>. Il est alors possible de calculer le volume d'eau qui s'infiltrera chaque année sur cette surface.

$$V = (P - E) S$$

- V : volume d'eau infiltré par an en mètre cube
- P : pluviométrie moyenne en mètre
- E : évapotranspiration moyenne en mètre
- S : surface de la plaine en mètre carré

$$V = (1,125 - 0,400) 1.10^7$$

$$V = 0,725 \cdot 1.10^7$$

$$V = 10^7 \text{ m}^3/\text{an}$$

V = 108 millions de mètres cube par an.

soit 2,5 m<sup>3</sup> par seconde.

Ce chiffre représente une alimentation potentielle et non une alimentation réelle. En effet les canaux de drainage évacuent le trop-plein de la nappe.

2. - ALIMENTATION DE LA NAPPE PAR L'ISERE. -

L'étude des cartes isopièzes montre que dans certaines zones la rivière alimente sa nappe alors que dans d'autres elle la draine. En fait, si on analyse les mouvements réciproques du niveau de la rivière et de celui de la nappe, il semble qu'en chaque point, les deux phénomènes puissent avoir lieu successivement.

A partir d'un état d'équilibre, c'est-à-dire d'un état où les niveaux de la nappe et de la rivière sont identiques, voyons ce qu'il se passe lorsque l'un des facteurs varie.

Il peut arriver que le niveau de l'Isère varie brutalement (plus de 1,50 m en 24 heures), par contre le niveau de la nappe varie plus lentement.

Si donc à partir de l'état d'équilibre, le niveau de la rivière monte brusquement de 1 mètre, la nappe va se trouver en-dessous de la rivière : il va y avoir transfert d'eau de la rivière vers la nappe et cela jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit réalisé. Ce mouvement ascendant de la nappe va se faire d'autant plus lentement que les digues sont moins perméables. Quelques chiffres permettront plus loin d'avoir une idée de cette perméabilité.

Si, pendant que l'équilibre est en train de s'établir, la décrue s'amorce sur la rivière, le niveau de celle-ci va baisser et bientôt se trouver au-dessous de celui de la nappe. Dans la partie en bordure des digues, l'Isère va drainer la nappe, mais vers l'intérieur le niveau de la nappe va continuer à monter : l'onde de crue continue à se propager dans la nappe.

Dans la réalité, on assiste en permanence à ces deux processus. Le seul facteur qui varie d'un point à l'autre de la vallée, c'est la vitesse avec laquelle l'équilibre tend à être réalisé, c'est-à-dire en fait, la perméabilité des terrains traversés par l'onde de crue dans la nappe.

Sur la carte de nappe des 2 et 3 juillet 1967, la partie de la vallée située au droit du village du Cheylas montre un état d'équilibre à peu près parfait. L'Isère, la nappe et les canaux sont au même niveau. Cela n'est pas le fait d'un hasard heureux, mais tient à la nature du remplissage alluvial. Ici il n'existe pas de couche superficielle à faible perméabilité. La zone de battement de la nappe est entièrement située dans des alluvions grossières où les ondes de crues se propagent relativement vite.

Dans d'autres secteurs (aval de Lumbin, Meylan) la nappe n'arrive jamais à l'état d'équilibre à cause justement de la trop faible perméabilité des terrains dans lesquels se fait le battement de la nappe.

La présence de canaux de drainage parallèles à l'Isère sur les deux rives et sur presque toute la longueur de la vallée, en imposant un niveau peu variable, limite l'influence visible de l'alimentation de la nappe par la rivière. Nous verrons plus loin que cette limite dynamique très marquée sur les cartes isopièzes, est différente de la limite donnée par les études physico-chimiques faites sur les eaux de la nappe.

Les ondes de crues et de décrues se propagent à des vitesses qui sont proportionnelles à la perméabilité du milieu traversé, bien que supérieure à cette perméabilité (la perméabilité est une vitesse). Les terrains traversés étant hétérogènes, la perméabilité varie d'un point à un autre. Ceci est particulièrement vrai pour les anciens chenaux de l'Isère. Ces chenaux à forte perméabilité vont pouvoir transmettre des ondes de crues de faibles amplitudes qui ailleurs seraient très vite amorties. Ce sont donc des points privilégiés pour l'alimentation.

A l'aval du coude de l'Isère situé au droit de Frogès, un tel chenal est très visible sur les cartes isopièzes. La suite de cet ancien lit mineur a été retrouvé par géophysique (prospection électrique) lors des travaux de recherche d'eau pour la zone industrielle de Crolles.

Ces chenaux offrent des possibilités d'alimentation potentielle en cas d'exploitation de la nappe. Si en effet on déprime la nappe par pompage, dans une zone traversée par un tel chenal, on crée les conditions d'une alimentation permanente puisque l'équilibre ne peut jamais être atteint. Les apports en provenance de la rivière ne sont alors limités que par la transmissivité du remplissage.

Après la traversée de Lancey, l'Isère se met à décrire des boucles qui peuvent même devenir de véritables méandres. La rivière, à ce moment là, coule dans des directions qui n'ont rien de commun avec l'axe de la vallée. Par endroit même, l'écoulement remonte la pente de la vallée, à l'aval de Murianette, par exemple.

Par contre les cartes isopièzes ne montrent pas de changement dans la direction de l'écoulement, dans cette même zone, comme nous l'avons vu précédemment.

Il arrive donc que la rivière coule parallèlement aux isopièzes, ce qui implique que la nappe est au-dessus de la rivière côté amont et au-dessous côté aval. Il y a donc drainage de la nappe du côté amont et alimentation du côté aval.

Sur les cartes isopièzes des 2 et 3 juillet et 3 octobre 1967 cette situation est très marquée, entre Lancey et Le Versoud et à l'aval de Domène jusqu'au niveau de La Tronche.

Par contre, sur la carte isopièze des 12 et 13 juin 1968, entre Lancey et Le Versoud, l'Isère draine la nappe quasiment partout. Cela tient tout simplement à la récente coupure de la boucle de Bois-Français intervenue au cours du premier trimestre de 1968.

Dans la branche aval de la boucle de la Taillat, il ne semble pas que l'alimentation se fasse toujours avec la même régularité sur toute la longueur de cette branche. En effet les mesures faites sur certains points montrent un colmatage assez important de la digue, au droit de Gières surtout.

Cette forme d'alimentation de la nappe n'est pas chiffrable. Mais ici aussi il y a une alimentation potentielle très intéressante du point de vue économique.

#### Evaluation de l'alimentation par l'Isère.

Un chiffre représentant la somme des apports de l'Isère à la nappe n'a pas de sens, si on se penche un instant sur le cycle de l'eau qui s'infiltré de la rivière dans la nappe.

En effet, si en un point quelconque où la rivière est plus haute que la nappe, il se produit une infiltration, cette eau finira par rejoindre un des canaux de drainage et par là retournera à la rivière.

Ce qu'il faut donc essayer de calculer c'est l'alimentation potentielle. Celle-ci dépend d'une part de la perméabilité des digues et d'autre part du gradient, c'est-à-dire de la différence existant entre les niveaux de la rivière et de la nappe.

Le gradient, à la suite d'une crue de la rivière va varier selon la courbe représentée ci-dessous.



De 0 il va commencer par augmenter rapidement tant que le niveau de l'eau monte dans la rivière ; ensuite il va baisser lentement au fur et à mesure que le niveau de la nappe tend vers l'équilibre. La valeur maximale atteinte pour une crue de 2 mètres est de 2/10 (10 mètres = largeur de la digue).

La valeur de la perméabilité K est plus intéressante à connaître. Pendant les travaux de la voie express Grenoble - Le Touvet, de nombreuses gravières ont été creusées, pour fournir les éléments nécessaires au remblai. L'une d'elles, aux Iles du Rafour, à l'amont du pont de Brignoud s'étendait sur 200 mètres le long de la digue de

l'Isère. Sa profondeur était de 12 m soit 10 m au-dessous du niveau de la nappe en ce point. Pour maintenir le niveau de la nappe à -10 m pendant les travaux il fallait pomper 2,5 m<sup>3</sup>/seconde. On peut estimer à 0,5 m<sup>3</sup>/s les apports de la nappe et à 2 m<sup>3</sup>/s ceux de l'Isère. Cela correspond aux observations faites à ce moment là.

En appliquant la formule

$$Q = KSi$$

on va pouvoir calculer K la perméabilité de la digue en ce point.

On a largeur de la digue : 10 m  
débit fourni par l'Isère : Q = 2 m<sup>3</sup>/S  
longueur de la gravière : 200 m  
hauteur du rabattement : h = 10 m

$$S = 10 \cdot 200 = 2000$$

$$K = Q/Si$$

$$i = 10/10$$

$$i = 1$$

$$K = 2/2000 \cdot 1$$

$$K = 10^{-3} \text{ m/seconde}$$

A partir de là pour une crue élevant le niveau de l'Isère de 1 mètre sur 1 kilomètre de long le débit fourni par la rivière à la nappe serait de :

$$Q = KSi$$

avec :

$$i = 1/10 = 10^{-1}$$

$$S = 1 \cdot 1000 = 10^3$$

$$K = 10^{-3}$$

$$Q = 10^{-3} \cdot 10^3 \cdot 10^{-1}$$

$$Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s} = 100 \text{ litres par seconde.}$$

Ce chiffre semble fort. D'une part la perméabilité des digues doit être souvent inférieure à 10<sup>-3</sup>; d'autre part le gradient baisse au fur et à mesure que le niveau de la nappe monte.

Si on tient compte de cette baisse du gradient, on peut évaluer le volume total fourni par la nappe par la rivière en un temps donné. Le volume d'eau Q apporté à la nappe entre le temps t<sub>0</sub> et le temps t<sub>1</sub> est alors

$$Q = K S \int_{t_0}^{t_1} i \, dt = KS \left[ \frac{i^2}{2} \right]_{t_0}^{t_1}$$

### 3. - ALIMENTATION PAR LES CANAUX DE DRAINAGE.

Un certain nombre de canaux de drainage servent, nous l'avons vu plus haut d'exutoires aux eaux usées d'usines ou de communes. D'autres reçoivent les eaux de petits torrents. Le niveau de ces canaux est donc maintenu artificiellement par des eaux autres que celles prises à la nappe. Ces canaux peuvent se trouver au-dessus de la nappe à certaine période et de ce fait alimenter la nappe. Les débits ainsi fournis restent faibles car le fond de ces canaux se colmate plus facilement que celui d'une rivière ou d'un torrent. Il n'y a pas, en effet de crue brutale pour décolmater, pour entraîner les dépôts fins.

Les cartes isopièzes montrent quelques exemples de telles situations en amont de Lancey, à Pontcharra etc...

L'alimentation de la nappe par les canaux peut être utilisée artificiellement pour maintenir dans un secteur donné la nappe à un niveau donné. Dans ce cas là, il faudrait entretenir avec soin le canal afin d'éviter un colmatage rapide. La réalimentation d'une zone sollicitée par pompage pourrait être envisagée de la même manière.

Il est inutile de vouloir chiffrer les apports par les canaux car dans tous les cas, ces apports ont été comptés ailleurs.

Le seul cas envisageable serait celui des canaux alimentés par des cours d'eau superficiels, mais il s'agit toujours de ruisseaux temporaires qui ne coulent qu'après de fortes pluies. Ces apports interviennent avec ceux des versants.

Le cas du canal qui coule à l'aval de Pontcharra est un peu différent puisqu'il s'agit du canal de fuite d'une petite usine hydroélectrique située sur le Bréda. Ce canal coule très au-dessus de la nappe (au moins 10 mètres) ; il est cimenté en partie, mais les fuites existent tout de même. Il y a là une alimentation permanente qui ne doit pas être très importante, puisque la nappe ne se raccorde jamais avec le niveau du canal. Il pourrait toutefois facilement servir pour réalimenter la nappe qui, ici, est déjà activement exploitée par l'industrie du papier.

#### 4. - ALIMENTATION PAR LES AFFLUENTS DE L'ISERE. -

Seule la partie du cours de ces affluents qui se trouve dans la plaine est considérée ici. Au débouché de leur cône de déjections tous ces ruisseaux se trouvent à une cote supérieure à celle de la nappe, il y a donc transfert d'eau du ruisseau à la nappe. Les infiltrations sont d'autant plus faciles et plus importantes que le cours d'eau est soumis à des crues et des décrues qui nettoient son lit et empêchent ainsi le colmatage.

Le gradient étant fort, les débits ainsi apportés à la nappe peuvent être conséquents, de 5 à 25 l/s pour un parcours dans la plaine de 200 à 1000 mètres.

#### B. - ALIMENTATION DE LA NAPPE PAR LES APPORTS DU VERSANT DE LA RIVE GAUCHE. -

##### 1. - GEOLOGIE ET MORPHOLOGIE. -

Les bassins versants de la rive gauche du Grésivaudan couvrent une superficie de 250 km<sup>2</sup>. Ils sont formés de terrains cristallins dans la partie supérieure ; les marno-calcaires du Lias et du Jurassique moyen constituent les collines liasiques des anciens auteurs : elles représentent la partie moyenne et inférieure de ces bassins versants. Entre les deux existent des affleurements de Houiller, de Permien et de Trias qui ont de l'extension surtout entre Theys et Allevard.

Ce substratum rocheux est recouvert en grande partie par des formations glaciaires anciennes ou récentes. De haut en bas ces bassins versants peuvent se diviser en plusieurs zones :

Les sommets cristallins et les plus hautes pentes représentent la zone des cirques glaciaires récents. La circulation des eaux, tant superficielle que souterraine est conditionnée par la fissuration et la fracturation des roches en place d'une part, et par la présence des cirques glaciaires avec leurs cortèges de moraines. Cet ensemble, fortement arrosé (1600 à 2000 mm de pluie par an) constitue une réserve aquifère importante. La neige et les névés assurent la régulière distribution de l'eau jusqu'à la fin de l'été. Les seuls mois d'étiage sont ceux de janvier et février.

En-dessous de ces cirques glaciaires, on arrive à une zone de cols par l'intermédiaire de pentes plus ou moins chaotiques. On trouve là quelques affleurements de Houiller qui furent exploités à La Boutière et à Saint-Mury (où existe une couche d'anthracite qui atteint par endroit 50 m d'épaisseur) ; le Trias sous forme de gypse, de cargneules ou de dolomies donne souvent les passages chaotiques ; des écailles de Lias viennent s'intercaler dedans. Les cols correspondent en général à la partie schisteuse du Lias, c'est-à-dire à un ensemble plus tendre.

La circulation des eaux est ici très anarchique ; seuls les torrents importants coulant au fond de gorges étroites donnent un réseau hiérarchisé. Pour le reste tous les terrains étant fissurés et fracturés c'est le domaine de petites sources.

A cette altitude cohabitent des moraines de glaciers locaux et des moraines anciennes dont l'âge est difficile à fixer. Cette couverture, souvent imperméable, mais très poreuse, joue elle aussi le rôle de réservoir alimentant de multiples petites sources.

A partir des cols, on arrive à la zone des collines liasiques proprement dite. Elle est en fait en majeure partie formée des calcaires marneux du Jurassique moyen. Ces assises assez tendres et très plissées donnent une série de bosses arrondies qui dominent la vallée du Grésivaudan. Ces collines se raccordent à la vallée par une série de marches d'escalier séparées par des pentes assez fortes. On retrouve là aussi de nombreux placages glaciaires et des moraines latérales des glaciers qui sont passés dans le Grésivaudan.

Du point de vue de la morphologie, on peut distinguer trois zones :

- la zone des collines,
- la zone des gouttières,
- la zone de raccord.

La zone des collines est le domaine de la forêt et des prairies. La roche en place n'est visible qu'en de rares endroits ; elle se montre toujours très altérée. Les placages glaciaires ont très rarement des formes identifiables. La circulation des eaux se fait pratiquement uniquement par percolation dans ces terrains poreux mais peu perméables ou dans la couche superficielle altérée des calcaires marneux. Le ruissellement est nul sauf après les gros orages en de rares talwegs qui rejoignent les torrents.

La zone des gouttières est ainsi appelée en raison de la présence de sillons subparallèles à l'axe de la vallée du Grésivaudan, creusés dans les calcaires marneux et comblés par des dépôts glaciaires ou fluvio-glaciaires. Ces sillons sont d'origine glaciaire, mais il est difficile de dire s'ils correspondent à des stades successifs de creusement de la vallée, ou à des torrents sous-glaciaires.

Dans cette zone aussi le ruissellement est pratiquement nul. Les eaux s'accumulent dans ces gouttières où existent parfois des petits marais. Des sources évacuent le trop-plein du côté aval.

La zone de raccord entre les collines et la plaine est le plus souvent constituée par un panneau, à pente forte qui s'enfonce sous les alluvions dans la vallée. Ces panneaux sont dans la partie sud de la vallée constitués de couches parallèles à la pente topographique (le pendage varie entre 25 et 35°). Mais au Cheylas par exemple, ces assises marno-calcaires représentent le flanc inverse d'un pli déversé : le pendage est dirigé vers l'Est et non plus vers l'Ouest comme au Sud. Dans ce cas là des phénomènes de fauchage viennent souvent accentuer le pendage apparent. Lorsqu'il y a ainsi fauchage, l'altération qui dans ces calcaires marneux affecte une épaisseur de 50 cm à 1 m selon le degré de schistosité, peut s'étendre beaucoup plus profondément sans qu'il soit possible de chiffrer cette profondeur. Sur ces panneaux même lorsque le pendage est conforme, le ruissellement est nul ; la roche en effet n'affleure pas naturellement : seules les carrières permettent de faire des observations.

L'ensemble des collines liasiques est découpé en blocs séparés par les torrents qui descendent des sommets de Belledonne. Ils ont creusé des gorges profondes dans ces couches plus tendres du Jurassique moyen et amènent à la plaine les eaux des sommets. Ils se raccordent à cette plaine par des cônes de déjections dont nous allons voir le rôle plus loin.

En résumé, les bassins versants de la rive gauche du Grésivaudan se divisent en une zone drainée par les torrents (la partie supérieure et moyenne) et une zone pratiquement pas drainée par un réseau hydrographique (la partie inférieure).

##### 2. - LES MODES D'ALIMENTATION DE LA NAPPE. -

L'alimentation de la nappe par les apports du versant rive gauche se fait de trois façons différentes et inégales :

- par les cônes de déjections,
- par les eaux tombées sur les panneaux non drainés,
- par des failles (cette dernière solution est hypothétique).

###### a) Les cônes de déjections.

Il existe en rive gauche de la vallée du Grésivaudan 15 cônes de déjections. Ils sont tous stabilisés depuis longtemps et le torrent coule maintenant dans un lit fixé par des digues. Le lit de ces torrents n'est pratiquement

jamais colmaté ; en effet la pente de ce lit est toujours très forte, ce qui permet à la charge solide en particules fines d'être évacuée facilement. D'autre part, à chaque crue ce lit est lessivé.

Les coupes artificielles (tranchées de route, fondations) et les sondages ont montré qu'il ne s'agit pas de cône de déjections au sens strict du terme. Les dépôts sont bien stratifiés en lentilles très étendues ; la stratification entrecroisée n'existe que dans la partie amont de ces cônes. La circulation des eaux souterraines s'y fait en nappe et non pas en chenaux.

Les eaux des torrents s'infiltrent dans ces cônes et par là gagnent la nappe. Les cartes isopièzes permettent, lorsqu'il existe des points d'observation, de suivre cette alimentation. Le cône du Sonnant, à Gières grâce aux points d'observation, est bien marqué sur chaque carte.

A Domène, si les points d'observation manquent pour dessiner la surface piézométrique, la présence d'usines qui exploitent les eaux du cône de déjections du Domeynon, permet d'avoir une idée sur les débits qui transitent après ce cône. A l'aide de 6 puits dont un à drains rayonnants, c'est un débit de l'ordre de 1000 m<sup>3</sup>/heure qui est extrait du cône de déjections pratiquement 24 heures sur 24. Ces puits couvrent une surface relativement restreinte du cône.

A Brignoud, dans le cône de déjections du ruisseau du Muret, des installations de pompage qui sollicitent un peu moins de la moitié de la surface du cône fournissent un débit de 1000 m<sup>3</sup>/heure. La transmissivité déterminée après essai de pompage est de l'ordre de 3.10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/seconde.

Ces exemples montrent bien l'importance de ce mode d'alimentation de la nappe. Nous verrons plus loin comment essayer de chiffrer ces apports. Les plus importants de ces cônes sont ceinturés par des canaux de drainage qui absorbent "le trop-plein" ou plutôt le surplus de cette alimentation. Ces canaux éliminent ainsi les zones marécageuses qui devraient normalement exister à la limite entre les cônes et la plaine, qui est toujours marquée par une rupture de pente bien visible dans la topographie surtout du côté aval.

b) Les panneaux "non drainés".

La plus grande partie du flanc occidental des collines liasiques n'est pas drainée par un réseau hydrographique permanent, ou même n'est pas drainée du tout. Les interfluves sont très étendus entre les talwegs. Ceci peut paraître en contradiction avec le fait que la roche qui forme le substratum est imperméable. Mais la pente des versants, l'existence d'une couverture végétale continue et d'un sol assez épais assurent l'écoulement des eaux de pluie sans qu'il se forme de véritable ruissellement, donc sans possibilité de mise en place d'un réseau hydrographique hiérarchisé.

La couche superficielle qui comprend le sol sensu stricto, les dépôts d'origine glaciaire et la partie altérée des bancs de calcaire marneux se sature d'eau et restitue ensuite cette eau soit par des sources, soit directement à la nappe.

Cette structure et ce régime hydrogéologique favorise les glissements de terrain. Il en existe un très bel exemple aux fermes du Nan entre Froges et La Pierre.

L'alimentation de la nappe par ce phénomène est plus irrégulier que celle qui se fait par les cônes de déjections. En effet, le réservoir que représente cette couche poreuse qui surmonte les calcaires marneux non altérés n'est pas très important. Il se sature assez vite mais il se vide aussi assez vite. Lorsqu'il est saturé, l'eau de pluie arrive très rapidement à la nappe. C'est ainsi qu'en février 1968, il a été possible d'observer dans la région de Froges des montées de la nappe de 1 mètre en 24 heures, après une fonte des neiges brutale.

Ces panneaux alimentent tout de même des zones qui sont activement et régulièrement exploitées. Au Cheylas, les forges sont alimentées en eau par 4 puits situés à une distance de 100 à 200 mètres du pied du versant. Ces puits fournissent un débit de 600 m<sup>3</sup>/heure. Cette eau provient pour moitié de la Montagne de Bramefarine qui est un de ces panneaux non drainés.

c) Alimentation éventuelle par des failles.

Le substratum rocheux est affecté de nombreuses failles plus ou moins importantes. La plupart des sources qui jaillissent sur le versant se localisent sur ces failles, qui jouent un rôle de drain. On peut penser qu'un tel phénomène se poursuit sous les alluvions.

A l'aval de Domène existait une source chaude (25°) et minéralisée, de débit faible \*. Pourtant un marais qui faisait suite au cône de déjections du Domeynon en cet endroit ne gelait jamais, ce qui implique des apports plus importants que ceux représentés par le débit de la source. Malheureusement le marais a été remblayé et des immeubles construits à sa place. La source elle aussi a disparu.

Il est probable que le phénomène existe un peu partout dans la vallée mais les débits ainsi apportés à la nappe doivent être assez faibles et ne peuvent être mis en évidence ni par les cartes isopièzes, ni par les études chimiques et physiques.

W. KILIAN<sup>1</sup> signale, outre cette source de Domène, d'autres sources thermominérales dans la vallée du Grésivaudan, mais sur la rive droite. Celles-ci semblent toutes liées à l'oxydation des pyrites dans les marnes du Callovoxfordien (à Corenc, à La Terrasse).

En résumé, on peut dire que cette alimentation, lorsqu'elle existe, représente une fraction si faible de l'alimentation totale qu'elle ne peut pas être mesurée avec les moyens dont nous disposons. Peut-être que l'étude des oligoéléments contenus dans les eaux de la nappe donnerait des renseignements sur ce problème.

Les eaux d'Uriage et d'Alleverd n'ont pas leur équivalent dans la vallée du Grésivaudan.

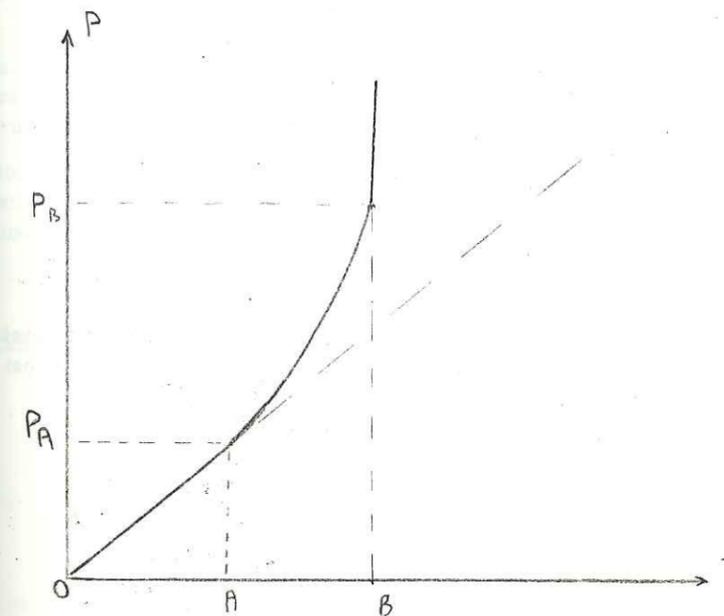
Les travaux souterrains (galerie E.D.F. à Saint-Maximin, galerie de reconnaissance E.D.F. au Cheylas) confirment la faiblesse des débits dans les calcaires marneux du substratum.

3. - EVALUATION DES APPORTS DU VERSANT RIVE GAUCHE. -

Les mesures manquent sur cette rive pour chiffrer les variations des apports avec la saison.

Pour les panneaux non drainés, les débits arrivant à la nappe sont proportionnels à la pluviométrie et cela sans limite, si on considère l'alimentation potentielle. En fait, au-delà d'un certain niveau de la nappe ce sont les canaux de drainage qui récupèrent les eaux de pluie et les restituent directement à l'Isère.

Pour les cônes de déjections, l'infiltration est limitée selon la courbe théorique suivante :



\* - W. KILIAN, 1902

Tant que la pluviométrie est inférieure à Pa, tout le débit s'infiltré dans le cône de déjections. De Pa à Pb l'infiltration augmente moins vite que la pluviométrie. A Pb le cône de déjections est saturé, l'infiltration n'augmente plus.

Pour la rive gauche le seuil Pa est toujours dépassé pour tous les torrents qui descendent de Belledonne, et rien ne peut donner une idée de la valeur Pb. Si on se reporte au niveau piézométrique dans les cônes de déjections, on constate que le battement de la nappe y est peu différent de celui qui existe dans la plaine ; cela tiendrait à démontrer que les infiltrations sont à peu près constantes.

a) Calcul des débits pour les cônes de déjections.

On peut, connaissant la perméabilité, l'épaisseur de la couche aquifère, et le gradient, calculer le débit qui transite selon une section donnée de largeur L.

$$Q = L h i K$$

ou  $Q = L T i$

si l'on connaît la transmissivité  $T = K h$ .

Pour le cône de déjections du Bréda, à Pontcharra, la transmissivité a été calculée après un essai de pompage ; elle est de  $5 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/seconde. La section a 1 kilomètre de large et le gradient est de l'ordre de  $2 \cdot 10^{-2}$ . On a donc

$$Q = 1000 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-2}$$

$$Q = 1 \text{ m}^3/\text{seconde.}$$

Pour le cône du torrent du Muret, à Brignoud ou  $T = 3 \cdot 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/seconde,  $L = 1000$  m, et  $i = 10^{-2}$

$$Q = 0,3 \text{ m}^3/\text{seconde.}$$

Ce chiffre semble faible étant donné qu'il correspond au débit actuellement exploité et que cette exploitation ne concerne que la moitié du cône de déjections.

Il semble que 500 litres par seconde soit une valeur raisonnable pour les cônes des torrents qui descendent de Belledonne. Ils sont 9 dans ce cas là, ce qui donne un débit de 4,5 m<sup>3</sup>/seconde.

Les débits apportés par les cônes de déjections des petits torrents dont le bassin versant est situé entièrement dans les collines liasiques seront calculés avec ceux fournis par les panneaux non drainés.

b) Calcul des débits apportés à la nappe par les panneaux non drainés.

La surface des panneaux qui ne sont drainés par aucun torrents pérennes est de l'ordre de 50 km<sup>2</sup>. Cette surface reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de 1200 mm d'eau ce qui représente un volume de :

$$V = S \cdot P,$$

$$V = 5 \cdot 10^7 \cdot 1,2$$

$$V = 6 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \text{ par an}$$

soit 60 000 000 de mètres cube par an.

L'évapotranspiration est de l'ordre de 350 mm par an pour cette zone. Le ruissellement n'intervient qu'après de gros orages et n'évacue en moyenne que 150 mm par an. Une partie de ce ruissellement arrive à la nappe par les petits cônes de déjections, mais on peut le négliger.

Le volume d'eau qui arrive à la nappe est donc de :

$$Q = V - (E + R)$$

E : évapotranspiration.

R : ruissellement

ou

$$Q = S \cdot P - (E + R)$$

avec P, E, et R exprimé en mètre par an

$$Q = 5 \cdot 10^7 \cdot 1,2 - (0,35 + 0,15)$$

$$Q = 35 \text{ 000 000 de mètres cube par an}$$

soit un peu plus de 4 000 mètres cube/heure pour l'ensemble de ces panneaux.

Au total le versant rive gauche fournit à la nappe un débit de l'ordre de 6 m<sup>3</sup>/seconde.

C. - ALIMENTATION DE LA NAPPE PAR LES APPORTS DU VERSANT RIVE DROITE. -

1. - RAPPEL GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE. -

La rive droite de la vallée du Grésivaudan offre une structure géologique relativement simple. A l'exception de la région du Manival, les couches superposées se différencient par leur dureté relative et donnent une succession de corniches et de pentes plus douces. Ces falaises se suivent sur des kilomètres parallèlement à l'axe de la vallée.

Si la dureté des différentes couches a marqué la morphologie dans la partie supérieure du versant, ce sont les dépôts quaternaires d'origines différentes qui modèlent le paysage et règlent la circulation des eaux souterraines à la partie basse de ce versant.

La falaise urgonienne représente la couronne de ce versant, couronne dont la Dent de Crolles serait le plus beau joyau. La falaise tithonique représente elle la ceinture, d'où pendent, à la saison des pluies les cascades des torrents. Les pentes qui séparent ces assises dures sont tapissées d'éboulis souvent très altérés et couverts de végétation. Sous la falaise tithonique, la situation est la même et le raccord avec la plaine alluviale se fait par l'intermédiaire de différentes formations quaternaires : des cônes de déjections, des dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires ou des alluvions anciennes. Quelques pointements de calcaires marneux du Jurassique moyen apparaissent de place en place entre ces dépôts récents.

La partie supérieure.

Entre le Granier, à l'amont du Grésivaudan et la Dent de Crolles, le versant ouest de la vallée est dominé par une double falaise ; la barre urgonienne au sommet qui dépasse 2000 m d'altitude, la barre tithonique située entre 800 et 900 mètres.

Les pentes situées au-dessus de la falaise tithonique n'interviennent pas dans l'hydrogéologie de la vallée. En effet, les interlits marneux qui se trouvent au-dessus et au-dessous empêchent toutes circulations aquifères souterraines. Les eaux qui s'infiltrent dans cette partie du versant peuvent rejoindre les réseaux karstiques du massif de la Chartreuse, le pendage des couches facilitant cette éventualité. Les eaux de ruissellement franchissent la barre tithonique par des cascades peu nombreuses et rarement permanentes.

Les pentes sous la falaise tithonique disparaissent le plus souvent sous une épaisse couche d'éboulis très altérés. Seules les coupes naturelles des ravins permettent de voir les termes inférieurs de la série stratigraphique. Tous ces terrains à dominante marneuse sont imperméables. Les éboulis sont le plus souvent envahis de végétation.

Au Sud de la Dent de Crolles, la falaise urgonienne disparaît et l'on retrouve la falaise tithonique formant la crête topographique, à une altitude de 1300 mètres. Les pentes d'éboulis prennent de l'importance. Des complications d'ordre tectonique font réapparaître le Jurassique moyen en divers endroits de la pente vers Corenc, alors qu'à Montbonnot il se trouve au contact de la plaine alluviale.

Cette zone est caractérisée par une absence presque totale de ruissellement superficiel.

La partie inférieure.

Du Nord au Sud, on peut la diviser en plusieurs ensembles différents :

- la banquette de Barraux
- le cône de déjections du ruisseau de Bresson
- la zone du Touvet-Bernin
- la montagne de Saint-Nazaire et le Manival
- la côte de Montbonnot
- la zone de Meylan-Corenc

La banquette de Barraux.

Elle est formée de dépôts d'origine diverse mais où les influences glaciaires prédominent. Ces dépôts quaternaires s'appuient sur les calcaires marneux du Jurassique moyen qui affleurent sous le Fort Barraux et en bordure de

la route Barraux - La Gache. On le retrouve à la cote 300 dans le lit du ruisseau d'Alloix, au Sud de cette banquette. Les dépôts quaternaires sont constitués de sables et graviers avec des zones argileuses et des lits de lignite peu épais. Au-dessus du village de La Buisnière à la cote 300, une carrière montre une coupe de delta lacustre très caractéristique avec stratification oblique et orientation des galets. C'est une trace d'un épisode lacustre de l'histoire de la vallée du Grésivaudan, antérieure probablement au dernier passage des glaciers dans la vallée.

A Sainte-Marie-d'Alloix, dans une sablière, on peut voir une faille dans les dépôts quaternaires. Cet accident affecte des sables en stratification entrecroisée avec de petits lits de gravier qui servent de repère. Le rejet de la faille est de 30 à 40 cm. La direction de la faille est à peu près parallèle à l'axe de la vallée. Le compartiment relevé est celui qui est situé du côté de la vallée. Il y a peut-être là un témoin du relèvement isostatique de la vallée du Grésivaudan, par rapport aux reliefs qui l'entourent.

Du point de vue hydrogéologique, il faut voir que tous les terrains quaternaires de la banquette de Barraux sont très poreux et ont une perméabilité qui est toujours infiniment supérieure à celle des assises du substratum rocheux. Ce substratum rocheux est certainement surcreusé dans l'axe de la route Saint-Vincent-de-Mercuze - Barraux. Il y a donc là un réservoir aquifère qui emmagasine les eaux et les restitue à la nappe de la plaine, par l'intermédiaire des petits ruisseaux qui s'échappent de cette banquette.

Le cône de déjections du ruisseau de Bresson.

Il s'étale depuis le pied de la falaise tithonique jusqu'au bord de l'Isère. Les renseignements manquent sur la façon dont les eaux circulent à l'intérieur de ce cône. Il ne semble pas qu'il y ait de nappe car il n'existe aucun puits même ancien et d'autre part des recherches dans la partie amont du cône n'ont pas abouti.

A La Conche, à l'aval du cône une source jaillit au contact de la plaine. Le canal de la Chantourne lèche la base du cône et doit évacuer une partie de ses eaux.

La zone du Touvet à Bernin.

Entre Le Touvet et Bernin les éboulis de pente arrivent par endroit au contact direct de la plaine alluviale. Ce contact est jalonné de petites sources de trop-plein qui ne fonctionnent que lors des fortes pluies et là où la couverture de limons superficiels est importante.

Des cônes de déjections et d'éboulis mêlés se forment sous chaque encoche de la falaise. Les paquets glissés et les traces d'éboulements sont fréquents. Ces formations ont une perméabilité plus régulière que les cônes de déjections sensu stricto et l'on y observe l'existence d'une nappe qui se raccorde normalement à celle de la plaine. Les mesures de niveau faites sur ces nappes montrent des battements qui sont assez voisins de ceux observés sur la nappe de la plaine.

La montagne de Saint-Nazaire les Eymes.

La montagne de Saint-Nazaire montre une structure analogue à celle de la banquette de Barraux. On retrouve des dépôts fluvio-glaciaires sur les assises du Jurassique moyen. Ce dernier n'est plus visible qu'en éboulis le long de la petite route qui a pris la place de la voie ferrée Grenoble - Chapareillan. Les dépôts fluvio-glaciaires sont couronnés de deux moraines parallèles : celle des Drogueaux et celle des Ratz. On y voit un très joli bloc erratique de plusieurs mètres cubes.

Un puits profond de 28 mètres sur la moraine des Drogueaux montre l'existence d'une nappe suspendue. La moraine des Ratz domine à l'Ouest les basses pentes du cône de déjections du Manival.

Le cône du Manival.

Le Manival est le seul vrai torrent de la vallée du Grésivaudan. Son cône de déjections enveloppe la montagne de Saint-Nazaire. Au Nord il arrive jusqu'au village de Bernin. Au Sud il vient jusqu'à l'Isère, dans la boucle de Bois-Français. Il est en grande partie stabilisé et colonisé.

La circulation des eaux se fait dans ce cône non pas en nappe mais par des chenaux. La base de la formation a été entaillée par la tranchée de la voie express Grenoble - Le Touvet. Le flanc amont de cette tranchée a montré de nombreux "renards" qui emportaient une partie du talus après chaque orage. De tels renards avaient été observés en bordure de l'Isère dans la boucle de Bois Français. Des dépressions fermées situées dans la partie aval de ce cône ne peuvent s'expliquer que par un processus d'entraînement en profondeur des éléments les plus fins et effondrement de la partie superficielle.

La côte de Montbonnot.

Entre le hameau de la Détourbe et le petit ruisseau de Corbonne, un relief domine la plaine alluviale de l'Isère sur une longueur de près de trois kilomètres. Cette petite côte, allongée parallèlement à l'axe de la vallée est coupée en deux par le cône de déjections du torrent de l'Aiguille. Le point culminant en est à 319 m au château de Miribel.

Cette côte est formée de bancs calcaires décimétriques alternants avec des marnes feuilletées. Sombres à la cassure, marnes et calcaires s'altèrent en roux. Le pendage général de ces couches est 45° N.E. Il correspond, en gros, au pendage des couches tithoniques du Saint-Eynard qui domine la vallée en cet endroit.

Vers le Sud Ouest les calcaires et les marnes disparaissent sous les alluvions d'un petit torrent dans le domaine de Saint-Mury.

Dans la partie nord est les affleurements sont rares mais la morphologie est très nette. On peut voir le rocher affleurer dans la prairie au lieu-dit "Les Frassys" et dans la coupure du torrent des Guichards.

Entre ce relief et les premières pentes existent un talweg fossilisé par les éboulis et les alluvions torrentielles. Ce talweg, probablement creusé dans les couches tendres du Callovo-Oxfordien, a peut-être fonctionné comme vallée torrentielle au moment du retrait du glacier.

L'existence de ce talweg était visible pendant les travaux de fondation d'une villa au lieu-dit "Les Chamoux". Ces travaux ont touché le rocher près de la rupture de pente vers la vallée et sont restés dans les alluvions du côté de la montagne. De plus, ils ont mis en évidence une nappe dans ces alluvions.

Effectivement le pendage des bancs calcaires empêche l'écoulement des eaux en provenance du versant vers la vallée. Il se crée ainsi une petite nappe dont le trop-plein rejoint la plaine par les cônes des petits torrents.

La zone de Meylan - La Tronche.

Au niveau de Meylan les calcaires et les marnes sont remontés par la tectonique. On les retrouve à Corenc. Au-dessus de ces bancs durs existent des formations quaternaires qui témoignent peut-être de l'existence d'un ancien cône de déjections de la Vence avant que celle-ci ne coule vers l'Ouest.

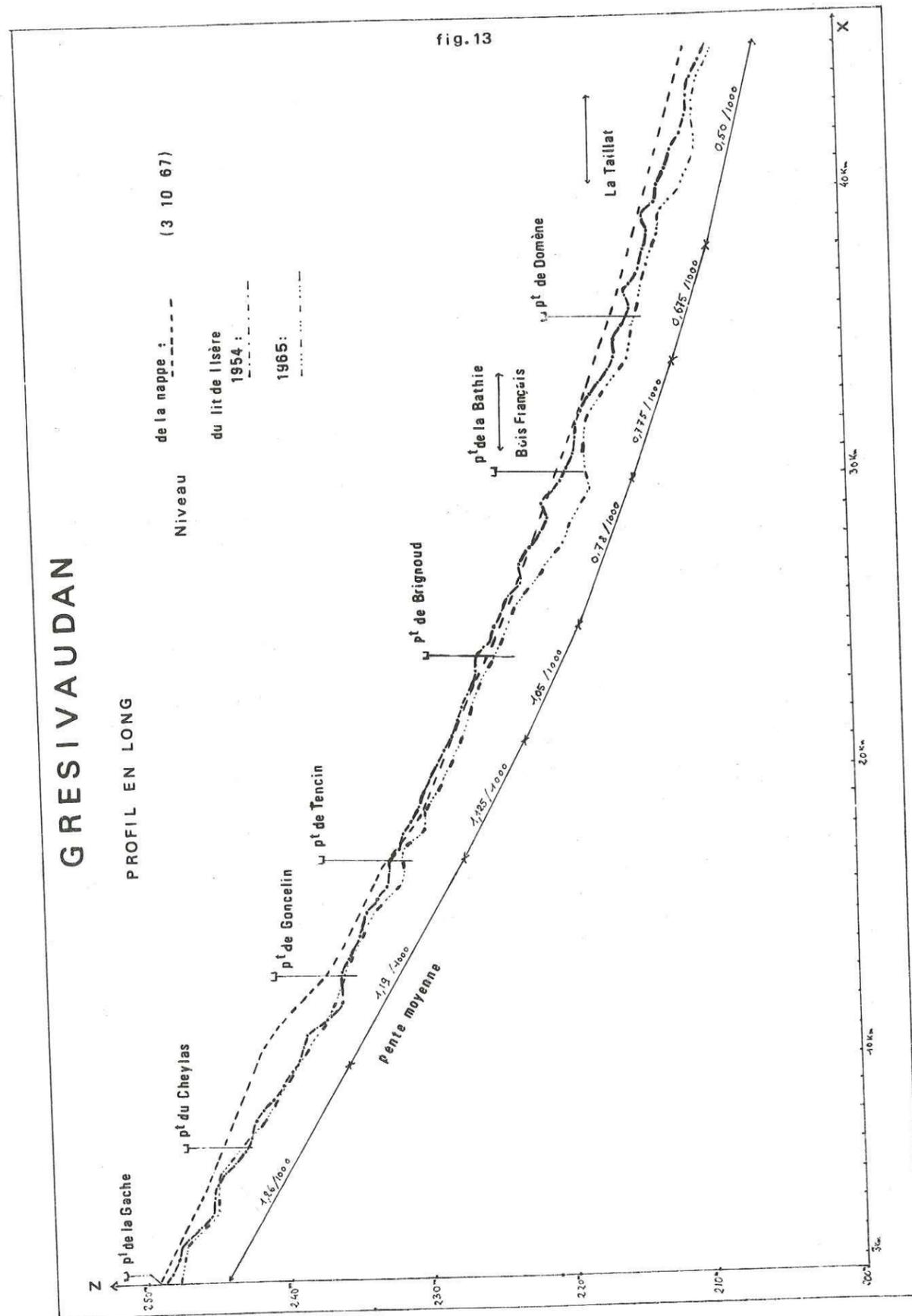
Sous les bancs durs, le raccord avec la plaine se fait par une pente douce. Tous les sondages faits dans ce secteur ont montré l'existence d'une épaisse couche de sable fin argileux, couvert par endroit de dépôts plus grossiers mais sur des épaisseurs toujours faibles.

Ces formations très peu perméables maintiennent la nappe à un niveau élevé. Elle ne se raccorde à la nappe de la plaine qu'au niveau de la Chantourne.

Circulation des eaux sur le versant ouest du Grésivaudan.

Le schéma de la circulation des eaux reste le même sur tout le versant ouest de la vallée du Grésivaudan. Une fois la barre tithonique franchie, l'infiltration absorbe la plus grande partie des eaux. Il existe entre le substratum rocheux, là où il affleure et les alluvions de l'Isère des formations quaternaires qui sont toutes très poreuses, c'est-à-dire capables d'une forte rétention. Ces formations régularisent l'alimentation de la nappe en jouant le rôle de volant.

Il semble toutefois que ce soient les deux cônes de déjections, du ruisseau de Bresson et du Manival, qui remplissent le moins bien cette fonction. La présence dans ces derniers de chenaux à très forte perméabilité assure un drainage rapide de l'ensemble.



2. - EVALUATION DES DEBITS APPORTES A LA NAPPE PAR LE VERSANT OUEST. -

La surface des bassins versants de la rive droite de la vallée du Grésivaudan est de 85 km<sup>2</sup>. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1200 mm. Le volume d'eau reçu par le versant est donc de 102.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/an.

Ce volume d'eau se répartit entre l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration. L'évapotranspiration représente ici 400 mm par an d'après les calculs faits plus hauts.

Des études faites sur deux ruisseaux de la rive droite de la vallée donnent des valeurs de l'infiltration et du ruissellement.

Les courbes de la figure 14 donnent les valeurs d'infiltration pour les ruisseaux de Crolles et de Montfort.

Le débit résiduel pour ces deux torrents est recueilli par les canaux de drainage. Le débit de ceux-ci s'accroît régulièrement en l'absence de tout apport superficiel. Donc une partie de l'eau perdue par infiltration par le torrent se retrouve dans le canal qui draine la zone considérée. Mais l'inverse est possible en théorie. C'est-à-dire que l'eau du torrent qui parvient au canal, si la nappe se trouvait à un niveau inférieur à celui du canal, pourrait s'infiltrer dans le lit du canal et rejoindre la nappe.

Donc la totalité de la somme, ruissellement + infiltration, peut être considérée comme disponible pour l'alimentation potentielle. Dans l'état actuel de la nappe il n'est pas possible de savoir quelle part exacte de cette somme est réellement utilisée pour l'alimentation de la nappe, mais dans le cas d'une exploitation de la nappe la totalité de cette somme serait disponible.

Ceci peut s'appliquer à l'ensemble du bassin versant est, c'est donc un volume de 68.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/an que le versant peut fournir à la nappe. Cela représente un débit de 250 m<sup>3</sup>/heure par kilomètre (70 l/seconde).

Ces apports sont toutefois irréguliers dans l'espace car les bassins versants ne sont pas égaux entre eux et la longueur des contacts de ces bassins avec la plaine n'est pas elle non plus toujours la même. C'est ainsi que le calcul fait pour le bassin versant du ruisseau de Craponoz qui coule à Bernin et qui a une superficie de 9,5 km<sup>2</sup> et un contact avec la vallée de 1,5 km de long donne un débit de 800 m<sup>3</sup> par heure disponible pour l'alimentation de la nappe. (Le rapport de cette surface de B.V. avec la surface totale confirme ce chiffre).

V. - ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE LA NAPPE DE LA PLAINE DU GRESIVAUDAN.

Les qualités physico-chimiques des eaux d'une nappe interviennent dans l'étude de cette nappe en donnant des renseignements sur l'origine de ces eaux et sur leur mode de circulation, mais ces qualités interviennent aussi du point de vue économique selon que son exploitation peut se faire directement ou qu'un traitement préalable doit lui être appliqué.

Les sels minéraux existants dans une eau, sous forme ionique, ont été dissous par cette eau en un point quelconque de son trajet, souterrain ou superficiel. La géologie des flancs de la vallée, pour les apports latéraux, celle du bassin versant de l'Isère, en amont de Pontcharra, pour les eaux de celle-ci, permettent de se faire une idée des éléments que l'on va trouver dans les eaux de la nappe. Pour ce qui est de l'Isère et de ses affluents en amont de Pontcharra, ils recoupent à peu près toutes les unités des Alpes occidentales, donc toutes les formations lithologiques et notamment les nombreux et importants affleurements de gypse triasique qui jalonnent les contacts entre les différentes unités. Sur les flancs du Grésivaudan, les calcaires francs ou marneux forment la totalité des bassins versants de la rive droite ; en rive gauche, les calcaires marneux forment aussi une grande partie des bassins versants mais on trouve au-dessus d'eux (dans la topographie) des terrains cristallins du Massif de Belledonne, avec parfois entre les deux un peu de gypse (bassin versant du Bréda, etc...).

Ce sont donc les sulfates et les carbonates de calcium et de magnésium qui vont marquer la minéralisation des eaux de la nappe. Le fer qui existe sous diverses formes dans la plupart des formations citées plus haut, va lui aussi se retrouver, souvent en quantité notable dans ces eaux.

1. - METHODES D'ETUDE. -

Pour connaître les propriétés physiques et chimiques des eaux de la nappe et les variations dans le temps et dans l'espace de ces propriétés, des analyses systématiques ont été faites sur des échantillons prélevés en de nombreux points de la plaine.

Pour obtenir des résultats comparables entre eux, les analyses ont été effectuées sur une période aussi groupée que possible (15 jours pour la première campagne, 5 pour la seconde). De plus les prélèvements ont été faits de telle façon que les échantillons soient comparables entre eux et représentatifs des eaux de la nappe ou des eaux qui alimentent cette nappe.

Sur les eaux de surface (Isère, ruisseaux, canaux ou étangs) le prélèvement est fait à une profondeur moyenne et aussi loin que possible du bord.

Sur les puits ou forages exploités le prélèvement est fait le plus près possible de la sortie de la pompe.

Sur les pieux équipés de pompe de jardin ou de pompe d'abreuvoir un pompage de 5 minutes permet de renouveler l'eau dans le tube, avant le prélèvement.

Sur les puits ou forages non exploités, le prélèvement est fait après un pompage de 10 à 15 minutes, fait soit avec les installations existantes si elles le permettent, soit avec une pompe à essence débitant 20 à 30 m3/heure.

Deux campagnes de prélèvements de ce type ont été faites, l'une en décembre 1967, l'autre en juin 1968. Cela correspond respectivement aux basses eaux et aux hautes eaux de la nappe. La première campagne a comporté 98 analyses et la seconde 120.

Sur chaque échantillon la température a été mesurée, mais en raison du mode de prélèvement, cela n'a pas toujours été significatif. La résistivité et le Ph donnent des renseignements plus valables, dans la mesure où la température de l'échantillon varie peu (moins de 2 degrés) entre le moment du prélèvement et le moment de la mesure. Dans certaines conditions qui restent à définir, les sels de calcium (sulfates essentiellement) ont tendance à précipiter quand le Ph augmente ; l'équilibre ionique se déplace surtout si la température dépasse 25° (au mois de juin). Pour obtenir des résultats comparatifs, ces analyses ont été faites sur le terrain, grâce au camion laboratoire du Service d'Etude et de Surveillance des Eaux de la Faculté de Médecine de Grenoble. Par ce moyen le temps écoulé entre la prise de l'échantillon et le début de l'analyse était toujours inférieur à 1 heure.

Des expériences faites sur certains échantillons ont montré l'utilité de cette méthode, au mois de juin surtout.

Les tableaux ci-joints donnent les résultats des analyses. Les teneurs sont données en milligramme par litre et en milliéquivalents grammes par litre.

2. - ETUDE DES RESULTATS. -

La minéralisation totale moyenne des eaux de la plaine du Grésivaudan est assez élevée (moyenne des Th pour décembre 1967 = 37,9). Les carbonates (CO3H-) et les sulfates (SO4-) représentent la grande majorité des anions. On remarque l'absence presque totale des nitrates dont la teneur moyenne reste de l'ordre du milligramme par litre. La présence du Fer, surtout dans les eaux de la partie aval de la vallée, à des teneurs qui arrivent à être très élevées est, nous le verrons plus loin, une conséquence de l'agressivité des eaux.

La comparaison des résultats obtenus en basses eaux avec ceux obtenus en hautes eaux donne une idée des influences respectives des différents apports qui alimentent la nappe.

a) Evolution de la minéralisation de l'eau pendant son parcours souterrain.

Les eaux de surface (Isère et ses affluents, étangs directement liés à l'Isère, canaux) sont le plus souvent séléniteuses et calcaires. Elles montrent une agressivité au carbonate de calcium très nette. Cette agressivité est mesurée par la méthode de R. GIRARD.

L'eau agressive, en traversant les alluvions, dissout du carbonate de calcium ce qui entraîne une augmentation du taux de bicarbonate et une diminution relative du taux de sulfate. La minéralisation totale augmente alors que l'agressivité diminue progressivement.

Là où les prélèvements ont été effectués en une série de points s'éloignant progressivement de la rivière, on peut enregistrer ce phénomène.

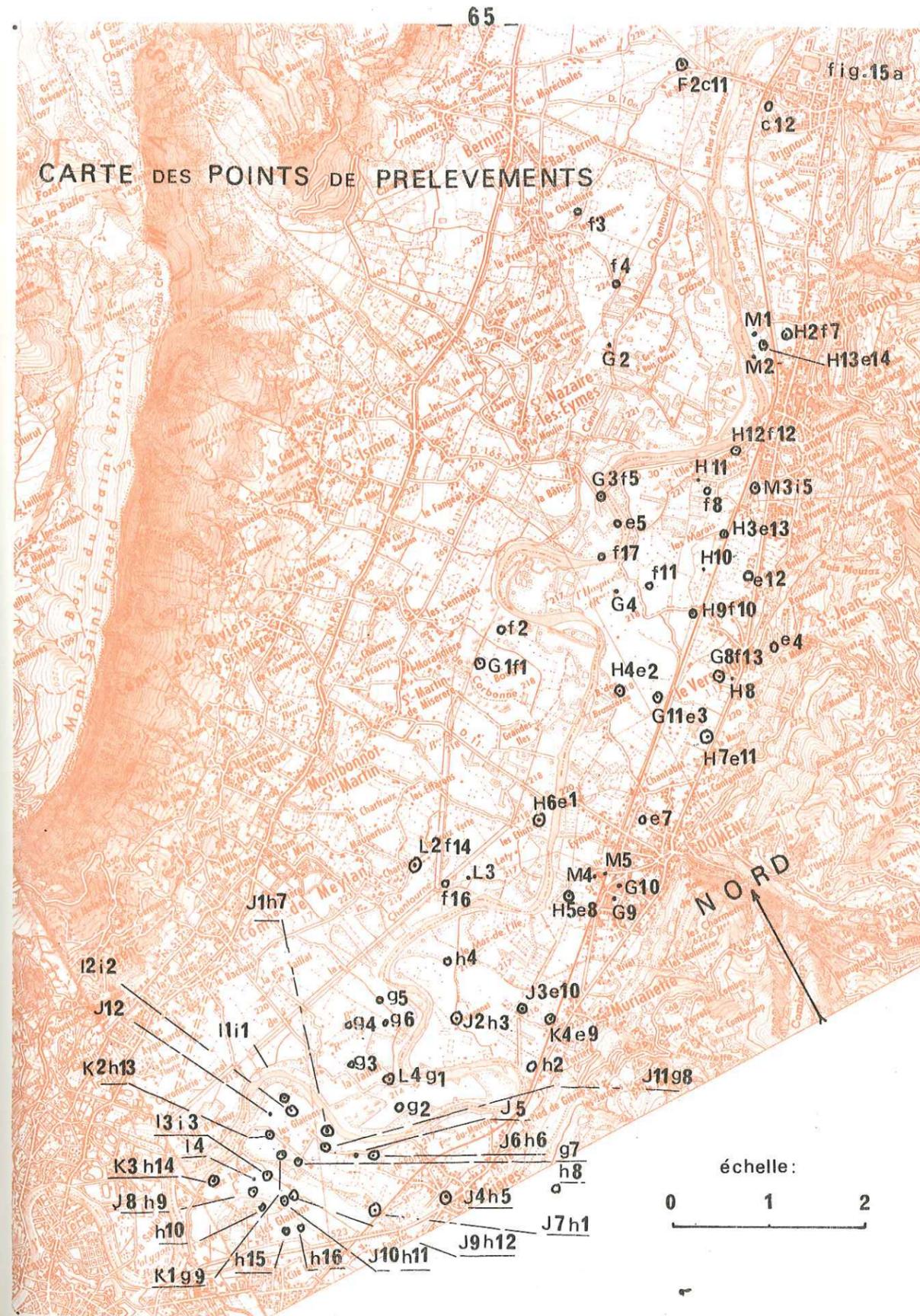
A Pontcharra en s'éloignant du Bréda on trouve successivement :

|                  | Bréda (A 6) | A 1  | A 4  | A 5  |
|------------------|-------------|------|------|------|
| CO3H-<br>N- =    | 27 %        | 49 % | 62 % | 67 % |
| SO4--<br>N-      | 69 %        | 47 % | 34 % | 30 % |
|                  | 4560        | 3400 | 3085 | 2480 |
| Ph mesuré        | 7,2         | 7,1  | 7,4  | 7,5  |
| Ph de saturation | 8,60        | 7,8  | 7,65 | 7,25 |

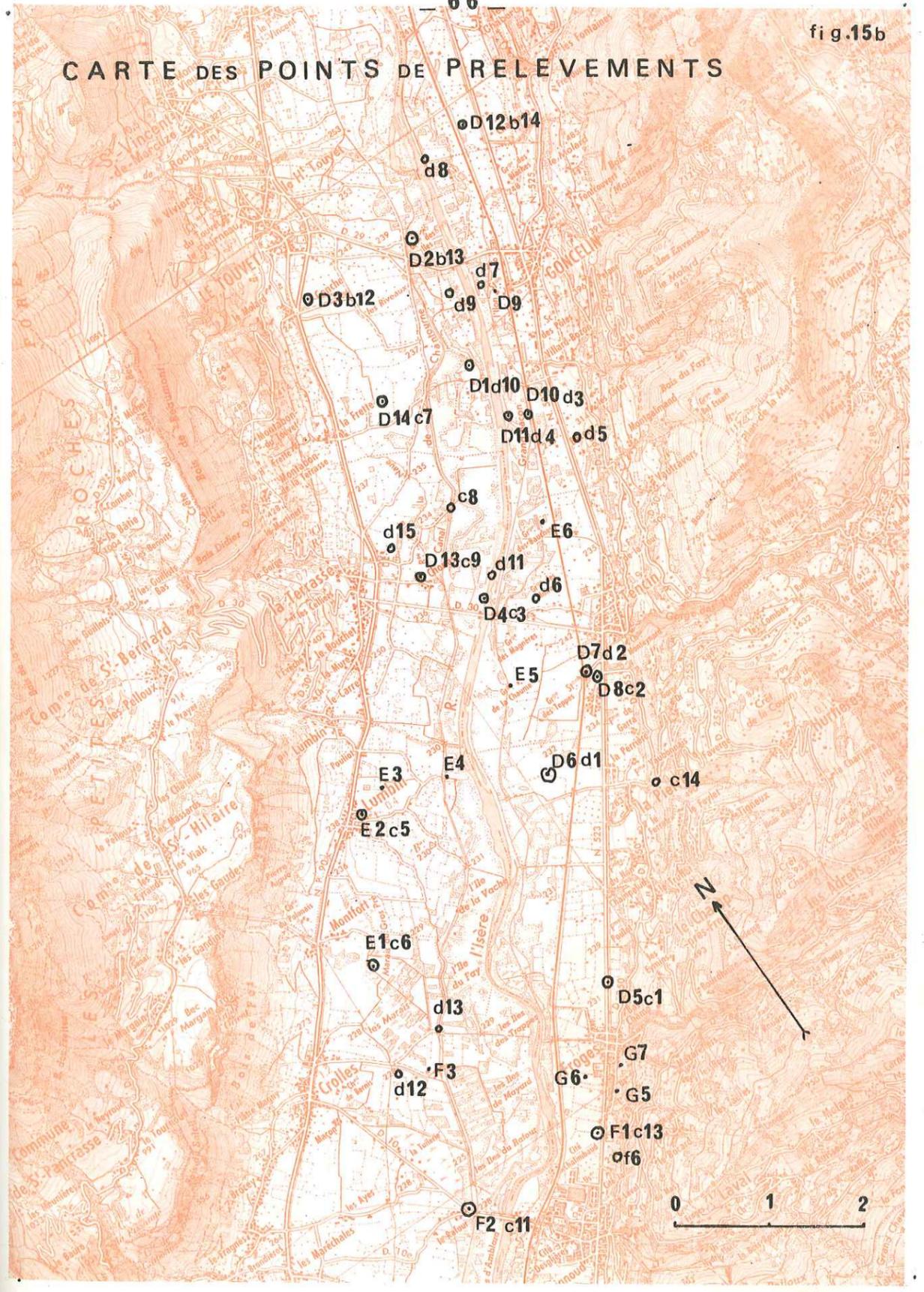
Figures 15a, 15b, 15c.

CARTE DES POINTS DE PRELEVEMENTS POUR ANALYSES CHIMIQUES.

- Les points indiquent les emplacements des prélèvements effectués en décembre 1967 ; ils sont numérotés à l'aide d'une lettre majuscule suivie d'un chiffre.
- Les cercles correspondent aux emplacements des prélèvements effectués en juin 1968 ; ils sont numérotés à l'aide d'une lettre minuscule suivie d'un chiffre.

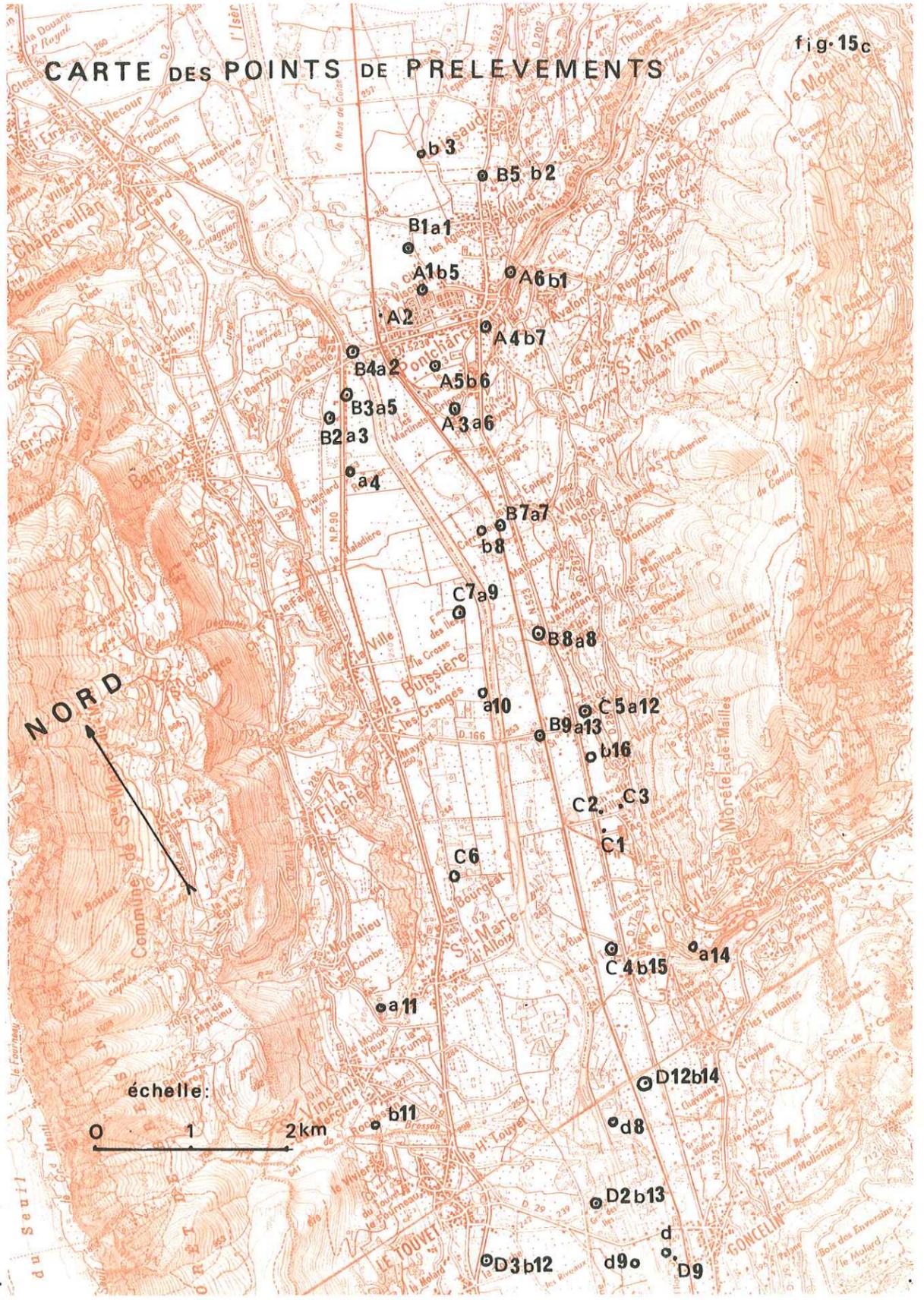


# CARTE DES POINTS DE PRELEVEMENTS



# CARTE DES POINTS DE PRELEVEMENTS

fig. 15c





Le Grésivaudan vu du Fort Barraux

La vallée

Le flanc est : Bramefarine avec les niveaux d'érosion glaciaire (gouttière)

TABLEAU DES RESULTATS DES ANALYSES  
prélevées en

- Les résultats sont donnés en milligramme par litre (mg/l) et en milliéquivalents-grammes par litre (me/l).

| n°) | pH   | Résistivité<br>en<br>ohms/cm | D H T<br>en<br>degré<br>français | T A C<br>en<br>degré<br>français | CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup><br>bicarbonates en |       | CO <sub>2</sub><br>libre<br>mg/l | Silice<br>Si O <sub>2</sub><br>en mg/l | Sulfates en<br>SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> |       |
|-----|------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|-------|----------------------------------|--|---|-------|
|     |      |                              |                                  |                                  | mg/l  | me/l  |                                  |  | mg/l  | me/l  |
| A1  | 7,1  | 3400                         | 16,8                             | 8,8                              | 107   | 1,760 | 13                               | 6,0                                    | 82  | 1,71  |
| A2  | 7,2  | 2090                         | 32,4                             | 24,6                             | 300   | 4,919 | 29                               | 8,7                                    | 70  | 1,46  |
| A3  | 7,2  | 2360                         | 29,2                             | 20,8                             | 254   | 4,159 | 25                               | 9,0                                    | 78  | 1,62  |
| A4  | 7,4  | 3085                         | 20,0                             | 13,2                             | 161   | 2,639 | 9                                | 7,0                                    | 70  | 1,46  |
| A5  | 7,2  | 2480                         | 26,8                             | 17,9                             | 218   | 3,579 | 22                               | 7,8                                    | 78  | 1,62  |
| A6  | 7,2  | 4560                         | 13,2                             | 4,8                              | 58,6  | 0,960 | 4                                | 4,8                                    | 110   | 2,29  |
| B1  | 7,0  | 1850                         | 39,6                             | 30,8                             | 376   | 6,159 | 60                               | 10,2                                   | 90  | 1,87  |
| B2  | 7,0  | 1945                         | 38,8                             | 27,5                             | 335   | 5,499 | 53                               | 5,4                                    | 120   | 2,50  |
| B3  | 7,2  | 2680                         | 31,6                             | 25,2                             | 307   | 5,039 | 30                               | 7,6                                    | 32  | 0,666 |
| B4  | 7,5  | 1810                         | 34,4                             | 10,8                             | 132   | 2,159 | 4                                | 7,6                                    | 210   | 4,37  |
| B5  | 7,0  | 2280                         | 40,0                             | 32,7                             | 399   | 6,490 | 63                               | 9,6                                    | 84  | 1,75  |
| B6  | 7,0  | 1750                         | 40,0                             | 30,7                             | 374   | 6,139 | 59                               | 8,2                                    | 108   | 2,25  |
| B7  | 7,4  | 1970                         | 33,6                             | 25,3                             | 309   | 5,059 | 20                               | 8,6                                    | 78  | 1,62  |
| B8  | 7,2  | 2480                         | 30,0                             | 24,5                             | 299   | 4,899 | 29                               | 8,2                                    | 55  | 1,14  |
| B9  | 7,1  | 2495                         | 34,0                             | 26,6                             | 323   | 5,299 | 41                               | 5,8                                    | 56  | 1,16  |
| C1  | 7,1  | 2215                         | 33,6                             | 27,1                             | 331   | 5,419 | 42                               | 8,4                                    | 55  | 1,14  |
| C2  | 7,1  | 2345                         | 38,0                             | 30,5                             | 372   | 6,099 | 47                               | 9,2                                    | 86  | 1,79  |
| C3  | 7,0  | 1700                         | 41,6                             | 33,6                             | 410   | 6,720 | 65                               | 9,2                                    | 78  | 1,62  |
| C4  | 7,0  | 1565                         | 44,8                             | 33,7                             | 411   | 6,736 | 65                               | 8,2                                    | 90  | 1,87  |
| C5  | 7,1  | 1715                         | 43,6                             | 33,7                             | 411   | 6,736 | 52                               | 7,8                                    | 118   | 2,46  |
| C6  | 7,6  | 4370                         | 13,2                             | 9,9                              | 121   | 1,979 | 4                                | 1,8                                    | 31  | 0,65  |
| C7  | 7,1  | 1700                         | 44,0                             | 30,1                             | 367   | 6,019 | 46                               | 7,8                                    | 138   | 2,87  |
| D1  | 7,6  | 2265                         | 27,2                             | 10,7                             | 130   | 2,139 | 4                                | 10,2                                   | 157   | 3,27  |
| D2  | 7,5  | 1610                         | 41,2                             | 31,8                             | 388   | 6,341 | 20                               | 10,4                                   | 108   | 2,25  |
| D3  | 7,1  | 1755                         | 37,2                             | 32,0                             | 390   | 6,373 | 50                               | 8,6                                    | 48  | 0,999 |
| D4  | 7,6  | 2080                         | 30,4                             | 13,3                             | 162   | 2,659 | 6                                | 8,7                                    | 250   | 5,20  |
| D5  | 7,3  | 2335                         | 18,8                             | 14,5                             | 177   | 2,899 | 13                               | 11,0                                   | 40  | 0,83  |
| D6  | 7,0  | 1675                         | 46,6                             | 33,0                             | 403   | 6,598 | 64                               | 8,7                                    | 128   | 2,66  |
| D7  | 7,2  | 2080                         | 33,6                             | 23,5                             | 287   | 4,699 | 29                               | 7,2                                    | 90  | 1,87  |
| D8  | 7,15 | 1875                         | 35,2                             | 24,7                             | 301   | 4,939 | 33                               | 6,2                                    | 108   | 2,25  |
| D9  | 7,15 | 2010                         | 34,8                             | 26,8                             | 327   | 5,359 | 36                               | 6,4                                    | 90  | 1,87  |
| E1  | 7,2  | 2610                         | 26,4                             | 22,0                             | 268   | 4,399 | 27                               | 4,0                                    | 35  | 0,73  |
| E2  | 7,2  | 1470                         | 35,2                             | 26,2                             | 320   | 5,239 | 33                               | 13,2                                   | 90  | 1,87  |
| E3  | 7,5  | 1670                         | 40,4                             | 31,7                             | 387   | 6,324 | 19                               | 9,6                                    | 38  | 0,79  |
| E4  | 7,5  | 2210                         | 32,0                             | 22,3                             | 272   | 4,459 | 14                               | 8,6                                    | 136   | 2,83  |
| D10 | 7,2  | 1850                         | 35,2                             | 25,2                             | 307   | 5,039 | 30                               | 11                                     | 114   | 2,37  |
| D11 | 7,3  | 2140                         | 28,0                             | 10,9                             | 133   | 2,180 | 10                               | 8,4                                    | 178   | 3,66  |
| D12 | 7,0  | 1650                         | 39,2                             | 29,6                             | 361   | 5,919 | 58                               | 9,4                                    | 100   | 2,08  |
| E5  | 7,2  | 1870                         | 32,0                             | 15,6                             | 190   | 3,120 | 19                               | 8,6                                    | 182   | 3,80  |
| E6  | 7,4  | 2210                         | 28,4                             | 11,5                             | 140   | 2,299 | 10                               | 8,4                                    | 195   | 3,99  |
| D13 | 6,9  | 1260                         | 54,0                             | 40,2                             | 490   | 8,031 | 100                              | 10,8                                   | 72  | 1,50  |
| D14 | 7,6  | 2010                         | 33,2                             | 27,4                             | 334   | 5,479 | 13                               | 7,4                                    | 50  | 1,04  |

CHIMIQUES DES ECHANTILLONS,  
décembre 1967.

| n°  | Chlorures |       | Calcium |        | Magnésium |        | Sodium |       | Fer    |        |
|-----|-----------|-------|---------|--------|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|
|     | en mg/l   | me/l  | en mg/l | me/l   | en mg/l   | me/l   | mg/l   | me/l  | mg/l   | me/l   |
| A1  | 4,5       | 0,127 | 53      | 2,645  | 7,8       | 0,641  | 5,8    | 0,254 | 0,05   | 0,003  |
| A2  | 6,5       | 0,183 | 96      | 4,790  | 20,5      | 1,680  | 6,1    | 0,265 | 0,03   | 0,002  |
| A3  | 7,5       | 0,211 | 90      | 4,491  | 16,5      | 1,360  | 5,8    | 0,254 | traces |        |
| A4  | 4,5       | 0,127 | 59      | 2,944  | 12,5      | 1,040  | 3,4    | 0,146 | traces |        |
| A5  | 6,5       | 0,183 | 96      | 4,790  | 6,8       | 0,554  | 4,6    | 0,200 | traces |        |
| A6  | 2,5       | 0,070 | 42      | 2,096  | 6,8       | 0,559  | 1,3    | 0,056 | traces |        |
| B1  | 7,0       | 0,197 | 120     | 5,990  | 23        | 1,891  | 6,6    | 0,287 | traces |        |
| B2  | 8,5       | 0,240 | 119     | 5,938  | 22        | 1,809  | 4,8    | 0,208 | traces |        |
| B3  | 3,0       | 0,085 | 93      | 4,640  | 21        | 1,727  | 1,8    | 0,077 | traces |        |
| B4  | 10,0      | 0,282 | 106     | 5,289  | 20        | 1,645  | 8,6    | 0,374 | 0,03   | 0,02   |
| B5  | 7,5       | 0,211 | 138     | 6,886  | 13,5      | 1,120  | 3,5    | 0,150 | traces |        |
| B6  | 7,5       | 0,211 | 128     | 6,387  | 19,5      | 1,600  | 5,8    | 0,252 | 0,71   | 0,038  |
| B7  | 7,5       | 0,211 | 114     | 5,689  | 12,5      | 1,040  | 4,6    | 0,208 | 0,11   | 0,006  |
| B8  | 4,5       | 0,127 | 99      | 4,940  | 12,5      | 1,040  | 2,8    | 0,122 | 0,33   | 0,018  |
| B9  | 6,0       | 0,169 | 112     | 5,589  | 14,5      | 1,200  | 4,6    | 0,200 | 0,30   | 0,016  |
| C1  | 7,5       | 0,211 | 103     | 5,139  | 19,5      | 1,600  | 6,6    | 0,287 | 0,10   | 0,005  |
| C2  | 7,5       | 0,211 | 124     | 6,188  | 17,5      | 1,440  | 8,1    | 0,352 | 0,77   | 0,041  |
| C3  | 7,5       | 0,211 | 136     | 6,786  | 18,5      | 1,520  | 6,9    | 0,300 | 0,04   | 0,002  |
| C4  | 14        | 0,395 | 151     | 7,490  | 17,5      | 1,440  | 17,2   | 0,750 | 0,03   | 0,002  |
| C5  | 7,0       | 0,197 | 141     | 7,036  | 20,5      | 1,680  | 6,1    | 0,265 | 0,04   | 0,002  |
| C6  | 6,0       | 0,169 | 36      | 1,796  | 10        | 0,8224 | 1,8    | 0,077 | 0,04   | 0,002  |
| C7  | 13        | 0,367 | 138     | 6,886  | 23,0      | 1,891  | 5,9    | 0,257 | 0,15   | 0,008  |
| D1  | 8,0       | 0,226 | 82      | 4,0918 | 16,5      | 1,360  | 5,4    | 0,234 | 0,20   | 0,011  |
| D2  | 26        | 0,733 | 125     | 6,237  | 24        | 1,974  | 9,0    | 0,392 | 0,25   | 0,013  |
| D3  | 8,0       | 0,226 | 112     | 5,589  | 22        | 1,809  | 6,9    | 0,300 | 0,45   | 0,024  |
| D4  | 8,0       | 0,226 | 85      | 4,241  | 22        | 1,809  | 6,1    | 0,265 | 0,12   | 0,006  |
| D5  | 14,5      | 0,409 | 61      | 3,044  | 8,8       | 0,724  | 16     | 0,690 | traces |        |
| D6  | 16,5      | 0,465 | 151     | 7,490  | 22        | 1,809  | 6,5    | 0,282 | 0,5    | 0,02   |
| D7  | 6,5       | 0,183 | 103     | 5,139  | 19,5      | 1,600  | 3,9    | 0,170 | traces |        |
| D8  | 7,0       | 0,197 | 107     | 5,339  | 20,5      | 1,680  | 4,4    | 0,190 | 0,48   | 0,026  |
| D9  | 6,5       | 0,183 | 99      | 4,940  | 24        | 1,974  | 6,1    | 0,265 | traces |        |
| E1  | 4,5       | 0,127 | 82      | 4,092  | 24        | 1,974  | 3,2    | 0,139 | traces |        |
| E2  | 24,5      | 0,685 | 112     | 5,589  | 17,5      | 1,440  | 10     | 0,435 | 0,12   | 0,0064 |
| E3  | 12        | 0,338 | 128     | 6,387  | 20,5      | 1,680  | 6,1    | 0,265 | 0,15   | 0,008  |
| E4  | 6,5       | 0,183 | 91      | 4,541  | 22        | 1,809  | 4,8    | 0,208 | 0,05   | 0,002  |
| D10 | 8,5       | 0,239 | 102     | 5,090  | 23        | 1,891  | 6,6    | 0,287 | traces |        |
| D11 | 8,5       | 0,239 | 82      | 4,092  | 18,5      | 1,520  | 5,6    | 0,244 | 0,1    | 0,005  |
| D12 | 9,0       | 0,253 | 122     | 6,088  | 21,5      | 1,760  | 6,1    | 0,265 | 0,15   | 0,008  |
| E5  | 17        | 0,479 | 98      | 4,890  | 18,5      | 1,520  | 10,2   | 0,444 | 0,44   | 0,024  |
| E6  | 8,0       | 0,226 | 80      | 3,992  | 20,5      | 1,680  | 4,8    | 0,208 | 0,70   | 0,037  |
| D13 | 29,5      | 0,860 | 173     | 8,633  | 26        | 2,138  | 16     | 0,690 | 0,1    | 0,005  |
| D14 | 7,0       | 0,197 | 107     | 5,339  | 15,5      | 1,280  | 3,8    | 0,163 | 0,3    | 0,016  |

| N°  | pH   | Résistivité<br>en<br>ohms/cm | D H T<br>en<br>degrés<br>français | T A C<br>en<br>degrés<br>français | Bicarbonates<br>en CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup><br>mg/l me/l |        | CO <sub>2</sub><br>libre<br>en mg/l<br>mesuré   théorique |     | Silice<br>SiO <sub>2</sub> | Sulfates<br>SO <sub>4</sub> <sup>=</sup><br>mg/l me/l |      |      |
|-----|------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|--------|---|-----|----------------------------|---|------|------|
|     |      |                              |                                   |                                   |  |        |   |     |                            |   |      |      |
| F1  | 7,2  | 2010                         | 33,6                              | 23,2                              | 283  | 4,639  |   | 28  | 10,8                       | 120   | 2,50 |      |
| F2  | 7,1  | 1630                         | 41,2                              | 36,7                              | 448  | 7,343  |   | 57  | 10,2                       | 56  | 1,17 |      |
| F3  | 7,5  | 2140                         | 30,0                              | 24,0                              | 293  | 4,799  |   | 14  | 10,4                       | 68  | 1,41 |      |
| G1  | 6,8  | 1660                         | 44,0                              | 39,3                              | 480  | 7,867  |   | 122 | 9,8                        | 45  | 0,94 |      |
| G2  | 7,3  | 1650                         | 44,0                              | 37,9                              | 462  | 7,572  |   | 37  | 10,4                       | 68  | 1,42 |      |
| G3  | 7,3  | 2120                         | 30,4                              | 10,8                              | 132  | 2,159  |   | 10  | 12,2                       | 214   | 4,38 |      |
| G4  | 7,4  | 2010                         | 40,4                              | 13,9                              | 170  | 2,779  |   | 10  | 12,4                       | 210   | 4,37 |      |
| G5  | 6,9  | 1660                         | 40,0                              | 29,9                              | 365  | 5,979  |   | 75  | 9,8                        | 126   | 2,62 |      |
| G6  | 7,3  | 2050                         | 31,2                              | 16,4                              | 200  | 3,279  |   | 16  | 7,8                        | 192   | 3,97 |      |
| G7  | 7,1  | 1670                         | 36,0                              | 21,1                              | 257  | 4,219  |   | 32  | 7,6                        | 182   | 3,80 |      |
| G8  | 6,9  | 1540                         | 44,0                              | 36,7                              | 448  | 7,343  |   | 93  | 9,0                        | 105   | 2,19 |      |
| G9  | 6,9  | 1380                         | 48,8                              | 32,5                              | 396  | 6,455  |   | 82  | 9,2                        | 182   | 3,80 |      |
| G10 | 6,9  | 1940                         | 30,4                              | 22,4                              | 273  | 4,479  |   | 53  | 7,8                        | 145   | 3,02 |      |
| H1  | 7,0  | 1550                         | 45,6                              | 34,6                              | 422  | 6,927  |   | 67  | 8,6                        | 130   | 2,71 |      |
| H2  | 7,15 | 1770                         | 42,0                              | 27,4                              | 334  | 5,479  |   | 38  | 9,8                        | 58  | 1,21 |      |
| H3  | 6,7  | 1230                         | 65,5                              | 51,0                              | 622  | 1,020  | 200 ??  |     | 13,1                       | 175   | 3,60 |      |
| H4  | 7,4  | 1930                         | 34,0                              | 26,4                              | 322  | 5,279  |   | 18  | 11,4                       | 84  | 1,75 |      |
| G11 | 7,05 | 1540                         | 46,8                              | 38,9                              | 474  | 7,769  |   | 66  | 7,8                        | 90  | 1,87 |      |
| H5  | 7,25 | 1810                         | 34,8                              | 18,5                              | 226  | 3,659  |   | 22  | 9,2                        | 185   | 3,82 |      |
| H6  | 6,9  | 1240                         | 53,5                              | 39,3                              | 480  | 7,867  |   | 98  | 9,4                        | 172   | 3,57 |      |
| H7  | 7,1  | 1740                         | 42,6                              | 33,7                              | 411  | 6,736  |   | 52  | 9,0                        | 96  | 1,99 |      |
| H8  | 7,1  | 1590                         | 36,8                              | 29,5                              | 360  | 5,899  |   | 46  | 10,4                       | 108   | 2,25 |      |
| H9  | 7,25 | 1950                         | 33,2                              | 18,4                              | 224  | 3,679  |   | 23  | 9,0                        | 183   | 3,82 |      |
| H10 | 7,15 | 1750                         | 37,2                              | 22,4                              | 273  | 4,479  |   | 13  | 8,6                        | 165   | 3,45 |      |
| H11 | 7,4  | 1900                         | 33,6                              | 16,0                              | 195  | 3,199  |   | 12  | 11,0                       | 194   | 4,00 |      |
| H12 | 7,4  | 2210                         | 26,0                              | 9,0                               | 110  | 1,799  |   | 6   | 14,5                       | 186   | 3,86 |      |
| H13 | 6,8  | 1270                         | 43,6                              | 31,2                              | 381  | 6,242  |   | 97  | 12,7                       | 235   | 4,8  |      |
| I1  | 6,9  | 5,1*                         | 42,0                              | 41,2                              | 503  | 8,244  |   | 58  | >100                       | 14,4  | 31   | 0,64 |
| I2  | 6,9  | 6,2                          | 40,0                              | 39,9                              | 487  | 7,982  |   | 59  | 100                        | 15,2  | 32   | 0,67 |
| I3  | 6,95 | 2,4                          | 39,6                              | 36,9                              | 450  | 7,375  |   | 48  | 78                         | 14,8  | 44   | 0,92 |
| I4  | 6,85 | 2,0                          | 58,4                              | 40,0                              | 488  | 7,999  |   | 63  | >110                       | 18,8  | 138  | 2,87 |
| J1  | 6,9  | 2,7                          | 44,4                              | 40,9                              | 499  | 8,179  |   | 58  | >100                       | 12,8  | 54   | 1,12 |
| J2  | 6,9  | 4,7                          | 42,0                              | 37,1                              | 422  | 6,917  |   | 46  | 93                         | 9,2   | 55   | 1,14 |
| J3  | 6,95 | 1,4                          | 32,4                              | 23,9                              | 292  | 4,779  |   | 24  | 47                         | 10,8  | 70   | 1,46 |
| J4  | 6,9  | 2,3                          | 38,8                              | 31,7                              | 387  | 6,324  |   | 36  | 80                         | 11,0  | 58   | 1,21 |
| J5  | 6,9  | 3,1                          | 43,6                              | 45,0                              | 549  | 8,998  |   | 55  | >110                       | 8,6   | 101  | 2,10 |
| J6  | 6,8  | 1,5                          | 60                                | 51,2                              | 625  | 10,24  |   | 95  | >150                       | 15,6  | 122  | 2,54 |
| J7  | 6,9  | 2,9                          | 64                                | 47,4                              | 578  | 9,589  |   | 70  | >120                       | 12,0  | 110  | 2,29 |
| J8  | 6,85 | 1,3                          | 50,8                              | 42,4                              | 517  | 8,474  |   | 65  | >110                       | 8,6   | 95   | 1,98 |
| J9  | 6,9  | 1,9                          | 49,2                              | 36,0                              | 439  | 7,198  |   | 49  | 90                         | 8,0   | 111  | 2,31 |
| J10 | 6,85 | 0,5                          | 68,4                              | 52,0                              | 634  | 10,396 |   | 120 | >150                       | 18,4  | 120  | 2,50 |
| J11 | 6,85 | 2,1                          | 42,0                              | 36,0                              | 439  | 7,198  |   | 72  | 97                         | 12,6  | 65   | 1,35 |
| J12 | 6,9  | 2,3                          | 40,0                              | 38,0                              | 464  | 7,598  |   | 51  | 95                         | 13,4  | 25   | 0,52 |

\* - entre I1 et J12 les valeurs de la 2e colonne correspondent aux valeurs en mg/l de l'oxygène dissous.

| N°  | Chlorures en Cl <sup>-</sup><br>mg/l me/l |       | Calcium<br>mg/l me/l |       | Magnésium<br>mg/l me/l |       | Sodium<br>mg/l me/l |       | Fer<br>mg/l me/l |       |
|-----|---|-------|----------------------|-------|------------------------|-------|---------------------|-------|------------------|-------|
|     |   |       |                      |       |                        |       |                     |       |                  |       |
| F1  | 7,0                                       | 0,197 | 107                  | 5,339 | 16,5                   | 1,360 | 3,9                 | 0,170 | 6,1              | 0,328 |
| F2  | 6,5                                       | 0,183 | 122                  | 6,088 | 26                     | 2,138 | 4,8                 | 0,208 | 1,7              | 0,091 |
| F3  | 15  | 0,423 | 74                   | 3,693 | 28                     | 2,303 | 4,4                 | 0,208 | 2,6              | 0,139 |
| G1  | 7,0                                       | 0,197 | 136                  | 6,786 | 24                     | 1,974 | 5,0                 | 0,216 | 5,6              | 0,300 |
| G2  | 5,0                                       | 0,141 | 125                  | 6,237 | 28                     | 2,303 | 6,1                 | 0,265 | 0,37             | 0,019 |
| G3  | 10,5                                      | 0,296 | 93                   | 4,640 | 17,5                   | 1,440 | 8,1                 | 0,352 | traces           |       |
| G4  | 9,5                                       | 0,268 | 147                  | 7,335 | 14,5                   | 1,200 | 8,0                 | 0,348 | traces           |       |
| G5  | 15,5                                      | 0,430 | 130                  | 6,487 | 18,5                   | 1,520 | 9,9                 | 0,430 | 1,5              | 0,080 |
| G6  | 9,5                                       | 0,268 | 96                   | 4,790 | 27,0                   | 2,220 | 7,9                 | 0,343 | traces           |       |
| G7  | 25,5                                      | 0,715 | 120                  | 5,990 | 14,5                   | 1,200 | 10                  | 0,435 | 0,65             | 0,035 |
| G8  | 10  | 0,282 | 150                  | 7,485 | 15,5                   | 1,280 | 9,9                 | 0,430 | traces           |       |
| G9  | 25,5                                      | 0,715 | 165                  | 8,23  | 18,5                   | 1,520 | 9,9                 | 0,430 | 0,08             | 0,004 |
| G10 | 9   | 0,254 | 91                   | 4,541 | 18,5                   | 1,520 | 10                  | 0,430 | 1,0              | 0,054 |
| H1  | 8   | 0,226 | 143                  | 7,135 | 24                     | 1,974 | 6,6                 | 0,287 | 1,4              | 0,075 |
| H2  | 9,5                                       | 0,268 | 115                  | 5,738 | 24                     | 1,974 | 5,1                 | 0,265 | 0,45             | 0,002 |
| H3  | 7   | 0,197 | 210                  | 10,48 | 38                     | 2,632 | 5,0                 | 0,216 | 1,8              | 0,097 |
| H4  | 6,5                                       | 0,183 | 99                   | 4,940 | 22                     | 1,809 | 4,6                 | 0,200 | 9,5              | 0,510 |
| G11 | 8,5                                       | 0,299 | 152                  | 7,585 | 21,5                   | 1,760 | 7,9                 | 0,343 | 6,3              | 0,338 |
| H5  | 8,5                                       | 0,240 | 101                  | 5,040 | 23                     | 1,891 | 5,8                 | 0,254 | 0,58             | 0,031 |
| H6  | 14  | 0,395 | 163                  | 8,134 | 31                     | 2,549 | 15,2                | 0,662 | 0,08             | 0,004 |
| H7  | 5,5                                       | 0,155 | 144                  | 7,185 | 16                     | 1,316 | 3,6                 | 0,157 | 5,8              | 0,31  |
| H8  | 11  | 0,310 | 122                  | 6,088 | 16                     | 1,316 | 10,7                | 0,466 | 0,25             | 0,013 |
| H9  | 7,0                                       | 0,197 | 99                   | 4,940 | 20                     | 1,645 | 5,4                 | 0,234 | 2,3              | 0,123 |
| H10 | 13,5                                      | 0,380 | 117                  | 5,839 | 19,5                   | 1,600 | 6,1                 | 0,265 | 2,1              | 0,113 |
| H11 | 10,5                                      | 0,296 | 99                   | 4,940 | 21,5                   | 1,760 | 8,1                 | 0,352 | 6,0              | 0,322 |
| H12 | 9,5                                       | 0,268 | 220                  | 10,98 | 14,5                   | 1,200 | 6,9                 | 0,300 | 0,53             | 0,028 |
| H13 | 11,5                                      | 0,324 | 176                  | 8,782 | 19,5                   | 1,600 | 24                  | 1,05  | 11,3             | 0,600 |
| I1  | 12,5                                      | 0,352 | 125                  | 6,237 | 26                     | 2,138 | 14,8                | 0,646 | 3,9              | 0,209 |
| I2  | 15,0                                      | 0,423 | 110                  | 5,489 | 29                     | 2,385 | 19,5                | 0,836 | 4,3              | 0,231 |
| I3  | 47,5                                      | 1,33  | 128                  | 6,387 | 18,5                   | 1,520 | 69                  | 3,00  | 3,5              | 0,188 |
| I4  | 39,5                                      | 1,10  | 168                  | 8,383 | 40                     | 3,289 | 59                  | 2,58  | 9,7              | 0,521 |
| J1  | 22,5                                      | 0,635 | 122                  | 6,088 | 25                     | 2,056 | 23                  | 1,00  | 2,8              | 0,150 |
| J2  | 7,0                                       | 0,197 | 128                  | 6,387 | 26                     | 2,138 | 8,3                 | 0,360 | 0,35             | 0,019 |
| J3  | 5,0                                       | 0,141 | 120                  | 5,990 | 20                     | 1,645 | 7,3                 | 0,318 | 0,93             | 0,050 |
| J4  | 32,5                                      | 0,915 | 128                  | 6,387 | 16,5                   | 1,360 | 47                  | 2,03  | 0,04             | 0,002 |
| J5  | 39  | 1,099 | 168                  | 8,383 | 30                     | 2,467 | 46                  | 2,00  | traces           |       |
| J6  | 14,5                                      | 0,409 | 155                  | 8,285 | 50                     | 4,112 | 21                  | 0,930 | 6,2              | 0,333 |
| J7  | 14  | 2,93  | 170                  | 8,48  | 50                     | 4,112 | 138                 | 6,000 | 0,73             | 0,039 |
| J8  | 14  | 0,395 | 152                  | 7,365 | 31                     | 2,549 | 21                  | 0,930 | 0,08             | 0,004 |
| J9  | 13,5                                      | 0,381 | 149                  | 7,435 | 29                     | 2,385 | 19,6                | 0,842 | traces           |       |
| J10 | 34,5                                      | 0,975 | 184                  | 9,18  | 54                     | 4,480 | 48                  | 2,1   | 15               | 0,805 |
| J11 | 47  | 1,32  | 134                  | 6,687 | 21                     | 1,727 | 67                  | 2,9   | 2,56             | 0,139 |
| J12 | 22,5                                      | 0,635 | 116                  | 5,789 | 27                     | 2,220 | 32                  | 1,38  | 2,0              | 0,107 |

| N° | pH<br>avant<br>marbre | DHT<br>en<br>degrés<br>français | TAC<br>en<br>degrés<br>français | Bicarbonates<br>CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> |       | CO <sub>2</sub> libre |           | Silice<br>SiO <sub>2</sub><br>mg/l | Sulfates<br>SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> |      | O <sub>2</sub><br>dissous |
|----|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|-------|-----------------------|-----------|------------------------------------|--|------|---------------------------|
|    |                       |                                 |                                 | mg/l   | me/l  | mesuré                | théorique |                                    | mg/l                                     | me/l |                           |
| K1 | 6,9                   | 33,6                            | 30,9                            | 377  | 6,179 | 39                    | 78        | 10,2                               | 38                                       | 0,79 | 2,2                       |
| K2 | 6,85                  | 36,8                            | 33,9                            | 414  | 6,785 | 60                    | 96        | 11                                 | 65                                       | 1,35 | 3,1                       |
| K3 | 6,85                  | 58,6                            | 51,0                            | 622  | 10,20 | 72                    | >130      | 11,6                               | 69                                       | 1,44 | 1,0                       |
| K4 | 6,85                  | 36,0                            | 32,6                            | 398  | 6,471 | 48                    | 87        | 11,4                               | 46                                       | 0,96 | 1,6                       |
| K5 | 6,85                  | 58,6                            | 51,6                            | 630  | 10,32 | 48                    | >130      | 13,4                               | 86                                       | 1,79 | -                         |
| L2 | 7,0                   | 38,2                            | 33,2                            | 405  | 6,638 | 48                    | 64        | 9,6                                | 50                                       | 1,04 | 2,4                       |
| L3 | 7,05                  | 39,6                            | 37,1                            | 422  | 6,917 | 33                    | 64        | 9,0                                | 31                                       | 0,64 | 3,1                       |
| L4 | 6,9                   | 32,8                            | 2)7                             | 252  | 4,139 | 30                    | 52        | 8                                  | 118                                      | 2,46 | 3,1                       |
| M1 | 7,0                   | 28,4                            | 14,1                            | 172  | 2,819 | 18                    | 26        | 10,8                               | 130                                      | 2,71 | -                         |
| M2 | 7,3                   | 29,8                            | 9,8                             | 120  | 1,959 | 12                    | 8         | 8,6                                | 164                                      | 3,41 | -                         |
| M3 | 7,0                   | 32,8                            | 23,4                            | 285  | 4,679 | 25,8                  | 45        | 9,8                                | 90                                       | 1,87 | -                         |
| M4 | 6,9                   | 30,4                            | 26,3                            | 321  | 5,259 | 33                    | 66        | 10,2                               | 48                                       | 1,00 | -                         |
| M5 | 6,9                   | 29,6                            | 23,2                            | 283  | 4,639 | 27                    | 60        | 9,6                                | 68                                       | 1,42 | -                         |

| N° | Chlorures Cl <sup>-</sup> |       | Calcium<br>Ca <sup>2+</sup> |       | Magnésium<br>Mg <sup>2+</sup> |       | Sodium<br>Na <sup>+</sup> |       | Fer<br>Fe <sup>3+</sup> |       |
|----|---------------------------|-------|-----------------------------|-------|-------------------------------|-------|---------------------------|-------|-------------------------|-------|
|    | mg/l                      | me/l  | mg/l                        | me/l  | mg/l                          | me/l  | mg/l                      | me/l  | mg/l                    | me/l  |
| K1 | 40                        | 1,128 | 103                         | 5,139 | 19                            | 1,563 | 56                        | 2,44  | 1,55                    | 0,082 |
| K2 | 34                        | 0,959 | 126                         | 6,287 | 13                            | 1,069 | 45                        | 1,94  | 1,63                    | 0,086 |
| K3 | 15                        | 0,423 | 168                         | 8,383 | 39                            | 3,207 | 21                        | 0,93  | 1,9                     | 0,102 |
| K4 | 19                        | 0,536 | 111                         | 5,539 | 20,5                          | 1,680 | 32                        | 1,38  | 0,2                     | 0,011 |
| K5 | 9                         | 0,254 | 168                         | 8,383 | 41                            | 3,371 | 7,0                       | 0,305 | 8                       | 0,430 |
| L2 | 11                        | 0,310 | 99                          | 4,940 | 33                            | 2,714 | 14                        | 0,610 | 0,1                     | 0,005 |
| L3 | 9,5                       | 0,268 | 123                         | 6,138 | 21,5                          | 1,760 | 5,3                       | 0,230 | 0,3                     | 0,016 |
| L4 | 13                        | 0,367 | 91                          | 4,541 | 24                            | 1,974 | 15                        | 0,662 | 0,23                    | 0,012 |
| M1 | 9,5                       | 0,268 | 80                          | 3,992 | 20,5                          | 1,680 | 9,4                       | 0,408 | 0,12                    | 0,006 |
| M2 | 10,5                      | 0,296 | 83                          | 4,142 | 22                            | 1,809 | 11,7                      | 0,508 | 0,5                     | 0,027 |
| M3 | 8                         | 0,226 | 93                          | 4,640 | 23                            | 1,891 | 8,6                       | 0,375 | 0,5                     | 0,027 |
| M4 | 8,8                       | 0,240 | 87                          | 4,341 | 21,5                          | 1,760 | 16,5                      | 0,710 | traces                  | --    |
| M5 | 7,5                       | 0,211 | 84                          | 4,192 | 21                            | 1,727 | 11,7                      | 0,508 | traces                  | --    |

RESULTATS DES ANALYSES DE

1° Série "eaux souterraines"

| n°)  | pH   | pH saturation | DHT ° français | TAC ° français | Bicarbonates CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> |       | Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |      | Chlorures Cl <sup>-</sup> |       |
|------|------|---------------|----------------|----------------|---|-------|--|------|---------------------------|-------|
|      |      |               |                |                | mg/l  | meq/l | mg/l                                   | me/l | mg/l                      | me/l  |
| a 1  | 7,1  | 7,0           | 34,8           | 29,8           | 364   | 5,96  | 50                                     | 1,04 | 7,0                       | 0,197 |
| a 3  | 7,15 |               | 34,4           | 25,9           | 316   | 5,18  | 65                                     | 1,35 | 9,0                       | 0,254 |
| a 4  | 7,55 |               | 24,4           | 14,0           | 171   | 2,80  | 104                                    | 2,16 | 7,0                       | 0,197 |
| a 5  | 7,2  |               | 28,0           | 14,0           | 171   | 2,80  | 150                                    | 3,12 | 8,5                       | 0,239 |
| a 6  | 7,6  | 7,52          | 21,6           | 17,6           | 215   | 3,52  | 23                                     | 0,48 | 6,5                       | 0,183 |
| a 7  | 7,0  |               | 37,2           | 27,1           | 331   | 5,42  | 82                                     | 1,71 | 11                        | 0,310 |
| a 8  | 7,0  |               | 27,2           | 23,1           | 282   | 4,62  | 40                                     | 0,83 | 4,5                       | 0,127 |
| a 9  | 7,2  |               | 33,2           | 22,1           | 269   | 4,42  | 46                                     | 0,96 | 10,5                      | 0,296 |
| a 10 | 7,2  |               | 26,8           | 15,6           | 190   | 3,12  | 55                                     | 1,14 | 8,0                       | 0,226 |
| a 12 | 7,1  |               | 34,8           | 30,0           | 366   | 5,99  | 44                                     | 0,92 | 3,0                       | 0,085 |
| a 13 | 7,0  |               | 40             | 32,2           | 393   | 6,41  | 60                                     | 1,25 | 11,5                      | 0,324 |
| b 2  | 6,8  |               | 38,8           | 34,0           | 415   | 6,80  | 42                                     | 0,87 | 7,5                       | 0,211 |
| b 4  | 6,8  |               | 38,0           | 26,0           | 317   | 5,20  | 57                                     | 1,19 | 12                        | 0,338 |
| b 5  | 7,3  | 7,67          | 15,2           | 9,4            | 115   | 1,88  | 48                                     | 1,00 | 4,0                       | 0,113 |
| b 6  | 7,2  | 7,57          | 24,8           | 17,9           | 218   | 3,58  | 54                                     | 1,12 | 6,0                       | 0,169 |
| b 7  | 7,2  | 7,57          | 20,4           | 13,3           | 162   | 2,66  | 60                                     | 1,25 | 12                        | 0,338 |
| b 8  | 7,0  |               | 32,8           | 30,7           | 375   | 6,14  | 59                                     | 1,23 | 18,5                      | 0,515 |
| b 9  | 7,2  |               | 29,2           | 19,0           | 232   | 3,80  | 150                                    | 3,12 | 10                        | 0,282 |
| b 12 | 7,1  |               | 34,0           | 31,0           | 378   | 6,2   | 28                                     | 0,58 | 7,5                       | 0,211 |
| b 13 | 7,1  |               | 32,8           | 31,9           | 389   | 6,36  | 51                                     | 1,06 | 9,5                       | 0,268 |
| b 14 | 7,1  |               | 36,0           | 27,6           | 337   | 5,52  | 60                                     | 1,25 | 10                        | 0,282 |
| b 15 | 6,9  |               | 41,2           | 33,5           | 408   | 6,60  | 54                                     | 1,12 | 11,5                      | 0,324 |
| b 16 | 7,15 |               | 36,4           | 28,0           | 342   | 5,60  | 54                                     | 1,12 | 18,5                      | 0,515 |
| c 1  | 7,05 |               | 40,0           | 37,2           | 454   | 7,44  | 37                                     | 0,77 | 8,5                       | 0,24  |
| c 2  | 7,05 |               | 32,4           | 26,3           | 321   | 5,26  | 60                                     | 1,25 | 6,5                       | 0,18  |
| c 5  | 7,4  |               | 32,0           | 27,2           | 332   | 5,44  | 47                                     | 0,98 | 22                        | 0,62  |
| c 6  | 7,4  |               | 22,0           | 21,0           | 256   | 4,20  | 12                                     | 0,25 | 3,5                       | 0,099 |
| c 7  | 7,5  |               | 26,4           | 25,8           | 315   | 5,16  | 11                                     | 0,23 | 6,0                       | 0,17  |
| c 9  | 6,9  |               | 46,0           | 39,3           | 480   | 7,86  | 40                                     | 0,83 | 30                        | 0,85  |
| c 11 | 7,1  |               | 33,6           | 28,0           | 342   | 5,60  | 67                                     | 1,40 | 10                        | 0,28  |
| c 12 | 7,1  |               | 37,2           | 36,2           | 442   | 7,24  | 15                                     | 0,31 | 5,5                       | 0,15  |
| c 13 | 6,8  |               | 44,0           | 37,0           | 452   | 7,40  | 80                                     | 1,67 | 11                        | 0,31  |
| d 1  | 7,0  |               | 38,0           | 30,7           | 375   | 6,14  | 49                                     | 1,02 | 10                        | 0,28  |
| d 2  | 7,15 |               | 31,6           | 24,2           | 295   | 4,84  | 60                                     | 1,25 | 6,5                       | 0,18  |
| d 3  | 7,4  |               | 25,2           | 11,3           | 158   | 2,26  | 118                                    | 2,46 | 7,0                       | 0,20  |
| d 5  | 7,4  |               | 25,2           | 24,9           | 304   | 4,98  | 18                                     | 0,37 | 8,0                       | 0,22  |
| d 6  | 7,1  |               | 28,0           | 19,3           | 234   | 3,84  | 94                                     | 1,96 | 6,5                       | 0,18  |
| d 7  | 7,2  |               | 27,2           | 18,0           | 220   | 3,60  | 98                                     | 2,04 | 6,5                       | 0,18  |
| d 8  | 7,0  |               | 30,0           | 23,3           | 284   | 4,66  | 68                                     | 1,42 | 5,5                       | 0,15  |
| d 9  | 7,6  |               | 22,8           | 10,5           | 128   | 2,10  | 104                                    | 2,16 | 80                        | 0,22  |
| d 10 | 7,6  |               | 23,2           | 10,2           | 124   | 2,04  | 108                                    | 2,25 | 7,5                       | 0,21  |
| d 15 | 7,0  | 7,45          | 32,0           | 34,2           | 417   | 6,84  | 3,5                                    | 0,07 | 6,0                       | 0,17  |

JUIN 1968.

| n°)  | Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |        | Calcium Ca <sup>2+</sup> |      | Magnésium Mg <sup>2+</sup> |       | CO <sub>2</sub> théorique en mg/l de CO <sub>2</sub> | Résistivité en ohms/cm | Fer    |        |
|------|---------------------------------------|--------|--------------------------|------|----------------------------|-------|--|------------------------|--------|--------|
|      | mg/l                                  | me/l   | mg/l                     | me/l | mg/l                       | me/l  |  |                        | mg/l   | me/l   |
| a 1  | 2,95                                  | 0,048  | 111                      | 5,54 | 17,5                       | 1,44  | 22,8   | 1745                   | 0,06   | 0,0032 |
| a 3  | 12                                    | 0,193  | 112                      | 5,59 | 15,5                       | 1,28  | 14,2   | 1715                   | 0,21   | 0,011  |
| a 4  | 0,75                                  | 0,0120 | 70                       | 3,49 | 16,5                       | 1,36  | 2,2  | 2255                   | 0,15   | 0,0081 |
| a 5  | 3,8                                   | 0,061  | 90                       | 4,49 | 13,5                       | 1,12  | 7,5  | 1995                   | 0,25   | 0,013  |
| a 6  | 1,0                                   | 0,016  | 72                       | 3,59 | 8,8                        | 0,72  | 3,5  | 3030                   | 0,1    | 0,0054 |
| a 7  | 12                                    | 0,193  | 120                      | 5,99 | 17,5                       | 1,44  | 23,3   | 1595                   | 0,1    | 0,0054 |
| a 8  | 8,0                                   | 0,129  | 91                       | 4,54 | 10,7                       | 0,88  | 19,4   | 2090                   | 1,5    | 0,081  |
| a 9  | 60                                    | 0,968  | 114                      | 5,69 | 11,7                       | 0,96  | 11,8   | 1635                   | 0,15   | 0,0081 |
| a 10 | 6,0                                   | 0,097  | 72                       | 3,59 | 21,5                       | 1,76  | 7,9  | 2520                   | 0,1    | 0,0054 |
| a 12 | 3,25                                  | 0,052  | 122                      | 6,09 | 10,7                       | 0,88  | 20,7   | 1755                   | 0,1    | 0,0054 |
| a 13 | 15                                    | 0,242  | 131                      | 6,54 | 17,5                       | 1,44  | 27,3   | 1475                   | 0,4    | 0,021  |
| b 2  | 3,4                                   | 0,0548 | 144                      | 7,18 | 6,8                        | 0,56  | 47,5   | 1610                   | 0,05   | 0,0027 |
| b 4  | 9,0                                   | 0,145  | 119                      | 5,94 | 20                         | 1,64  | 35,3   | 1675                   | 0,5    | 0,027  |
| b 5  | 4,5                                   | 0,073  | 61                       | 3,04 | 2                          | 0,16  | 3,5  | 2255                   | 0,1    | 0,0054 |
| b 6  | 9,5                                   | 0,152  | 80                       | 3,99 | 11,7                       | 0,96  | 11   | 2335                   | 0,07   | 0,0038 |
| b 7  | 2,5                                   | 0,040  | 64                       | 3,19 | 10,7                       | 0,88  | 6,6  | 2615                   | 0,1    | 0,0054 |
| b 8  | 26                                    | 0,419  | 111                      | 5,54 | 12,5                       | 1,04  | 26   | 1365                   | 0,15   | 0,0081 |
| b 9  | 0,75                                  | 0,012  | 90                       | 4,49 | 16,5                       | 1,36  | 10   | 1620                   | 0,4    | 0,021  |
| b 12 | 9,0                                   | 0,145  | 99                       | 4,94 | 22                         | 1,81  | 21   | 1745                   | 0,41   | 0,022  |
| b 13 | 9,0                                   | 0,145  | 98                       | 4,89 | 20,5                       | 1,68  | 22   | 1500                   | 0,12   | 0,0064 |
| b 14 | 14,5                                  | 0,237  | 122                      | 6,09 | 13,5                       | 1,12  | 18,9   | 1520                   | 0,15   | 0,0081 |
| b 15 | 29                                    | 0,468  | 131                      | 6,54 | 20,5                       | 1,68  | 37,4   | 1445                   | 0,1    | 0,0054 |
| b 16 | 11,5                                  | 0,185  | 122                      | 6,09 | 14,5                       | 1,20  | 17,2   | 1635                   | 0,55   | 0,029  |
| c 1  | 1,3                                   | 0,021  | 128                      | 6,39 | 19,5                       | 1,60  | 28,6   | 1500                   | 1,65   | 0,086  |
| c 2  | 14                                    | 0,23   | 104                      | 5,19 | 15,5                       | 1,28  | 19,7   | 1745                   | traces | --     |
| c 5  | 68                                    | 1,10   | 111                      | 5,54 | 20,5                       | 1,68  | 9,25   | 1380                   | traces | --     |
| c 6  | 2,8                                   | 0,045  | 72                       | 3,59 | 9,7                        | 0,80  | 2,6  | 2455                   | traces | --     |
| c 7  | 0,45                                  | 0,0073 | 87                       | 4,34 | 11,7                       | 0,96  | 7,0  | 2100                   | 0,24   | 0,013  |
| c 9  | 39                                    | 0,629  | 157                      | 7,82 | 16,5                       | 1,36  | 43   | 2035                   | traces | --     |
| c 11 | 11                                    | 0,177  | 112                      | 5,59 | 5,8                        | 0,48  | 18,9   | 1635                   | 1,08   | 0,060  |
| c 12 | 0,4                                   | 0,0064 | 104                      | 5,19 | 17,5                       | 1,44  | 25   | 1610                   | 2,75   | 0,145  |
| c 13 | 0,8                                   | 0,013  | 147                      | 7,33 | 17,5                       | 1,44  | 51   | 1340                   | 1,52   | 0,082  |
| d 1  | 2,25                                  | 0,0363 | 119                      | 5,94 | 20,5                       | 1,68  | 42,2   | 1565                   | 0,8    | 0,043  |
| d 2  | 2,45                                  | 0,0395 | 109                      | 5,44 | 10,7                       | 0,88  | 15,4   | 1820                   | traces | --     |
| d 3  | 0,2                                   | 0,0032 | 75                       | 3,74 | 15,5                       | 1,28  | 4,5  | 2130                   | traces | --     |
| d 5  | 0,2                                   | 0,0032 | 70                       | 3,49 | 18,5                       | 1,52  | 8,8  | 2300                   | 0,53   | 0,028  |
| d 6  | 0,6                                   | 0,096  | 88                       | 4,39 | 14,5                       | 1,200 | 15,4   | 1930                   | 8      | 0,49   |
| d 7  | 0,4                                   | 0,0064 | 90                       | 4,49 | 11,7                       | 0,96  | 10   | 1955                   | 0,55   | 0,029  |
| d 8  | 2,1                                   | 0,034  | 98                       | 4,89 | 13,5                       | 1,12  | 25,5   | 1945                   | 2,5    | 0,134  |
| d 9  | 0,1                                   | 0,0016 | 72                       | 3,59 | 11,7                       | 0,96  | 2  | 2255                   | traces | --     |
| d 10 | 0,1                                   | 0,0016 | 70                       | 3,49 | 13,5                       | 1,12  | 2  | 2215                   | traces | --     |
| d 15 | 1,6                                   | 0,026  | 114                      | 5,69 | 8,8                        | 0,72  | 29   | 1700                   | 3,0    | 0,16   |

| n°)  | pH   | pH saturation | DHT  | TAC  | Bicarbonates |      | Sulfates $SO_4^{2-}$ |      | Chlorures $Cl^-$ |       |
|------|------|---------------|------|------|--------------|------|----------------------|------|------------------|-------|
|      |      |               |      |      | mg/l         | me/l | mg/l                 | me/l | mg/l             | me/l  |
| e 1  | 6,75 | 6,97          | 59,2 | 42,2 | 515          | 8,43 | 130                  | 2,71 | 25               | 0,705 |
| e 2  | 7,3  |               | 34,8 | 27,5 | 335          | 5,50 | 71                   | 1,48 | 5                | 0,141 |
| e 3  | 7,0  |               | 40,4 | 37,7 | 459          | 7,51 | 36                   | 0,75 | 6,5              | 0,183 |
| e 7  | 7,1  |               | 42,0 | 32,9 | 401          | 6,52 | 66                   | 1,37 | 14               | 0,395 |
| e 8  | 7,2  |               | 29,8 | 28,1 | 343          | 5,62 | 25                   | 0,52 | 9                | 0,254 |
| e 8  | 7,2  |               | 29,8 | 28,1 | 343          | 5,62 | 25                   | 0,52 | 9                | 0,254 |
| e 9  | 7,0  |               | 43,2 | 35,2 | 429          | 7,03 | 53                   | 1,10 | 16,5             | 0,465 |
| e 9  | 7,0  |               | 43,2 | 35,2 | 429          | 7,03 | 53                   | 1,10 | 16,5             | 0,465 |
| e 10 | 7,15 |               | 35,6 | 24,5 | 299          | 4,90 | 100                  | 2,08 | 21               | 0,592 |
| e 10 | 7,15 |               | 35,6 | 24,5 | 299          | 4,90 | 100                  | 2,08 | 21               | 0,592 |
| e 11 | 7,05 |               | 37,2 | 32,3 | 394          | 6,42 | 47                   | 0,98 | 4                | 0,113 |
| e 11 | 7,05 |               | 37,2 | 32,3 | 394          | 6,42 | 47                   | 0,98 | 4                | 0,113 |
| e 12 | 7,2  |               | 26,4 | 22,1 | 361          | 5,92 | 51                   | 1,06 | 9                | 0,254 |
| e 12 | 7,2  |               | 26,4 | 22,1 | 361          | 5,92 | 51                   | 1,06 | 9                | 0,254 |
| e 13 | 7,1  | 26,8          | 17,5 | 213  | 3,49         | 94   | 1,96                 | 5    | 0,141            |       |
| e 13 | 7,1  | 26,8          | 17,5 | 213  | 3,49         | 94   | 1,96                 | 5    | 0,141            |       |
| e 14 | 6,8  | 73,4          | 46,8 | 570  | 9,34         | 345  | 7,18                 | 28   | 0,790            |       |
| e 14 | 6,8  | 73,4          | 46,8 | 570  | 9,34         | 345  | 7,18                 | 28   | 0,790            |       |
| f 1  | 6,8  | 6,69          | 41,2 | 39,3 | 479          | 7,84 | 23                   | 0,48 | 5,5              | 0,155 |
| f 2  | 7,6  |               | 25,6 | 16,7 | 204          | 3,34 | 82                   | 1,71 | 7,5              | 0,211 |
| f 3  | 7,1  |               | 37,6 | 33,1 | 404          | 6,62 | 29                   | 0,60 | 5,0              | 0,141 |
| f 3  | 7,1  |               | 37,6 | 33,1 | 404          | 6,62 | 29                   | 0,60 | 5,0              | 0,141 |
| f 5  | 7,1  |               | 52,4 | 39,0 | 476          | 7,80 | 125                  | 2,60 | 20,5             | 0,580 |
| f 5  | 7,1  |               | 52,4 | 39,0 | 476          | 7,80 | 125                  | 2,60 | 20,5             | 0,580 |
| f 6  | 7,6  |               | 14,4 | 17,9 | 218          | 3,58 | 32                   | 0,67 | 4                | 0,112 |
| f 6  | 7,6  |               | 14,4 | 17,9 | 218          | 3,58 | 32                   | 0,67 | 4                | 0,112 |
| f 7  | 7,6  |               | 22,8 | 18,8 | 229          | 3,76 | 112                  | 2,33 | 8                | 0,225 |
| f 7  | 7,6  |               | 22,8 | 18,8 | 229          | 3,76 | 112                  | 2,33 | 8                | 0,225 |
| f 8  | 7,4  |               | 33,2 | 20,7 | 252          | 4,14 | 118                  | 2,46 | 9,5              | 0,268 |
| f 8  | 7,4  |               | 33,2 | 20,7 | 252          | 4,14 | 118                  | 2,46 | 9,5              | 0,268 |
| f 9  | 7,15 |               | 25,6 | 17,0 | 207          | 3,40 | 92                   | 1,92 | 3                | 0,085 |
| f 9  | 7,15 |               | 25,6 | 17,0 | 207          | 3,40 | 92                   | 1,92 | 3                | 0,085 |
| f 10 | 7,0  |               | 51,6 | 30,2 | 368          | 6,04 | 185                  | 3,85 | 5,5              | 0,155 |
| f 10 | 7,0  | 51,6          | 30,2 | 368  | 6,04         | 185  | 3,85                 | 5,5  | 0,155            |       |
| f 11 | 6,95 | 49,6          | 42,0 | 511  | 8,36         | 72   | 1,50                 | 8    | 0,226            |       |
| f 11 | 6,95 | 49,6          | 42,0 | 511  | 8,36         | 72   | 1,50                 | 8    | 0,226            |       |
| f 12 | 7,4  | 37,2          | 21,2 | 259  | 4,24         | 165  | 3,43                 | 9    | 0,254            |       |
| f 12 | 7,4  | 37,2          | 21,2 | 259  | 4,24         | 165  | 3,43                 | 9    | 0,254            |       |
| f 13 | 7,0  | 39,6          | 35,0 | 426  | 6,96         | 49   | 1,02                 | 15   | 0,423            |       |
| f 13 | 7,0  | 39,6          | 35,0 | 426  | 6,96         | 49   | 1,02                 | 15   | 0,423            |       |
| f 14 | 7,15 | 36,0          | 33,6 | 410  | 6,71         | 29   | 0,60                 | 6    | 0,169            |       |
| f 14 | 7,15 | 36,0          | 33,6 | 410  | 6,71         | 29   | 0,60                 | 6    | 0,169            |       |
| f 15 | 7,15 | 44,8          | 43,7 | 532  | 8,70         | 25   | 0,52                 | 12   | 0,338            |       |
| f 15 | 7,15 | 44,8          | 43,7 | 532  | 8,70         | 25   | 0,52                 | 12   | 0,338            |       |
| g 1  | 6,95 | 6,61          | 37,6 | 24,1 | 294          | 4,82 | 160                  | 3,33 | 17               | 0,479 |
| g 2  | 7,3  |               | 32,8 | 18,0 | 220          | 3,60 | 130                  | 2,71 | 9                | 0,254 |
| g 3  | 7,15 |               | 44,0 | 37,7 | 460          | 7,53 | 58                   | 1,21 | 13               | 0,367 |
| g 3  | 7,15 |               | 44,0 | 37,7 | 460          | 7,53 | 58                   | 1,21 | 13               | 0,367 |
| g 4  | 7,4  |               | 41,2 | 32,0 | 390          | 6,37 | 55                   | 1,14 | 18               | 0,508 |
| g 4  | 7,4  |               | 41,2 | 32,0 | 390          | 6,37 | 55                   | 1,14 | 18               | 0,508 |
| g 5  | 7,25 |               | 34,4 | 25,9 | 316          | 5,18 | 92                   | 1,92 | 7,5              | 0,211 |
| g 5  | 7,25 |               | 34,4 | 25,9 | 316          | 5,18 | 92                   | 1,92 | 7,5              | 0,211 |
| g 6  | 7,2  |               | 41,2 | 32,1 | 392          | 6,39 | 130                  | 2,71 | 9,5              | 0,268 |
| g 6  | 7,2  | 41,2          | 32,1 | 392  | 6,39         | 130  | 2,71                 | 9,5  | 0,268            |       |
| g 7  | 7,05 | 42,4          | 37,3 | 402  | 6,59         | 74   | 1,54                 | 33   | 0,931            |       |
| g 7  | 7,05 | 42,4          | 37,3 | 402  | 6,59         | 74   | 1,54                 | 33   | 0,931            |       |
| g 8  | 7,1  | 7,6           | 8,9  | 109  | 1,78         | 6    | 0,125                | 3    | 0,085            |       |
| g 8  | 7,1  | 7,6           | 8,9  | 109  | 1,78         | 6    | 0,125                | 3    | 0,085            |       |
| g 9  | 7,15 | 32,0          | 30,3 | 370  | 6,06         | 48   | 1,00                 | 37   | 1,04             |       |
| g 9  | 7,15 | 32,0          | 30,3 | 370  | 6,06         | 48   | 1,00                 | 37   | 1,04             |       |
| h 1  | 6,8  | 6,79          | 88   | 49   | 598          | 9,80 | 350                  | 7,29 | 152              | 4,28  |
| h 2  | 6,75 |               | 60,8 | 48,7 | 582          | 9,52 | 70                   | 1,46 | 36               | 1,015 |
| h 3  | 7,05 |               | 47,6 | 40,4 | 492          | 8,05 | 61                   | 1,27 | 7,5              | 0,211 |
| h 3  | 7,05 |               | 47,6 | 40,4 | 492          | 8,05 | 61                   | 1,27 | 7,5              | 0,211 |
| h 4  | 6,9  |               | 48,8 | 41,6 | 508          | 8,32 | 70                   | 1,46 | 4                | 0,113 |
| h 4  | 6,9  |               | 48,8 | 41,6 | 508          | 8,32 | 70                   | 1,46 | 4                | 0,113 |
| h 5  | 7,1  |               | 40,0 | 31,7 | 387          | 6,32 | 78                   | 1,62 | 30,5             | 0,860 |
| h 5  | 7,1  | 40,0          | 31,7 | 387  | 6,32         | 78   | 1,62                 | 30,5 | 0,860            |       |
| h 6  | 7,05 | 68,8          | 47,7 | 581  | 9,51         | 190  | 3,96                 | 14   | 0,395            |       |
| h 6  | 7,05 | 68,8          | 47,7 | 581  | 9,51         | 190  | 3,96                 | 14   | 0,395            |       |
| h 7  | 6,75 | 48,0          | 43,8 | 533  | 8,73         | 49   | 1,02                 | 14,5 | 0,400            |       |
| h 7  | 6,75 | 48,0          | 43,8 | 533  | 8,73         | 49   | 1,02                 | 14,5 | 0,400            |       |

| n°)  | Nitrates $NO_3^-$ |        | Calcium $Ca^{2+}$ |       | Magnésium $Mg^{2+}$ |       | CO <sub>2</sub> libre théorique en mg/l | Résistivité | Fer $Fe^{3+}$ |        |
|------|-------------------|--------|-------------------|-------|---------------------|-------|---|-------------|---------------|--------|
|      | mg/l              | me/l   | mg/l              | me/l  | mg/l                | me/l  |   |             | mg/l          | me/l   |
| e 1  | 72                | 1,16   | 186               | 9,29  | 31                  | 2,55  | 66                                      | 911         | 0,09          | 0,0048 |
| e 2  | 1,0               | 0,016  | 114               | 5,69  | 15,5                | 1,28  | 11,5                                    | 1770        | 4,7           | 0,252  |
| e 3  | 0,8               | 0,013  | 127               | 6,34  | 21,5                | 1,76  | 35                                      | 1525        | 3,25          | 0,172  |
| e 7  | 1,2               | 0,019  | 117               | 5,84  | 31                  | 2,55  | 22                                      | 1445        | 0,07          | 0,0038 |
| e 8  | 0,6               | 0,010  | 95                | 4,74  | 15                  | 1,23  | 15                                      | 1915        | 1,35          | 0,070  |
| e 9  | 30                | 0,48   | 149               | 7,43  | 14,5                | 1,20  | 32                                      | 1085        | 0,1           | 0,0054 |
| e 10 | 1,0               | 0,016  | 112               | 5,59  | 19                  | 1,56  | 145                                     | 1580        | 1,5           | 0,081  |
| e 11 | 0,8               | 0,013  | 131               | 6,54  | 10,7                | 0,88  | 24,2                                    | 1660        | 5,0           | 0,269  |
| e 12 | 0,6               | 0,010  | 111               | 5,54  | 10,7                | 0,88  | 11,8                                    | 1745        | 3,9           | 0,209  |
| e 13 | 1,1               | 0,018  | 79                | 3,94  | 17,5                | 1,44  | 11,8                                    | 2120        | 0,62          | 0,033  |
| e 14 | 1,8               | 0,029  | 216               | 10,78 | 42                  | 3,45  | 90                                      | 740         | 31            | 1,66   |
| e 14 | 1,8               | 0,029  | 216               | 10,78 | 42                  | 3,45  | 90                                      | 740         | 31            | 1,66   |
| f 1  | 0,7               | 0,011  | 128               | 6,39  | 16,5                | 1,36  | 55                                      | 1555        | 7             | 0,376  |
| f 2  | 0,1               | 0,0016 | 66                | 3,29  | 22                  | 1,81  | 35,2                                    | 2170        | 0,05          | 0,0027 |
| f 3  | 9,0               | 0,14   | 109               | 5,44  | 25                  | 2,06  | 22,8                                    | 1635        | 0,05          | 0,0027 |
| f 5  | 0,8               | 0,013  | 164               | 8,18  | 28                  | 2,30  | 26,8                                    | 1072        | 0,62          | 0,003  |
| f 6  | 2,25              | 0,036  | 50                | 2,49  | 4                   | 0,33  | 3,5                                     | 2520        | 0,075         | 0,0040 |
| f 7  | 0,4               | 0,006  | 64                | 3,19  | 12,5                | 1,04  | 4,4                                     | 1820        | 0,2           | 0,011  |
| f 8  | 0,4               | 0,006  | 103               | 5,14  | 18,5                | 1,52  | 7,05                                    | 1755        | 1,95          | 0,102  |
| f 9  | 0,8               | 0,013  | 74                | 3,69  | 17,5                | 1,44  | 10                                      | 2170        | 0,62          | 0,033  |
| f 10 | 1,0               | 0,016  | 167               | 8,34  | 24                  | 1,97  | 26                                      | 1140        | 7             | 0,376  |
| f 11 | 1,8               | 0,029  | 160               | 8,00  | 27                  | 2,22  | 39,5                                    | 1200        | 4,75          | 0,252  |
| f 12 | 0,7               | 0,011  | 114               | 5,69  | 21,5                | 1,76  | 70                                      | 1540        | 1,3           | 0,070  |
| f 13 | 7,0               | 0,113  | 136               | 6,79  | 13,5                | 1,12  | 30                                      | 1475        | 0,15          | 0,0081 |
| f 14 | 1,6               | 0,026  | 112               | 5,59  | 19,5                | 1,60  | 20,6                                    | 1635        | 0,21          | 0,011  |
| f 15 | 3,0               | 0,048  | 135               | 6,74  | 27                  | 2,22  | 32,5                                    | 1405        | 25            | 1,34   |
| f 15 | 3,0               | 0,048  | 135               | 6,74  | 27                  | 2,22  | 32,5                                    | 1405        | 25            | 1,34   |
| g 1  | 10                | 0,161  | 117               | 5,84  | 20,5                | 1,68  | 23,8                                    | 1400        | 0,05          | 0,0027 |
| g 2  | 1,5               | 0,024  | 101               | 5,04  | 18,5                | 1,52  | 7,45                                    | 1745        | 3,4           | 0,18   |
| g 3  | 2,2               | 0,035  | 128               | 6,39  | 29                  | 2,38  | 23,3                                    | 1390        | 0,075         | 0,0040 |
| g 4  | 43                | 0,694  | 87                | 4,34  | 48                  | 3,95  | 11                                      | 1390        | 0,025         | 0,0013 |
| g 5  | 3,8               | 0,061  | 88                | 4,39  | 30                  | 2,47  | 19                                      | 1610        | 0,2           | 0,011  |
| g 6  | 1,75              | 0,028  | 123               | 6,14  | 25                  | 2,06  | 17                                      | 1350        | 0,15          | 0,0081 |
| g 7  | 1,75              | 0,028  | 135               | 6,74  | 21,5                | 1,76  | 27,7                                    | 1300        | 0,75          | 0,040  |
| g 8  | 2,25              | 0,036  | 45                | 2,24  | 1                   | 0,082 | 5,7                                     | 550         | 0,65          | 0,035  |
| g 9  | 0,95              | 0,015  | 103               | 5,14  | 15,5                | 1,28  | 31,5                                    | 1460        | 8             | 0,43   |
| g 9  | 0,95              | 0,015  | 103               | 5,14  | 15,5                | 1,28  | 31,5                                    | 1460        | 8             | 0,43   |
| h 1  | 4,4               | 0,070  | 262               | 13,1  | 52                  | 4,28  | 66                                      | 496         | 1,42          |        |
| h 2  | 10                | 0,161  | 192               | 9,57  | 31                  | 2,55  | 68                                      | 965         | 2,51          |        |
| h 3  | 0,25              | 0,004  | 138               | 6,89  | 32                  | 2,63  | 31,6                                    | 1350        | 0,85          | 0,046  |
| h 4  | 0,15              | 0,0024 | 157               | 7,85  | 23                  | 1,89  | 45,6                                    | 1325        | 1,8           | 0,097  |
| h 5  | 16,5              | 0,266  | 133               | 6,64  | 16,5                | 1,36  | 22                                      | 1300        | 0,2           | 0,011  |
| h 6  | 5,65              | 0,091  | 211               | 10,51 | 40                  | 3,29  | 39                                      | 885         | 0,15          | 0,0081 |
| h 7  | 2,25              | 0,036  | 151               | 7,54  | 25                  | 2,06  | 66                                      | 1290        | 38            | 2,041  |

| n°)                         | pH   | pH saturation | DHT  | TAC  | Bicarbonates CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> |       | Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |       | Chlorures Cl <sup>-</sup> |       |
|-----------------------------|------|---------------|------|------|---|-------|--|-------|---------------------------|-------|
|                             |      |               |      |      | mg/l  | me/l  | mg/l                                   | me/l  | mg/l                      | me/l  |
| h 9                         | 6,8  | 6,66          | 60,4 | 46,3 | 565   | 9,25  | 140                                    | 2,91  | 19                        | 0,536 |
| h 10                        | 7,3  |               | 45,6 | 30,0 | 366   | 5,99  | 185                                    | 3,85  | 37                        | 1,043 |
| h 11                        | 7,15 |               | 70,0 | 54,6 | 566   | 9,27  | 202                                    | 4,21  | 33,5                      | 0,940 |
| h 12                        | 7,05 |               | 54,8 | 36,7 | 445   | 7,28  | 144                                    | 3,00  | 14,5                      | 0,409 |
| h 13                        | 7,05 |               | 40,4 | 33,6 | 410   | 6,71  | 75                                     | 1,56  | 36                        | 1,015 |
| h 14                        | 6,8  |               | 57,2 | 46,8 | 571   | 9,35  | 150                                    | 3,12  | 36,5                      | 1,030 |
| h 15                        | 7,15 | 7,5           | 52,8 | 42,1 | 514   | 8,42  | 155                                    | 3,23  | 23,5                      | 0,66  |
| h 16                        | 7,55 |               | 16,8 | 20,7 | 252   | 4,14  | traces                                 | -     | 28                        | 0,790 |
| i 1                         | 6,8  | 7,15          | 42,6 | 39,0 | 476   | 7,798 | 37                                     | 0,770 | 15,5                      | 0,437 |
| i 2                         | 6,8  |               | 44,8 | 40,2 | 490   | 8,040 | 45                                     | 0,937 | 10                        | 0,282 |
| i 3                         | 7,1  |               | 33,0 | 31,2 | 381   | 6,242 | 56                                     | 1,166 | 45                        | 1,269 |
| i 4                         | 7,0  |               | 39,2 | 36,7 | 448   | 7,34  | 64                                     | 1,332 | 47                        | 1,325 |
| i 5                         | 6,85 |               | 34,2 | 23,8 | 290   | 4,759 | 100                                    | 2,082 | 8                         | 0,225 |
| i 6                         | 7,3  |               | 20,0 | 9,0  | 110   | 1,799 | 110                                    | 2,290 | 7                         | 0,198 |
| 2°) Série "eaux de surface" |      |               |      |      |   |       |  |       |                           |       |
| a 2                         | 7,55 | 7,78          | 26,8 | 9,8  | 120   | 1,96  | 155                                    | 3,23  | 8,0                       | 0,22  |
| a 11                        | 7,6  | 7,51          | 18,8 | 17,2 | 210   | 3,44  | 9                                      | 0,187 | 3,0                       | 0,085 |
| a 14                        | 7,6  | 7,6           | 17,6 | 15,6 | 190   | 3,12  | 19                                     | 0,396 | 3,5                       | 0,099 |
| b 1                         | 7,4  | 8,28          | 9,2  | 5,7  | 69,5  | 1,14  | 36,5                                   | 0,76  | 2,5                       | 0,070 |
| b 3                         | 7,5  |               | 23,2 | 21,5 | 262   | 4,30  | 28                                     | 0,58  | 6,0                       | 0,17  |
| b 11                        | 7,6  |               | 15,6 | 13,5 | 165   | 2,70  | 22                                     | 0,46  | 2,5                       | 0,070 |
| c 3                         | 7,5  | 7,67          | 26,8 | 12,0 | 146   | 2,39  | 134                                    | 2,79  | 13                        | 0,366 |
| c 4                         | 7,5  |               | 17,2 | 9,5  | 116   | 1,90  | 68                                     | 1,42  | 3,5                       | 0,099 |
| c 8                         | 7,5  |               | 27,2 | 20,3 | 248   | 4,06  | 74                                     | 1,54  | 6,0                       | 0,169 |
| c 10                        | 7,5  |               | 17,6 | 7,1  | 87  | 1,42  | 106                                    | 2,21  | 3,5                       | 0,099 |
| c 14                        | 7,7  |               | 18,4 | 17,5 | 213   | 3,50  | 17                                     | 0,35  | 5,0                       | 0,141 |
| d 4                         | 7,4  |               | 7,16 | 30,4 | 25,0  | 305   | 5,00                                   | 65    | 1,35                      | 7,0   |
| d 11                        | 7,6  | 7,67          | 24,0 | 9,5  | 116   | 1,90  | 126                                    | 2,62  | 7,5                       | 0,211 |
| d 12                        | 7,3  |               | 28,0 | 26,5 | 323   | 5,30  | 26                                     | 0,54  | 5,0                       | 0,141 |
| d 13                        | 7,3  |               | 22,0 | 21,5 | 262   | 4,30  | 12                                     | 0,25  | 4,0                       | 0,112 |
| d 14                        | 7,6  |               | 15,6 | 15,0 | 183   | 3,00  | 5,5                                    | 0,11  | 3,0                       | 0,085 |
| e 4                         | 7,6  | 7,75          | 19,6 | 17,3 | 211   | 3,46  | 19                                     | 0,40  | 3,5                       | 0,099 |
| e 5                         | 7,6  |               | 22,4 | 9,3  | 113   | 1,86  | 122                                    | 2,54  | 7,0                       | 0,198 |
| e 6                         | 7,55 |               | 8,0  | 5,3  | 65  | 1,06  | 31                                     | 0,64  | 2,5                       | 0,070 |
| f 4                         | 7,55 | 7,75          | 33,2 | 31,4 | 383   | 6,27  | 22                                     | 0,46  | 4,0                       | 0,113 |
| f 16                        | 7,6  |               | 32,4 | 29,0 | 354   | 5,80  | 29                                     | 0,60  | 6,0                       | 0,169 |
| f 17                        | 7,6  |               | 26,0 | 21,3 | 260   | 4,26  | 47                                     | 1,00  | 4,5                       | 0,127 |
| h 8                         | 7,6  |               | 16,0 | 14,1 | 172   | 2,82  | 31                                     | 0,64  | 22                        | 0,62  |

| n°)  | Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |        | Calcium Ca <sup>2+</sup> |      | Magnésium Mg <sup>2+</sup> |       | CO <sub>2</sub> théorique | Résistivité | Fer Fe <sup>3+</sup> |        |
|------|---------------------------------------|--------|--------------------------|------|----------------------------|-------|---------------------------|-------------|----------------------|--------|
|      | mg/l                                  | me/l   | mg/l                     | me/l | mg/l                       | me/l  |                           |             | mg/l                 | me/l   |
| h 9  | 2,5                                   | 0,040  | 178                      | 8,88 | 39                         | 3,21  | 79                        | 940         | 0,75                 | 0,040  |
| h 10 | 0,4                                   | 0,006  | 125                      | 6,24 | 35                         | 2,88  | 34,7                      | 940         | 0,35                 | 0,019  |
| h 11 | 1,7                                   | 0,027  | 174                      | 8,67 | 66                         | 5,43  | 33                        | 710         | 37,5                 | 2,00   |
| h 12 | 19,2                                  | 0,308  | 165                      | 8,23 | 33                         | 2,71  | 28                        | 1340        | traces               | -      |
| h 13 | 0,2                                   | 0,003  | 122                      | 6,09 | 25                         | 2,06  | 24,6                      | 1340        | 1,3                  | 0,069  |
| h 14 | 0,55                                  | 0,0088 | 167                      | 8,33 | 38                         | 3,12  | 70,5                      | 885         | 6,2                  | 0,330  |
| h 15 | 0,32                                  | 0,005  | 128                      | 6,39 | 50                         | 4,11  | 24,6                      | 965         | 7,8                  | 0,419  |
| h 16 | 4,35                                  | 0,070  | 43                       | 2,14 | 14,5                       | 1,20  | 3,5                       | 2320        | 3,0                  | 0,161  |
| i 1  | 0,9                                   | 0,0145 | 114                      | 5,69 | 28,5                       | 2,344 | 55                        |             | 5                    | 0,269  |
| i 2  | 1,45                                  | 0,0237 | 123                      | 6,14 | 29,0                       | 2,385 | 64                        |             | 6,4                  | 0,344  |
| i 3  | 0,3                                   | 0,0048 | 104                      | 5,19 | 17,5                       | 1,340 | 21                        |             | 2,1                  | 0,113  |
| i 4  | 1,9                                   | 0,0306 | 119                      | 5,94 | 23                         | 1,891 | 31                        |             | 10,4                 | 0,54   |
| i 5  | 3,1                                   | 0,0500 | 104                      | 5,19 | 20                         | 1,64  | 29                        |             | 0,35                 | 0,188  |
| i 6  | 0,8                                   | 0,0126 | 62                       | 3,09 | 10,7                       | 0,88  | 3,9                       |             | 0,3                  | 0,161  |
| a 2  | 1,1                                   | 0,018  | 69                       | 3,44 | 23                         | 1,89  | 2,64                      | 2170        | 0,2                  | 0,011  |
| a 11 | 2,1                                   | 0,034  | 62                       | 3,09 | 7,8                        | 0,64  | 3,55                      | 3095        | 0,10                 | 0,0054 |
| a 14 | 2,4                                   | 0,039  | 58                       | 2,89 | 7,8                        | 0,64  | 3,08                      | 3165        | 0,25                 | 0,013  |
| b 1  | 2,2                                   | 0,035  | 27                       | 1,34 | 5,8                        | 0,48  | 1,72                      | 5360        | 0,25                 | 0,013  |
| b 3  | 0,5                                   | 0,008  | 75                       | 3,74 | 10,7                       | 0,88  | 1,72                      | 2440        | 0,45                 | 0,024  |
| b 11 | 0,5                                   | 0,008  | 49                       | 2,44 | 8,3                        | 0,68  | 2,64                      | 3550        | 0,10                 | 0,0054 |
| c 3  | 0,6                                   | 0,010  | 75                       | 3,74 | 19,5                       | 1,60  | 3,08                      | 2010        | traces               | --     |
| c 4  | 2,0                                   | 0,032  | 51                       | 2,54 | 10,7                       | 0,88  | 2,64                      | 3135        | traces               | --     |
| c 8  | 1,5                                   | 0,024  | 69                       | 3,44 | 24                         | 1,97  | 5,72                      | 2035        | 0,20                 | 0,011  |
| c 10 | 2,55                                  | 0,041  | 56                       | 2,79 | 8,8                        | 0,72  | 1,76                      | 2885        | traces               | --     |
| c 14 | 0,8                                   | 0,013  | 66                       | 3,29 | 4,8                        | 0,39  | 3,08                      | 2815        | traces               | --     |
| d 4  | 0,4                                   | 0,006  | 88                       | 4,39 | 10,7                       | 0,88  | 10                        | 1875        | 0,1                  | 0,0054 |
| d 11 | 0,9                                   | 0,014  | 70                       | 3,49 | 15,5                       | 1,28  | 5,25                      | 2170        | 0,95                 | 0,051  |
| d 12 | 4,3                                   | 0,070  | 85                       | 4,24 | 16,5                       | 1,36  | 11,4                      | 1985        | 0,22                 | 0,012  |
| d 13 | 1,3                                   | 0,021  | 70                       | 3,49 | 10,7                       | 0,88  | 9,2                       | 2500        | 0,15                 | 0,0081 |
| d 14 | 0,2                                   | 0,032  | 50                       | 2,49 | 7,8                        | 0,64  | 3,08                      | 3510        | traces               | --     |
| e 4  | 1,6                                   | 0,026  | 74                       | 3,69 | 3                          | 0,25  | 3,75                      | 3055        | 0,05                 | 0,003  |
| e 5  | 1,0                                   | 0,016  | 50                       | 2,49 | 24                         | 1,97  | 1,76                      | 2415        | 0,35                 | 0,019  |
| e 6  | 1,7                                   | 0,027  | 27                       | 1,35 | 3                          | 0,25  | 0,89                      | 5710        | 0,05                 | 0,003  |
| f 4  | 0,6                                   | 0,010  | 99                       | 4,94 | 20,5                       | 1,68  | 7,5                       | 1875        | 0,45                 | 0,024  |
| f 16 | 6,2                                   | 0,100  | 103                      | 5,14 | 16,5                       | 1,36  | 6,15                      | 1955        | 0,1                  | 0,005  |
| f 17 | 1,7                                   | 0,027  | 82                       | 4,10 | 13,5                       | 1,12  | 4,4                       | 2160        | 0,15                 | 0,008  |
| h 8  | 2,5                                   | 0,040  | 53                       | 2,65 | 6,8                        | 0,56  | 3,4                       | 2640        | 0,15                 | 0,008  |

A Lancey en s'éloignant de l'Isère :

|  | Isère (M2) | M1   | M3   |
|--|------------|------|------|
| $\frac{\text{CO}_3 \text{ H-}}{\text{N-}} =$ | 35 %       | 48 % | 69 % |
| $\frac{\text{SO}_4 =}{\text{N-}} =$          | 61 %       | 47 % | 28 % |
| Ph mesuré                                    | 7,3        | 7,0  | 7,0  |
| Ph de saturation                             | 7,67       | 7,57 | 7,29 |

Dans le premier exemple, le dernier échantillon montre une eau incrustante, alors que dans le deuxième la saturation n'est pas encore atteinte au niveau du dernier point de prélèvement.

Ces exemples correspondent à des prélèvements faits en basses eaux. En période de hautes eaux, la minéralisation totale des eaux de l'Isère baisse, le phénomène reste le même mais affaibli.

Les eaux de l'Isère subissent la même évolution bien que beaucoup plus lentement :

|  | Isère à Pontcharra (B4) | à La Terrasse (D4) | à Lancey (M2) |
|--|-------------------------|--------------------|---------------|
| $\frac{\text{CO}_3 \text{ H-}}{\text{N-}} =$ | 36 %                    | 40,0 %             | 40,3 %        |
| $\frac{\text{SO}_4 =}{\text{N-}} =$          | 54,3 %                  | 55,0 %             | 55,0 %        |

La minéralisation des eaux de l'Isère varie avec le débit de la rivière. Le tableau ci-dessous donne quelques mesures faites à Goncelin :

|                             | 25 XI 66 | 4 I 67 | 9 II 67 | 10 III 67 | 13 IV 67 | 11 V 67 | 10 VI 67 |
|-----------------------------|----------|--------|---------|-----------|----------|---------|----------|
| SO <sub>4</sub> = : en mg/l | 210      | 118    | 195     | 128       | 100      | 88      | 102      |
| T A C :                     | 13       | 17     | 11,8    | 12        | 12,5     | 9,7     | 9,7      |
| T H :                       | 35       | 29,2   | 32,2    | 24,4      | 29,2     | 22      | 22       |

Ces chiffres peuvent être mis en parallèle avec ceux donnés par Ch. LORY pour des analyses de l'eau de l'Isère à Grenoble en 1867 :

|         |            |           |       |
|---------|------------|-----------|-------|
| Janvier | Th : 28,75 | Juillet   | 20    |
| Février | 32,66      | Août      | 24    |
| Mars    | 27,37      | Septembre |       |
| Avril   | 29         | Octobre   | 27,33 |
| Mai     | 24         | Novembre  | 35    |
| Juin    | 14,5       | Décembre  | 39    |

Dans les eaux souterraines les carbonates sont prédominants sur les sulfates. Cela est beaucoup plus marqué en hautes eaux qu'en étiage. En effet, l'alimentation latérale est beaucoup plus importante en hautes eaux, alors qu'en étiage c'est l'Isère qui fournit la plus grosse part de l'alimentation de la nappe.

Les faibles teneurs en sulfate des affluents de la rive droite de l'Isère s'explique très bien par l'absence totale de gypse dans leur bassin versant et par la faible étendue des affleurements de calcaire marneux à pyrite. Ces assises sont la plupart du temps dissimulées sous des éboulis.

Donc si en hautes eaux le phénomène est beaucoup moins visible, il n'en reste pas moins le même. La charge minérale augmente tant que la saturation n'est pas atteinte ; mais au départ le rapport  $r \frac{\text{SO}_4 =}{\text{CO}_3 \text{ H-}}$  est déjà souvent inférieur à 1.

On peut se poser le problème de savoir pourquoi lorsque la minéralisation totale augmente c'est la teneur en CO<sub>3</sub> H- qui augmente, et chercher à savoir où est pris ce carbonate qui est dissous par les eaux souterraines en mouvement.

Les études pétrographiques faites sur les échantillons provenant des différentes formations qui composent le remplissage alluvial de la vallée, ont montré que le pourcentage de CO<sub>3</sub> Ca reste toujours, dans les parties centrales de la vallée, compris autour de 20 %. Le pourcentage de galets d'origine calcaire (pur ou non) est lui compris entre 30 et 60 %. Les alluvions ne contiennent pas de SO<sub>4</sub> Ca et probablement très peu de sulfure de fer (pyrite).

#### b) - Problème du fer.

Les eaux agressives vis à vis du carbonate de calcium (ou de magnésium) le sont également vis à vis du fer. La présence de CO<sub>2</sub> libre détermine cette agressivité ; mais les autres facteurs intervenant dans ces réactions sont nombreux. Les phénomènes d'inhibition et de stimulation interfèrent et il semble que seules quelques zones bien définies soient concernées par ce problème, bien que rien à priori dans le remplissage alluvial ou dans la forme de l'écoulement des eaux de la nappe ne distingue ces zones.

Les eaux de surface, très oxygénées, se désaèrent lentement en pénétrant dans les alluvions. Le taux de saturation en oxygène est atteint dans les eaux de l'Isère et du Bréda, alors que la teneur moyenne dans les eaux souterraines reste toujours très faible (de 0 à 5 mg/l). Dans ces conditions le fer ferreux Fe<sup>++</sup> passe en solution avec libération d'hydrogène sous forme d'ions H<sup>+</sup> : le Ph augmente jusqu'à l'équilibre :

$$\text{Log Fe}^{+++} = 15,1 - 2 \text{ Ph}$$

L'évolution du phénomène modifie la constitution de la charge minérale de l'eau ; elle a tendance à déposer du carbonate ferreux tout en pouvant rester agressive vis à vis du carbonate de calcium. En fait pour les exemples examinés, on enregistre même une légère incrustation. Sur une série de points, pris à l'aval de Lancey en s'éloignant de l'Isère on obtient :

|  | H 12 | H 11 | H 10 | H 8    | G 8    |
|--|------|------|------|--------|--------|
| $\frac{\text{CO}_3 \text{ H-}}{\text{N-}} =$ | 34 % | 44 % | 54 % | 69,7 % | 74,8 % |
| $\frac{\text{SO}_4 =}{\text{N-}} =$          | 58 % | 55 % | 47 % | 26,5 % | 22,3 % |
| résistivité =                                | 2210 | 1900 | 1750 | 1590   | 1540   |
| Ph mesuré =                                  | 7,4  | 7,4  | 7,15 | 7,1    | 6,9    |
| Ph de saturation =                           | 7,25 | 7,47 | 7,27 |        |        |
| Fe <sup>+++</sup> =                          | 0,59 | 6,0  | 2,1  | 0,25   | traces |

Dans cet exemple, la mise en solution du fer se fait en H 12 et H 11, la saturation vis à vis du fer est atteinte à ce moment là ; au niveau de H 10 il y a déjà dépôt de carbonate ferreux ; par contre l'eau reste agressive vis à vis du carbonate de calcium jusqu'en G 8 puisque la teneur relative en CO<sub>3</sub> H- continue à augmenter.

Le fer mis en solution peut avoir plusieurs origines :

\* On peut observer dans les gravières, la présence de galets d'oxyde de fer. Lorsque ces galets sont situés sur la surface de suintement, on voit très bien la trace couleur rouille qui va de ce galet à la surface de l'eau libre. Des analyses exécutées sur des prélèvements faits en différents points d'une gravière près du pont de Brignoud, où de tels phénomènes étaient visibles, ont donné des teneurs en fer très diverses, fortes près des galets ferrugineux, et presque nulles en d'autres endroits.

\* L'attaque des pyrites existant dans les alluvions ou surtout dans le substratum rocheux donne elle aussi du fer. Les pyrites toutefois sont rares dans les alluvions ; elles sont beaucoup plus fréquentes dans les calcaires marneux du Jurassique moyen qui existent en rive droite et en rive gauche. La réaction de l'eau sur ces pyrites se traduit par une altération très remarquable. L'oxydation du sulfure de fer donne du sulfate de calcium (gypse). Cette réaction s'accompagne d'une importante augmentation de volume qui fait éclater la roche et produit le débit en crayon. Toutefois les eaux de surface qui ont coulé sur de telles formations n'ont pas de teneurs en fer comparables à celles des eaux souterraines.

\* De nombreuses tourbières fossiles créent une acidité dans le sous-sol de certaines zones. Cette acidité peut entraîner la mise en solution du fer en présence de certaines bactéries. Cette hypothèse pourrait s'appliquer à la zone de Crolles où les sondages ont mis en évidence ces tourbières. Cependant aucune analyse bactériologique n'a permis de déceler la présence de ces bactéries du fer.

\* Dans la zone de battement de la nappe, le fer déposé sous forme de carbonate par les eaux incrustantes, peut se trouver à nouveau en contact avec des eaux oxygénées et non saturées (apports latéraux après de fortes pluies). Ce fer est donc remis en mouvement, soit en solution vraie, soit simplement entraîné en très fines particules par lessivage. C'est ainsi que à l'ancien aéroclub du Versoud, l'eau de la nappe est après les gros orages couleur rouille à la sortie de la pompe.

c) - La silice (Si O2)

Lors de la première campagne, la silice a été dosée sur chaque échantillon. Les teneurs assez constantes ne montrent aucune anomalie qui puisse trahir une origine profonde des eaux en certains points. Il semble que pour cet élément la saturation soit assez vite atteinte.

d) - Le sodium (Na+).

Les teneurs en sodium correspondent toujours aux teneurs en chlorure de sodium et restent, à une exception près, relativement faibles. Cela traduit l'absence presque complète de sulfate ou de carbonate de sodium. Le chlorure de sodium que l'on décèle doit avoir son origine dans les infiltrations d'eaux polluées par les ordures ménagères ou les basses-cours.

A Saint-Martin d'Hères par exemple le point J 7 implanté sur un ancien dépôt d'ordures de la ville de Grenoble accuse une teneur en Na+ de 138 mg/l soit six fois plus que la moyenne des autres points. Ce point est situé sur le tracé de l'ancienne boucle des Epars. On voit très bien sur une carte les teneurs en Na+ diminuer progressivement le long des deux bras de cette boucle (voir carte).

e) - Relation entre la chimie des eaux et l'alimentation de la nappe.

L'étude de la chimie des eaux de la nappe confirme les idées émises sur l'alimentation de cette nappe, après étude des courbes isopièzes : on retrouve une zone influencée par l'Isère et une zone influencée par les apports latéraux.

Pour déterminer la limite de chacune de ces zones, il suffit de suivre l'évolution du rapport SO4-/CO3H- en s'éloignant de la rivière. Cette évolution, régulière près de l'Isère, se trouve perturbée lorsque les apports des versants deviennent prédominants. En effet, les eaux en provenance des versants sont généralement beaucoup plus pauvres en sulfates, bien qu'ayant souvent une minéralisation totale élevée.

Dans certaines zones l'alimentation latérale est facile à mettre en évidence, car la chimie des eaux y est très différente de celle des eaux de l'Isère. Les eaux du Bréda qui s'infiltrent dans le cône de déjections à l'aval de Pont-charra ont une minéralisation totale très faible (Th de 10 à 15). On voit qu'il faut environ 1,5 km de parcours souterrain pour que la chimie de ces eaux devienne semblable à celle des eaux de l'Isère. On retrouve par les analyses chimiques les données fournies par la prospection électrique, alors que les cartes isopièzes de cette zone ne sont pas très parlantes en raison des pompages intensifs qui dépriment la surface de la nappe.

A Domène, dans le cône de déjections du Domeynon, les eaux ont une minéralisation totale qui diffère peu de celle de l'Isère. Mais les sulfates sont très peu représentés dans ces eaux et le mélange de ces eaux avec celles de l'Isère amène un brusque abaissement du rapport r SO4-/CO3H-.

Les limites de ces zones d'influence varient avec la saison et avec la pluviométrie. Mais de fortes pluies sur la plaine elle-même tendent à uniformiser les résultats. C'est pourquoi, ces analyses ont été faites pendant des périodes sèches.

Ceci est particulièrement remarquable dans certaines zones où les apports latéraux arrivent à s'annuler (la carte isopièze des 2 et 3 juillet 1967 en donne un exemple). Dans ce cas là, la chimie varie régulièrement depuis l'Isère jusqu'au pied du versant :

série de décembre 67 : B 8 B 9 C 2 C 5

Lorsque le versant fourni des débits importants la variation de la chimie change de sens en un point :

série de juin 68 : a 2 a 8 a 13 a 12.

Dans le premier cas le point C 5 a de l'eau qui vient (en partie au moins) de l'Isère par un ancien chenal (voir carte). Dans le deuxième cas il est alimenté par le versant.

f) - Relation entre la perméabilité des terrains et la chimie des eaux.

Connaissant les processus d'alimentation de la nappe, il est possible, en voyant à quelle distance la minéralisation de l'eau se modifie, de se faire une idée de la perméabilité des terrains traversés.

En effet, en première approximation on peut admettre qu'à température constante, les vitesses des réactions sont constantes. Donc la vitesse d'évolution de la minéralisation de l'eau est proportionnelle à la perméabilité du terrain traversé. Ainsi pour une même évolution la perméabilité est proportionnelle à la distance sur laquelle se fait cette évolution.

Cela se remarque bien, si l'on a deux points voisins qui ont des minéralisations différentes, à condition de savoir dans quel sens se déplace l'eau. Par exemple en juin 68 les points d 8 et l'Isère :

|              | Th | TAC  | CO3H- | SO4= |
|--------------|----|------|-------|------|
| Isère (d 11) | 24 | 9,5  | 1,9   | 2,62 |
| d 8          | 30 | 23,3 | 4,66  | 1,42 |

La digue en ce point doit être relativement colmatée.

Dans la partie aval de la vallée de tels exemples sont fréquents, ce qui n'a rien d'étonnant étant donné que dans cette zone les perméabilités sont généralement plus faibles.

g) - Relation de la chimie des eaux avec la saison.

De ce qui précède on conçoit que, en un point donné, la minéralisation de l'eau va changer selon que ce point est dans la zone d'influence de l'Isère ou dans celle du versant.

Par ailleurs en hautes eaux, la minéralisation de l'Isère baisse alors que l'agressivité des eaux aurait plutôt tendance à monter. Cela se traduit dans la nappe par une nette diminution de la teneur en sulfate, donc une possibilité accrue de dissoudre des carbonates.

Le rapport r SO4-/r CO3H- est inférieur à 1 pour tous les points de la nappe dans la série d'analyses du mois de juin 68.

Les points en rapport permanent avec l'Isère et situés dans des zones très perméables accuseront des variations importantes de minéralisation (auront en hautes eaux des eaux de meilleures qualités) alors que ceux situés dans des secteurs à plus faible perméabilité auront une minéralisation totale plus régulière.

h) - Relation de la chimie avec la profondeur du prélèvement.

Du point de vue dynamique, il n'existe qu'une seule nappe dans la couche superficielle (50 m) des alluvions de la plaine du Grésivaudan, toutes les mesures faites à ce sujet le montrent. Mais dans la partie aval de la vallée, la présence de lentilles d'argiles plus ou moins sableuses crée des zones de perméabilité verticale très faible. L'équilibre dynamique s'établit facilement par le pourtour de ces lentilles mais l'équilibre chimique, lui, ne s'établit pas toujours et l'on aboutit à la superposition de "couches" d'eau présentant des qualités physico-chimiques différentes.

Il arrive ainsi que l'on trouve sur une même verticale, à des profondeurs différentes des eaux de qualités très différentes. A Lancey par exemple, les points H 13 et M 1 (décembre 67) sont très voisins. Le point H 13 correspond à un pieu qui prélève l'eau à 4 mètres, alors que le point M 1 est un puits de 20 mètres de profondeur.

Toujours à Lancey, le puits communal a été approfondi de 10 mètres entre le mois de décembre 67 et le mois de juin 68. La comparaison des résultats des analyses faites sur ce point en décembre (H 2) et en juin (f 7) prouve bien qu'il y a là des eaux ayant des qualités différentes qui sont superposées.

A Saint-Martin d'Hères, sur plusieurs sondages des analyses ont été faites à des niveaux différents (voir tableau).

RESULTATS COMPARES DES ANALYSES FAITES A DIVERSES PROFONDEURS.

|                            | - 5 m | - 11 m | - 14 m |
|----------------------------|-------|--------|--------|
| profondeur                 |       |        |        |
| température                | 11,8° | 12°    | 12,1°  |
| Ph                         | 7,02  | 7,1    | 7,05   |
| résistivité                | 1445  | 1329   | 1533   |
| TH                         | 38    | 39,4   | 39,8   |
| SO4= (en mg/l)             | 20,8  | 42,72  | 15,84  |
| Cl-                        | 7,1   | 12,42  | 5,32   |
| CO2 libre (méthode Rodier) | 76,52 | 59,05  | 70,62  |

Ces chiffres montrent bien l'existence de plusieurs "couches" aquifères ayant des qualités physico-chimiques différentes. Cela ne peut pas provenir de l'alimentation de la nappe qui est la même quelle que soit la profondeur. Il faut donc admettre qu'il se produit des réactions chimiques différentes sur des alluvions différentes. Il faut aussi envisager l'influence de la teneur en oxygène dissous, mais les mesures n'ont pas été faites sur ces prélèvements.

Des mesures faites sur d'autres sondages ou puits dans la même zone confirment ces résultats ; ce sont surtout les sulfates qui varient avec la profondeur. Sur certains prélèvements les eaux acquièrent une odeur sulfurée vers - 10 m. Il est donc possible d'envisager la présence de sulfures dans ces eaux ; ces sulfures seraient oxydés lorsqu'ils arrivent plus près de la surface de la nappe, dans une zone où les eaux sont généralement plus oxygénées.

CONCLUSION SUR LA CHIMIE DES EAUX.

Les analyses faites ont montré comment des eaux sulfatées de l'Isère on passait aux eaux carbonatées de la nappe avec un accroissement de la minéralisation totale. Ceci aboutit, du point de vue économique à des eaux de qualité médiocre sinon mauvaise surtout dans la partie aval de la vallée. Pour remédier à cela et pouvoir exploiter ces ressources, deux solutions sont possibles. La première consiste à mélanger ces eaux à des eaux très peu minéralisées en provenance des versants (voir la qualité des eaux de surface du versant rive gauche). La deuxième solution consiste à traiter ces eaux pour les adoucir.

VI.- EVALUATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES DE LA NAPPE DE LA PLAINE DU GRESIVAUDAN

A partir des renseignements obtenus sur l'écoulement de la nappe, sur son alimentation, sur le remplissage alluvial de la vallée, on peut essayer de chiffrer les ressources exploitables de la nappe, c'est-à-dire évaluer le débit que l'on peut escompter tirer de la plaine par une exploitation judicieuse. Ce débit maximum exploitable doit rester inférieur aux seules réserves régulatrices, renouvelables saisonnièrement, à l'exclusion des réserves constantes qui elles, constituent le capital de la nappe à n'entamer qu'exceptionnellement et pour une durée toujours limitée. Les réserves régulatrices sont représentées par l'alimentation de la nappe, amputée des débits qui s'échappent de celle-ci, à l'aval par exemple. Ces débits qui quittent la nappe doivent être évalués dans l'état d'équilibre obtenu lors de l'exploitation et non dans l'état d'équilibre actuel.

Le cas des canaux de drainage illustre cela : les débits évacués par ces canaux échappent à la nappe dans l'état actuel des choses. Si un pompage intensif abaisse le niveau de la nappe au-dessous du niveau du fond du canal considéré, celui-ci se trouverait à sec. On peut donc, pour un petit secteur, admettre que le débit exploitable est au moins égal au débit évacué par le canal qui draine ce secteur.

De même l'Isère, dans une zone donnée, peut drainer la nappe et soustraire ainsi un certain débit. Si l'on pompe dans cette zone la nappe va être rabattue et se retrouver plus basse que la rivière ; la circulation de l'eau va être inversée et l'Isère va alimenter la nappe.

L'évaluation des débits exploitables nécessite donc la connaissance de l'alimentation potentielle en chaque point, ainsi que la transmissivité moyenne de la zone que l'on se propose d'exploiter.

Avant de chiffrer ces ressources exploitables, il est nécessaire de connaître l'importance des débits actuellement prélevés dans cette nappe. Ensuite la synthèse des données sur le remplissage alluvial permettra de dresser une carte des transmissivités. Enfin l'évaluation des débits apportés à la nappe permettra de chiffrer les débits exploitables.

1. - ETAT ACTUEL DE L'EXPLOITATION. -

La nappe est à l'heure actuelle déjà exploitée surtout à des fins industrielles, mais elle alimente aussi en eau potable un certain nombre de collectivités ; enfin elle tend à subvenir de plus en plus fréquemment aux besoins agricoles.

Les pompages à usages domestiques :

A Pontcharra, le Lycée est alimenté par un puits qui fournit jusqu'à 20 m3/heure ; la cité Viscamine est alimentée par le puits des établissements Olivetti ; les papeteries de France distribuent de l'eau à la cité ouvrière. eau qui vient de la nappe.

Au Cheylas, le quartier de la Gare est alimenté par un puits qui peut donner 40 à 50 m3/heure. La S.H.F.A. alimente de son côté la cité ouvrière avec ses puits.

A Goncelin, une station de pompage fournit depuis 1927 un appoint à l'alimentation en eau potable de la commune ; cet appoint peut atteindre 60 m3/heure.

A Tencin, la cité Coquillard est alimentée par un puits susceptible de fournir 40 m3/heure.

A Villard-Bonnot, l'alimentation en eau potable est complétée par une station de pompage qui vient d'ailleurs d'être améliorée ; son apport peut atteindre 60 m3/heure.

Au Versoud un puits donnait un débit de 30 à 50 m<sup>3</sup>/heure ; la qualité très médiocre de ses eaux a fait abandonner provisoirement ce puits.

A Saint-Martin d'Hères enfin, le débit capable des trois stations de pompage du Domaine Universitaire est de plus de 1000 m<sup>3</sup>/heure.

Les pompages à usage industriel :

A Pontcharra, les papeteries de Moulin Vieux pompent un débit voisin de 600 m<sup>3</sup>/heure, à l'aide de trois puits dont un récent qui pourrait donner 800 m<sup>3</sup>/heure à lui tout seul. Les établissements Jamet sont alimentés par un puits qui fournit 20 à 30 m<sup>3</sup>/heure. Les établissements Olivetti pompent 100 m<sup>3</sup>/heure mais pendant un temps limité (20 minutes par heure) ; les papeteries de France pompent 50 m<sup>3</sup>/heure.

Au Cheylas, les Forges d'Allevard possèdent cinq puits qui peuvent débiter 750 m<sup>3</sup>/heure.

A Goncelin, la S.A.T.M.A. pompe 125 m<sup>3</sup>/heure dans un puits.

A Froges, les établissements Coquillard utilisent trois puits qui donnent 600 m<sup>3</sup>/heure.

A Brignoud, une batterie de quatre puits fournit 1000 m<sup>3</sup>/heure aux usines Kullman.

A Lancey, les papeteries de France pompent 600 à 800 m<sup>3</sup>/heure.

A Domène, les papeteries du Domeynon utilisent deux puits dont un à drains rayonnants ; ces deux puits peuvent fournir 600 m<sup>3</sup>/heure. Les laminoirs du Dauphiné ont un puits donnant 100 m<sup>3</sup>/heure.

La Ouatose possède trois puits assurant un débit de 250 m<sup>3</sup>/heure.

En rive droite le faible développement de l'industrie engendre une faible exploitation de la nappe.

A La Gache, les établissements Giroud ont un puits qui donne 50 m<sup>3</sup>/heure.

A Crolles, les établissements Mors pompent 30 m<sup>3</sup>/heure ; les études menées par les services du Génie Rural des Eaux et des Forêts dans la zone industrielle ont mis en évidence des débits exploitables de l'ordre de 800 m<sup>3</sup>/h.

Les pompages à usage agricole ne peuvent être chiffrés ; ils sont essentiellement saisonniers ; les installations sont peu importantes mais nombreuses.

On voit que l'exploitation de la nappe est pour le moment limitée à des zones assez restreintes. Les puits existants sont tout de même capables de fournir jusqu'à 7500 m<sup>3</sup>/heure ; ce débit est rarement atteint car ces installations ne fournissent pas en permanence le débit maximum. Mais ce qui est important c'est le fait que ce débit puisse être atteint sur une surface aussi restreinte, pendant des périodes de 48 heures consécutives, au moment des basses eaux de la nappe. Cela traduit le fait que pour ces zones les réserves régulatrices sont supérieures à ce débit pompé.

Les perspectives d'avenir immédiat laisse prévoir un développement de cette exploitation. Des travaux de recherche sont en cours à Pontcharra, la commune de Froges va mettre en service un puits destiné à compléter son alimentation en eau potable (débit d'exploitation : 50 à 60 m<sup>3</sup>/heure) ; mais les zones inexploitées couvrent encore la majorité de la surface de la vallée.

## 2. - CARTE DE TRANSMISSIVITES. -

Deux facteurs interviennent lorsqu'il s'agit d'exploiter une nappe aquifère : la perméabilité et l'épaisseur de la couche aquifère. La transmissivité T est le produit de ces deux facteurs, la perméabilité K et l'épaisseur de la couche aquifère h

$$T = K h$$

Si K est exprimé en mètres par seconde (m/s) et h en mètres T sera en mètres carrés par seconde selon l'équation aux dimensions :

$$[T] = M T^{-1} \cdot M$$

$$[T] = M^2 T^{-1}$$

On peut donc envisager de rassembler sur une carte les différentes données que l'on possède et traduire ainsi les possibilités d'exploitation de chaque point de la plaine.

## CARTE des TRANSMISSIVITES

fig. 16a

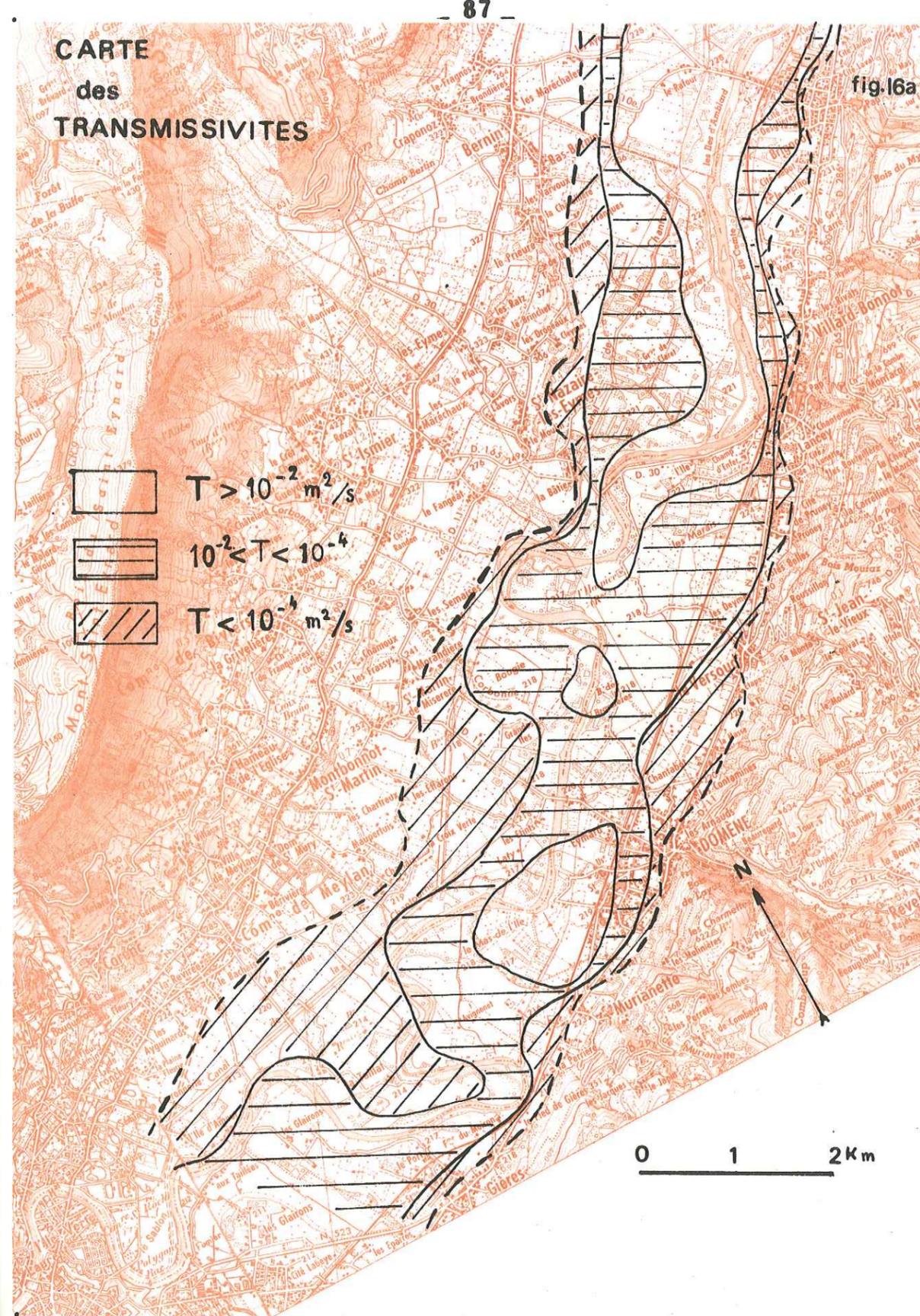


fig. 16b

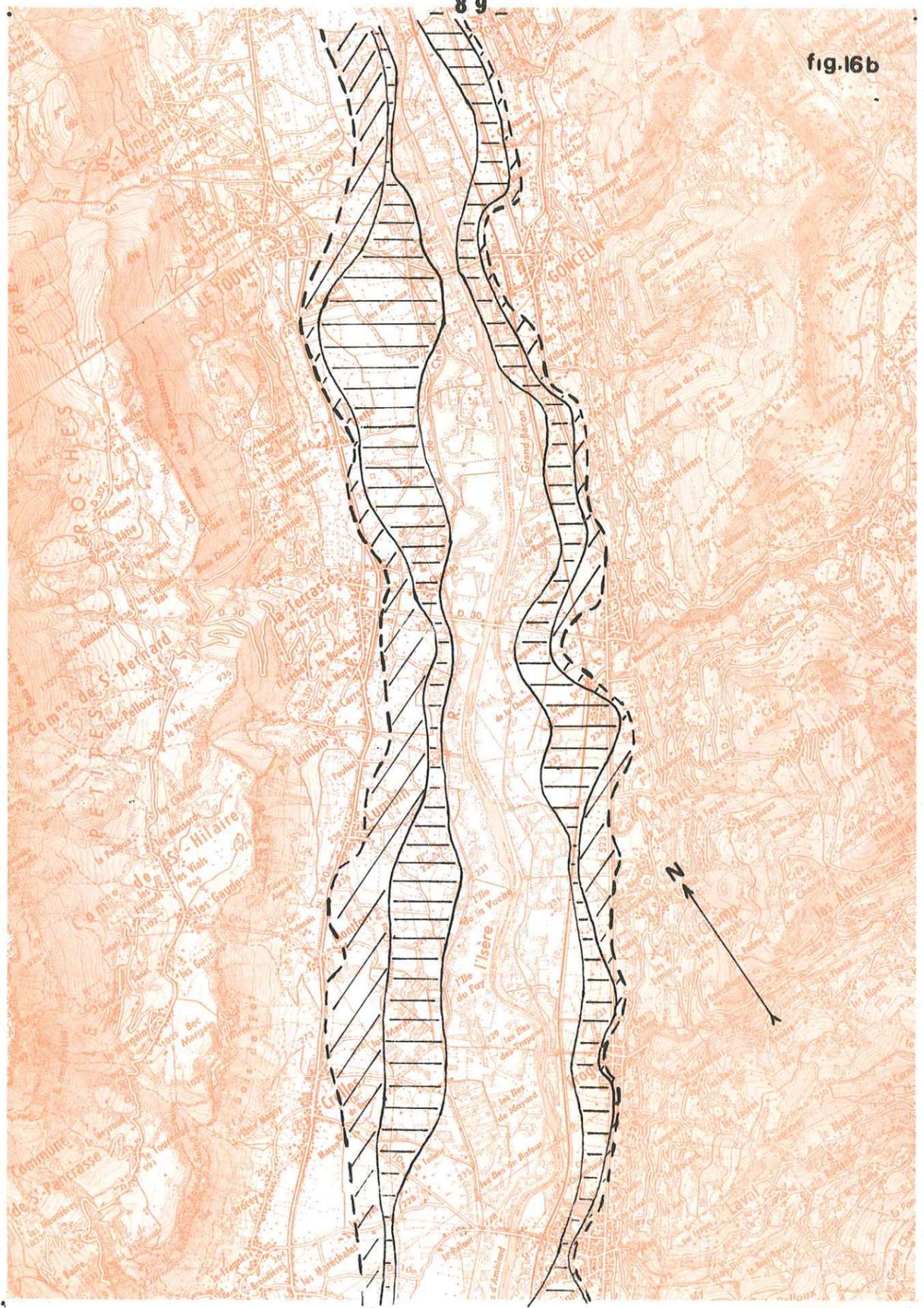
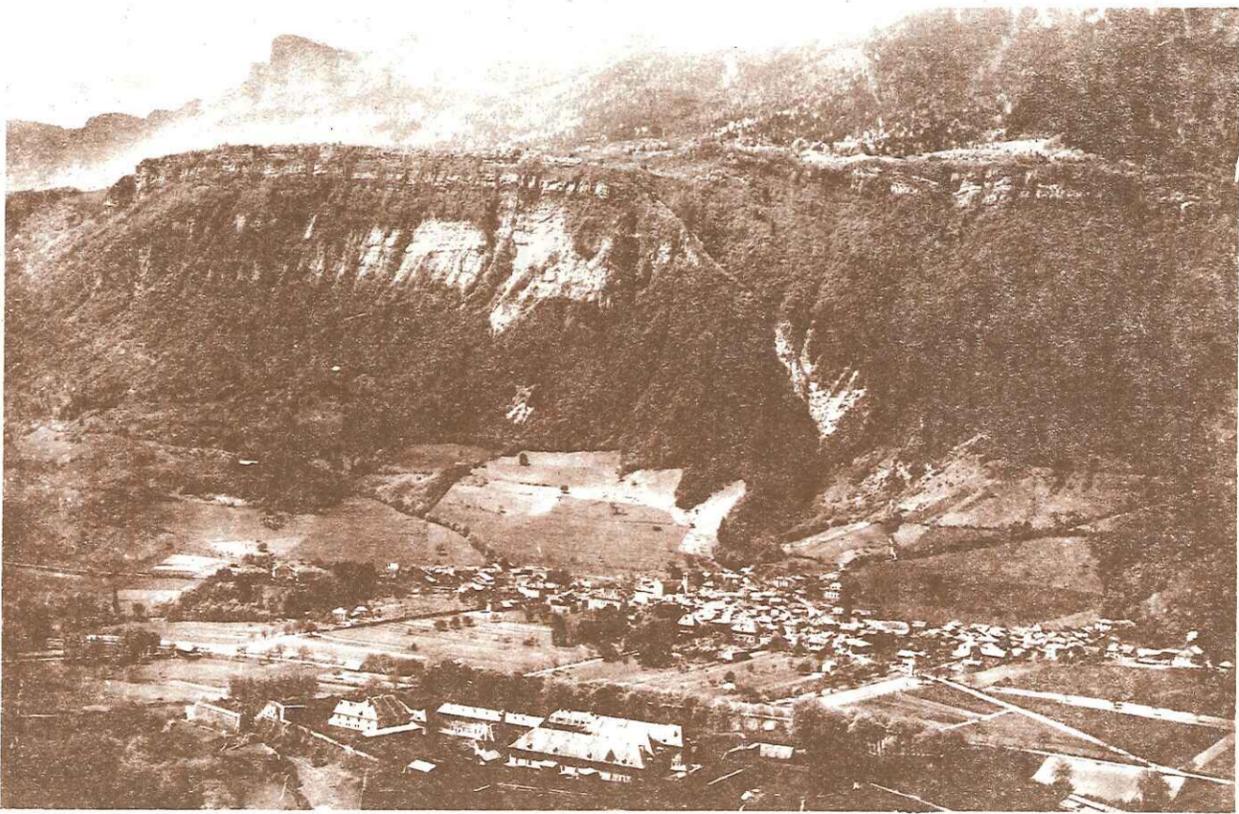


fig. 16c





Le flanc ouest du Grésivaudan (partie nord)

de haut en bas :

- La falaise urgonienne
- La corniche tithonique
- Les éboulis de pentes
- La Banquette de Barraux

Pour calculer la transmissivité on peut opérer de deux façons différentes. La première consiste à calculer directement T à partir des résultats d'un essai de pompage ; la deuxième consiste à faire le produit de la perméabilité K par la hauteur h. Cette deuxième méthode est moins précise, mais malheureusement les essais de pompes bien menés sont très rares et l'on est donc obligé de s'en contenter.\*

Des résultats précis ont été obtenus pour les zones activement exploitées : Pontcharra, Brignoud, Domène ou dans la zone industrielle de Crolles où les recherches ont été menées de façon parfaite.

Des mesures de perméabilité ont été faites sur un certain nombre de sondages ou forages. Les mesures de résistivité peuvent permettre d'approcher la valeur de la perméabilité quand elle n'a pas été mesurée directement.

Les nombreux sondages et forages recensés fournissent de bonnes indications sur les valeurs de h ; la géophysique permet d'étendre les résultats ponctuels à des profils. On peut alors tracer des courbes d'égales transmissivités sur la carte. Les zones les plus favorables apparaîtront tout de suite. C'est ce qui a été fait sur la carte.

D'une façon générale il apparaît que la transmissivité diminue de l'amont vers l'aval et sur une même transversale, elle diminue du centre de la vallée vers les flancs. Ceci n'a rien d'étonnant si l'on considère l'épaisseur de la couche de galets et graviers qui représente la couche aquifère : elle aussi diminue de l'amont vers l'aval. Sur les flancs la transmissivité est quasiment nulle au niveau du substratum.

### 3. - DEBIT NATUREL DE LA NAPPE. -

En l'absence de tout pompage, la nappe s'écoule normalement avec un gradient qui peut être évalué sur les cartes isopièzes. Connaissant la surface d'une section de la couche aquifère, la perméabilité de cette couche et le gradient, le débit transitant par cette section est donné par la formule de Darcy :

$$Q = K S i$$

ou K est la perméabilité

S la surface de la section considérée

i le gradient

avec K en m/s, S en m<sup>2</sup>, et i sans unité Q est exprimé en m<sup>3</sup>/s.

Le calcul du débit naturel a été fait pour les six sections étudiées plus haut. Ce débit varie peu avec la saison. Pour les sections considérées le battement de la nappe est de un mètre en moyenne, ce qui représente souvent moins de 10 % de la hauteur de la couche aquifère. De plus, le battement de la nappe affecte le plus souvent la partie supérieure du remplissage alluvial, c'est-à-dire les limons superficiels qui ne font pas partie de la couche aquifère.

Pour la section Pontcharra-La Gache le débit de la nappe de l'Isère est bien inférieur à celui qui arrive par le cône de déjections du Bréda, évalué plus haut à 1000 l/seconde. En effet, pour une section et une perméabilité équivalente, à cause d'un gradient plus faible le débit n'est que de 160 l/seconde.

Pour la section La Buissière-Le Cheylas, le débit naturel atteint 200 l/seconde. Le canal de drainage de la rive gauche évacue lui un débit de 200 à 1000 l/seconde.

Pour la section Tencin-La Terrasse, le débit naturel est de 160 l/seconde. Ici il existe un canal de drainage sur chacune des rives. Celui de la rive droite, sur lequel des mesures ont été faites, évacue de 500 à 2000 l/seconde. Celui de la rive gauche provient de l'amont du Cheylas ; il reçoit les effluents des usines du Cheylas et de Goncelin. Son débit naturel ne peut pas être évalué.

Pour la section Brignoud-Crolles, le débit de la nappe est de 100 l/seconde. Ici aussi les apports latéraux sont

\* - Le calcul de la transmissivité à partir d'un essai de pompage donne une valeur qui peut être étendue à tout le cône d'influence du pompage, alors que la deuxième méthode donne une valeur ponctuelle qui peut n'avoir aucun intérêt économique. Il faudra donc dans ce cas là faire une moyenne entre toutes les valeurs obtenues pour une même zone, pour avoir des résultats comparables avec les deux méthodes.

et de loin supérieurs à ce chiffre. Les canaux de drainage des deux rives ont des débits qui dépassent 1000 l/seconde en toutes saisons.

Pour la section Lancey-Saint-Nazaire, le débit naturel est de 100 l/seconde. Ici, l'Isère qui coule presque perpendiculairement à l'axe de la vallée réunit tous les débits superficiels. Seul le canal qui draine les marais de Bernin et qui se jette dans l'ancienne boucle de Bois-Français échappe provisoirement à l'Isère.

Pour la section Gières-Meylan, le débit tombe à moins de 80 l/seconde. Ici aussi les méandres de l'Isère collectent en grande partie les eaux drainées par les canaux.

D'une manière assez générale, les débits de la nappe, comme la transmissivité, diminuent de l'amont vers l'aval. Les canaux de drainage récupèrent le trop-plein et le restituent à l'Isère.

TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ALIMENTATION DE LA NAPPE

| rive droite<br>formations           | axe de la vallée |                  | rive gauche   |
|-------------------------------------|------------------|------------------|---|
|                                     | canaux<br>débit  | débit transitant |   |
| Banquette de Barraux                | 600 l/s          | 160 l/s          | 1000 l/s Cône du Bréda<br>400 l/s Montagne de Bramefarine   |
| Cône de Bresson                     | 150 l/s          | 200 l/s          | 400 l/s Cône du Cheylas<br>300 l/s Bassin de Goncelin<br>400 l/s Cône du Merdaret   |
| Pentes de Touvet à Bernin           | 900 l/s          | 100 l/s          | 200 l/s Bassin de La Pierre<br>400 l/s Cône de Forges<br>50 l/s Bassin du Bocard<br>600 l/s Cône du Muret<br>30 l/s<br>250 l/s Cône de Vorz<br>20 l/s |
| Le Manival                          | 150 l/s          | 600 l/s          | 500 l/s Cône de Lancey  |
| Pentes de Saint-Ismier à La Tronche | 400 l/s          | 80 l/s           | 200 l/s Bassin du Versoud<br>600 l/s Cône du Domeynon<br>200 l/s Bassin de Murianette<br>350 l/s Cône de Gières                                       |
|                                     | 2200 l/s         | 3600 l/s         | 5900 l/s  |

Total des apports latéraux :

$$2200 + 5900 = 8100 \text{ l/s}$$

Les débits transitants de la nappe ne s'additionnent pas.

La différence entre les apports de la rive droite et les débits évacués par les canaux de drainage de cette même rive provient de l'Isère ou des précipitations sur la plaine.

Pour la rive gauche les débits apportés par les cônes de déjections sont de 4500 l/s et ceux en provenance des bassins non drainés de 1400 l/s.

Il faut ajouter à tout cela 2500 l/s fournis par les précipitations sur la plaine elle-même.

4. - ALIMENTATION POTENTIELLE DE LA NAPPE. -

Le calcul des différents apports latéraux donne une valeur du débit qui arrive à la nappe à chaque instant. Nous avons vu que dans l'état actuel de la nappe ces débits étaient récupérés par les canaux de drainage après un passage plus ou moins bref dans la nappe.

Mais ces débits servent de réserves régulatrices de la nappe et c'est eux qu'il faut connaître si l'on veut exploiter les eaux souterraines. Ce sont d'ailleurs ces débits qui sont déjà en partie exploités puisque la plupart des installations de pompage sont situés sur les cônes de déjections.

Le tableau de la page 91 met en évidence les différents apports latéraux et les débits de la nappe.

L'extrapolation des mesures faites sur "la Chantourne" entre Le Touvet et Bernin aux autres canaux de drainage de la rive droite montre que ces canaux évacuent un débit total supérieur à la somme des apports latéraux sur cette rive, d'autant plus que la plaine n'est pas drainée au niveau de la banquette de Barraux. Les apports latéraux représentent 2,2 m3/seconde. La part de la banquette de Barraux représente 0,6 m3/seconde. Les débits des canaux sont en moyenne de l'ordre de 3,6 m3/seconde. La différence est fournie en partie par les précipitations tombées sur la plaine, et en partie par l'Isère. En fait, si les 2,5 m3/seconde fournis par les précipitations se retrouvaient en totalité dans les canaux de drainage, ceux-ci devraient avoir un débit plus important.

Pour la rive gauche les chiffres manquent quant aux débits des canaux. Ils ont en outre un débit artificiel qui s'ajoute au débit naturel.

La totalité des apports de cette rive est estimée à 5,9 m3/seconde. Elle doit se retrouver dans les canaux, augmentée des précipitations, des apports de l'Isère à ces canaux et des débits artificiels.

L'alimentation potentielle à partir de l'Isère est difficile à estimer avec certitude, d'autant qu'elle doit être différente d'un point à un autre. Le chiffre de 50 l/seconde et par kilomètre de cours semble un chiffre moyen. Cela représente donc :

|  |                    |
|--|--------------------|
|  | 50 . 45 = 2250 l/s |
| soit   | 2,250 m3/s.        |
| La somme de ces différents apports est alors : |                    |
| rive droite :                                  | 2,2                |
| rive gauche :                                  | 5,9                |
| Isère :  | 2,25               |
| précipitations :                               | 2,5                |
|  | -----              |
| soit au total                                  | 12,85 m3/s.        |

Est-ce à dire que la nappe soumise à une exploitation intensive et rationnelle pourrait fournir un tel débit ?

A ce débit doit être retranché la somme des débits qui s'échapperont encore de la nappe lorsque celle-ci sera soumise à l'exploitation.

Le débit qui quitte la nappe par la section aval de celle-ci est inférieur à celui qui entre par la section amont. Il peut donc être négligé puisque le débit entrant l'est aussi.

Il existe peut-être des pertes par le fond, c'est-à-dire que la nappe superficielle alimenterait une ou plusieurs nappes profondes existant dans les formations de la base du remplissage alluvial. De telles pertes peuvent être négligées aussi car elles doivent être relativement faibles.

Enfin, considérons le battement de la nappe. Il est en moyenne de 1,2 mètre, ce qui pour une porosité moyenne de 40 % représente un volume d'eau de 50 000 000 de mètres cubes ; la surface de la nappe est de 110 km2. Cela représente un débit de 1,6 m3/seconde. Ce débit est, dans l'état actuel des choses pris à l'alimentation, stocké un certain temps dans la nappe et rendu ensuite à l'Isère soit directement, soit par l'intermédiaire des canaux de drainage.

Ce débit doit être déduit de l'alimentation potentielle car rien ne permet de dire dans quelle proportion il baisserait en cas d'exploitation intensive de la nappe.

Il n'y a pas d'autres possibilités de pertes d'eau pour la nappe. On obtient donc un débit exploitable de :

12,85 - 1,6 = 11,25 m3/s

Si on enlève à cela les 2 m3/seconde déjà exploités on reste avec un débit encore disponible de :

9 mètres cubes par seconde.

5. - CONCLUSION. -

Ces 9 m3/seconde représentent le débit disponible dans l'ensemble de la vallée. Comment faire pour les exploiter en totalité ou en partie ?

Deux sortes de mesures s'imposent pour que cette exploitation puisse se faire dans de bonnes conditions : des mesures générales d'évaluation plus précises des débits et de protection contre la pollution, des mesures locales pour déterminer les emplacements et les types d'ouvrages les plus appropriés dans chaque zone.

Les mesures générales sont à mettre en œuvre dans les plus brefs délais afin de pouvoir conserver et améliorer le "capital" disponible. Il y aurait lieu de mettre en place sur chaque canaux de drainage des déversoirs équipés de limnigraphes enregistreurs pour obtenir des courbes de débits journaliers et saisonniers. Il est bien entendu que les relevés piézométriques doivent être continués régulièrement. La qualité des eaux pourrait être un peu améliorée en éliminant les causes de pollution créées par le déversement dans les canaux de drainage des égouts et des effluents des usines. L'étude des qualités physico-chimiques des eaux doit être poursuivie par des analyses régulières du type de celles faites pour cette étude.

Les études locales sont à mettre en œuvre chaque fois qu'en un point quelconque de la vallée des besoins se font sentir et que l'on envisage alors de trouver un certain débit dans un périmètre donné. Ces études devraient comprendre quelques sondages électriques destinés à montrer les points les plus favorables de la zone prospectée. Sur ces points ainsi déterminés des sondages mécaniques seraient faits pour connaître la granulométrie des alluvions et la perméabilité par essai de pompage. Ces renseignements permettraient de réaliser l'ouvrage le plus adapté aux conditions locales.

Les perspectives d'avenir ne seraient pas complètes si on négligeait les possibilités offertes par les nappes profondes. L'évaluation des débits exploitables en profondeur doit prendre place dans un inventaire complet des ressources en eaux du Grésivaudan. On sait déjà qu'il y a possibilité d'existence de ces nappes (sondages de Lancey, de Beauvert) c'est-à-dire qu'il existe en profondeur des terrains de perméabilité moyenne suffisante pour en envisager l'exploitation. Il faut maintenant par quelques sondages supplémentaires déterminer la profondeur exacte de ce remplissage alluvial et voir alors quels débits sont susceptibles d'être extraits de ces nappes. De tels sondages profonds (200 à 300 mètres dans la partie amont de la vallée) devraient atteindre le substratum rocheux.

L'ensemble de ces mesures destinées à protéger le "capital" en eau de la vallée du Grésivaudan représente des investissements minimes si on les compare à la valeur que représente un débit de 9 m3/seconde. Les mesures de protection seront d'autant plus difficiles à mettre en œuvre et d'autant plus onéreuses que l'on attendra plus longtemps pour le faire.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude hydrogéologique de la plaine du Grésivaudan a permis de préciser les connaissances sur la nappe aquifère contenue dans la partie supérieure du remplissage alluvial entre Pontcharra et Grenoble.

Le premier point acquis est l'existence d'une seule nappe dans les 50 premiers mètres du remplissage alluvial, même si par endroit il existe des lentilles imperméables qui tendent à créer sur une même verticale deux niveaux aquifères ; les mesures piézométriques montrent qu'il s'agit toujours de la même nappe.

Le deuxième point qui se dégage de cette étude est une ébauche plus précise de la structure du remplissage alluvial : les argiles plastiques creusées de chenaux comblés par des sables, eux-mêmes entaillés par des chenaux où se sont déposées des alluvions grossières. La poursuite des recherches sur ces formations et sur les différents dépôts d'âge quaternaire qui se trouvent sur les flancs de la vallée devrait aboutir à la reconstitution de l'histoire de cette vallée, au moins pour la période qui correspond à la fin des glaciations.

Les études physico-chimiques de l'eau de la nappe ont permis de mettre en évidence l'évolution de la minéralisation de cette eau au cours de son trajet au sein des alluvions, cette évolution traduisant une action chimique de l'eau sur ces alluvions.

L'étude des cartes isopièzes a montré comment l'écoulement de la nappe était influencé par les différents facteurs géologiques (influence des anciens lits mineurs de l'Isère, absence d'influence des méandres de la rivière, action des zones à faibles perméabilités) et par les actions anthropiques (canaux de drainage). L'existence de deux zones différentes, l'une plus directement liée à l'Isère, l'autre à l'influence des versants, phénomène qui se marque aussi bien sur l'écoulement que sur l'alimentation, est un point important qui se dégage de cette étude.

Tout cela ne doit pas masquer le résultat économique de ce travail, c'est-à-dire le débit disponible mis en évidence. Ces 9 m<sup>3</sup>/seconde qui représente trois fois la consommation en eau potable de la ville de Grenoble doivent encourager la poursuite des recherches tant dans le Grésivaudan, selon les processus envisagés au chapitre précédent, que dans les autres secteurs de la vallée de l'Isère : la Combe de Savoie, la Cluse de Grenoble et la plaine de Moirans. C'est en fait une étude complète de la vallée de l'Isère entre Albertville et Saint-Gervais, à l'aval de Moirans qu'il serait souhaitable d'entreprendre.

Ce résultat est le fruit de la collaboration entre des organismes administratifs attachés à résoudre les problèmes économiques et l'Université attachée, elle, aux problèmes de recherches. Il serait souhaitable que de telles collaborations soient développées dans l'avenir pour le plus grand bien des besoins économiques et de ceux de la recherche.

BIBLIOGRAPHIE

ABRARD, 1960. - Ebauche d'une carte hydrogéologique de la région parisienne. - B.S.G.F., série 7 T. 1.

AGARD, 1942. - Endiguement de l'Isère. - R.G.A., T. XXX.

ALIMEN (M.H.), - Quatenaire de France.

BADIN (L.) et MICHEL (R.), 1955. - Etude hydrogéologique des nappes des alluvions de l'Allier et de la Loire. - Rev. Sci. Nat. d'Auvergne - Clermont-Ferrand.

BALSEINTTE, 1957. - Les changements intervenus dans les régimes pluviométriques moyens des Alpes françaises du Nord entre 1935 - 1950; - R.G.A., T. 45.

BARBIER (R.) et GIGNOUX (M.), 1951. - Géologie des barrages. - Masson, Paris.

BARFETY (J.C.) et GIDON (M.), Notice de la Carte Domène 1/50 000 (à parafre).

BENEVENT (E.), 1915. - Le Manival. - R.G.A., T. III.

BENTALL (R.), 1964. - Méthodes d'étude des nappes souterraines. - Geological Survey Watter supply Paper 1544.

BLACHE (J.), 1914. - Le bord de l'auge glaciaire du Grésivaudan. - R.G.A., T. II.

BLANCHARD (R.), 1922. - A propos du sous-sol du Grésivaudan. - R.G.A., T. V.

--- 1934. - Le prétendu niveau d'érosion du Haut-Grésivaudan. - R.G.A., T. XXII.

--- 1941. - Les Alpes occidentales : les cluses alpines et le sillon alpin. - Arthaud - Grenoble.

BOGOMOLOV (G.), 1962. - Hydrogéologie et notions de géologie d'ingénieurs. - Editions de la Paix - Moscou.

BOINEAU (A.M.), 1965. - Contribution à l'étude de la pollution chimique et bactériologique des eaux de l'Isère. - Thèse médecine - Grenoble.

BOURDIER (F.), 1935. - Stratigraphie des alluvions antéwurmienne du Grésivaudan et de la vallée de Chambéry. - C.R.A.S., T. 201, Paris.

--- 1962. - Le bassin du Rhône au Quatenaire. - C.N.R.S., Paris.

BREUSE (J.J.), 1963. - La prospection géophysique des eaux souterraines. - H.B. n° 4.

B.R.G.M., 1962. - Méthodes d'étude et de recherche des nappes aquifères. - Paris.

BURGER (A.), 1959. - Hydrogéologie du bassin de l'Arreuse. - A.I.H., - Paris.

BUYDENS (R.), 1964. - Evolution de la composition de l'eau d'une nappe alluvionnaire sollicitée par pompage. - Techniques des Sciences Municipales n° 12.

CAMPOROTA (P.), 1963. - Etude hydrogéologique de la région de La Mure. - Thèse, Grenoble.

CAROZZI (A.), 1945. - Observations morphologiques sur l'alluvion ancienne (canton de Genève). - Revue polytechnique.

--- 1946. - Essai sur la géographie glaciaire du bassin de l'Arve genevoise. - Le Globe Société de Géologie de Genève, T. 84.

CASTANY (G.), 1967. - Traité pratique des eaux souterraines (deuxième édition) Masson, Paris.

CHEYLAN (G.), 1966. - Aménagement du Bas Rhône, Languedoc. - Thèse, Grenoble.

CHOUTEAU (A.F.), 1968. - Influence de la pollution chimique sur les populations animales de l'Isère. - D.E.S. Sciences, Grenoble.

CHOUTEAU (A.F.) et FOURNEAUX (J.C.), 1968. - Etude de la chimie des eaux souterraines de la plaine du Grésivaudan. - Réunion de l'Association des Géologues du Sud-Est, Lyon, 11 mars 1968.

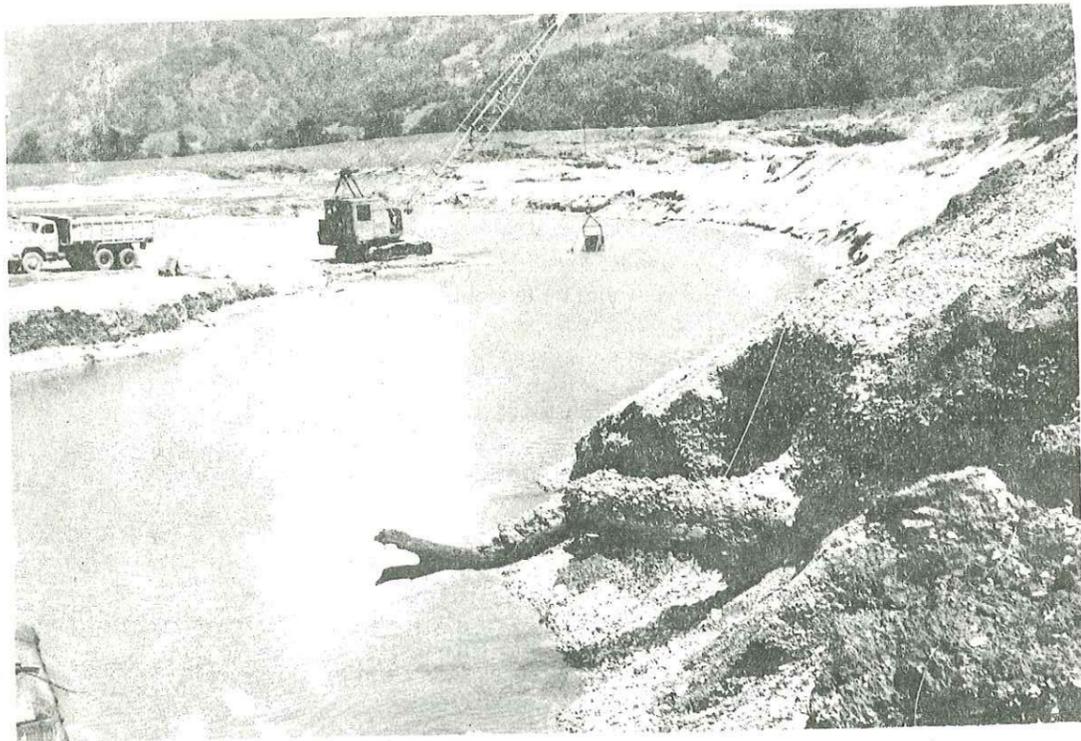
DARCY (M.), 1964. - Rapport géologique sur l'autoroute A 41 (inédit).

DECELLE (A.) et MULIER-FEUGA (R.), 1956. - Exposé général sur la nappe alluviale de la basse Durance. - Houille Blanche.

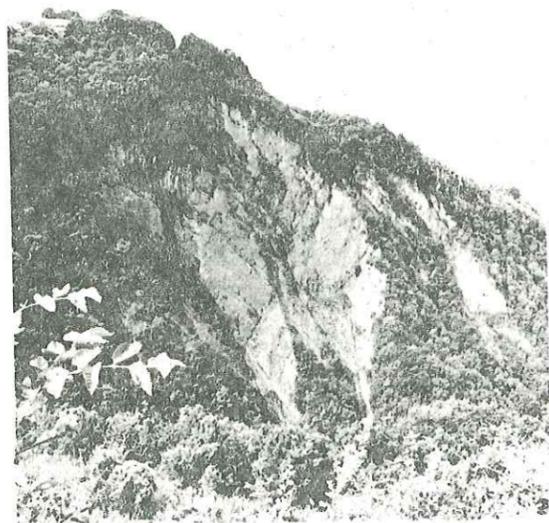
DENIZOT (G.), 1953. - L'argile d'Eybens et les dépôts lacustres du Grésivaudan. - T.L.G., t. 30

DERRUAU, - Précis de géomorphologie. - Masson, Paris.  
 DIENERT (F.), 1931. - Contribution à l'étude de l'origine des eaux du sous-sol. - C.R.A.S., t. 192.  
 DUBUS (J.), 1965. - Aménagement de la vallée de la Doller. - Revue du Génie Rural.  
 --- 1966. - Etude de l'alimentation en eau de la zone industrielle de Crolles. - (Rapport inédit).  
 DUBUS (J.) et FOURNEAUX (J.C.), 1968. - Les ressources en eaux souterraines de la plaine du Grésivaudan. - R.G.A., t. LVI, fasc. 3 et 4.  
 FEUGUEUR (L.), 1955. - Géologie profonde et hydrogéologie du Bas Languedoc. - B.R.G.M. n° 16.  
 FOURMARIER, 1958. - Hydrogéologie, Masson, Paris.  
 FOURNEAUX (J.C.), 1968. - Résultats préliminaires de l'étude hydrogéologique de la plaine du Grésivaudan entre Pontcharra et Grenoble. - C.R.A.S., t. 266, pp. 64-67, 8.1.68.  
 FOURNIER (H.G.), 1956. - Etudes hydrogéologiques de quelques plaines de Turquie. - B.S.S.G.F., série 6, t. V.  
 FREY (R.). - Les analyses d'eaux et leur interprétation géologique.  
 GUEYMARD (E.), 1844. - Statistiques du département de l'Isère.  
 GIDON (P.) et LUNSKI (S.), 1965. - Caractères singuliers des nappes aquifères du sous-sol chambérien. A.C.E.S., Chambéry.  
 GIDON (P.), GIDON (M.) et LUNSKI (S.), 1966. - Un procédé d'identification des failles cachées sous une couverture de terrains meubles. - A.C.E.S. Chambéry.  
 GIGNOUX (M.), 1925. - Traité de stratigraphie. - Masson, Paris.  
 --- 1927. - Rapport sur un projet d'alimentation en eau potable à Goncelin (inédit).  
 --- 1944. - L'épaisseur des dépôts quaternaires dans la plaine de Grenoble. - C.R.S.S.G.F., p. 77.  
 --- 1947. - Les nappes d'eaux souterraines profondes dans les alluvions des vallées alpines. - T.L.G., t. 24.  
 GIGNOUX (M.) et MORET (L.). - Géologie dauphinoise. - Masson, Paris.  
 GOGUEL (J.), 1959. - Application de la géologie aux travaux de l'ingénieur. - Masson, Paris.  
 HAUDOUR (J.) et SARROT-REYNAULD (J.), 1960. - Phénomènes de dissolution dans le Trias dans le Sud du Dôme de La Mure. - C.R.S.S.G.F., n° 8, p. 216.  
 HERGUEZ (C.), 1965. - Etude analytique des eaux de rivière de la région Rhône-Alpes. - Trav. lab. d'hygiène appliquée de l'Institut Pasteur, Lyon.  
 JAIL (M.) 1967. - Réflexion sur la présence de nouveaux affleurements du Bathonien-Callovien dans le Grésivaudan. R.G.A., t. LV, fasc. 4.  
 JOUKOWSKY (E.), 1941. - Géologie et eaux souterraines du pays de Genève, Kunding Genève.  
 KILIAN (W.), 1902. - Rapport entre les terrains géologiques et les différentes sources thermo-minérales des Alpes. Allier, Grenoble.  
 LELIAVSKI (S.), 1961. - Précis d'hydraulique fluviale, Dunod, Paris.  
 LEROUX (E.), RICOUR (J.) et WATERLOT (G.), 1958. - Variation du niveau de la nappe du Nord de la France. - B.S.G.F., série 6, t. 8.  
 LLIBOUTRY (L.), 1966. - Traité de glaciologie. - Masson, Paris.  
 LORY (C.), 1874. - Analyses des eaux de rivières et de sources. - P.V. du Conseil Général du département de l'Isère.  
 LUNSKI (S.), 1967. - Rapport sur des sondages électriques effectués dans le Grésivaudan (inédit).  
 MASSEPORT (J.), 1955. - Le sillon alpin : dépression d'érosion ou déchirure structurale. - R.G.A., t. XLIII, fasc. 4.  
 MEGNEIN (C.), 1957. - Recherche d'eau dans les vallées sèches : Sacy. - B.S.G.F.  
 --- 1961. - Observation hydrogéologique sur le Sud-Est du bassin parisien. - Mémoire n° 25, B.R.G.M.  
 MICHEL (R.), 1957. - Hydrogéologie des formations volcaniques d'Auvergne. - B.S.G.F.  
 MICHEL (R.) et ROTHE (J.), 1959. - Sur la nature et l'épaisseur des alluvions quaternaires dans le bassin de Vizille. T.L.G., t. 35.

MICHEL (R.), 1960. - Contribution à l'étude des températures des sources dans le département de l'Isère. - T.L.G., t. 36.  
 --- 1961. - Aperçu d'ensemble sur la structure géologique du département de l'Isère. - R.G.A., t. IL, fasc. 1.  
 MIEGE (J.), 1951. - A propos de l'aménagement du Grésivaudan. - R.G.A., t. IXL, fasc. 1  
 MILLOT (G.), 1962. - Géologie des argiles. - Masson, Paris.  
 MORET (L.) et SCHNEIDER (G.), 1936. - Idées nouvelles sur le problème de l'origine des sources thermo-minérales d'Aix-les-Bains. - T.L.G., t. 18.  
 MORET (L.), 1945. - Les éboulements de terrains en montagne. - Les Alpes, Grenoble.  
 --- 1949. - Les sources thermo-minérales. - Masson, Paris.  
 --- 1950. - Sources thermales alpines et grands travaux de barrages. - T.L.G., t. 25  
 MORET (L.) et DEBELMAS (J.), 1959. - Structures géologiques du bassin de Vif, Pont-de-Claix. - T.L.G., t. 35.  
 MULLER FEUGA (R.) et RUBY (P.), 1965. - Alimentation artificielle de la nappe des alluvions de la basse Durance. H.B., n° 3  
 PARDE (M.), 1940. - Remblaiement de la cluse de l'Isère. - R.G.A., t. XXVIII.  
 --- 1947. - Fleuves et rivières. - Armand Collin, Paris.  
 PIRAUD (V.), 1922. - Le sous-sol de la vallée du Grésivaudan. - B.S.S.I., 13.6  
 --- 1936. - Présence d'une couche de tourbe dans le sous-sol de Grenoble. - P.V. de la Société Dauphinoise d'études biologiques.  
 --- 1938. - Les cailloux du Drac et les argiles de l'Isère. - B.S.S.I., t. 58.  
 PLOTNIKOV (N.A.), 1962. - Ressources en eaux souterraines. - Gauthier-Villars, Paris.  
 RAGUIN, 1934. - Géologie appliquée. - Masson, Paris.  
 REMINERAS (G.), 1960. - Hydrologie de l'ingénieur. - Eyrolles, Paris.  
 REVIL (J.), 1908. - Les sources thermo-minérales de la Savoie. - Revue générale des Sciences.  
 ROUX (J.C.), 1956. - Hydrogéologie du bassin de la Somme. - Revue de géographie physique et de géologie dynamique.  
 SARROT-REYNAULD (J.), 1962. - Hydrogéologie karstique dans le Massif du Vercors. - A.I.H., Congrès d'Athènes.  
 ----- 1963. - Deux exemples de régimes hydrogéologiques dans les collines du Bas-Dauphiné. - T.L.G., t. 39.  
 ----- 1967. - Hydrogéologie souterraine dans le bassin houiller de La Mure. - A.I.H. Hanovre.  
 SCHANDEL (L.), 1909. - Rapport sur le sondage effectué en 1907 dans la vallée de Chambéry. - B.S.H.N. de Savoie t. 14.  
 SCHOELLER (H.), 1935. - Sur la concentration des sels dissous dans les eaux souterraines. - C.R. du Congrès d'étude des eaux souterraines d'Erford.  
 --- 1941. - L'influence du climat sur la composition chimique des eaux souterraines vadoses. - B.S.G.F., (5 série), t. XI.  
 --- 1945. - Sur la température des eaux souterraines (cas des nappes). - P.V.S. de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux.  
 --- 1948. - La variation de la composition chimique de l'eau dans les nappes souterraines. - A.G. d'Oslo.  
 --- 1948. - Les modifications de la composition chimique de l'eau dans une même nappe. - ibidem.  
 --- 1962. - Les eaux souterraines. - Masson, Paris.  
 TRICART (J.), 1959. - Les rapports entre la composition pétrographique des alluvions et la nature lithologique du bassin. - Revue de Géographie dynamique.  
 --- 1962. - L'épiderme de la terre.  
 URBAIN (P.). - Géochimie et hydrogéologie des enveloppes acqueuses des eaux thermo-minérales.  
 VIGIER (C.), 1965. - Contribution à l'étude de la nappe aquifère de l'Aquitainien dans le Marsan. - B.S.G.F., série 7.  
 WILHEM, 1925. - Les modifications du lit de l'Isère en aval de Grenoble.



Gravière des Iles du Rafour (près du Pont de Brignoud) - aspect du remplissage alluvial avec tronc d'arbre enfoui sous 10 mètres de galets et graviers.



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

Pendage conforme des calcaires marneux du Jurassique moyen sur le flanc est de la vallée.