Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Grenoble . Alpes françaises

Bernadette Lacroix

▶ **To cite this version:**

Bernadette Lacroix. Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Grenoble . Alpes françaises. Hydrologie. Universite Scientifique et Medicale de Grenoble, 1971. Français. NNT : . tel-00616708

HAL Id: tel-00616708

https://theses.hal.science/tel-00616708

Submitted on 24 Aug 2011

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

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

Doctorat de 3e Cycle
N° d'ordre

THESE

présentée

A L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE 3ème CYCLE

Spécialité Sciences de la Terre

Mention Géologie appliquée

PAR

Bernadette LACROIX

CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA PLAINE DE GRENOBLE

SOUTENUE LE 25 JUIN 1971 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN

MM R. BARBIER — PRESIDENT

R. MICHEL
J. SARROT REYNAULD — EXAMINATEURS

H. DUBEDOUT
J.L. LACROIX — INVITES

10107308

SOMMAIRE

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr
1-8 AOUT 2003

Pages

INTRODUCTION

- Aperçu géographique ---- 1
- Limites de l'étude ---- 1
- Aperçu géologique ---- 3
- Aperçu géomorphologique ---- 4
- Aperçu hydrologique
  . pente ---- 5
  . régime ---- 5

1re PARTIE - OBSERVATIONS ET MESURES

I. - GEOLOGIE

A. - Etude des bassins versants ---- 7

- Les collines liasiques ---- 9
- Le plateau de Champagnier ---- 9
- Les cônes de déjection :
  a - Bresson ---- 11
  b - sablière d'Eybens ---- 11
  c - carrière du Crey ---- 11
- La montagne du Jalla et de la Bastille ---- 11

B. - Etude du remplissage alluvial

- Méthode d'étude ---- 13
- Nature des alluvions ---- 15
- Structure du remplissage alluvial :
  a - coupes Est-Ouest ---- 15
  b - coupes Nord-Sud ---- 20
- Répartition et succession des différentes formations ---- 23
- Mode et origine de ces dépôts :
  1 - les dépôts récents ---- 23
  2 - les sables ---- 25
  3 - les argiles ---- 27
- Histoire géologique de ces dépôts ---- 27

Pages

II. - CLIMATOLOGIE - HYDROLOGIE

A. - Climatologie

- Pluviométrie ---- 29
- Evapotranspiration ---- 30
- Ruissellement ---- 30
- Infiltration ---- 31

B. - Hydrologie

- Le Drac :
  - a - profil ---- 31
  - b - régime ---- 31
- L'Isère :
  - a - profil ---- 33
  - b - régime ---- 33
- Débit de l'Isère et du Drac ---- 36
- Le Sonnant et les autres ruisseaux, sources ---- 36

III. - HYDROGEOLOGIE - ETUDE DE LA NAPPE ALLUVIALE

A. - Moyens d'étude ---- 37

B. - Etude des cartes isopièzes ---- 38

1 - Carte du 28 janvier 1970
  + Période
  + Forme de l'écoulement ---- 40
2 - Carte du 28 décembre 1969
  + Période
  + Forme de l'écoulement
3 - Carte du 10 juin 1970 ---- 44
  + Période
  + Forme de l'écoulement
4 - Profils de dépression ---- 44
  + Profil A B
  + Profil C D
5 - Description des différentes zones ---- 45
  a - Isles de Champagnier
  b - Etroit de Pont-de-Claix
  c - Partie centrale de la plaine
  d - Rive gauche de l'Isère
  e - Zone de confluence

C. - Etude des fluctuations de la nappe dans le temps ---- 52

D. - Essai de pompage

  1 - Dispositif d'essai ---- 53
  2 - Plan des essais ---- 53
  3 - Essai de courte durée ---- 55
    a) courbe rabattement - débit ---- 55
    b) courbe rabattement log t/t' ---- 59

Pages

4 - Essai de moyenne durée ---------- 59
5 - Essai de longue durée ---------- 61
6 - Essai d'étude par la formule de Dupuit ---------- 64

IV. - HYDROCHIMIE

Méthode d'étude ---------- 68

A. - Eaux de surface

a - Composition chimique ---------- 69
- Isère
- Ruisseau d'Eybens ---------- 76
- Ruisseau de Bresson ---------- 76
- Drac ---------- 76
- Les sources ---------- 76
b - Variations ---------- 76
- Isère
- Drac

B. - Eaux de la nappe phréatique

1. - Données physiques ---------- 78
a - la résistivité
b - le degré hydrotimétrique ---------- 79
c - le titre alcalimétrique complet ---------- 79
d - la température ---------- 87

2. - Description chimique des différentes familles ---------- 92
- zone des Isles de Champagnier, Isles de Mars
- zone centrale ---------- 94
a) sous-zone A
b) sous-zone B ---------- 104
- zone Est-Saint-Martin-d'Hères ---------- 104
- zone Ile Verte ---------- 107
- zone de confluence ---------- 107

2e PARTIE - SYNTHESE ET PROBLEME PARTICULIER

1. - Essai de synthèse ---------- 111
2. - Problème particulier ---------- 112
- Influence de la nappe du Grésivaudan
- Zones à teneurs anormales en sulfates ---------- 113

CONCLUSION ---------- 120

LISTE DES FIGURES

N°		Pages
1	Carte des noms de lieux et bassins versants	
2	Cadre géologique	2
3	Schéma des anciens lits du Drac	3
	GEOLOGIE	
4	Carte géologique des bassins versants	8
5	Coupe des cônes de déjection	10
6	Coupe des sondages, le long de la montagne de la Bastille	12
7	Carte repère des coupes et sondages	14
8	Coupe des sondages profonds	16
9	Coupes Est-Ouest A	18
10	Coupes Est-Ouest B	19
11	Coupes Nord-Sud	22
12	Carte des formations à la cote -20 mètres sous le terrain naturel	24
13	Carte de l'extension des dépôts de l'Isère et cote du toit des argiles plastiques	26
	CLIMATOLOGIE - HYDROLOGIE	
14	Carte des débits moyens : Drac, Romanche et Isère	32
15	Courbe des hauteurs d'eau : Isère, année 1970	34
16	Courbe des hauteurs d'eau : Drac, année 1970	35
	HYDROGEOLOGIE	
17	Carte repère pour les différents points et mesures et de prélèvements	38
18	Carte isopièze du 28 janvier 1970	39
19	Carte isopièze du 28 décembre 1969	41
20	Carte isopièze du 10 juin 1970	42
21	Profil de dépression	43
22	Variations piézométriques : région de Pont-de-Claix	46
23	" " : zone centrale	47
24	" " : Grenoble centre	48
25	" " : bordure Isère	49
26	Carte d'équibattement	50
27	Carte de battement synchrone	51
28	Coupe des sondages perméabilité place Vaucanson	54
29	Plan des essais et disposition des piézomètres	54
30	Courbe rabattement fonction du débit	56

N°		Pages
31	Courbe rabattement fonction log t/t'	58
32	Courbe rabattement fonction log t/x^2, pour l'essai de moyenne durée	60
33	Courbe rabattement fonction log t/x^2, pour l'essai de longue durée	62
34	Courbe rabattement fonction log t/t'	63
35	Courbe rabattement fonction log x - longue durée	65

HYDROCHIMIE

36	Diagramme logarithmique Isère	70
37	Diagramme logarithmique Ruisseau d'Eybens	71
38	Diagramme logarithmique Ruisseau de Bresson	72
39	Diagramme logarithmique Sources du plateau de Champagnier	73
40	Diagramme logarithmique Drac pont de Catane	74
41	Diagramme logarithmique Drac le long de son parcours	75
42	Carte d'équirésistivité , avril 1970 et janvier 1970	80
43	Carte d'équirésistivité juillet 1969	81
44	Carte d'égal DHT avril 1970	82
45	Carte d'égal DHT décembre 1970	83
46	Carte du TAC basses eaux (décembre 1970)	84
47	Carte TAC hautes eaux (avril 1970)	85
48	Carte des températures	86
49	Carte des cations avril 1970	88
50	Carte des anions " "	89
51	Carte des cations décembre 1970	90
52	Carte des anions " "	91
53	Diagramme logarithmique zone des Isles de Champagnier	93
54	" " zone chlorures	95
55	" " évolution dans le temps pour le point Caterpillar	97
56	" " zone chlorures près du Drac	98
57	Coupe hydrochimique	99
58	Evolution des chlorures d'après différentes analyses	101
59	Diagramme logarithmique zone sulfates, basses eaux	102
60	" " " " hautes eaux	103
61	" " zone Est	105
62	" " zone Ile Verte	106
63	" " zone de la confluence	108

2e PARTIE

64	Carte de transmissivité	111
65	Carte schématique : zone riche en tourbe et répartition des sulfates	113
66	Carte de la profondeur d'eau sous le sol naturel	116
67	Carte schématique : battement synchrone, isopièze, zone d'extension des dépôts de l'Isère, zone riche en sulfates	117

ANNEXE

Annexe I	Résultats analyse du 10-11 décembre 1968	
" II	" " du 1-2 juillet 1969	
" III	" " du 22 avril 1970	
" IV	" " du 8 décembre 1970	

AVANT-PROPOS

Parvenue au terme de cette étude je pense avec reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué à me permettre de poursuivre mes études et à m'initier à la géologie, à toutes celles qui m'ont aidée sur le plan scientifique comme sur le plan matériel à l'achèvement de ce mémoire ; que chacune reçoive mes remerciements.

Je me sens particulièrement redevable envers Monsieur le professeur SARROT-REYNAULD qui a bien voulu me confier cette étude et n'a ménagé ni ses conseils, ni son temps, me venant en aide jusque sur le terrain.

La Municipalité de Grenoble et les Services Techniques de la Ville en les personnes de Messieurs CORDIER et RIMBAULD qui m'ont toujours prêté leurs concours. Qu'ils soient aussi remerciés pour l'aide matérielle qu'ils m'ont apportée.

L'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse qui m'a permis d'étendre le territoire de cette étude grâce à son aide financière. Que Messieurs LACROIX et BUSSE trouvent ici mes remerciements pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Le Laboratoire d'Analyse des Eaux en la personne de Madame CHOUTEAU qui m'a consacré beaucoup de temps et grâce à qui la partie, traitant de la chimie des eaux, a pu être développée.

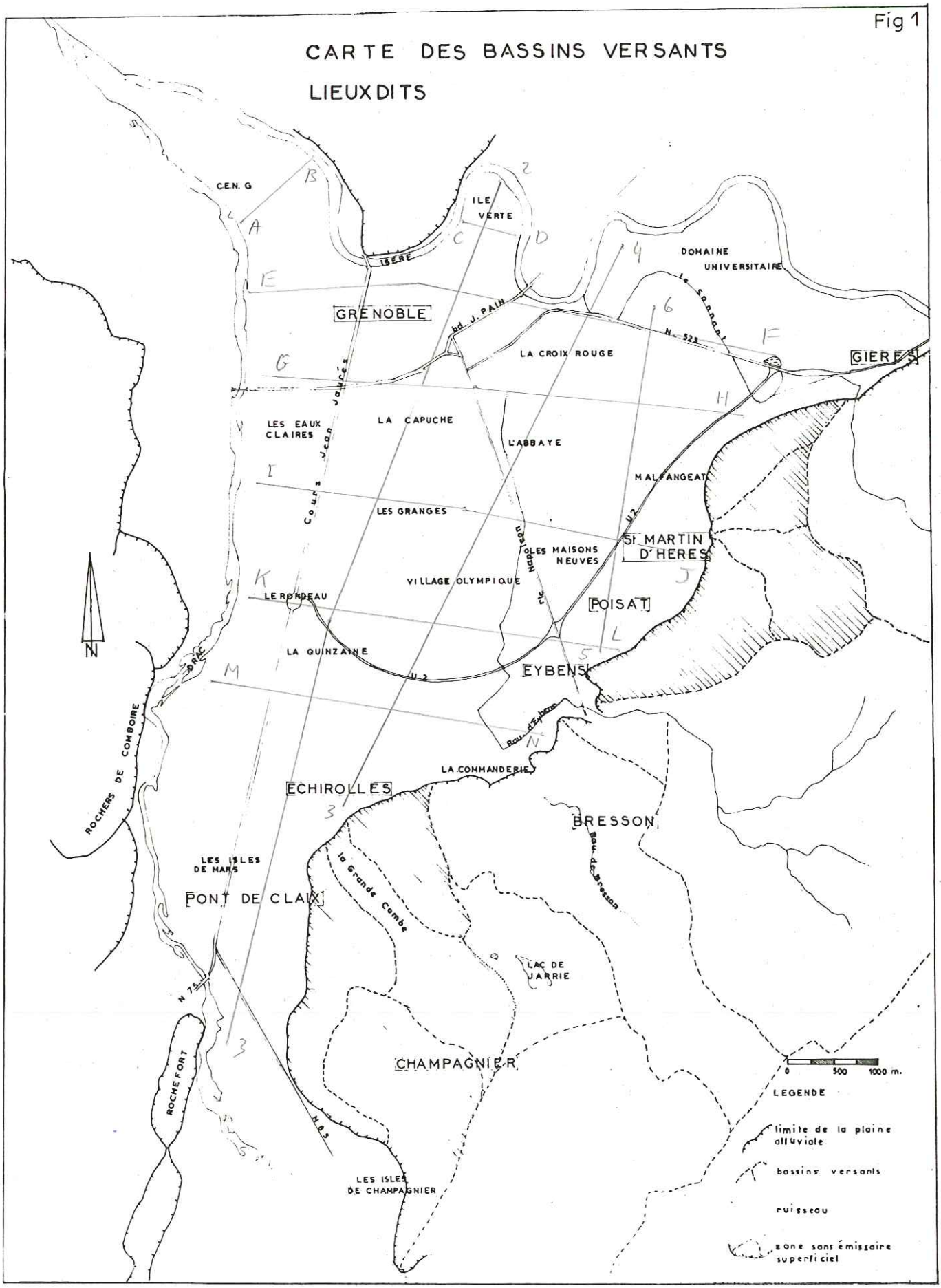
Mais cette étude n'a pu être menée à bien que grâce à la compréhension et à l'amabilité de tous les industriels de Grenoble et de ses environs qui ont bien voulu me fournir tous les renseignements en leur possession, m'ouvrir leurs dossiers et me donner toutes les facilités pour effectuer des mesures dans l'enceinte de leur usine. Qu'ils reçoivent, ici, l'expression de ma profonde sympathie.

Enfin, que le personnel technique du laboratoire de l'Institut de Géologie reçoive aussi mes remerciements pour le soin qu'il a apporté à l'impression de ce mémoire.

Fig 1

CARTE DES BASSINS VERSANTS

LIEUXDITS



INTRODUCTION

Traçons, dans ses grandes lignes, le cadre général de notre étude.

1. - APERÇU GEOGRAPHIQUE

La cuvette de Grenoble, objet de cette étude, se situe au centre du sillon subalpin où coulent l'Isère et le Drac jusqu'à leur confluence. Ensuite, l'Isère grossie des eaux du Drac, quitte ce sillon pour emprunter la cluse de Grenoble.

Le centre de ce sillon subalpin est bordé :

- à l'Est, par les collines liasiques et le plateau de Champagnier qui leur fait suite, adossés à la chaîne de Belledonne qui domine de 1 500 à 1 800 mètres, le fond de ce sillon subalpin ;

- à l'Ouest et au Nord, par les chaînes subalpines du Vercors et de la Chartreuse (montagne de la Bastille et du Jalla) ; ces deux chaînes subalpines sont séparées l'une de l'autre par la cluse de l'Isère.

2. - LIMITES DE CETTE ETUDE

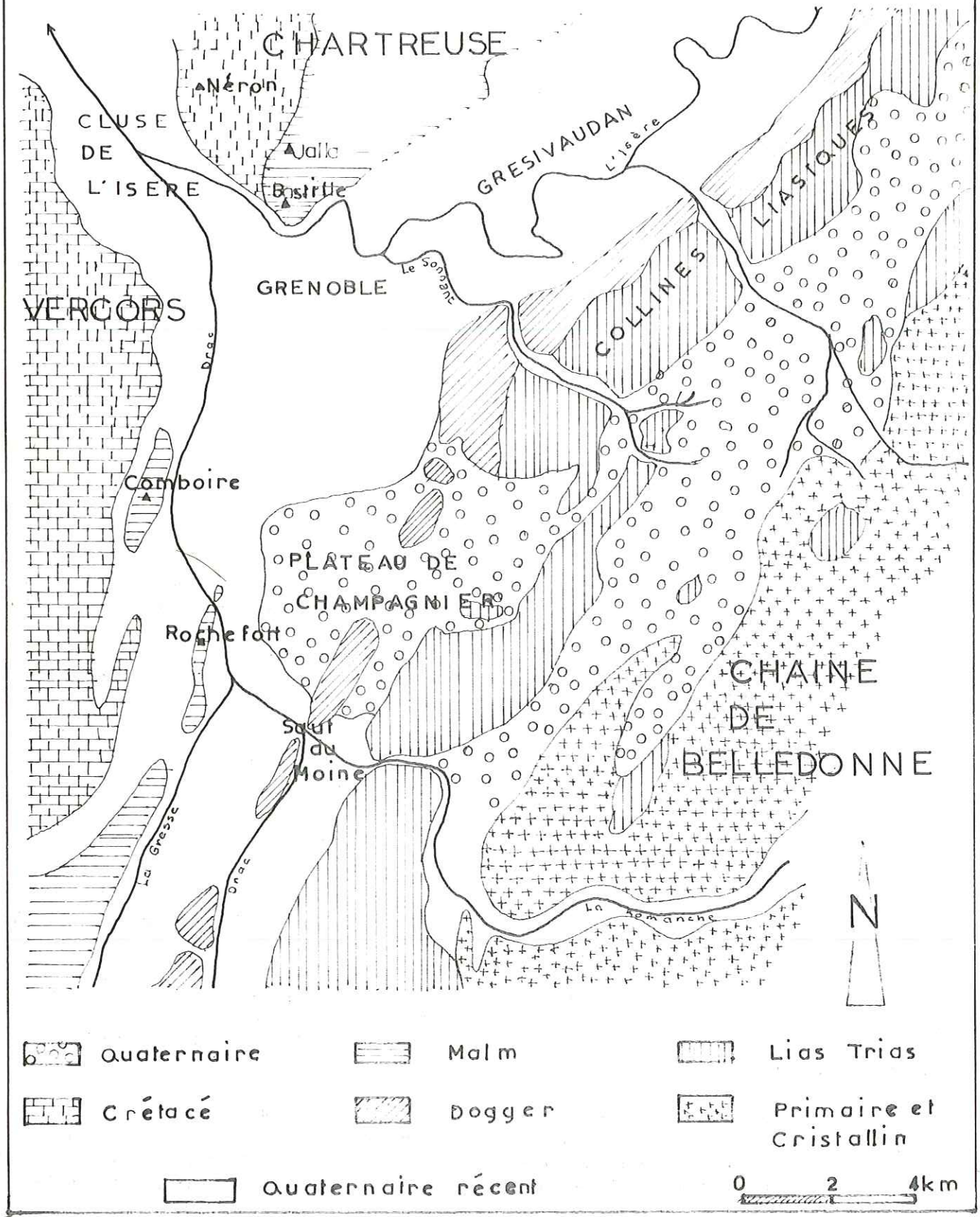
La zone étudiée s'étend sur le territoire des communes de Grenoble, Saint-Martin-d'Hères, Poisat, Eybens, Echirolles, Pont-de-Claix et Champagnier. Nous nous limiterons au secteur situé sur la rive droite du Drac, depuis le Saut-du-Moine jusqu'à sa confluence avec l'Isère.

Les collines liasiques de Gières à Eybens et le plateau de Champagnier seront notre limite sud ; au Nord, ce seront les flancs de la montagne du Jalla et l'entrée de la cluse de Grenoble (confluent Isère - Drac). A l'Est, nous nous raccorderons à l'étude effectuée antérieurement par J.-C. FOURNEAUX : "Hydrogéologie du Grésivaudan" entre Grenoble et Montmélian.

Ce sont des difficultés d'ordre matériel, telles que le manque de points de mesure, qui ne nous ont permis d'étendre nos recherches jusqu'au bord du Vercors ; par contre, alors que l'étroit de Pont-de-Claix semblait constituer une limite toute naturelle au Sud, nous avons poussé nos investigations jusqu'au Saut-du-Moine ; la raison en est que la zone des Isles de Champagnier représente un secteur relativement important pour l'étude hydrochimique de cette nappe.

Fig 2

CADRE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE



1/125 000

3. - APERÇU GEOLOGIQUE

Les formations géologiques qui entrent dans le cadre de cette étude font partie des terrains de la zone dauphinoise.

Le sillon subalpin entaille les formations tendres de la couverture sédimentaire des massifs cristallins externes (représentés par la chaîne de Belledonne dans notre étude). Cette dépression est due, pour une grande part, à l'action d'érosion des glaciers mais peut-être, aussi, à des mouvements tectoniques. Les formations tendres du Lias et du Dogger sont constituées de calcaires marneux qui constituent, à l'Est, les collines liasiques et se retrouvent, à l'Ouest, sous les niveaux plus calcaires du Jurassique supérieur, formant le soubassement du massif de la Chartreuse.

Dans la partie sud est du sillon subalpin qui fait l'objet de cette étude, ces formations du Lias et du Dogger se retrouvent dans le prolongement des collines liasiques mais les dépôts quaternaires (remblaiement fluvio-glaciaire) du plateau de Champagnier les masquent en partie.

Au Nord, les flancs de la cuvette de Grenoble sont uniquement constitués de la série du Jurassique supérieur dominée par la barre de calcaire tithonique ; les formations du Jurassique moyen qui constituent le soubassement, n'affleurent pas ici.

Le remplissage de ce sillon subalpin n'est pas l'œuvre du réseau hydrographique actuel, il est dû à des fleuves, glaciers et lacs marquant les différents épisodes glaciaires de l'époque quaternaire. Il est très important puisqu'un sondage de 400 mètres, effectué dans le quartier de Beauvert, à Grenoble, a traversé uniquement des sables, argiles et graviers sans atteindre le substratum.

La cluse de l'Isère, par où s'échappent les eaux du sillon subalpin, sépare le Vercors de la Chartreuse. Ces deux massifs sont constitués des séries du Jurassique et du Crétacé, formées par des alternances de calcaires durs et de niveaux plus tendres : calcaires marneux et marnes.

Dans la présente étude, nous aurons surtout à faire aux formations quaternaires, formant le remplissage alluvial de la plaine de Grenoble ; les flancs de la cuvette que nous étudierons en détail, plus loin, n'interviendront qu'en raison du rôle qu'ils jouent dans l'alimentation de la nappe phréatique.

4. - APERÇU GEOMORPHOLOGIQUE

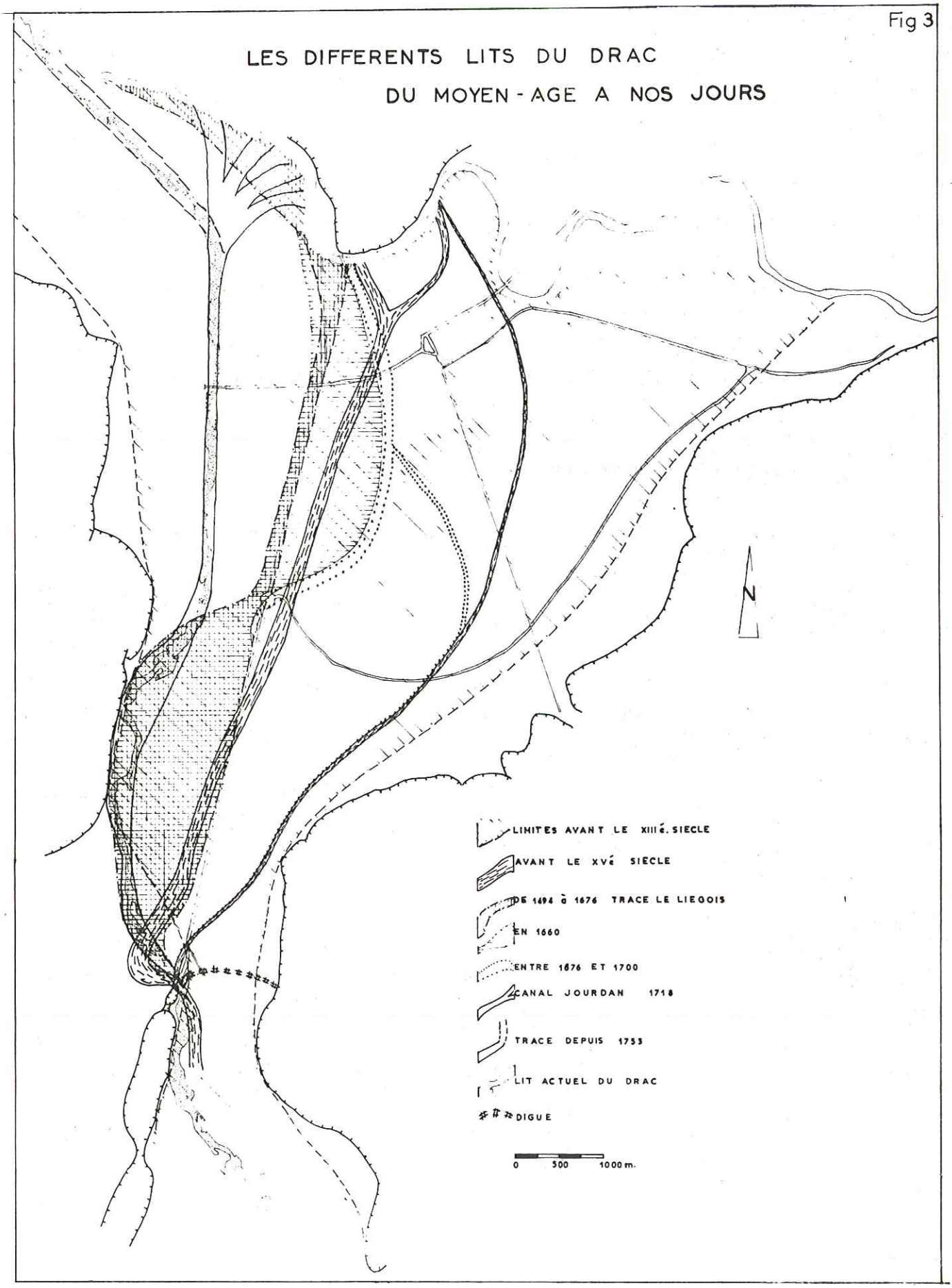
La zone étudiée ici est très plane par rapport aux rebords plutôt abrupts des reliefs avoisinants. L'altitude de cette cuvette de Grenoble varie de 240 mètres (cote N. G. F.) à 210 mètres près de l'Isère.

Les deux rivières : Isère et Drac, par leurs divagations et changements de lits mineurs, au cours des temps, ont nivelé cette plaine. Le Drac, en arrivant dans cette plaine où la pente est beaucoup plus faible que celle de son cours en amont de Pont-de-Claix, a édifié un vaste cône de déjection dont la base va de Gières à Sassenage.

A la limite est du cône de déjection du Drac, se trouve une zone légèrement déprimée (quartier de Malfangeat, l'Abbaye, les Maisons Neuves).

Fig 3

LES DIFFERENTS LITS DU DRAC
DU MOYEN-AGE A NOS JOURS



Les collines qui bordent cette plaine de Grenoble sont à forte pente et la dominent de 100 à 300 mètres ; leurs flancs sont seulement recoupés par de rares ruisseaux, anciens ou actuels : le Sonnant, les ruisseaux d'Eybens et de Bresson, la Grande Combe (vallée sèche) qui étalent, à leur pied, leur cône de déjection.

5. - APERÇU HYDROLOGIQUE

Si l'on suit le tracé de l'Isère, on remarque qu'elle décrit d'amples méandres à travers le Grésivaudan et qu'à son arrivée dans la zone grenobloise, elle se trouve rejetée contre la montagne de la Bastille. Ce changement brutal intervenant dans son tracé au moment où elle reçoit son affluent : le Drac, ne peut être dû qu'à l'action de ce dernier dont la pente et le régime sont différents de ceux de l'Isère.

- Pente

L'Isère, installée depuis près de 100 kilomètres dans le sillon subalpin a, déjà, un cours apaisé et, malgré l'importance de sa charge, une pente très faible : 0,64 mm/m.

Le Drac a une pente beaucoup plus forte : 3,33 mm/m, cette différence de pente se traduit surtout dans la granulométrie et un peu dans le volume des matériaux que charrient ces deux cours d'eau.

Le Drac, en arrivant dans cette vallée maîtresse, où la pente est faible est obligé d'abandonner une grande partie de ses alluvions grossières ; il les dépose sur le cône de déjection qu'il édifie depuis Pont-de-Claix. On estime à 250 000 m^3/an la charge que transportait le Drac avant la mise en fonctionnement des barrages.

L'Isère ne transporte plus que des matériaux fins : graviers et petits galets dont les plus gros atteignent au maximum 6 à 7 cm de diamètre et beaucoup d'éléments fins tels que des sables et argiles.

- Régime

L'Isère, avec son cours sinueux et long avant d'atteindre Grenoble, a des crues d'une propagation relativement lente par suite des différentes influences climatiques qui jouent sur elle-même et ses affluents. Les crues du Drac sont beaucoup plus subites en raison de son régime presque uniquement méditerranéen, aux averses violentes.

M. PARDE évalue de 2 200 à 2 500 m^3/s les plus amples poussées de l'Isère à Grenoble et de 1 800 à 2 000 m^3/s celles du Drac dont le bassin versant est d'un bon tiers plus restreint (3 560 km^2 alors que celui de l'Isère est de 9 340 km^2 jusqu'à Grenoble).

Ces chiffres nous montrent bien la différence qui existe entre les régimes de ces deux rivières et la prépondérance du Drac sur l'Isère dans la cuvette de Grenoble, ce qui explique le rejet de l'Isère contre la montagne de la Bastille, le vaste cône de déjection du Drac tendant à barrer le cours de l'Isère.

D'après divers documents tels que les travaux de A. BOUCHAYER et des ingénieurs de la SOGREAH, on a pu représenter les différentes digues que l'on a construites du Moyen Age à nos jours, ce qui donne une idée de l'importance des crues et du danger que présentait le Drac pour la ville de Grenoble. On remarque notamment, que l'on a toujours repoussé vers l'Ouest le lit du Drac, en lui créant un chenal artificiel presque parallèle à celui de l'Isère avant qu'ils ne se rejoignent. Et c'est encore pour le repousser qu'on a fait passer le Drac entre les rochers de Pont-de-Claix (au Moyen Age) en agrandissant une trouée déjà existante, afin qu'il n'aille pas se jeter dans l'Isère en traversant la vieille ville de Grenoble.

Voici donc le cadre général de l'étude que nous nous proposons de faire, cadre qui nous permet déjà, d'entrevoir l'importance du rôle que jouent les deux rivières : l'Isère et le Drac, sur l'hydrogéologie de la plaine de Grenoble.

1re PARTIE

OBSERVATIONS ET MESURES

Il suffit de parcourir la banlieue grenobloise pour constater l'existence dans les jardins, de puits et de nombreux pieux (tubes crépinés de faible diamètre, enfoncés par battage et munis de pompes) ; on remarque encore que, lors de travaux assez importants, tels que la pose de canalisations de gros diamètre, on est obligé, dans de nombreux cas, d'assécher les fouilles envahies par l'eau ; ces simples observations font présumer l'existence d'une nappe phréatique dans le sous-sol de la plaine de Grenoble.

Pour étudier cette "nappe", nous avons cherché, avec les méthodes propres à chaque discipline, et dans la mesure de nos possibilités, à connaître :

1° - le milieu dans lequel circule cette nappe (géologie des bassins versants et du sous-sol) ;
2° - les rapports de cette nappe avec les eaux de surface (hydrologie et climatologie) ;
3° - ses caractéristiques dynamiques (hydrogéologie) ;
4° - ses caractéristiques physico-chimiques (hydrochimie).

I. - GEOLOGIE

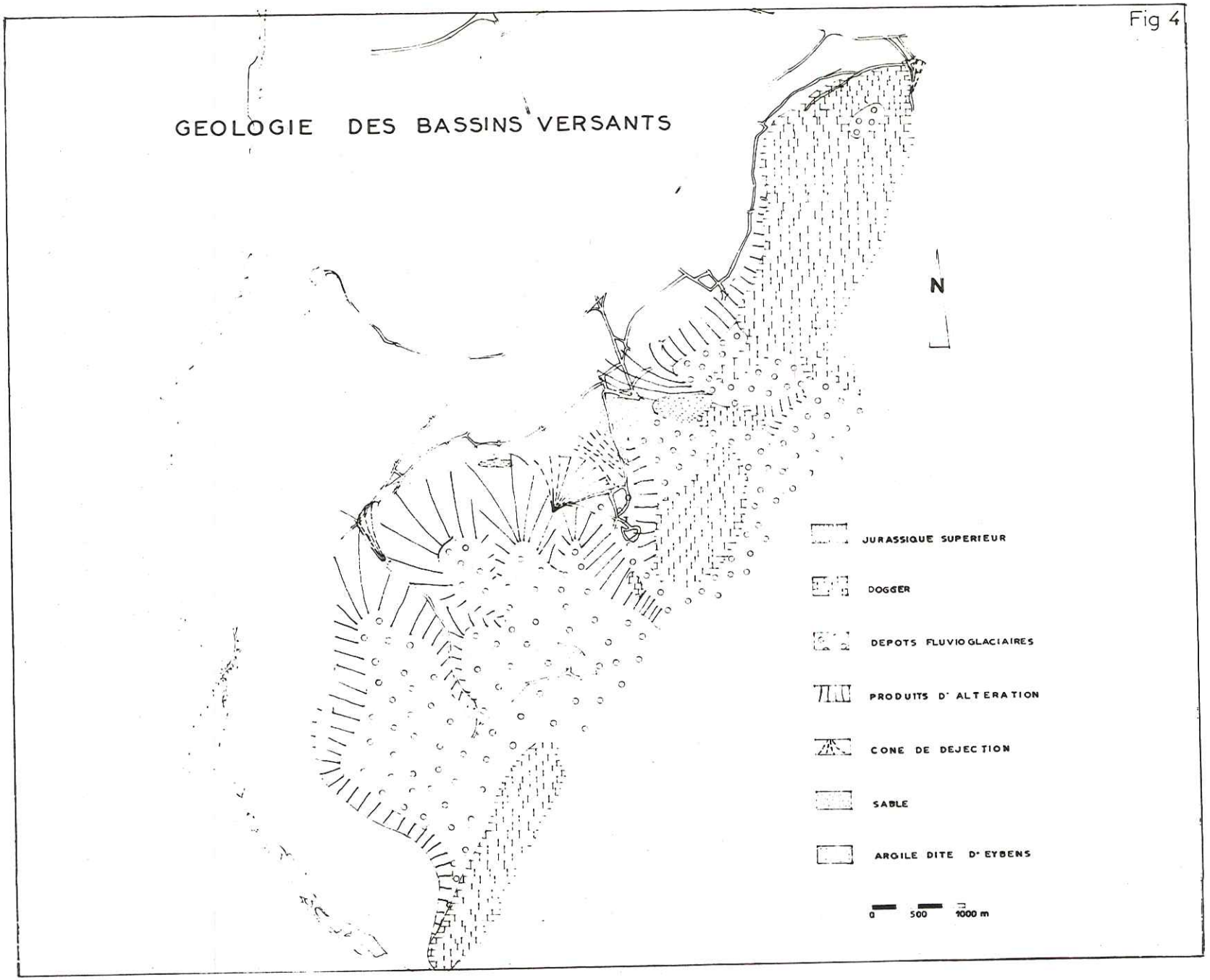
Avant d'entreprendre l'étude de ce remplissage alluvial de la plaine de Grenoble, dans lequel circule l'eau de la nappe phréatique, il est intéressant de connaître la géologie des flancs de la cuvette de Grenoble car l'eau qui tombe sur ces pentes, s'infiltre dans le sol ou ruisselle et vient rejoindre celle de la plaine, de façon plus ou moins directe.

A. - ETUDE DES BASSINS VERSANTS

Etant données les limites de notre étude, nous verrons tout d'abord les collines liasiques et le plateau de Champanier ainsi que les cônes de déjection récents qui lui sont liés, puis les montagnes de la Bastille et du Jalla.

Fig 4

GEOLOGIE DES BASSINS VERSANTS



- Les collines liasiques

Comme nous l'avons vu dans la géologie générale, ces collines liasiques constituent la couverture sédimentaire des massifs cristallins externes,représentés ici par le massif de Belledonne. En amont de Grenoble, dans le Grésivaudan, elles sont beaucoup plus développées que dans notre secteur où elles ne forment que la bordure sud est de la cuvette de Grenoble, de Gières à Eybens. Ensuite, ces collines ne se retrouvent plus que cachées par des terrains plus récents ; on n'en voit alors que des pointements, tels que Montavie et Montrolland qui en sont les témoins au milieu des terrains récents qui constituent le plateau de Champagnier.

Elles sont formées de calcaires marneux noirs, en bancs de quelques décimètres avec des assises plus argileuses par endroit, l'ensemble de la série liasique étant assez riche en matière argileuse : 24 %.

Le pendage général de l'ensemble de cette série liasique se fait vers le Nord Ouest, mais ces formations sont affectées par de nombreux plis et cassures. Il existe à la surface des collines liasiques, d'une part de minces placages d'origine glaciaire, mais surtout une zone d'altération sur laquelle est implantée la couverture végétale. Cette zone d'altération, relativement importante, permet une certaine infiltration de l'eau dans ces terrains normalement imperméables.

- Le plateau de Champagnier

Le plateau de Champagnier est constitué de dépôts fluvio-glaciaires, reposant sur un substratum formé par les calcaires marneux des collines liasiques. Sur le plateau proprement dit, se voient d'anciens vallums morainiques qui entourent, notamment, la dépression fermée de l'étang de Jarrie ; d'autres vallums près du camp de Poisat descendent très bas et viennent se terminer au niveau de la plaine de Grenoble.

Ce plateau de Champagnier est entaillé par des vallées mortes, empruntées autrefois par des torrents sous-glaciaires ; la Grande Combe, où passe la route qui va d'Echirolles à Champagnier, en est un exemple.
Sur le rebord pentu du plateau de Champagnier, les dépôts fluvio-glaciaires sont altérés en surface.

A Eybens, à la base du plateau de Champagnier, se trouvent les argiles lacustres dites d'Eybens que surmontent des sables et au-dessus desquels viennent les cailloutis fluvio-glaciaires de Champagnier.

D'après les travaux récents effectués dans la sablière d'Eybens qui fournit une bonne coupe du soubassement du plateau de Champagnier, ces sables auraient un caractère fluviatile et seraient ravinés par les cailloutis du plateau de Champagnier.

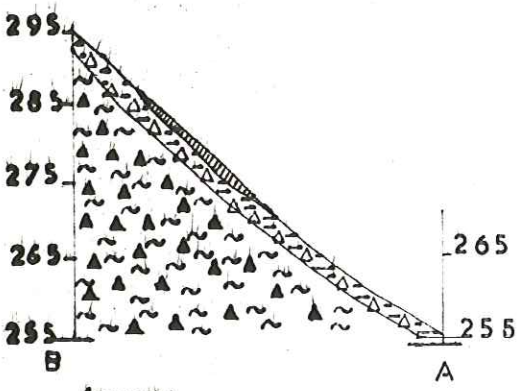
Sur le versant nord ouest du plateau de Champagnier, au droit de la Commanderie à Echirolles, on retrouve les mêmes argiles, dites d'Eybens, ravinées par des sables qui affleurent sous une mince couche de produit de solifluxion. Les sables que l'on trouve sur ce versant sont très fins, gris, sans éléments grossiers ; les argiles sont feuilletées, foncées ; aucun niveau sableux n'est observé dans les argiles, sauf à la limite avec les sables. La base du ravinement des argiles est marquée par un petit lit de gravier.

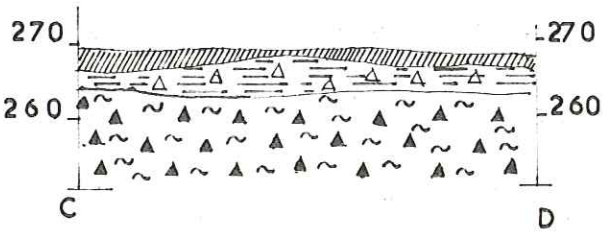
L'épaisseur des argiles est connue grâce à un sondage effectué dans les anciennes tuileries d'Eybens qui les a traversées sur 90 mètres de haut avant de rencontrer des cailloutis grossiers. Quelques lits de sable s'observent à la limite des argiles avec les cailloutis.

Dans cette partie du plateau de Champagnier, nous trouvons donc, sur un premier horizon de "cailloutis inférieurs", les argiles d'Eybens, ravinées et surmontées par les sables au-dessus desquels se trouvent les cailloutis fluvio-glaciaires de Champagnier.

Fig 5

BRESSON



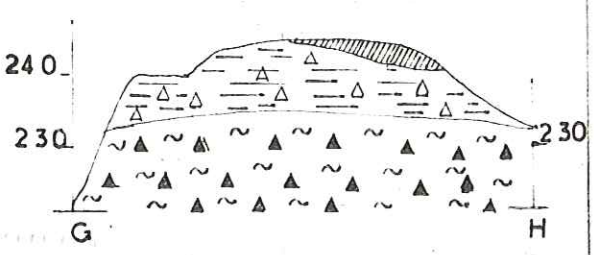


Terre végétale

Grave argilosableuse

Grave limonosableuse

LE CREY

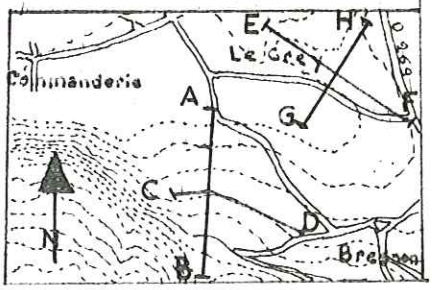


Terre végétale

Grave argilosableuse

Grave limonosableuse

Sable graveleux



- Les cônes de déjection

Les ruisseaux d'Eybens et de Bresson, le Sonnant ont édifié à leur arrivée dans cette vallée maîtresse qui est celle de l'Isère, des cônes de déjection. Les matériaux déposés sur les cônes de déjection sont des graviers plus ou moins limoneux, avec peu de matériaux grossiers étant donné le faible bassin d'alimentation de ces torrents sauf pour le Sonnant qui a un bassin versant plus important, mais dont les eaux ont déjà perdu de leur vitesse et dont la pente du lit n'est plus très forte à son arrivée dans la plaine de Grenoble. Ces dépôts des cônes de déjection sont imbriqués dans les alluvions de la plaine de Grenoble.

Certains de ces dépôts ont fait l'objet d'études géophysiques (profils électriques) en vue de recherches de matériaux pour empierrement.

a) - Ainsi, à Bresson, sur un profil partant de l'Oratoire et en allant vers Le Crey, on observe sous 0,30 m de terre végétale, de 2 à 3 m de gravier argileux avec du sable et quelques blocs dont le diamètre moyen est de l'ordre de 180 mm ; les mesures géophysiques permettent, ensuite, de prévoir la présence d'environ 10 m de gravier dont la granulométrie serait assez régulière avec existence, par endroit, de limon et de sable. Une discontinuité apparaît vers 15 m, base du gravier limoneux mais ceci semble dû à l'imbrication du cône dans les alluvions de la plaine et on peut très bien supposer qu'un peu plus bas on retrouve des dépôts de ce cône de déjection (comme le schématise la coupe M N, fig. n° 10).

b) - Au front de taille de la sablière d'Eybens, on a la coupe suivante, de haut en bas :
- de 0 à 14 m des graviers sableux à granulométrie variable et un peu limoneux ;
- de 14 à 22 m, des graviers propres et sableux ; la fraction sableuse est beaucoup plus importante que dans la partie supérieure ;
- de 22 à 31 m, du sable propre à granulométrie variable avec même des lentilles de sable très fin et un peu limoneux.

c) - A la carrière du Crey, près de Bresson, une étude géophysique par profil électrique donne :
- 20 à 50 cm de terre végétale,
- 2 m de gravier bien gradué, argileux et un peu sableux,
- plus de 7 m de gravier limoneux et sableux avec des passées nettement plus sableuses que l'ensemble de ce niveau et assez propres. Certains profils semblent montrer que cette couche aurait une épaisseur d'environ 30 mètres.

- La montagne de la Bastille et du Jalla

Cette unité qui correspond au promontoire le plus méridional du massif de la Chartreuse est formée d'une série de terrains d'âge jurassique supérieur. Faisant obstacle par ses terrains durs, elle est contournée par l'Isère.

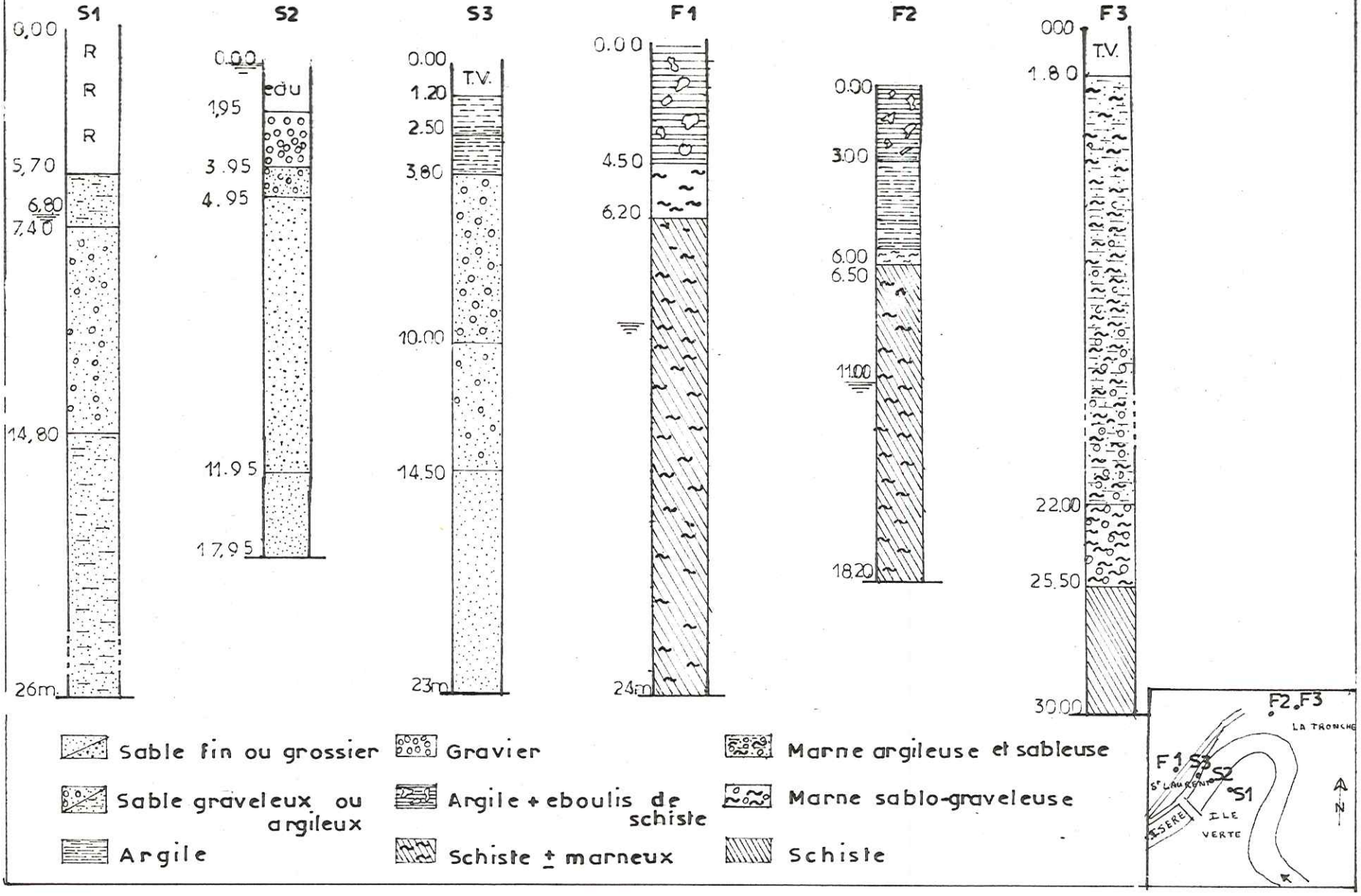
Ses assises rocheuses qui ont un pendage d'environ 60° vers l'Ouest, comprennent d'abord, des calcaires marneux lités du Séquanien et du Kimméridgien inférieur qui font place à des calcaires plus durs en petits bancs bien distincts surmontés par une masse calcaire en gros bancs ; cet ensemble constitue le Kimméridgien moyen. Le Kimméridgien supérieur est représenté par un complexe de petits bancs qui se trouve sous la puissante série calcaire du Tithonique supérieur, laquelle forme d'importantes falaises.

Pour préciser la morphologie de la colline en bordure de l'Isère et connaître jusqu'à quelle cote, celle-ci a érodé les horizons du substratum, des sondages ont été effectués récemment au pied de la montagne de la Bastille, dans le quartier Saint-Laurent et à la Tronche. Le sondage situé au droit du Pont de la Citadelle dans la rue Saint-Laurent a fourni la coupe suivante :

- de 0 à 4,60 m. de l'argile marron avec éboulis de schistes ;

COUPES GEOLOGIQUES LE LONG DE L' ISERE

Fig 6



- de 4,60 m à 6,20 m : marne grise avec éboulis de schistes,
- de 6,20 m à 24 m : schiste gris veiné de calcite et de marne.

Les deux autres sondages situés à La Tronche (chemin Saint-Jean et rue Saint-Jean) donnent la coupe suivante : sous une dizaine de mètres d'argile contenant des éboulis de schistes, se trouvent des schistes noirs veinés de marnes et de calcite blanche.

Ces schistes situés sous des terrains plus ou moins altérés et remaniés sur place, peuvent être attribués au Jurassique moyen ou à la base du Jurassique supérieur.

D'autres sondages effectués dans le lit actuel de l'Isère ne montrent que des alluvions : sable et un peu de gravier ; aucun de ces sondages n'a atteint ces schistes avant la cote moins 20 mètres sous le niveau du fond du lit de l'Isère.

L'érosion, au pied de la colline, a donc été très importante et a entaillé celle-ci suivant un profil presque vertical. Il est également logique de penser que la barre tithonique de la Bastille qui doit se raccorder vers le Sud à celle qui forme le Rocher de Comboire a été entaillée par l'érosion mais qu'elle doit subsister quelque part en profondeur.

Toutes les couches qui affleurent dans la colline de la Bastille ont été affectées par de nombreuses failles et par des cassures de moindre importance. Si l'on remarque, par endroit, des blocs erratiques reposant sur ces séries calcaires, les dépôts glaciaires proprement dits ne sont pas représentés par une couverture continue.

De ce fait, on ne trouve que peu de sources mais bien que la structure provoque un drainage vers la cluse de l'Isère, c'est-à-dire vers le Nord Ouest (du fait du pendage), comme le montrent les travaux des ciments Porte de France, il semble probable que des circulations aquifères se soient mises en place dans la masse du Jurassique supérieur à l'occasion de fissures ou de failles et viennent s'ajouter directement à celles que l'on rencontre dans les dépôts récents de la plaine de Grenoble. Il n'en reste pas moins que quelques sources existaient autrefois, entre Sainte-Marie-d'en-Haut et la place de la Cimaise, ainsi qu'à Saint-Laurent.

Les quatre unités que nous venons d'étudier sont donc composées de terrains différents, et chacune de ces unités donnera lieu à un type d'infiltration et d'alimentation différent, et par là même, jouera un rôle dans l'étude hydrogéologique de la plaine de Grenoble.

B. - ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL

- Méthodes d'étude

Ce sont surtout les dépôts récents que nous pouvons étudier, car ils sont le champ de nombreux travaux. Ces formations récentes sont assez hétérogènes, aussi tant en vue d'études de stabilité des fondations, qu'en vue de recherches d'eau, de très nombreux forages et sondages mécaniques ont été exécutés.

Pour étudier ces dépôts, nous avons donc recherché le plus possible de documents existants : coupes de forages, sondages ou tranchées, études géophysiques, et suivi ou dirigé des travaux de reconnaissance exécutés durant le temps qu'a duré cette étude.

Quatre cent coupes de terrains portant sur les vingt premiers mètres, ont été ainsi recueillies. Les coupes de sondages très rapprochées ont été regroupées pour plus de simplicité, constituant ainsi, une centaine seulement de

Fig 7

SONDAGES
PLANS DE COUPES

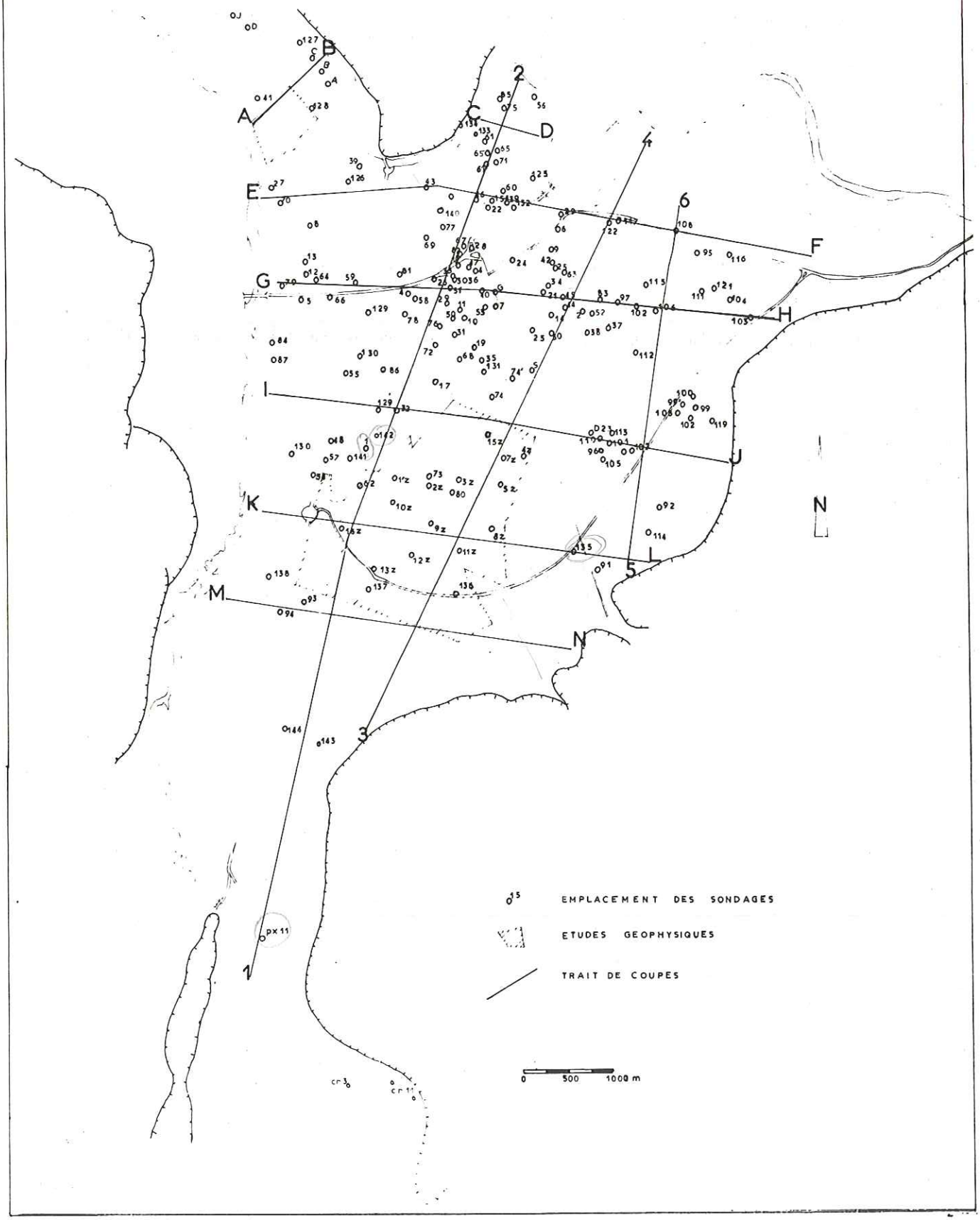
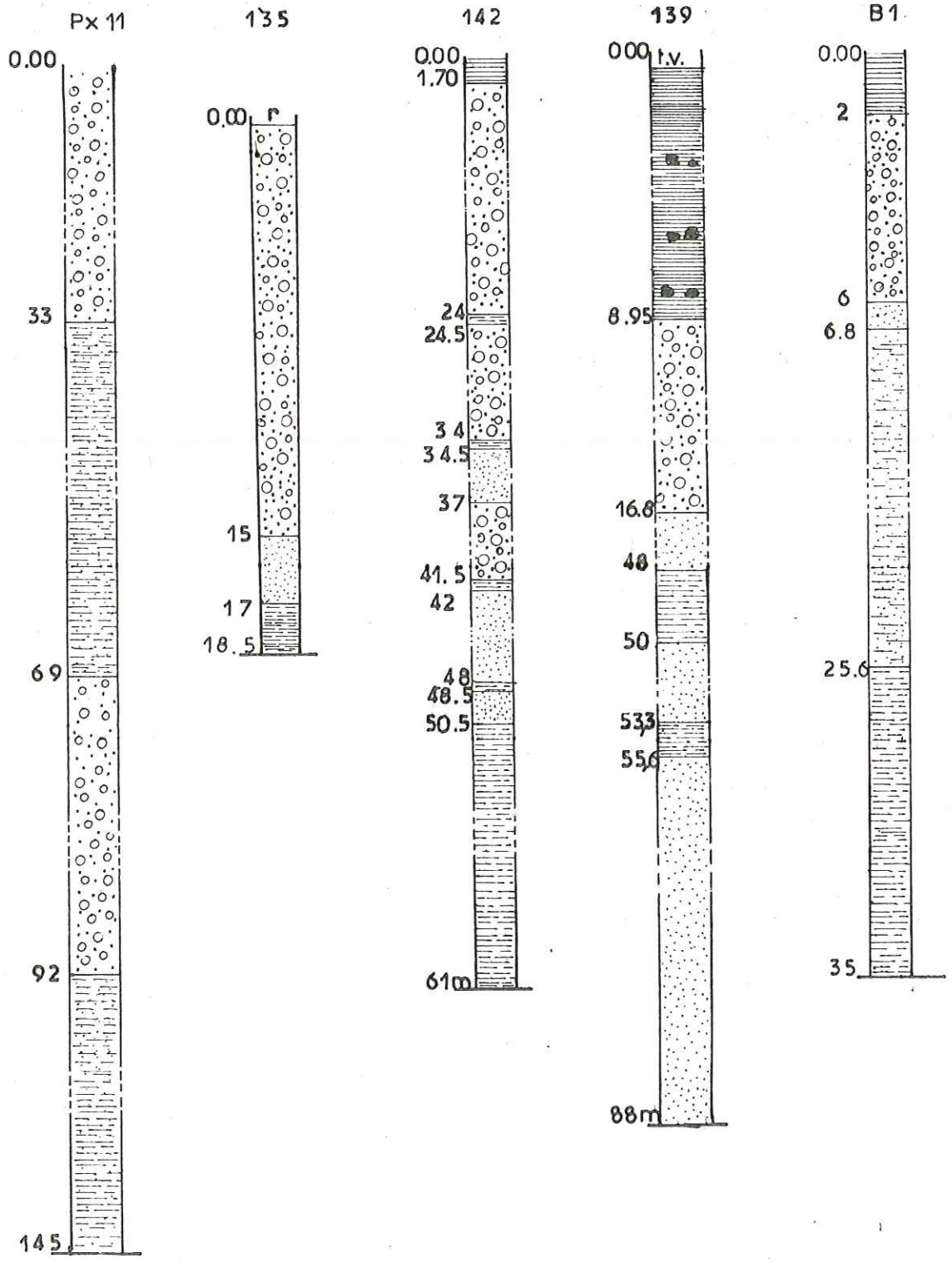


Fig 8

COUPES GEOLOGIQUES PROFONDES



points sur la carte (fig. n° 7). Une vingtaine de coupes sont plus profondes allant jusqu'à 80 mètres. Enfin, deux sondages, l'un de 144 mètres (PX II) l'autre de 400 mètres (n° 1, Beauvert), ont été effectués. Trois études géophysiques permettront d'étendre le domaine de nos investigations.

Il est ainsi possible de se faire une idée de la nature des alluvions qui forment le remplissage de cette plaine de Grenoble et de leur stratigraphie.

- Nature des alluvions

La plaine de Grenoble a été édifiée après le retrait des derniers glaciers par les divagations des deux rivières (du Drac surtout) qui, avant d'être endiguées, se déplaçaient sur leurs alluvions.

a) - les dépôts du Drac, cours d'eau plus torrentiel que l'Isère sont, à la fois, plus grossiers et plus abondants. Ils sont représentés par des sables, graviers et galets, voire par endroit des blocs qui peuvent atteindre de grandes dimensions (80 cm de diamètre).

Ces graviers et galets sont constitués de roches vertes, de spilites, granites et calcaires en assez grande abondance. Ces alluvions sont, en général, bien lavées ce qui leur confère une excellente perméabilité.

b) - les alluvions de l'Isère sont, elles surtout, sablo-graveleuses, limoneuses et argileuses. Dans les anciens chenaux de l'Isère comme dans son lit actuel, on trouve des graviers qui sont de plus faible dimension que ceux du Drac, étant donné le caractère moins torrentiel de cette rivière. Dans la plaine on aura le plus souvent des dépôts de débordement de l'Isère ; et aussi, leur épaisseur sera très variable d'un point à un autre.

Vu que cette étude se situe à la confluence de ces deux cours d'eau, les différents dépôts seront imbriqués les uns dans les autres et seront les témoins des luttes de l'Isère et du Drac.

c) - on note, en outre, correspondant au point bas de la plaine de Grenoble, dans les quartiers de l'Abbaye, Malfangeat, les Maisons Neuves, une zone de dépôts marécageux. Dans les sondages 33, 37, 38, 45, par exemple, se trouvent des argiles grises à végétaux et même des lits de tourbe de 2 à 6 mètres (sondage 33 et 38).

De même, le sondage 76, a montré, après une fouille de 2 mètres, la coupe suivante :
- de 2 à 5,70 m, graviers, galets, sable,
- de 5,70 à 8,30 m, argile à végétaux,
- de 8,30 à 12 m, argile avec des lentilles de tourbe de 50 à 60 cm d'épaisseur,
- de 12 à 24,50 m, alluvions grossières,
- de 24,50 à 30 m (fin du sondage), argile à végétaux.

d) - sous les alluvions grossières de l'Isère et du Drac se trouvent du sable gris en couches d'épaisseur variable. Sous l'usine Caterpillar - Grenoble, on l'a traversé pendant 20 m et dans le quartier de l'Ile Verte, le sondage y est resté pendant 50 m ; ils sont souvent associés à des argiles en lentilles de faible dimension.

e) - sous ces sables, les sondages profonds traversent des argiles plastiques (coupe usine Caterpillar, Beauvert, carrefour U 2 - avenue d'Eybens,... voir fig. n° 8) ; le passage sable argile se fait par de nombreux intermédiaires sable argileux et argile sableuse.

- Structure du remplissage alluvial

Les sondages mécaniques ne fournissent une coupe assez précise des formations lithologiques du remplissage alluvial qu'en un point donné, nous avons donc essayé d'établir des profils de ces formations, aidés par les études géophysiques que nous possédions.

Fig 9

COUPES SCHEMATIQUES DU REMPLISSAGE ALLUVIAL

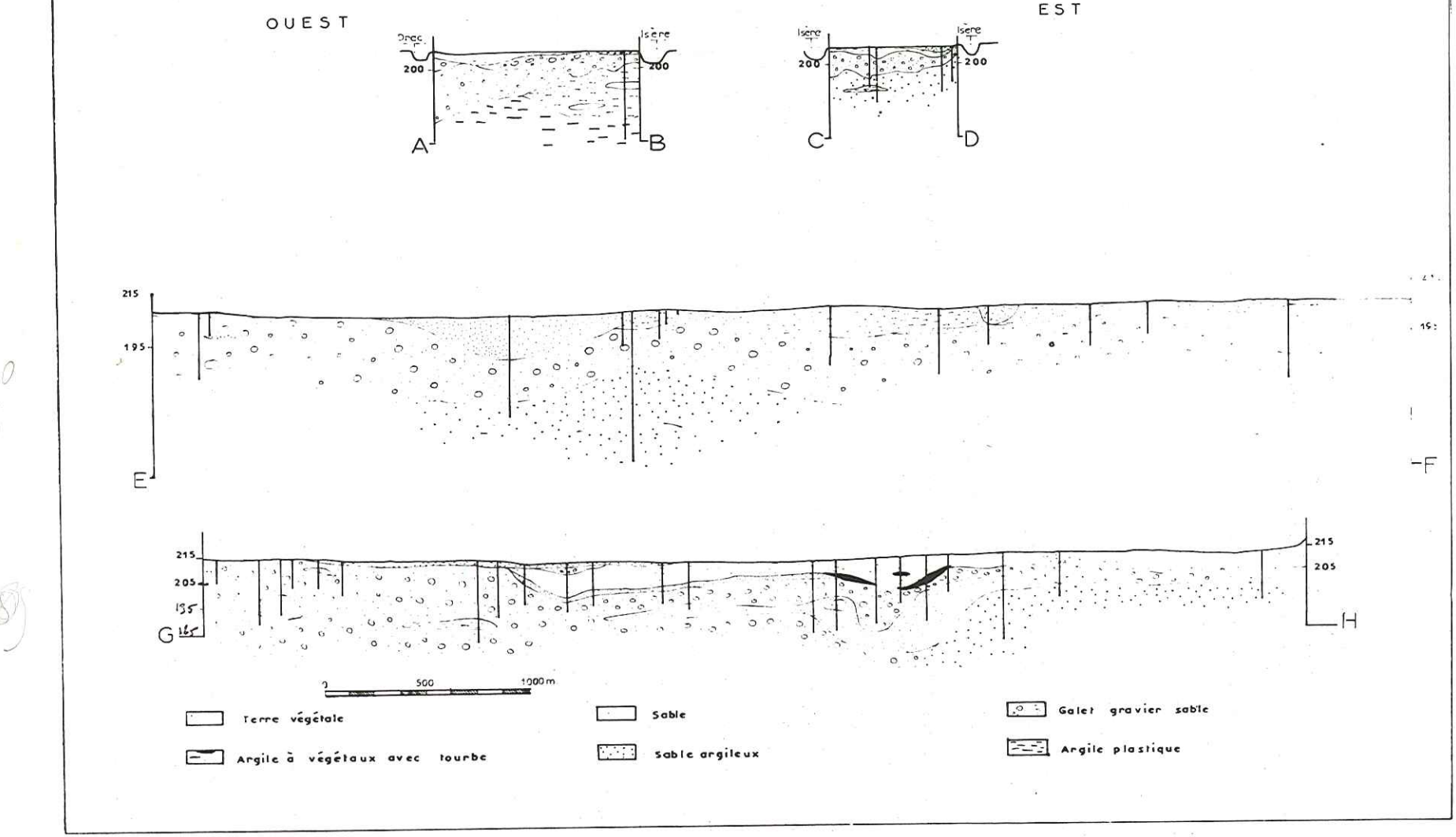
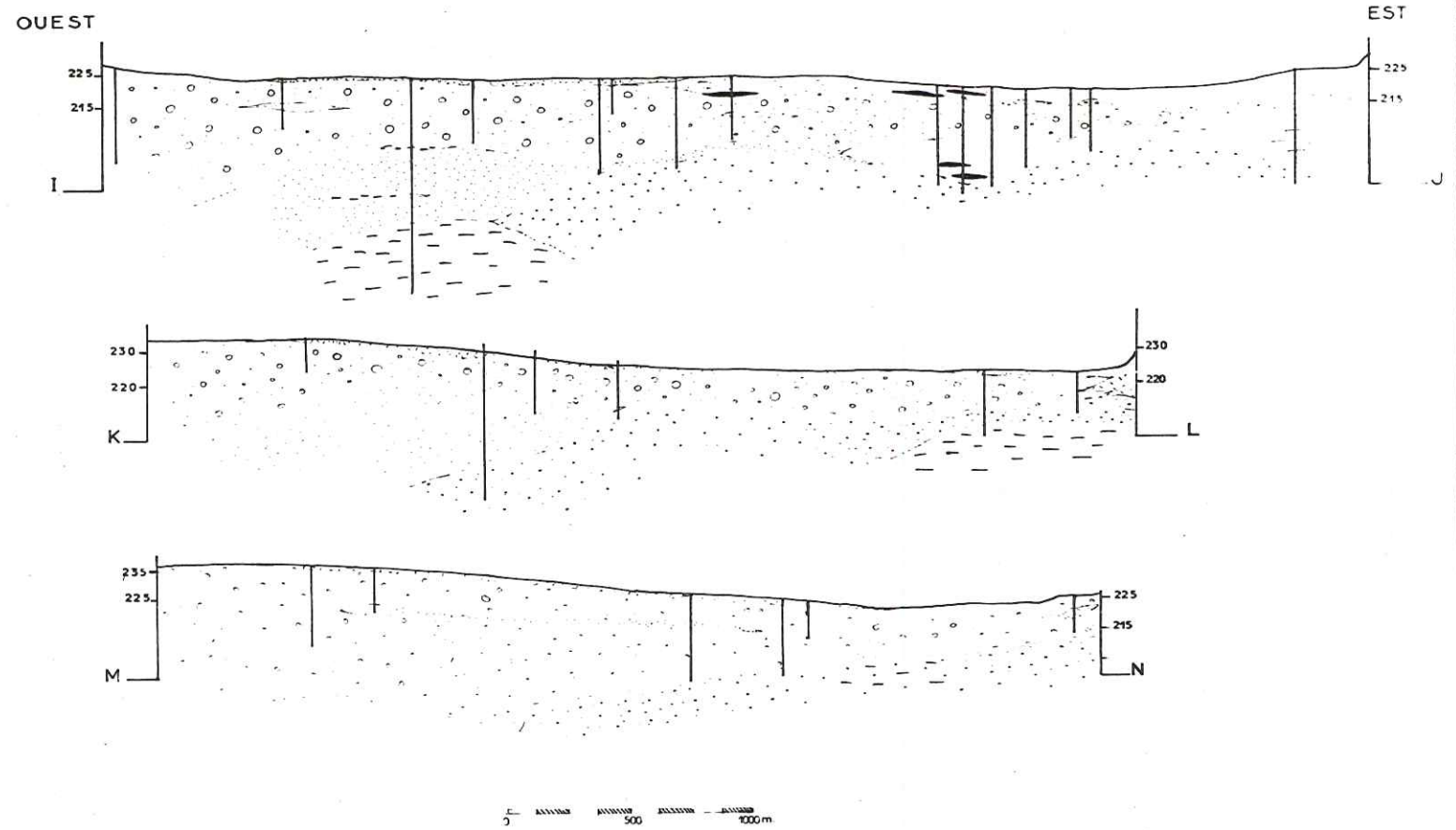


Fig. 10

COUPES SCHEMATIQUES DU REMPLISSAGE ALLUVIAL



Mais, n'ayant eu en main que très rarement les échantillons de sondages correspondant aux documents et vu la difficulté qu'il y a à interpréter les dénominations propres à chaque sondeur (la limite entre argile sableuse et sable argileux, par exemple, change suivant la personne qui voit l'échantillon), nous obtenons des coupes assez parlantes mais quelque peu imprécises quant à l'épaisseur des terrains et aux termes de passage d'une formation à l'autre.

Ces réserves étant faites, nous pouvons faire la description des différentes coupes.

a) - Les coupes est-ouest, perpendiculaires au lit du Drac.

+ Coupe A-B, entre le lit du Drac et de l'Isère, à l'entrée de la cluse de l'Isère.

Sur ce profil, on rencontre, en surface, une couche d'argile sableuse à l'Est de la rue des Martyrs, sous le terrain du Polygone militaire, mais cette couche ne se retrouve pas à l'Ouest de cette rue.

Au-dessous, viennent des alluvions grossières qui sont aquifères ce qui, lors des prospections géophysiques, se traduit par un changement dans la résistivité des terrains :

alluvions sèches : 1000 à 2 000 ohm/m
alluvions aquifères : 200 à 800 ohm/m.

L'épaisseur de ces alluvions est de 18 à 20 mètres du côté du Drac, tandis que vers l'Isère, à partir de la rue des Martyrs approximativement, ce niveau n'a plus que 5 à 6 mètres de puissance. La base de ces alluvions remonte donc en se rapprochant de l'Isère.

Ces alluvions grossières reposent, soit directement sur des argiles dont la résistivité est de l'ordre de 100 ohm/m, soit sur des sables argileux qui passent à de l'argile sableuse progressivement et même à de l'argile plastique gris-bleu (sondage B 3).

+ Coupe B-C, dans la boucle de l'Ile Verte (parallèle à la rue Bizanet).

Sous une faible épaisseur de terre végétale et de remblai se trouve un dépôt argileux de 2 à 6 mètres d'épaisseur (sondage 75) puis, des alluvions grossières plus ou moins sableuses (10 à 15 mètres). Ces alluvions reposent directement sur des sables. Des sondages (61, 65) profonds de 50 à 70 mètres sont restés uniquement dans ces sables et n'ont pas atteint l'argile gris-bleu. On remarque que ces sables ont été recreusés par l'Isère ou par des chenaux du Drac, en effet la surface de base des alluvions grossières, assez irrégulière, semble être due à l'existence d'anciens chenaux d'érosion.

La même coupe se poursuit jusque sous le lit actuel de l'Isère, mais sous le quartier Saint-Laurent, les sondages (voir description géologique de la montagne de la Bastille) ont rencontré les marnes grises du Jurassique en place, permettant de préciser la limite d'érosion du substratum.

Ces marnes forment un talus assez vertical puisque les sondages effectués quelques mètres plus loin vers le Sud, n'ont pas rencontré ces formations jurassiques.

+ Coupe E-F

Dans cette coupe qui part du Pont Vercors, passe par le centre de la ville et suit à peu près la R. N. 528 vers Gières, on peut distinguer deux parties :

- la partie ouest du côté du Drac, jusqu'au sondage 46, où, sous une mince couche de terre végétale, se trouvent des alluvions grossières : galets - graviers - sable. Celles-ci passent à des sables et graviers plus fins comme nous le montre la coupe de sondage 43. Ce remplissage particulier peut correspondre à un ancien lit du petit Drac ou Draquet (bras du Drac se jetant à l'Ile Verte et passant aux "Pierres Pontées"). Aucun sondage de plus de 20 mètres n'a été réalisé dans cette zone et nos connaissances se limitent aux dépôts récents de la plaine de Grenoble.

- la partie est, côté Isère, à partir du sondage 46, se caractérise par une couche d'argile ou limon argileux d'épaisseur variable (4 à 10 mètres).

Cette couche a son épaisseur maximale sous la ville ancienne de Grenoble. En dessous, on trouve des alluvions

grossières caractéristiques des dépôts du Drac avec des zones plus sableuses. Un lit de sable se développe vers Gières (sondage 116) avec une surépaisseur de 20 mètres environ, marquant peut-être une ancienne boucle de l'Isère.

Le sondage de Bois Rolland, plus profond que les autres : 80 mètres, montre, sous les alluvions récentes, la présence de formations sableuses en grande épaisseur avec quelques lentilles argileuses.

+ Coupe G-H, au niveau des boulevards Foch et Joffre.

Elle est semblable à la coupe précédente. La zone caractéristique des dépôts du Drac est moins étendue. Le niveau d'argile qui se développe à partir du sondage 53 (rue Lavoisier) et sur toute la partie est de la coupe, a une épaisseur peu constante ; sa base est soulignée, dans la partie centrale de la coupe par un lit de sable de 1 à 2 mètres surmontant des alluvions grossières. Ces argiles contiennent souvent des végétaux avec de la tourbe par endroit (sondages 83 et 45), témoins de la zone marécageuse marquant le point bas de la plaine de Grenoble.

Grâce aux sondages situés près des collines (102, 106, 103) on remarque que le niveau d'argile et d'argile sableuse situé sous les formations grossières a été entaillé, raviné et remblayé dans le centre de la plaine de Grenoble par les dépôts grossiers apportés par le Drac.

+ Coupe I-J, au niveau de la rue des Alliés.

L'intérêt de cette coupe est de passer par deux sondages profonds de 70 et 400 mètres, situés dans la zone caractéristique des dépôts du Drac ; sous les alluvions grossières, on a une formation sableuse assez épaisse : 25 mètres et ensuite, de l'argile plastique gris-bleu. Cette formation sableuse se retrouve sur toute la longueur de la coupe, mais elle est plus ou moins argileuse.

A partir de l'avenue d'Eybens, dans la partie est de la coupe, la formation d'argile à végétaux est séparée en deux niveaux par des alluvions grossières ; la partie basse de cette formation argileuse repose directement sur les sables argileux.

+ Coupe K-L (village olympique - Maisons Neuves).

Cette coupe, étant située beaucoup plus au Sud, l'influence de l'Isère ne se fait plus sentir dans les formations du sous-sol. On n'a donc plus d'argile en surface. Sous une mince couche de terre végétale et limon brun, se trouvent les alluvions grossières. Au-dessous, et tout à fait près des collines, ces alluvions surmontent des sables et sables argileux. Plus à l'Ouest, d'après les résultats de l'étude géophysique de la Z. U. P. Grenoble - Echirolles, on rencontrerait également des sables.

Sous ces sables, le sondage situé au carrefour de l'U 2, avenue d'Eybens, a rencontré des argiles plastiques vers 17 mètres.

Le cône de déjection de Bresson étant situé tout à fait à l'Est de cette coupe, ses dépôts s'imbriquent dans les alluvions de la plaine.

+ Coupe M-N, au Sud de la voie express U 2.

Cette coupe est semblable à la coupe précédente, mais aucun sondage n'a atteint les argiles plastiques, même près des collines.

b) - Les coupes nord-sud, perpendiculaires aux coupes précédentes et parallèles au lit du Drac, donc dans le sens des lignes de plus grande pente du cône de déjection du Drac.

+ Coupe 1-2, du Saut-du-Moine à l'Ile Verte.

Les alluvions grossières, dépôts sur le cône de déjection du Drac se trouvent tout le long de cette coupe ; leur épaisseur est de 50 mètres à l'amont et de 20 mètres à l'aval, sous la ville de Grenoble. Selon les descriptions de cette formation dans les différents sondages, on constate la présence de graviers, galets, sable grossier et de blocs de 50 à 80 cm de diamètre dans les sondages les plus proches de Pont-de-Claix, tandis que, dans les sondages situés au Nord du Rondeau, les gros galets ne dépasseraient pas un diamètre de 30 à 50 cm. Cette granulométrie tout à fait succincte est en accord avec la nature torrentielle des dépôts, les éléments les plus gros étant déposés les premiers, les plus fins étant entraînés le plus loin possible.

Dans la partie basse, sous Grenoble même, on voit apparaître les niveaux argileux qui sont plus ou moins recouverts par les alluvions grossières. On se rend bien compte, dans cette coupe que les dépôts de débordement de l'Isère viennent s'intercaler dans les dépôts grossiers du Drac.

Dans le sondage Px II, situé près de la centrale E. D. F. à Pont-de-Claix, un niveau d'argile sableuse est intercalé dans ces alluvions. On peut alors se demander si ces dépôts grossiers constituent une seule formation ou bien si les niveaux d'argile séparent deux formations différentes. Nous ne disposons pas d'autres sondages nous permettant de trancher ce problème ; mais les deux niveaux d'alluvions grossières sont aquifères et deux tubes piézométriques ayant été mis en place, l'un crépiné dans le niveau supérieur, l'autre dans le niveau inférieur, ont montré une même cote pour l'eau. Si le niveau d'argile sableuse intercalé au milieu de ces formations était vraiment continu, vu la faible perméabilité de cette argile, l'eau contenue dans le deuxième niveau, n'a pas de raison de correspondre, pour ce qui est de la hauteur piézométrique, avec l'eau du niveau supérieur. Pour cette raison, on peut donc penser que la couche argileuse disparaît rapidement permettant une libre circulation des eaux souterraines. Ces argiles sableuses seraient donc, un dépôt très local dû peut-être, à une coulée boueuse venant des collines et s'intercalant dans les alluvions grossières sous forme de lentilles.

La base des alluvions grossières, à pente relativement régulière depuis Pont-de-Claix, se relève en arrivant près de la montagne de la Bastille, comme le montrent les sondages 71, 73, 85, l'épaisseur des dépôts grossiers devient plus faible (de 6 à 10 mètres) dans la boucle de l'Ile Verte.

Sous ces alluvions grossières et atteintes par quelques sondages seulement, nous trouvons des argiles gris-bleu. Entre ces deux formations : dépôts récents du Drac et de l'Isère et ces argiles, s'intercalent des sables plus ou moins épais suivant l'emplacement de la coupe ; ainsi, dans le sondage Caterpillar, ils ont 20 mètres alors que dans l'Ile Verte, ils ont une grande surépaisseur puisque tous les sondages effectués dans cette zone les ont rencontrés et y sont restés sur toute leur longueur.

Quant aux argiles formant le soubassement de ces sables, elles sont un peu sableuses. Il est difficile de préciser s'il s'agit de véritables lits de sable intercalés dans les argiles ou simplement de passées plus sableuses. Le sondage Caterpillar, dont j'ai pu voir les échantillons, et qui a traversé des horizons analogues sur environ 20 mètres, nous montre des argiles avec des passées un peu plus sableuses. Dans le sondage de Beauvert, exécuté il y a une trentaine d'années, on a décrit, soit des lits de sable bien individualisés, soit uniquement des argiles sableuses ; mais comme les échantillons ne sont plus accessibles et que le sondage de Caterpillar en est assez voisin, nous admettrons qu'il s'agit d'argiles plus ou moins sableuses avec des horizons d'argiles plastiques. d'après JP ?

+ Coupe 3-4, parallèle à l'avenue d'Eybens.

Elle se situe à la limite vers l'Est du cône de déjection du Drac et les dépôts grossiers seront donc moins importants. A partir du sondage 24, les argiles se développent localement avec de la tourbe ; ceci fait ressortir ce point bas que l'on remarque dans la topographie et qui a toujours existé car, pour qu'il y ait formation de tourbe, il faut une zone marécageuse où les végétaux se développent en grande abondance. Sous ces formations se trouvent des argiles sableuses. On ne note pas d'argile plastique dans les sondages situés sur cette coupe mais ils sont, en fait, de faible profondeur.

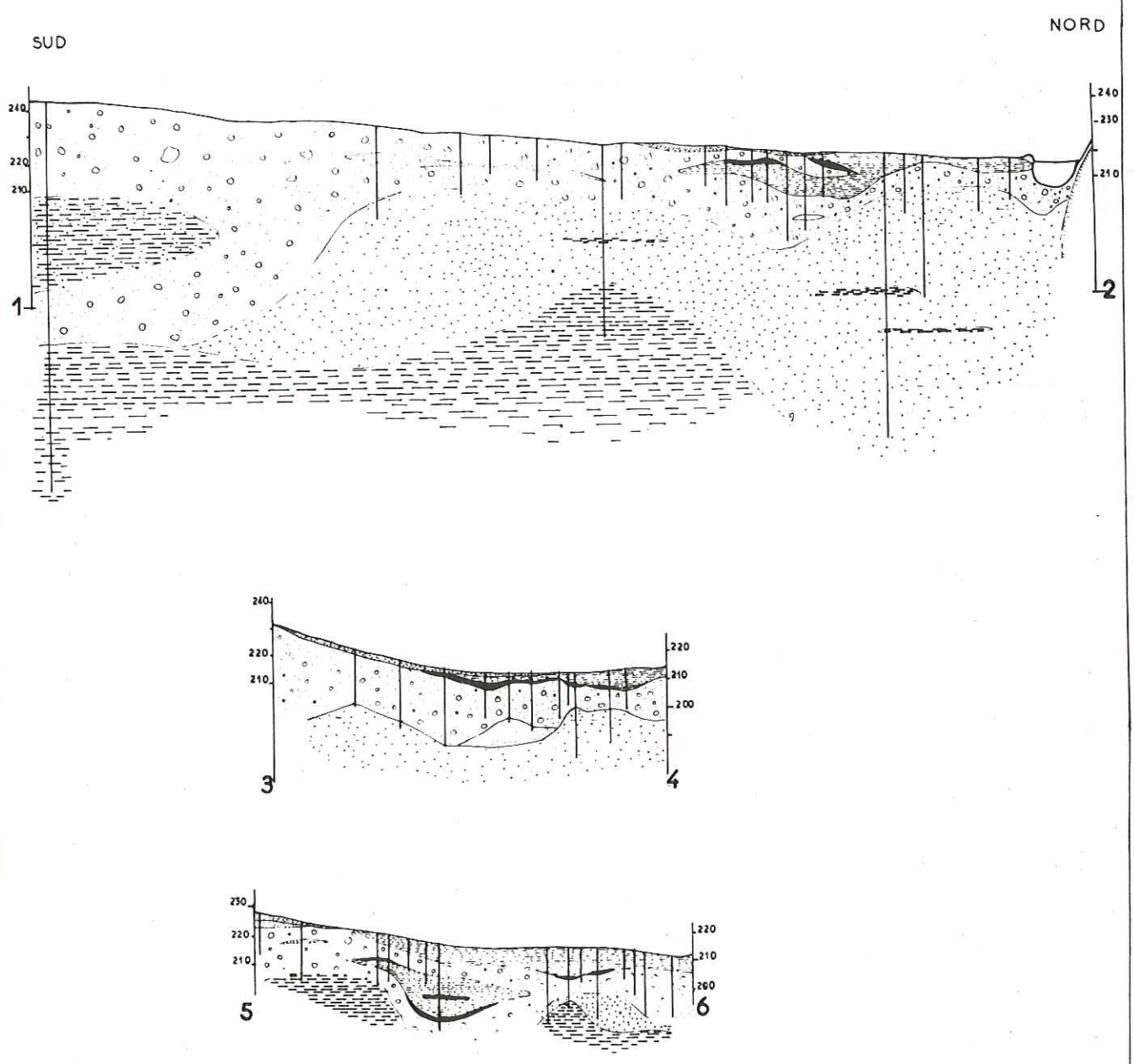
+ Coupe 5-6, au travers du village de Saint-Martin-d'Hères en allant vers les Sablons.

Elle n'est pas rigoureusement parallèle aux autres. Les argiles à végétaux prédominent avec, souvent, des lits de tourbe (La Croix Rouge) ; près des collines, ces argiles disparaissent faisant place à des alluvions grossières, marquant un ancien lit de l'Isère encore visible dans la topographie de la plaine.

Les sables argileux sous-jacents montrent un point haut dans le profil correspondant, peut-être, à une zone moins érodée entre Isère et Drac.

Fig 11

COUPES SCHEMATIQUES DU REMPLISSAGE ALLUVIAL



- Répartition et succession des différentes formations

Comme nous l'avons vu dans les coupes décrites ci-dessus, il est possible de déterminer, dans la partie superficielle du remplissage alluvial de la plaine de Grenoble, une zone où les dépôts sont grossiers et caractéristiques des formations torrentielles du Drac et une zone où les dépôts sont plus fins.

Ceci nous donne deux types de séries :

1° - dans la série caractéristique des dépôts du Drac, on observe la succession suivante :
- terre végétale
- alluvions grossières : galets - graviers - sable, ayant une épaisseur variable
- sable bien lavé
- sable plus ou moins argileux
- argile plastique avec des passées plus sableuses.

2° - dans l'autre zone où les dépôts sont intermédiaires entre ceux du Drac et ceux du Grésivaudan, la superposition des couches s'établit comme suit :
- terre végétale
- argile à végétaux avec tourbe
- alluvions grossières
- argile à végétaux (ce niveau n'existe pas toujours)
- sable plus ou moins argileux
- argile plastique avec des passées plus sableuses.

Il est bon de rappeler que les dépôts de la plaine du Grésivaudan qui ont été décrits dans l'étude de J.-C. FOURNEAUX, "Hydrogéologie du Grésivaudan", se présentent dans l'ordre suivant :
- limons
- alluvions grossières
- sablons
- argiles plastiques

Il ressort de l'examen de ces coupes que, si l'on y constate toujours la même superposition de terrains, l'épaisseur de chacun de ces terrains est, par contre, très variable, en effet il s'agit de dépôts de débordement ou de dépôts dans d'anciens chenaux de rivières.

Devant cette irrégularité et pour mieux comprendre la répartition de ces formations, nous avons tracé sur carte les différentes limites de chaque formation à la cote moins 20 mètres par rapport à la surface du sol (fig. n° 12).

Sur cette carte, on constate que les argiles à passées sableuses sont réparties le long des collines bordières dans la zone de Gières à Echirolles, coupées par le cône de déjection de Bresson ; on les retrouve dans la zone des Isles de Champagnier et à l'entrée de la cluse de l'Isère, entre les lits des deux rivières.

Les sables forment une bande continue, séparant les argiles à passées sableuses des alluvions grossières qui forment la partie centrale de cette carte.

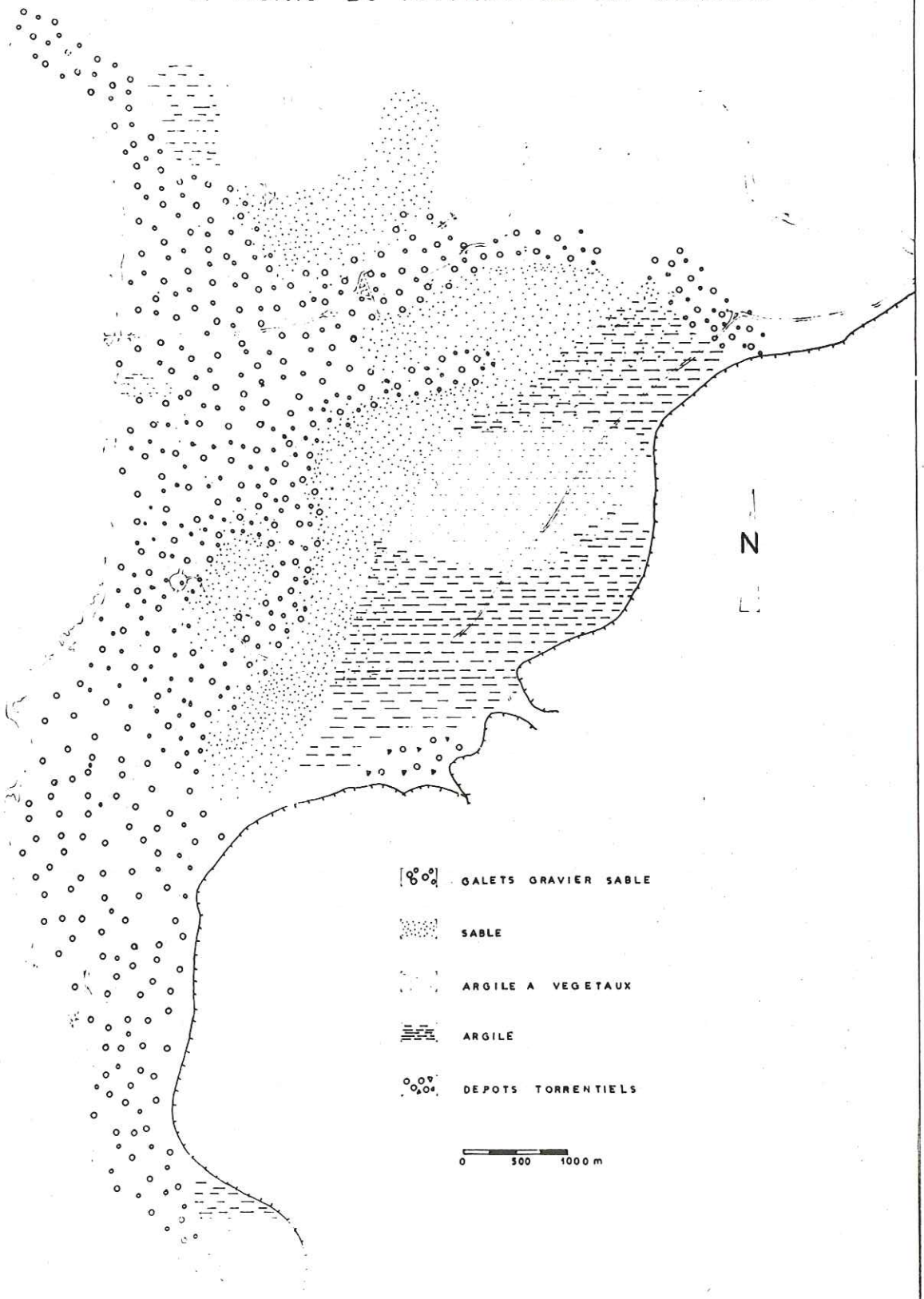
- Mode et origine de ces dépôts

D'une façon générale, on peut distinguer trois types de formations :
- les dépôts récents,
- les sables,
- les argiles.

Fig 12

CARTE SCHEMATIQUE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES

A MOINS 20 METRES DE LA SURFACE



1° - Les dépôts récents

Comme nous l'avons déjà vu, ces dépôts récents sont dus aux apports du Drac et de l'Isère ; nous allons essayer de délimiter l'extension des dépôts de l'Isère dans cette plaine de Grenoble.

Les dépôts grossiers qu'ils soient du Drac ou de l'Isère sont difficiles à distinguer ; en revanche, les limons d'inondation de l'Isère sont bien caractéristiques : à chaque grande crue de l'Isère, ces limons argileux se sont déposés sur une grande partie de la plaine, ils constituent alors une sorte de témoin de cette inondation. Puis les dépôts du Drac sont venus recouvrir plus ou moins ces limons. Ce phénomène se répète tout au long de l'histoire de la plaine sans pour cela être vraiment alternatif, l'une des deux rivières pouvant rester prépondérante lors de plusieurs crues consécutives.

Il faut pour se rendre compte de l'extension de l'Isère rechercher les limons témoins. On peut ainsi, en retracer la limite qui coupe en deux la ville de Grenoble, suivant la rue Saint-Jacques et le boulevard E. Rey, empruntant l'avenue d'Eybens jusqu'aux Maisons Neuves pour venir suivre de plus ou moins près les collines jusqu'à Gières. Ces formations argileuses se superposent avec les argiles à végétaux dans la partie déprimée de la plaine de Grenoble. On peut expliquer la présence de ces argiles à végétaux par la création d'un marécage résiduel au retrait de la crue, dans la partie qui se trouve être au-dessous du niveau de l'Isère. C'est en grande partie sur ces formations qu'est construite la ville de Grenoble (vieille ville) d'où l'emploi de pieux en chêne pour que les immeubles s'appuient sur les graviers.

Si, en surface on a pu distinguer une limite assez précise entre les dépôts du Drac et de l'Isère, cela n'est plus possible à réaliser en profondeur car les crues du Drac, amenant des graviers, ont entaillé, érodé et remanié ces formations argileuses si bien que l'on ne sait plus à quels niveaux on a à faire.

Temps de dépôt des formations récentes

Les différentes coupes montrent l'importance des dépôts, mais on doit rechercher combien de temps a été nécessaire pour édifier la plaine de Grenoble.

Des datations d'âge absolu par la méthode de mesure au carbone 14, ont été faites sur des échantillons d'arbres très bien conservés, trouvés lors d'un sondage, situé dans le terrain du Polygone militaire, près du C. E. N. G., à 9 m, 19,50 m et 23 m de profondeur.

Les échantillons trouvés à 9 m et 19,50 m sont considérés comme contemporains, leur âge apparent étant de 300 ans environ, tandis que l'échantillon de 23 m aurait un âge apparent de 11 550 ans, c'est-à-dire 9 050 ans avant J. C. (documents fournis par le C. E. N. G.).

Pour que les terrains situés entre la surface et 19,50 m soient pratiquement contemporains, il faut que leur dépôt ait été très rapide. L'étude des anciens lits du Drac (fig. n° 3) nous a montré que l'on avait créé un cône de déjection artificiel pour le Drac, afin qu'il ne fasse pas barrage au lit de l'Isère par ses dépôts très importants. Ce cône artificiel se situant approximativement à l'endroit où est implanté le sondage, on a ainsi une explication de la rapidité de ce dépôt. Il n'en reste pas moins que en une période de 300 ans il s'est déposé environ 20 m de ces alluvions, ce qui confirme l'importance des apports du Drac.

2° - Les sables

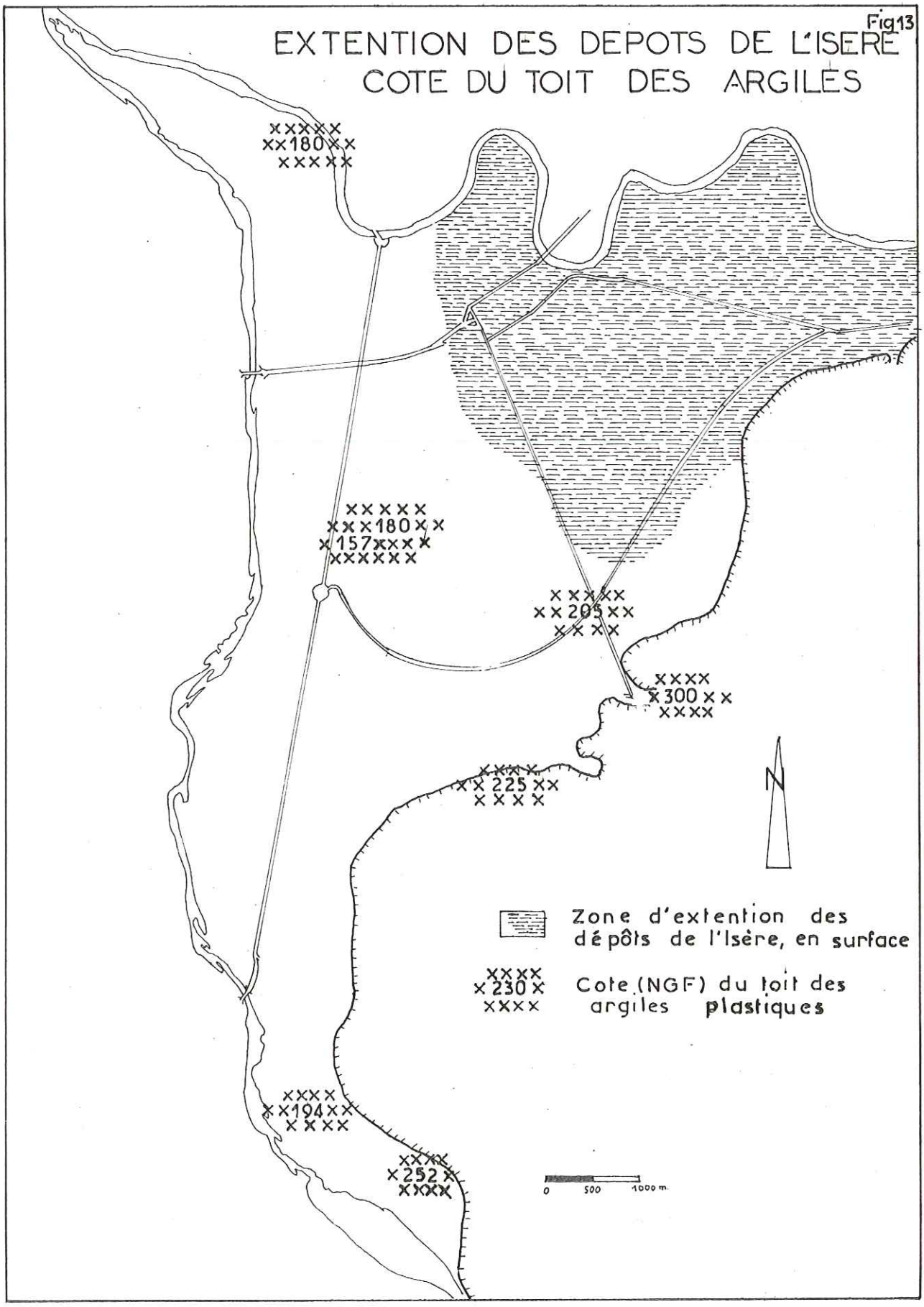
Les sables que l'on retrouve un peu partout sous les formations récentes, sont-ils des dépôts fluviatiles ou sont-ils associés aux argiles sous-jacentes ?

Si l'on compare les deux coupes types que l'on vient de voir avec les coupes établies dans les environs de Grenoble, on voit de haut en bas, les superpositions suivantes :

a - à Pré Grivel, près de Vizille, dans la vallée de la Romanche, remblayée comme le Grésivaudan par le retrait des derniers glaciers :

Fig 13

EXTENTION DES DEPOTS DE L'ISERE
COTE DU TOIT DES ARGILES



- alluvions grossières,
- sables fins micacés,
- argiles plastiques.

b - à Eybens et à la Commanderie à Echirolles :
- dépôts fluvio-glaciaires de Champagnier,
- sables à caractère fluviatile
- argiles lacustres varvées et ravinées par les sables.

Notre coupe type Drac est assez semblable mais dans les sables s'intercalent des lits ou lentilles d'argile plastique ; et le plus souvent, ces sables sont argileux. Si, à Eybens et à la Commanderie, on peut dire qu'il s'agit de deux dépôts bien distincts puisque les sables ravinent les argiles, ici dans la plaine, on remarque que la cote du toit des argiles est très variable et, si l'on peut attribuer ce fait au ravinement par les sables dans certains cas, on ne peut affirmer qu'il en est partout ainsi.

Peut-on dire que ces sables sont vraiment associés aux dépôts torrentiels du Drac ? On a vu que ces sables contenaient des argiles, de plus, à l'amont de Pont-de-Claix, on n'en retrouve si ce n'est avec les argiles.

Il semble donc que ce dépôt ne soit, ni vraiment lié aux argiles, ni aux dépôts torrentiels du Drac ; il correspond vraisemblablement à un type d'alluvionnement intermédiaire, postérieur aux dépôts des argiles et antérieur aux dépôts récents du Drac et de l'Isère ; la mise en place de ces sables serait due à un régime très différent des cours d'eau.

3° - Les argiles

Le toit des argiles, type "Eybens", se présente à des cotes très variables dans la plaine de Grenoble (fig. n°13).

A la tuilerie d'Eybens, la base de la formation se situe vers 191 mètres (cote N. G. F.) et son toit à 290 mètres. On trouve dans la plaine de Grenoble, le toit des argiles à 159 m, on est donc beaucoup plus bas.

On pourrait penser que les ravinements par les sables aient entraîné ces variations de niveau, mais la base des argiles est nettement plus haute à Eybens que leur toit dans la plaine. Seul un phénomène de subsidence pourrait expliquer ce décalage. De plus, la teneur en sable dans les argiles d'Eybens est très faible, alors que le sondage de Beauvert donne des formations plus sableuses. La corrélation entre les argiles d'Eybens et les formations rencontrées dans ce sondage de Beauvert est délicate, du fait des divergences entre les decriptions, comme nous l'avons déjà dit.

Une dernière solution pour expliquer le décalage observé serait d'admettre qu'il ne s'agisse pas des mêmes formations, mais de nouveaux problèmes se poseraient alors.

- Histoire géologique des dépôts

Compte tenu de ces quelques remarques, nous pouvons essayer de reconstituer l'histoire géologique du remplissage quaternaire de la vallée de l'Isère. Si l'on admet que les argiles d'Eybens et leur équivalent sous la plaine sont d'origine lacustre, elles se seraient déposées sur toute l'étendue d'un immense lac qu'il serait logique de situer durant un épisode interglaciaire. Par suite, soit d'une rupture de la retenue aval de ce lac, soit d'un changement climatique important, ce lac aurait été vidé avec entraînement d'une partie des argiles du fond de la cuvette.

Les bords de cet ancien lac auraient été ravinés par de petits cours d'eau qui seraient venus déposer, dans la dépression occupée antérieurement par le lac, des sables et argiles sableuses créés par remaniement des argiles lacustres des bordures. On peut même penser que des coulées boueuses se seraient produites, entraînant des argiles lacustres dans le fond de la cuvette.

Ces cours d'eau continuent de transporter et de déposer leur sable ; mais des changements de niveaux de base dans ces cours d'eau entraînant une reprise d'érosion régressive, se traduisent par de nouveaux ravinements dans les sables déposés antérieurement dans la cuvette de Grenoble.

Un nouveau changement important dans le niveau de base lié, sans doute, à un régime différent des cours d'eau et à une variation climatique, entraîne une reprise de l'érosion régressive, beaucoup plus importante que les précédentes ; c'est ainsi que ravinant et creusant les dépôts antérieurs puis remblayant le Drac et l'Isère ont édifié et édifient encore la plaine de Grenoble telle que nous la voyons aujourd'hui.

Pour récapituler, on peut proposer le schéma suivant :
- érosion glaciaire suivie ou non du dépôt de moraines de fond et d'alluvions fluvio-glaciaires ;
- mise en place d'un vaste lac et dépôt d'argiles varvées ;
- rupture de la retenue aval ou changement climatique avec vidage de ce lac et entraînement d'argile ;
- apport de sable et remaniement des argiles de bordure par des cours d'eau ;
- changement de régime des rivières avec changement du niveau de base d'où érosion ;
- apport de dépôts torrentiels et fluviatiles avec formation d'un marécage résiduel ;

Tout ceci implique l'existence d'un vaste lac durant un interglaciaire, hypothèse qui reste à prouver, mais paraît très vraisemblable.

En fait, seuls quelques sondages profonds permettraient de vérifier la teneur en sable des argiles profondes mais, selon notre schéma, toute l'histoire géologique du remplissage de la plaine de Grenoble est liée, non seulement à la succession des dépôts interglaciaires, mais plus encore aux niveaux des seuils qui fermaient la vallée de l'Isère à l'aval de Grenoble, niveaux dont les variations ont entraîné les multiples phases de ravinement et dépôts que nos observations nous ont permis de mettre en évidence.

II. - CLIMATOLOGIE - HYDROLOGIE

A. - CLIMATOLOGIE

Que ce soit directement, ou par l'intermédiaire des cours d'eau, ce sont les précipitations, sous forme de pluies ou de neige, qui constituent les seuls apports susceptibles d'alimenter la nappe de la plaine de Grenoble. Aussi dans le cadre de cette étude hydrologique, il est intéressant de connaître les quantités d'eau qui tombent, tant sur la plaine de Grenoble que sur les bassins versants qui alimentent en eau cette plaine.

Mais toute l'eau tombée, sous forme de pluie ou de neige, ne va pas alimenter la nappe, seule une partie s'infiltre dans le sol de la plaine ; le reste est, soit évaporé, soit pris par les plantes et évaporé ensuite, soit ruisselle et va alimenter les rivières.

Le total des précipitations est donc égal à la somme des trois grandeurs suivantes ; évapotranspiration, infiltration et ruissellement.

Pour faire le bilan hydrologique, il faut donc connaître ces différentes grandeurs. Dans le cas particulier de cette étude une quatrième grandeur serait intéressante à connaître, il s'agit de l'eau qui est prélevée par les nombreux pompages industriels dans la nappe.

- Pluviométrie

Le total des hauteurs pluviométriques est une grandeur assez facilement mesurable. Pour la plaine de Grenoble, une station de mesure existait à l'ancien aéroport d'Eybens jusqu'en 1968, date à laquelle cette station fut transportée à Saint-Martin-d'Hères.

Les relevés de l'ancienne station portent sur un grand nombre d'années et cela nous donne des valeurs moyennes assez exactes.

Moyennes mensuelles des précipitations de 1946 à 1965 en mm/an

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
79	74	67	65	79	85	79	94	84	83	96	92

Moyennes annuelles des précipitations en mm/an

1946 et 1965	964
1965	1089
1966	1089
1967	712
1968	1170

D'après ces différentes moyennes, les mois de mars et avril sont peu pluvieux et les mois d'août, novembre et décembre sont les plus pluvieux.

L'année 1968 a été sèche durant les mois de mars à octobre, mais les autres mois ont été très fortement pluvieux.

L'année 1969 a été sèche jusqu'en octobre, novembre.

L'année 1970 a été marquée par d'abondantes chutes de neige en début d'année, même en basses altitudes et ceci a constitué un stock important pour l'alimentation des nappes souterraines, mais la deuxième partie de l'année s'est avérée très sèche.

Cependant dès que l'on passe à une altitude supérieure à celle de la plaine, la quantité d'eau qui tombe annuellement est bien supérieure.

Voici quelques moyennes de stations situées aux environs de Grenoble :

Villard-de-Lans	1236 mm/an
Revel	1093 mm/an
Vaulnavey	1365 mm/an

- Evapotranspiration

La détermination de la quantité d'eau qui disparaît par évapotranspiration est assez difficile à mesurer car cela dépend de la végétation, de l'importance des vents et de la température. On peut, de façon approximative, s'en faire une idée par le calcul à partir de formules.

La formule de L. TURC qui donne l'évapotranspiration réelle nous a semblé assez valable :

$$Er = \frac{8\ P}{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}$$

où Er représente l'évapotranspiration réelle en mm/an
P " la pluviométrie en mm/an
L " le pouvoir évaporant de l'atmosphère

Ce pouvoir évaporant est fonction de la température moyenne et est donné par la formule suivante :

$$L = 300 + 25\ T + 0,05\ T^3$$

où T représente la température moyenne.

D'après cela Er sera :

Année	Er	T	L	P
1968	600	11,8	677,15	1170
1967	505	11,9	681,25	712
1966	640	11,8	677,15	1089
1965	547	10,5	620,13	1089
		11,5	663,92	1016

Er moyen est de l'ordre de 573 mm/an pour ces 4années.

- Ruissellement

Le ruissellement est le volume de l'eau provenant des précipitations, qui reste en surface et s'écoule dans le réseau hydrographique.

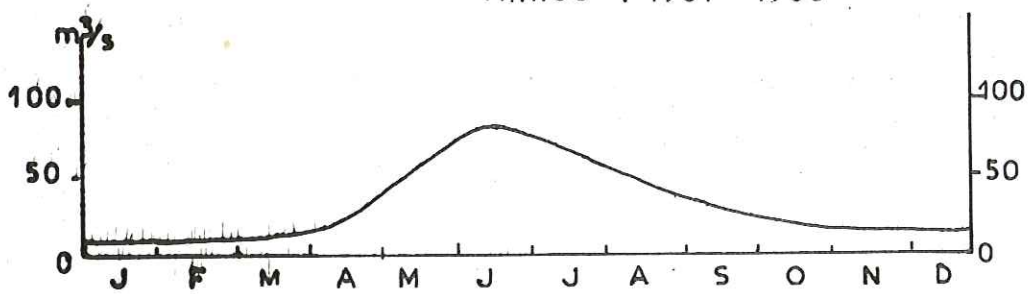
Ce volume d'eau qui reste en surface, dépend du relief, de la végétation, de la perméabilité des terrains de surface.

Dans le cadre de cette étude, nous pouvons considérer que, dans le secteur occupé par la ville de Grenoble et les communes environnantes, une grande partie de l'eau qui tombe, ruisselle et est drainée par les collecteurs d'eau pluviale. En effet, l'eau des toitures, celle qui tombe sur les rues et les trottoirs, est directement entraînée vers ces collecteurs à moins d'être évaporée.

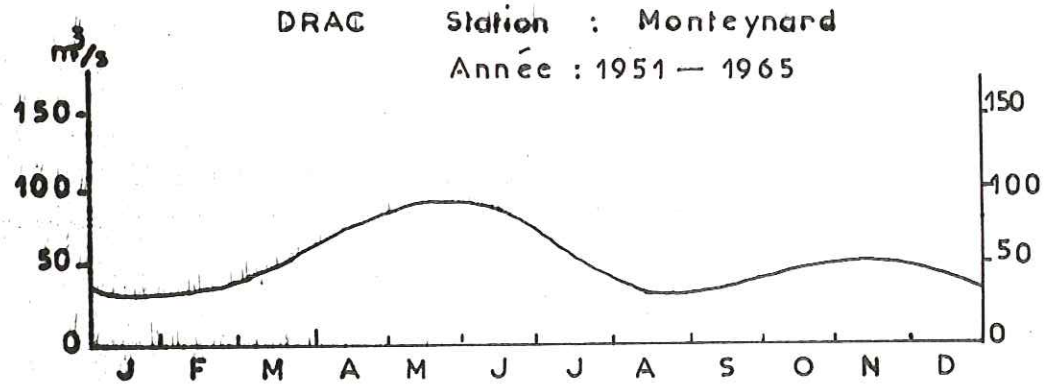
Fig 14

COURBES DES DEBITS MOYENS

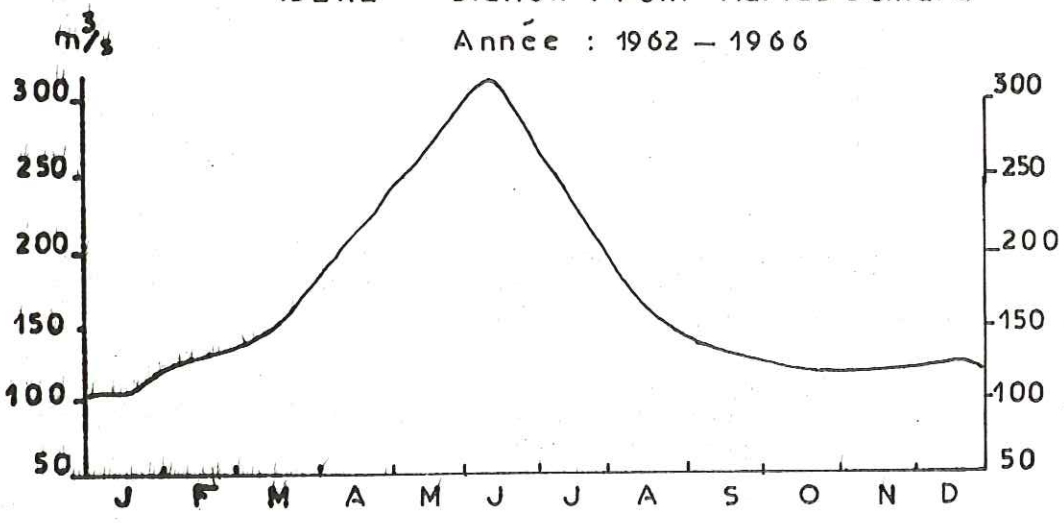
ROMANCHE Station : Le Champeau
Année : 1961 – 1965



DRAC Station : Monteynard
Année : 1951 — 1965



ISERE Station : Pont Marius Gontard
Année : 1962 — 1966



Normalement, pour avoir une idée de la quantité d'eau qui ruisselle, on la calcule à partir de la formule :

$$P = kR$$

où P est la hauteur des précipitations
R " " " du ruissellement
k est un pourcentage des précipitations

Ce pourcentage est le rapport entre le débit des émissaires superficiels de la nappe et la surface totale des bassins versants.

Ici, si on excepte le Drac et l'Isère, nous avons peu d'émissaires superficiels. Aussi, cette valeur du ruissellement restera très faible pour les zones non occupées par la ville et les communes environnantes où, là, il n'y a que du ruissellement. Il semble qu'une valeur de 50 mm/an serait assez approchante de la réalité.

- Infiltration

La troisième grandeur pourra être calculée par différence. On peut écrire que :

$$P = E + R + I$$

D'après nos différents calculs on a :

P = 979 mm/an
E = 573 mm/an
R = 50 mm/an

d'où l'on tire :

I = 623 mm/an.

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, l'infiltration ne se fait, dans la plaine de Grenoble, qu'en dehors des zones occupées par les villes. Notons que l'extension toujours croissante de ces villes entraîne une diminution des zones où la nappe est alimentée par infiltration. Logiquement, ce phénomène devrait entraîner une diminution des réserves en eau de la nappe. Mais il semble, toutefois, que ces apports directs à la nappe ne représentent qu'une faible partie des apports qui se font par la périphérie de la plaine de Grenoble.

B. - HYDROLOGIE DE SURFACE

La plus grande partie des eaux de ruissellement s'écoule dans le réseau hydrographique. Aussi, est-il utile de connaître le régime de l'Isère et du Drac en raison de l'influence qu'exercent ces deux rivières sur la nappe de la plaine de Grenoble, en l'alimentant ou, au contraire, en la drainant.

- Le Drac

Le Drac apporte, en arrivant dans la plaine de Grenoble, toutes les eaux qu'il a collectées avec la Romanche, dans les massifs cristallins externes et leur couverture occidentale. Le bassin versant du Drac a une superficie de 3 560 km^2 dont, environ, 1 000 sont drainés par la Romanche.

a) - Profil de Pont-de-Claix à l'Isère

Etant donné sa forte pente et l'énorme quantité de matériaux qu'il charrie (250 000 m^3/an, avant la mise en eau des barrages), le Drac exhausse progressivement son lit.

Avant 1930, cet exhaussement était de 1 cm/an, mais du fait de la construction des barrages et de l'intensification des extractions de graviers, on assiste à une évolution inverse durant ces dernières années.

Des mesures effectuées sur le Drac (par la SOGREAH) ont montré que :

de 1959 à 1965, l'abaissement était de 0,70 cm, soit 12 cm/an ;
de 1932 à 1965, l'abaissement moyen était de 2,30 m soit de 7 cm/an.

b) - Régime

Le bassin versant du Drac est assez méridional. L'altitude de 10 % de ce bassin est supérieure à 2 000 m ; une grande partie des terrains qui le constituent est à une cote inférieure à 1 500 m. Le régime du Drac variera donc en fonction de la fonte des neiges en altitude et des précipitations dans les zones les plus basses de son bassin versant.

La courbe des débits mensuels montre deux maximums : un au mois de juin après une augmentation progressive des débits depuis le mois de mai, due à la fonte des neiges ; ce maximum est plus ou moins avancé suivant l'ensoleillement et la température. L'autre maximum se situe aux mois de novembre et décembre, car, à cette période l'évapotranspiration diminue, ce qui accroît la part de l'écoulement dans la répartition des précipitations.

Entre ces deux maximums, la pénurie estivale est provoquée d'une part par l'absence de réserves de neige suffisantes, l'altitude du bassin versant étant trop basse, d'autre part par une pluviométrie plus faible en cette période de l'année ; le deuxième minimum se situe fin décembre, et pendant le mois de janvier ; il est provoqué par l'absence de ruissellement due à la température très basse en cette période de l'année (précipitations sous forme de neige sur une grande partie du bassin versant).

On remarque que, si la montée des eaux de mai et juin, due à la fonte des neiges revient toutes les années, la deuxième poussée, de novembre - décembre est très variable : parfois elle manque ou bien, au contraire, elle est plus importante que celle de juin ; mais dans tous les cas, une baisse rapide de la moyenne des débits se produit en janvier marquant la pénurie hivernale.

- L'Isère

L'Isère a un bassin versant beaucoup plus important que celui du Drac ; sa surface est de 5 720 km^2 jusqu'à Grenoble.

a) - Profil

Etant donné sa plus faible pente que celle du Drac et sa charge, on constate aussi un exhaussement progressif de son lit entre ses digues.

b) - Régime

Le régime de l'Isère est assez semblable à celui du Drac avec deux maximums, mais la poussée de mai - juin est beaucoup plus réduite dans le temps et par conséquent, nettement plus marquée. Cette poussée que l'on appelle aussi crue nivale, est souvent renforcée par le ruissellement. La pénurie estivale est d'autant mieux marquée que la crue nivale a été plus rapide. Le deuxième maximum est, en général, marqué et les crues les plus fortes sont souvent en octobre, novembre, décembre, car à l'absence d'évapotranspiration s'ajoutent de très fortes pluies qui entraînent alors des crues subites.

Durant l'hiver 1969-1970, les fortes pluies de décembre 1969 ayant provoqué la crue automnale, les hautes eaux se sont maintenues grâce aux fortes chutes de neige en basse altitude et à la fonte qui a suivi. Il n'y a donc pas eu les basses eaux durant cet hiver.

Fig 15

COURBE DES HAUTEURS D'EAU 1970

ISERE PONT M.GONTARD

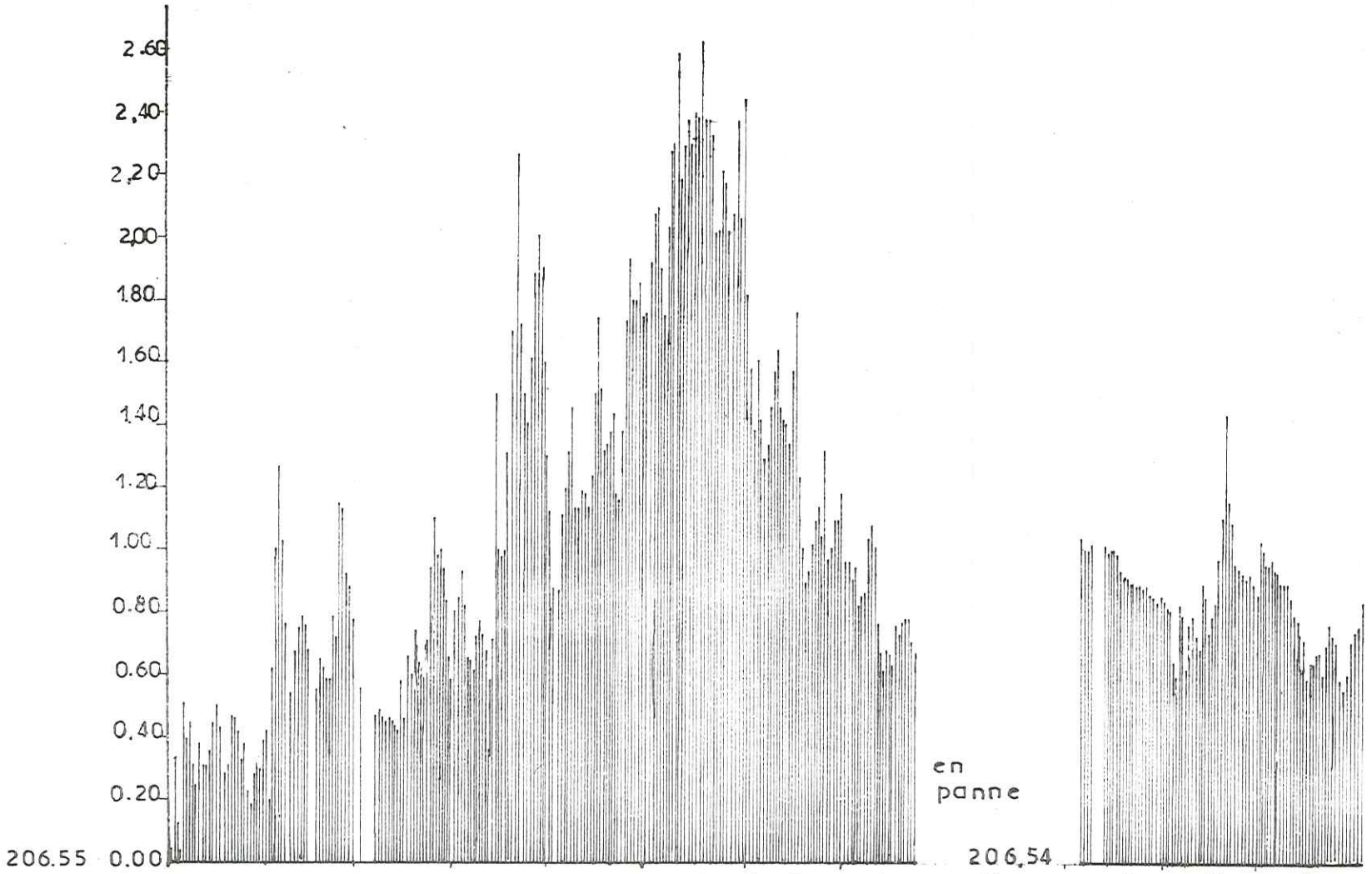
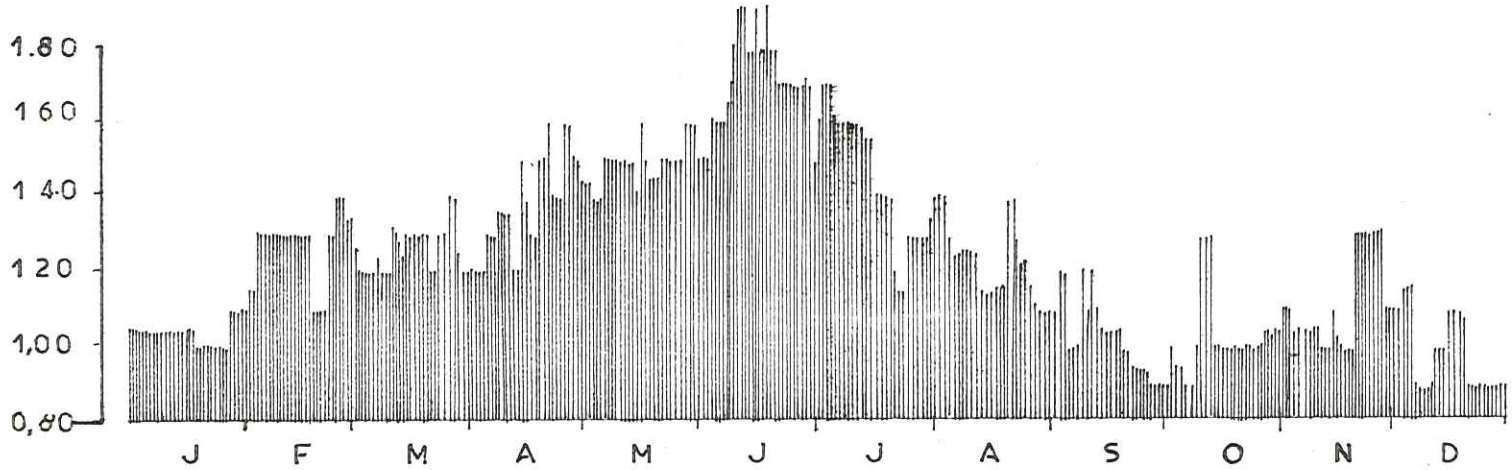


Fig 16

COURBE DES HAUTEURS D' EAU 1970

DRAC



- Débit de l'Isère et du Drac

Les deux rivières, Isère et Drac, ont donc un régime nivo-pluvial caractérisé par cette poussée automnale et par le fait que leur crue nivale représente une part importante du débit.

Pour L'Isère le débit d'étiage est : 70 m^3/s
" " moyen est : 200 m^3/s
" " en crue est : 1100 m^3/s
Moyenne pour les années 1962 à 1966 : 171 m^3/s

Pour le Drac étiage : 30 m^3/s
moyen : 100 m^3/s
crue 1600 m^3/s
Moyenne pour les années 1951 à 1965 : 89 m^3/s.

- Le Sonnant et les autres ruisseaux, sources

Le Sonnant dont le bassin versant est d'environ 300 km^2, a un débit de l'ordre de 25 l/s à l'étiage. Il draine une partie importante des collines liasiques.

Il en est de même pour les ruisseaux de Bresson et d'Eybens. Ces petits ruisseaux, en arrivant dans la plaine de Grenoble, s'infiltrent pour une grande partie dans les dépôts de leur cône de déjection et alimentent directement la nappe.

Outre les secteurs traversés par les principaux cours d'eau, la carte des bassins versants fait apparaître des zones non drainées où l'infiltration sera dominante et le ruissellement diffus (voir fig. n° 1).

Par ailleurs, à la base des collines liasiques de Gières à Eybens, de petites sources ont leur émergence au niveau de la plaine. Leur débit qui est de l'ordre de quelques litres par minute, n'est pas très constant car leur réservoir, constitué par la zone altérée des calcaires marneux du Lias, est de faible dimension.

Dans la zone du plateau de Champagnier, située au droit de la Commanderie à Echirolles, on voit encore de petites sources au contact des sables et des argiles. Leur débit est plus constant mais reste faible, de l'ordre de 4 à 5 l/mn.

Un certain nombre d'autres sources sont vraisemblablement cachées par les produits de solifluxion qui recouvrent le rebord du plateau de Champagnier, ou bien, elles sortent au niveau de la plaine et s'infiltrent tout de suite dans les alluvions mais, on constate dans toutes ces zones non drainées, lors de grosses pluies, l'apparition d'un ruissellement diffus qu'il est extrêmement difficile de mesurer.

III. - ETUDE DE LA NAPPE ALLUVIALE

Nous connaissons maintenant les différents facteurs qui influencent la nappe alluviale. Ce chapitre, consacré à l'étude de la nappe elle-même, comportera trois parties. Après avoir indiqué les moyens utilisés pour une telle étude, la première partie traitera de la forme de l'écoulement par l'étude des cartes isopièzes. Dans la deuxième partie, nous verrons les variations de cette nappe dans le temps et leurs rapports avec les variations de l'Isère et du Drac. Enfin, les possibilités de l'aquifère alluvial seront étudiées dans la dernière partie avec un essai de pompage que nous avons pu suivre.

A. - MOYENS D'ETUDE

Notre travail a, d'abord, consisté en un recensement de tous les puits, pieux, forages non exploités, piézomètres existants dans la plaine. Ce recensement effectué, nous avons recherché les points de mesure les plus favorables, c'est-à-dire situés assez loin des pompages industriels pour ne pas être influencés par eux. Cela nous a donné une certaine trame que nous avons complétée en faisant implanter 20 piézomètres dans les zones les plus défavorisées. L'idéal aurait été d'avoir une trame bien régulière mais, dans une zone aussi construite que la ville de Grenoble et avec tous les embarras du sous-sol (eau, gaz...) cette trame ne peut être que plus ou moins lâche par endroit.

Ces points de mesure ont été rattachés au nivellement général, les niveaux d'eau sont ainsi comparables les uns aux autres.

Des campagne de mesures du niveau d'eau sur tous les points retenus, ont été effectuées en un intervalle de temps le plus court possible afin d'éviter de grosses variations dues aux précipitations. D'après les cotes de l'eau de la nappe, on a pu tracer les cartes isopièzes du toit de la nappe, principaux éléments pour l'étude de cette nappe.

En outre, pour pouvoir étudier les variations dans le temps, des mesures hebdomadaires ont été faites sur une vingtaine de points.

B. - ETUDE DES CARTES ISOPIEZES

Parmi les cartes isopièzes tracées, nous en avons retenu trois montrant la forme de l'écoulement dans trois cas précis.

1. - Carte du 28 janvier 1970

+ Période

Cette carte a été effectuée en deux jours, les 28 et 29 janvier 1970, il n'y a pas eu de précipitations importantes durant les trois jours qui ont précédé les relevés.

Fig 17

CARTE REPERE DES POINTS DE MESURES OU DE PRELEVEMENTS

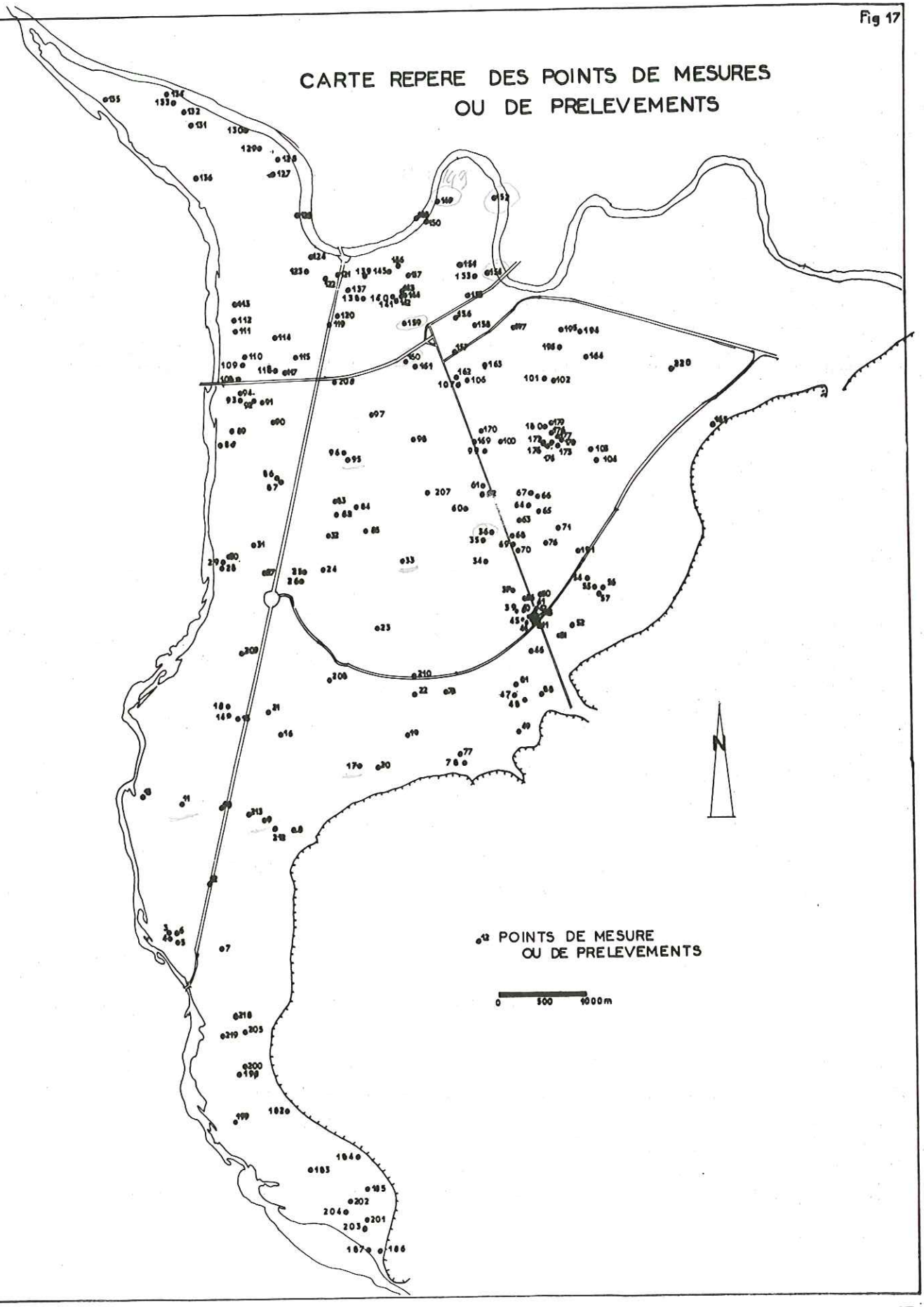
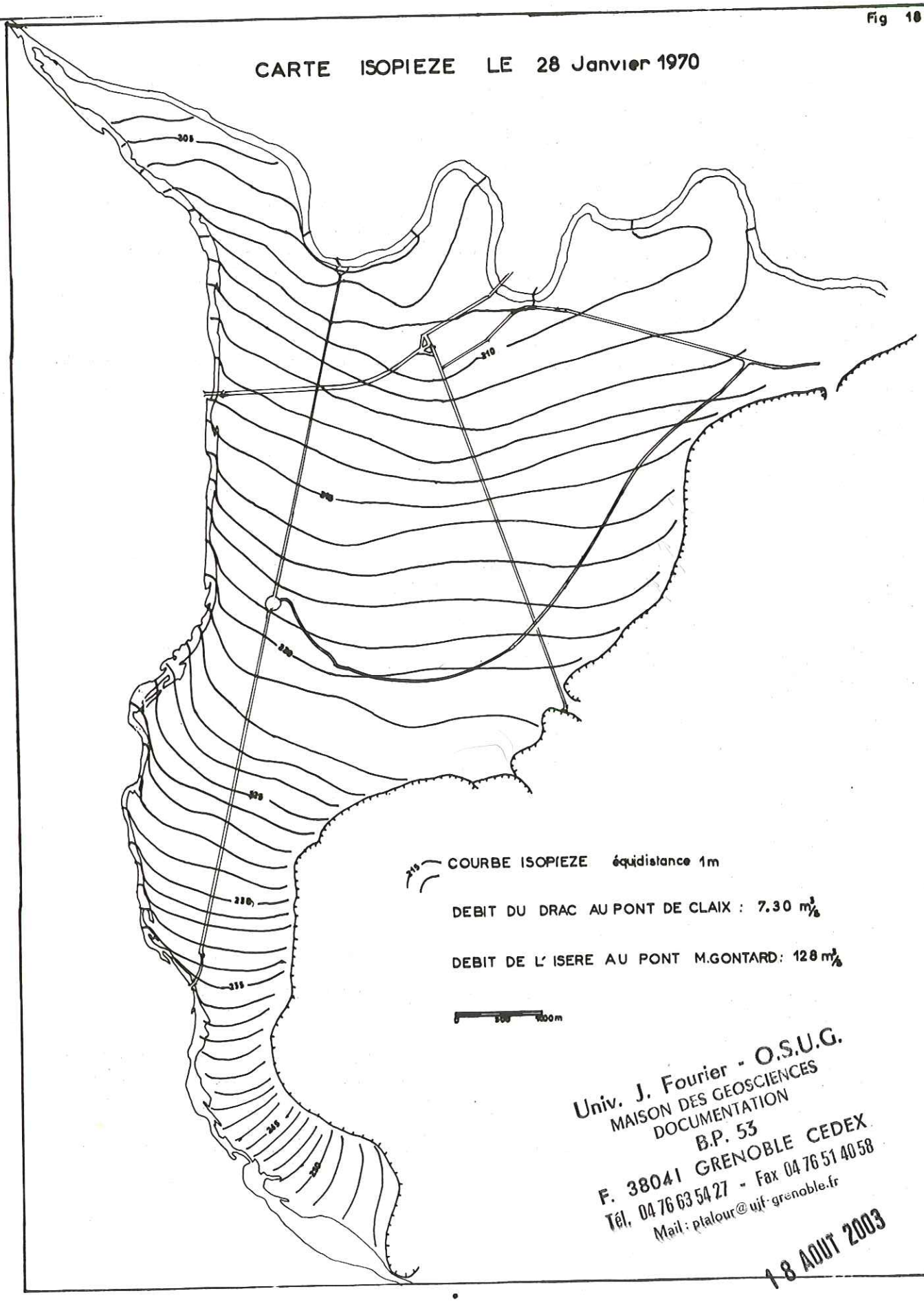


Fig 18

CARTE ISOPIEZE LE 28 Janvier 1970



315 COURBE ISOPIEZE équidistance 1m

DEBIT DU DRAC AU PONT DE CLAIX : 7.30 m³/s

DEBIT DE L' ISERE AU PONT M.GONTARD: 128 m³/s

0 500 1000m

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

18 AOUT 2003

+ Forme de l'écoulement

La nappe s'écoule grossièrement du Sud vers le Nord. Elle est bloquée contre la montagne de la Bastille, et, les eaux empruntent le drain naturel que forme le lit de l'Isère.

La forme des isopièzes, le long du Drac, nous montre que ce dernier alimente la nappe phréatique durant tout son trajet, depuis le Saut-du-Moine jusqu'à son embouchure, sauf entre le confluent de la Gresse et le Rocher de Pont-de-Claix, où il y a drainage. De Pont-de-Claix jusqu'au niveau d'Echirolles, cette alimentation sera très forte ainsi que dans la zone du C. E. N. G. où, les courbes isopièzes deviennent presque parallèles au lit du Drac, la nappe étant, alors, entièrement drainée vers l'Isère dont le lit est beaucoup plus bas. La différence de niveau entre les rivières est en effet de 4 à 5 mètres.

Dans la boucle de l'Ile Verte, un écoulement souterrain très important se produit allant de la branche est vers l'Ouest au travers de la boucle.

Il en est de même dans le Domaine Universitaire. Les méandres superficiels n'influencent donc pas l'écoulement de la nappe.

L'écoulement est plus ou moins rapide, suivant les zones : la nappe est presque plate à partir d'Echirolles (rue de l'Industrie) où la plaine alluviale s'élargit, alors que dans le chenal de Pont-de-Claix où les courbes sont assez serrées, l'écoulement est plus rapide.

Des apports se font à partir des panneaux non drainés du plateau de Champagnier et des collines liasiques de Gières à Eybens : par les cônes de déjection arrive un débit assez important. C'est ainsi que près de Bresson, cet apport entraîne une courbure des isopiézes.

Il est difficile de mettre en évidence, sur cette carte, la limite entre la nappe du Drac et celle du Grésivaudan ; cette limite devrait être marquée par une courbure des isopièzes montrant le changement du sens de l'écoulement, mais cela n'est pas décelable sur notre document.

2. - Carte du 8 décembre 1969

+ Période

Cette carte a été effectuée en un jour et demi ; les eaux des rivières étant relativement basses. Pendant les huit jours qui ont précédé, il n'y a eu que peu de précipitations.

+ Forme de l'écoulement

Cette carte est, dans l'ensemble, assez semblable à la précédente. Le long du Drac, l'alimentation semble encore plus forte, les courbes isopièzes sont plus infléchies que dans la carte décrite ci-dessus.

Dans la pointe de confluence Isère Drac, on remarque l'influence des pompages qui changent la forme des courbes isopièzes à cause du rabattement dû aux puits en marche.

La rupture de pente se produit toujours là où la plaine alluviale s'élargit. Des apports importants se font à partir du cône de Bresson. La nappe, dans cette zone éloignée du Drac et de la nappe du Grésivaudan reste, malgré tout, assez plate.

Sur cette carte, les courbes isopièzes présentent une inflexion assez sensible marquant, sans doute, la limite entre la nappe du Grésivaudan et la nappe du Drac.

Fig 19

CARTE ISOPIEZE

8 Décembre 1969

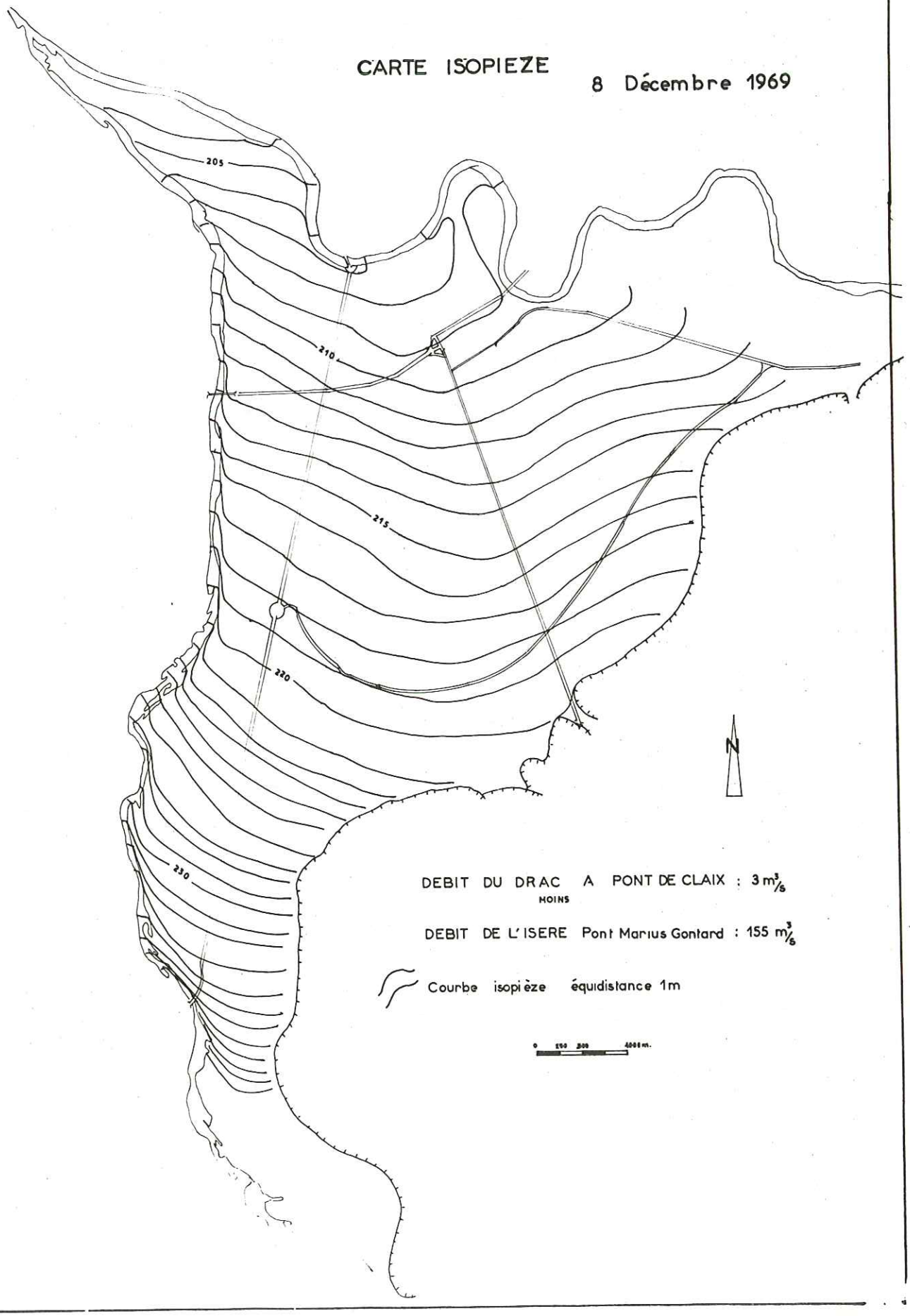
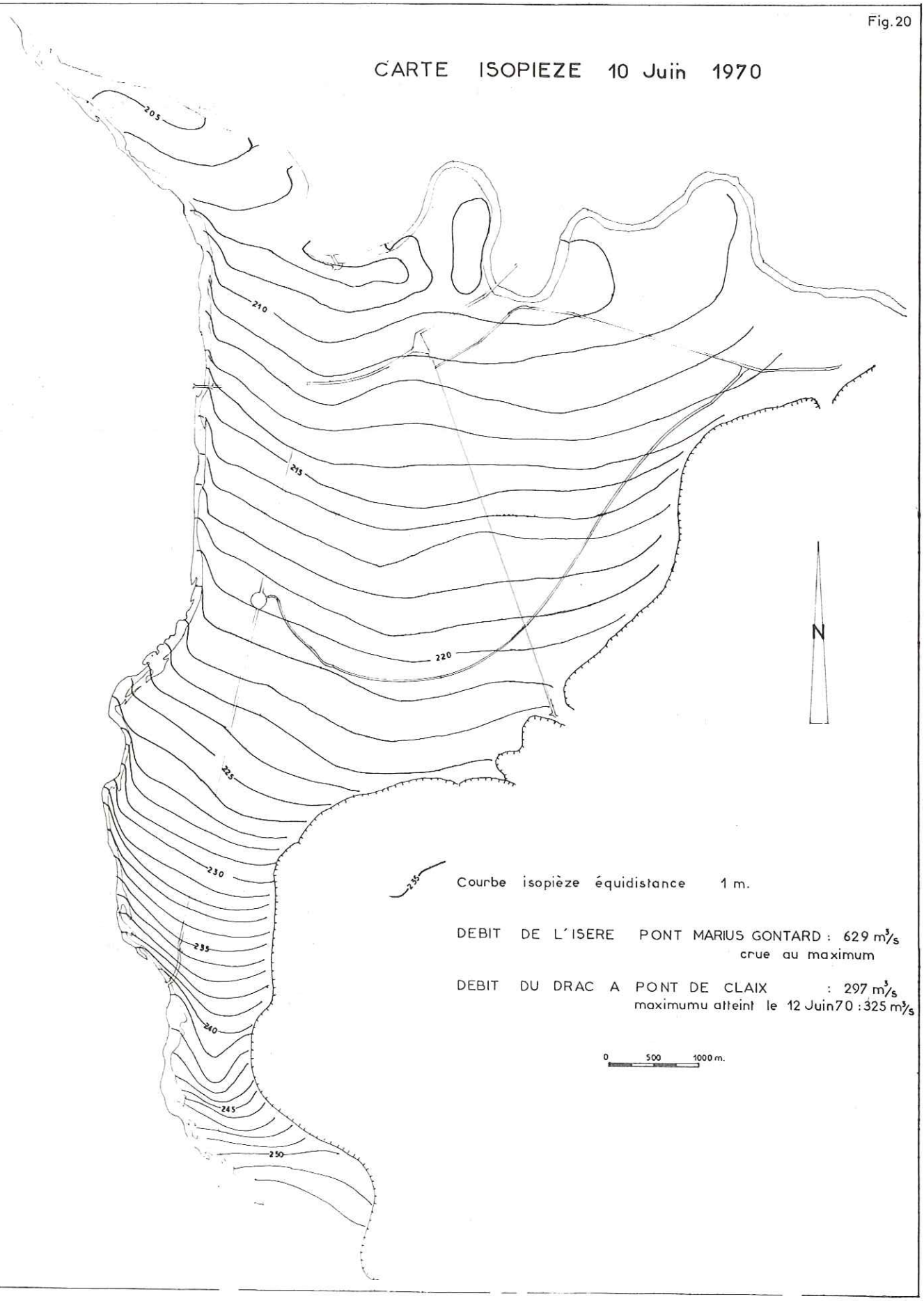


Fig. 20

CARTE ISOPIEZE 10 Juin 1970



235 Courbe isopièze équidistance 1 m.

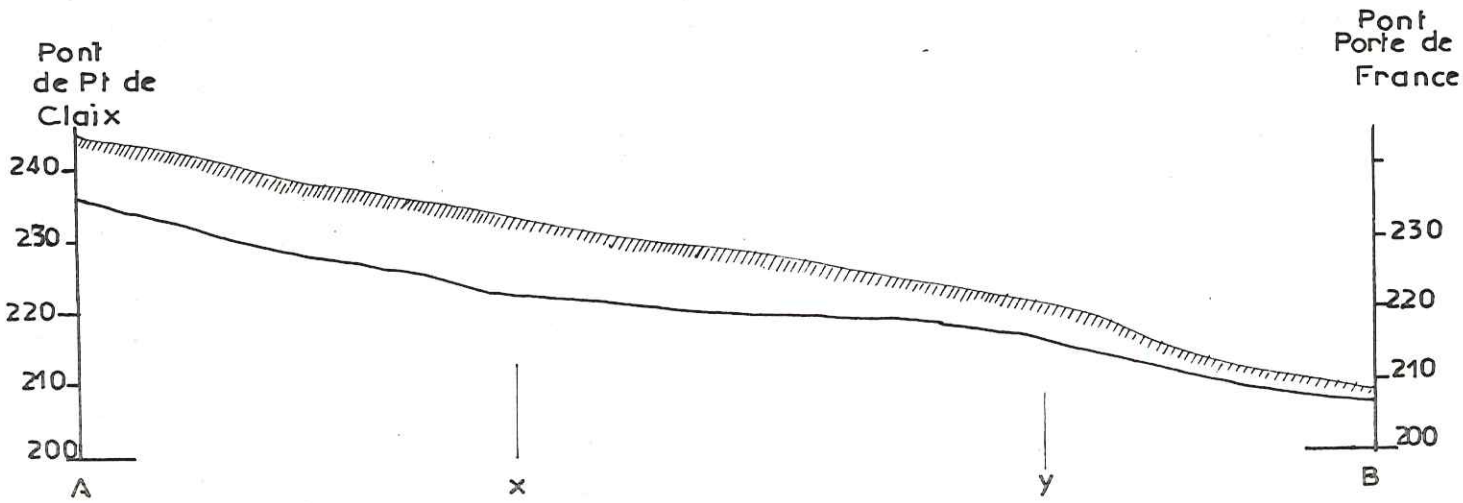
DEBIT DE L'ISERE PONT MARIUS GONTARD : 629 m^3/s
crue au maximum

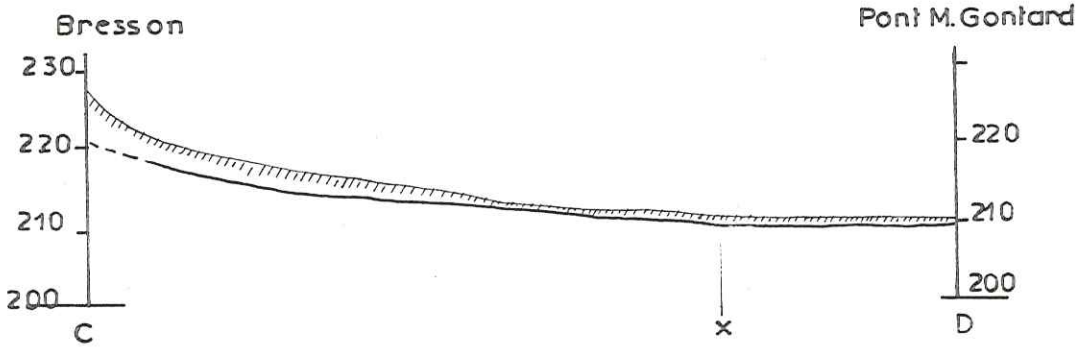
DEBIT DU DRAC A PONT DE CLAIX : 297 m^3/s
maximumu atteint le 12 Juin 70 : 325 m^3/s

0 500 1000 m.

Fig 21

PROFIL DE DEPRESSION





Surface du sol

0 1000 2000 m.

Toit de la nappe

3. - Carte du 10 juin 1970

+ Période

Cette carte effectuée en deux jours, a été précédée par un temps très stable.

+ Forme de l'écoulement

Cette carte nous permet de mettre en évidence la limite entre les deux nappes, d'après la forme de l'écoulement. Elle se situe au niveau de Saint-Martin-d'Hères.

A la différence des cartes précédentes, la rupture de pente qui se produit là où la plaine s'élargit, ne se voit plus nettement que près du Drac, l'alimentation de la nappe doit être plus constante du fait des eaux relativement hautes pour le Drac. Dans la boucle de l'Ile Verte, on constate un certain retard à l'écoulement provoqué par les hautes eaux de l'Isère qui donne dans cette zone une nappe perchée.

4. - Profils de dépression

Les cartes que nous venons de décrire nous permettent de construire les profils de dépression, c'est-à-dire, le profil de la pente du toit de la nappe le long d'une ligne de courant.

Ce profil de dépression est déterminé par plusieurs facteurs hydrologiques :

- la perméabilité du matériau constituant l'aquifère,
- le débit d'écoulement,
- la surface topographique de la plaine alluviale et son niveau de base,
- la structure du milieu aquifère : section de passage, le substratum imperméable et toutes les lentilles imperméables s'intercalant au milieu des terrains aquifères.

Chacun de ces facteurs varie, l'aquifère n'étant pas homogène. Le profil de dépression donne une idée d'ensemble de ces variations sans que l'on puisse y distinguer la valeur réelle de chaque facteur.

x Profil A B (voir fig. n° 21), établi le long d'une ligne de courant passant par le chenal d'écoulement central.

Dans ce profil trois zones se différencient à cause de leur pente, c'est-à-dire de leur gradient hydraulique.

- Section A - x : la pente est plus forte (i = 0,05) que dans l'ensemble de la coupe ; les facteurs qui peuvent faire augmenter cette pente sont soit la perméabilité, soit le débit, soit la section de passage.

d'après la loi de Darcy : $Q = ksi$

où Q = le débit,
k = la perméabilité,
s = section de passage,
i = le gradient hydraulique ;

on a : k inversement proportionnel à i
Q proportionnel à i
s inversement proportionnel à i.

D'après les connaissances géologiques en notre possession sur cet aquifère alluvial, la perméabilité ne diminue presque pas, les seuls facteurs qui puissent faire augmenter le gradient sont donc, le débit et la section de passage (relief du substratum). On sait peu de chose sur le substratum, si ce n'est que, dans cet étroit, entre le plateau de Champagnier et le rocher de Comboire, il peut y avoir un surcreusement important. Le débit pouvait aussi croître sous l'effet des apports depuis le plateau de Champagnier, mais cette augmentation de débit se produisant de la même façon sur tout le rebord du plateau, ne peut suffire à expliquer cette particularité très localisée du gradient hydraulique.

- Section x - y : la pente est plus faible que dans la zone précédente. La section de passage augmente, en effet, et le cœfficient de perméabilité a plutôt tendance à diminuer, étant donnée la nature plus fine des terrains dans cette zone du profil.

- Section y - B : la pente, à nouveau, s'accentue mais reste liée au niveau de base déterminé par le lit de l'Isère.

x Profil C D, tracé le long d'une ligne de courant allant de Bresson au pont Marius Gontard.

- Section C - x : la pente est moyenne alors que la section correspondante sur l'autre profil était presque plate. Il faut voir là l'effet de l'alimentation de la nappe par le cône de déjection de Bresson.

Cette augmentation de débit est due également comme le montre l'étude géologique, à une diminution de la section de passage de la nappe, l'horizon d'alluvions grossières étant moins développé que sur le profil précédent.

- Section x - D : la pente se raccorde au niveau de base que constitue le lit de l'Isère.

5. - Description des différentes zones

La description des différentes cartes et l'étude des profils de dépression nous permettent de distinguer différentes zones caractérisées par la forme de l'écoulement, l'alimentation, le drainage et les facteurs hydrologiques. Cinq zones ressortiront caractérisées par tout cet ensemble de facteurs.

a - Isles de Champagnier

La pente de la nappe, à cet endroit, est assez faible ; le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,03 en moyenne. L'alimentation de cette zone est faite d'une part par les collines de Champagnier et d'autre part par le Drac et toutes les eaux provenant de la nappe alluviale amont, rive gauche du Drac, qui sont obligées d'emprunter l'étroit de Pont-de-Claix, à cause des rochers de Rochefort.

Une légère inflexion des courbes isopièzes vers l'amont nous montre la présence d'un chenal d'écoulement assez important qui ne correspond pas à l'emplacement du lit actuel du Drac. Ce chenal a d'ailleurs été reconnu par une campagne de prospection électrique.

b - Etroit de Pont-de-Claix

Comme nous l'avons vu dans la description du profil de dépression, le gradient est élevé (0,05) à cause de la diminution de la section de passage, l'aquifère étant limité par les rochers de Comboire d'un côté et le plateau de Champagnier de l'autre.

Les courbes sont infléchies vers l'amont. Ainsi le chenal d'écoulement que l'on avait déjà dans les Isles de Champagnier continue nettement plus accentué, marquant un axe de drainage de la nappe.

Cette zone se caractérise aussi, par une très forte alimentation venant du Drac lui-même.

c - Partie centrale de la plaine

Dans le centre de la plaine de Grenoble, les courbes sont assez régulièrement espacées. Une discontinuité apparaît dans le quartier d'Echirolles, marquant un replat et séparant de façon assez nette cette zone centrale de l'étroit de Pont-de-Claix ; replat dû à l'élargissement de la plaine.

On note encore, dans cette zone, la présence d'un chenal d'écoulement central continuant l'axe de drainage de l'étroit de Pont-de-Claix, mais cela est nettement moins accentué.

d - Rive gauche de l'Isère

Cette zone est caractérisée par une direction d'écoulement différente de celle que nous observons dans l'ensemble des zones précédentes, direction est-ouest comme dans le Grésivaudan, due au drainage de l'Isère. De plus, comme on l'observe dans la boucle de l'Ile Verte, la nappe alluviale s'écoule sans tenir compte des méandres de l'Isère. Le toit de la nappe est plus ou moins plat, suivant les périodes de l'année, car il est lié au niveau de base que constitue le lit de l'Isère.

Fig 22

VARIATIONS PIEZOMETRIQUES

REGION DE PONT DE CLAIX

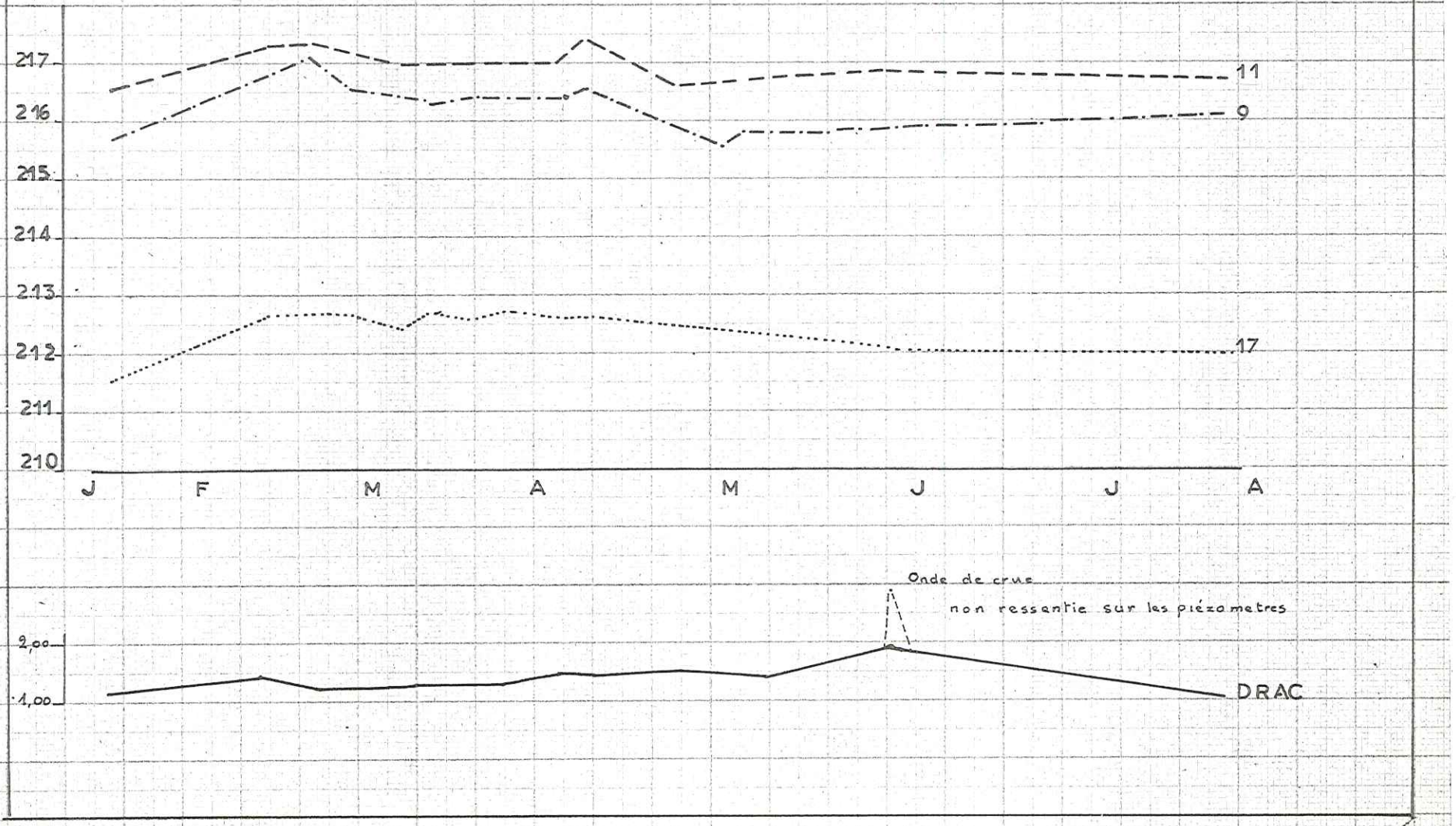
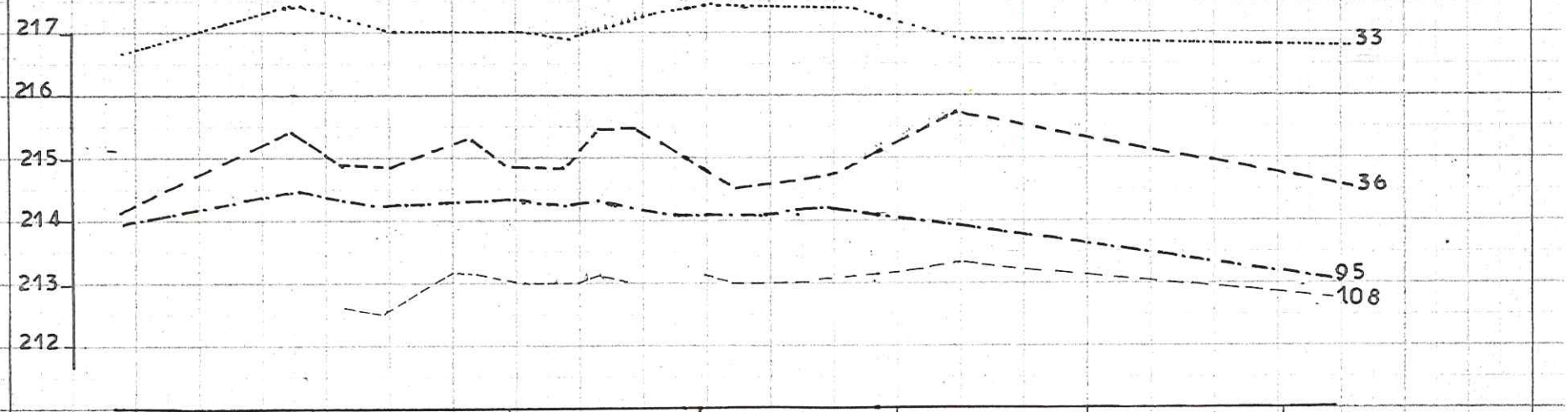


Fig 23

VARIATIONS PIEZOMETRIQUES

ZONE CENTRALE DE LA PLAINE



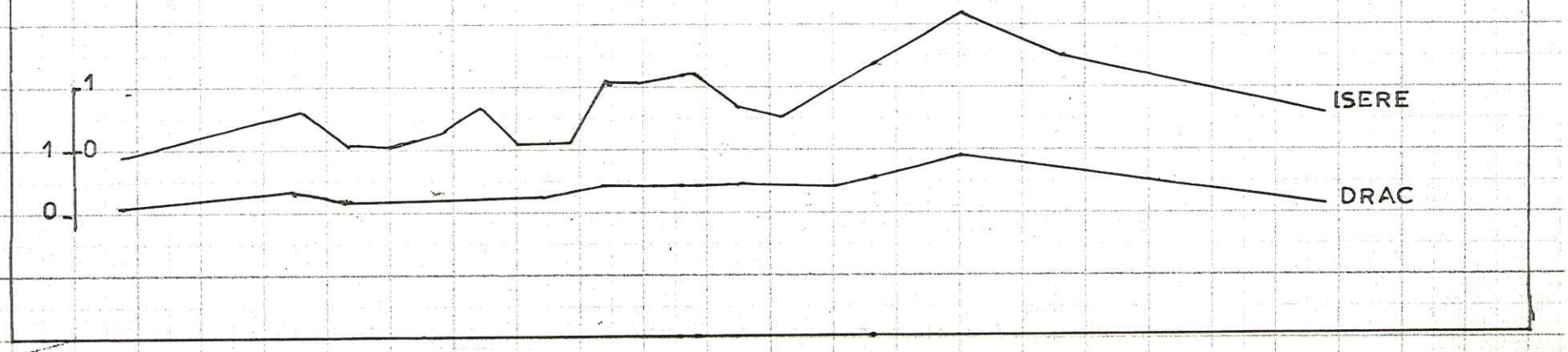


Fig 24

VARIATIONS PIEZOMETRIQUES

GRENOBLE CENTRE

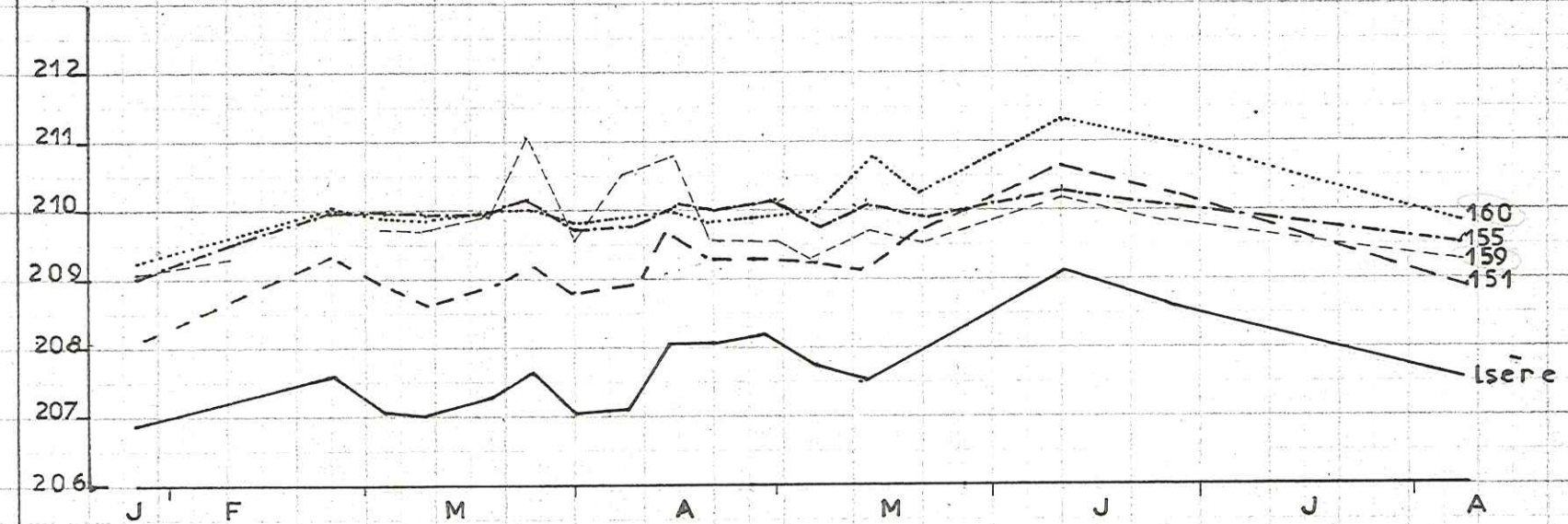


Fig 25

VARIATIONS PIEZOMETRIQUES

EN BORDURE DE L'ISERE

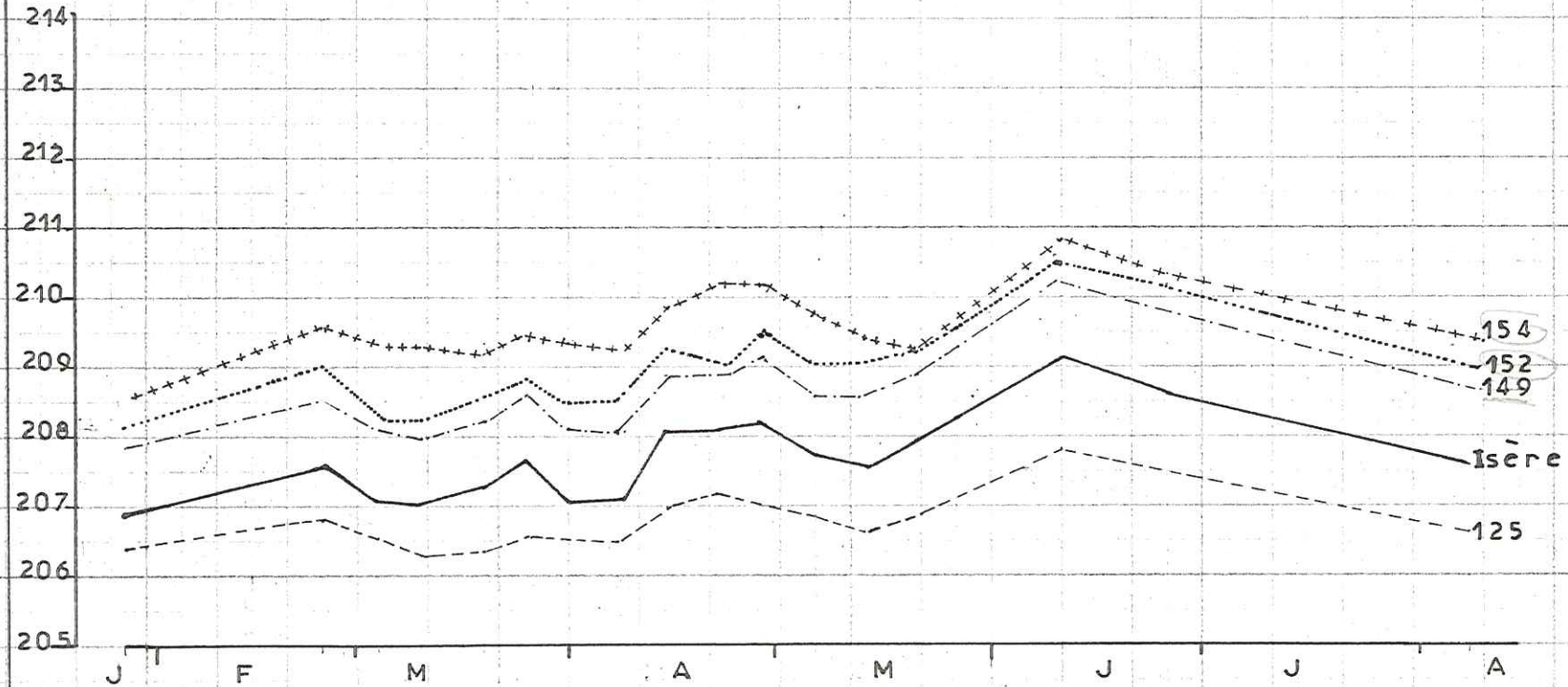
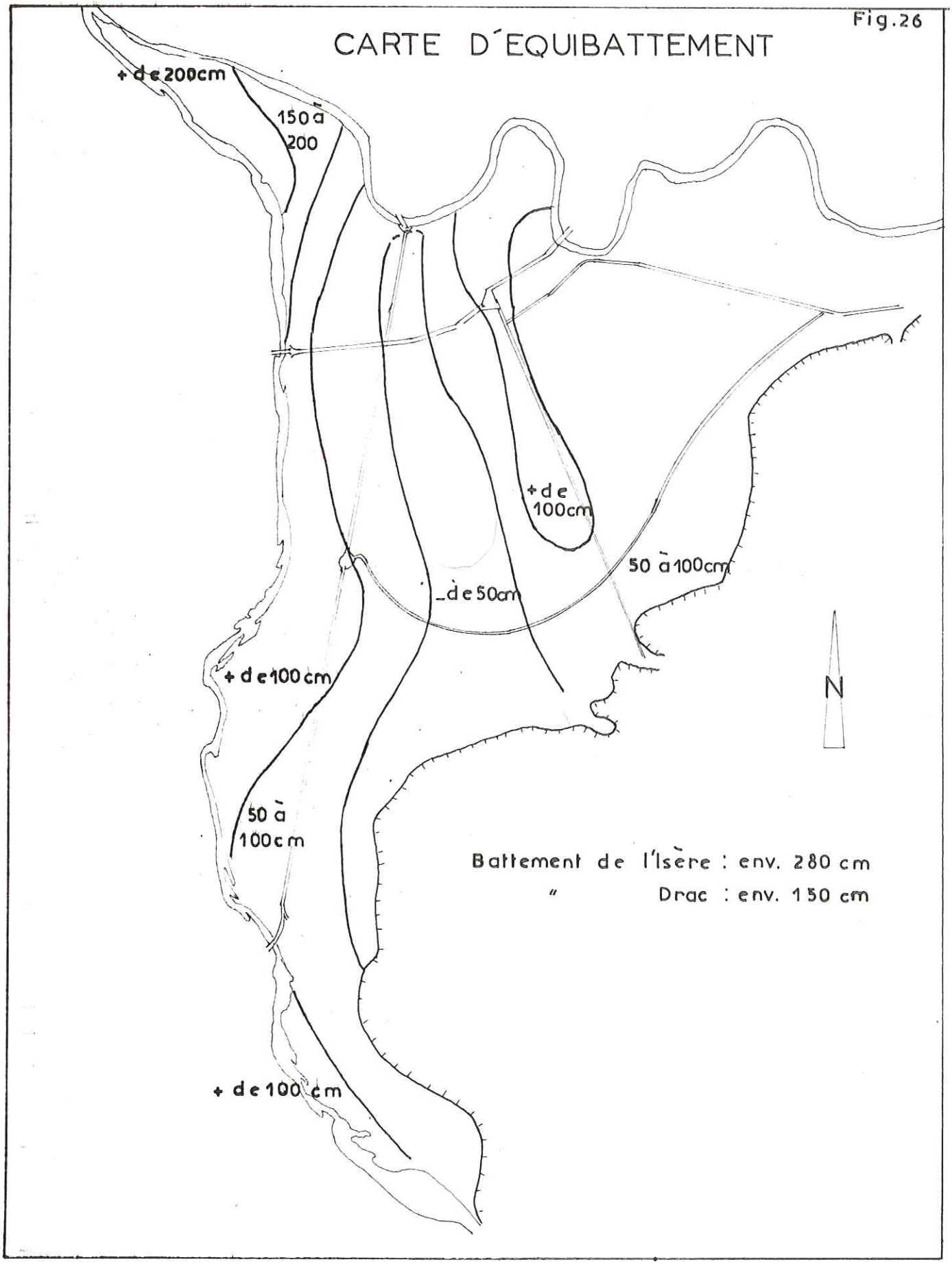


Fig.26

CARTE D'EQUIBATTEMENT

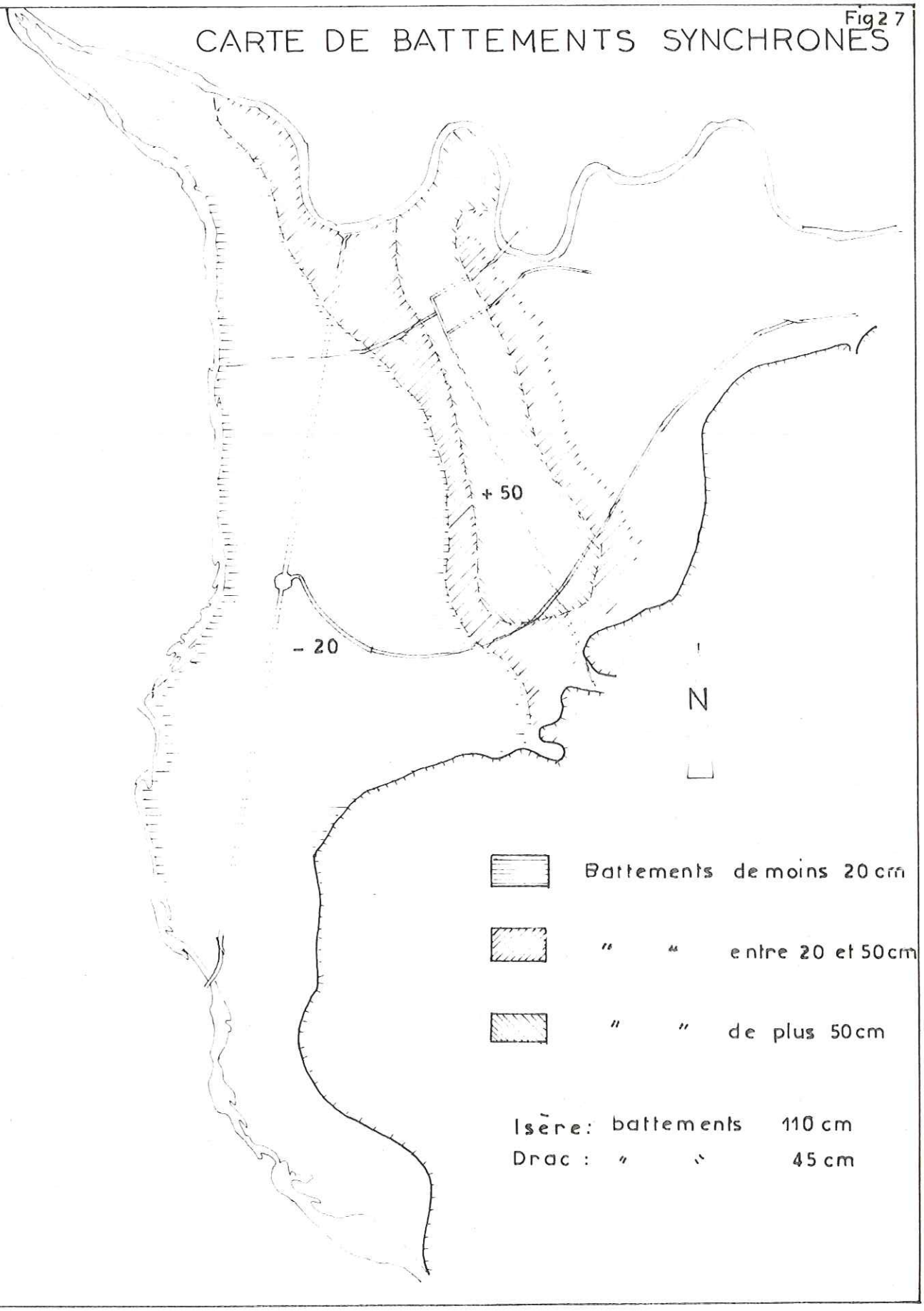


Battement de l'Isère : env. 280 cm

" Drac : env. 150 cm

Fig 27

CARTE DE BATTEMENTS SYNCHRONES



e - Zone de confluence (depuis le terrain militaire du Polygone)

La différence de niveau entre le lit de l'Isère et du Drac se traduit par un écoulement souterrain important du Drac vers l'Isère.

Ces différentes cartes sur lesquelles on note des variations dans la vitesse d'écoulement des eaux comme on l'a vu nous permettent, en outre, de situer jusqu'où se fait ressentir l'influence de la nappe du Grésivaudan. Cette limite se situerait aux alentours du Domaine Universitaire à Saint-Martin-d'Hères ; mais l'étude des variations piézométriques devrait nous permettre de préciser cette limite que nous fournissent les cartes du toit de la nappe.

C. - ETUDE DES FLUCTUATIONS DE LA NAPPE DANS LE TEMPS

Si les cartes isopièzes effectuées aux différentes époques nous donnent l'image du toit de la nappe, les fluctuations du niveau piézométrique nous montrent les conséquences, sur la nappe alluviale, d'une part des précipitations, d'autre part des variations de niveau du Drac et de l'Isère.

Pour cela, nous avons relevé une fois par semaine le niveau d'un certain nombre de points.

Notre étude porte sur la période de janvier 1970 à juin 1970, période pendant laquelle nous avons eu une succession de crues et de décrues. Le très fort enneigement en basse altitude a provoqué des crues rapides et a maintenu les hautes eaux depuis janvier. De plus, des lâchers de barrages sur l'Isère ont donné des ondes de crues relativement faibles, mais que l'on a ressenti assez nettement sur les niveaux de l'Isère et de la nappe.

Durant cette période, nous avons essayé de suivre les répercussions de ces différentes ondes de crues, sur la nappe et nous les avons reporté sur des graphiques (figures n° 22-23-24-25).

Si l'on compare les différents graphiques entre eux, ils semblent se partager en deux grandes catégories : certains présentent quatre pointes de remontées des eaux et les autres deux, plus étalées. Un seul graphique est très particulier mais il correspond à un piézomètre qui, par sa situation au centre de la ville, est influencé par de nombreux petits pompages, aussi est-il difficilement comparable aux autres.

Les graphiques présentant deux pointes correspondent aux piézomètres situés le long du Drac et les variations que l'on y observe sont liées au niveau du Drac. Ceci correspond bien, comme l'a montré l'étude des cartes isopièzes, au fait que le Drac alimente la nappe. Toute variation du Drac se ressent sur ces piézomètres et même sur ceux qui sont situés près des collines mais plus faiblement. Ces derniers ressentent, aussi, l'influence des variations pluviométriques à cause des apports directs à la nappe venant du plateau de Champagnier.

On pouvait penser, en raison de la forme de l'écoulement que l'influence du Drac devait se ressentir sur l'ensemble de la plaine de Grenoble ; or, l'étude des variations piézométriques dans le temps montre que certains points bien que situés dans le centre de la plaine de Grenoble, ont des variations similaires à celles des piézomètres situés dans la boucle de l'Ile Verte, ou le long du lit de l'Isère.

Ainsi, contrairement à ce que nous montrait l'image du toit de la nappe, l'influence de la nappe du Grésivaudan se ressent dans la plaine de Grenoble beaucoup plus à l'Ouest.

Les cartes isopièzes nous montrent d'après la forme de l'écoulement que l'Isère draine la nappe, de plus, comme on l'a vu, l'écoulement ne tient pas compte du lit superficiel de l'Isère ; aussi, ne peut-on dire que c'est l'influence de l'Isère qui se fait ressentir, mais bien plutôt celle de la nappe du Grésivaudan, ou d'une nappe profonde séparée de la nappe alluviale superficielle du Grésivaudan par un horizon imperméable et qui serait alimentée très à l'amont de la plaine de Grenoble par l'Isère d'où ces variations à peu près identiques entre les différents points situés soit près de l'Isère, soit dans le centre de la plaine de Grenoble.

Cette limite se situe aux environs de l'avenue d'Eybens, passe par le boulevard E. Rey et se dirige vers le pont Marius Gontard.

Ce résultat très important devra être vérifié par d'autres méthodes notamment par l'étude hydrochimique qui, par l'étude des éléments contenus dans l'eau de la nappe, devra nous faire ressortir les éléments dominants de la nappe du Grésivaudan ou bien des éléments caractéristiques des bassins versants de l'Isère.

D. - ESSAI DE POMPAGE

Cet essai a été effectué place Vaucanson, à Grenoble, en vue de reconnaître les caractéristiques de la nappe et des terrains dans cette zone, dans le cadre d'une campagne de reconnaissance pour des aménagements futurs.

1. - Dispositif d'essai

Cet essai de pompage a, d'abord, consisté à mettre en place un puits et 9 piézomètres. Des sondages ont été exécutés sur 7 de ces points afin de reconnaître les terrains, avant de les équiper en piézomètres.

Une disposition en plan a été effectuée et la distance moyenne varie de 5,80 m à 117,50 mètres.

Le puits a 15 mètres de profondeur, il est crépiné sur 12 mètres à partir de la base (diamètre 350 mm). Les piézomètres sont équipés d'un tube plein qui est crépiné entre 8 et 10 mètres sous le niveau naturel.

L'espace annulaire entre le tube et le terrain est rempli de gravier additionnel pour éviter les entraînements de fines particules lors du pompage.

Sur les sondages, des essais de perméabilité in situ, type Lefranc, ont été exécutés (fig. n° 28).

Sur S_3	: de 6,52 à 7,02 m	$k = 1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s
	: de 8,80 à 9,55 m	$k = 2,3 \cdot 10^{-3}$
	: de 14,00 à 14,50 m	$k = 2 \cdot 10^{-4}$
	: de 20,58 à 21,08 m	$k = 4 \cdot 10^{-5}$
Sur S_4	: de 8,30 à 8,50 m	$k = 3 \cdot 10^{-5}$ m/s
	: de 15,70 à 16,20 m	$k = 8 \cdot 10^{-4}$
	: de 21,70 à 22,22 m	$k = 8 \cdot 10^{-5}$

2. - Plan des essais

L'installation du puits et des piézomètres étant terminée, l'essai de pompage a pu commencer.

L'essai a, d'abord, consisté à faire :

+ des essais de courte durée , afin de connaître les caractéristiques du puits et de plus, permettre la formation du filtre du puits central ;
+ un essai de moyenne durée (9 h) ;
+ un essai de longue durée (30 h).

Fig 28

COUPES DES SONDAGES

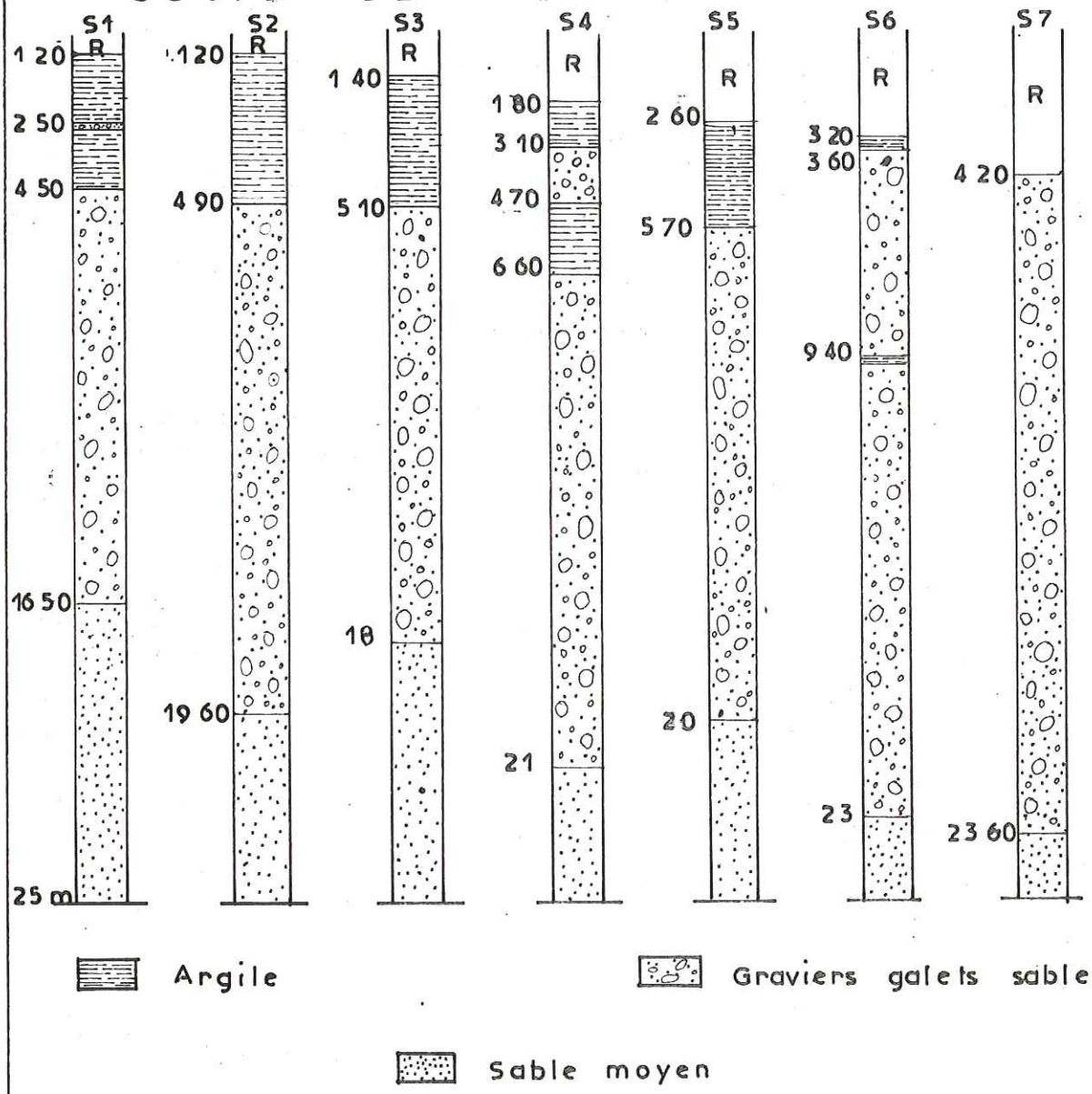
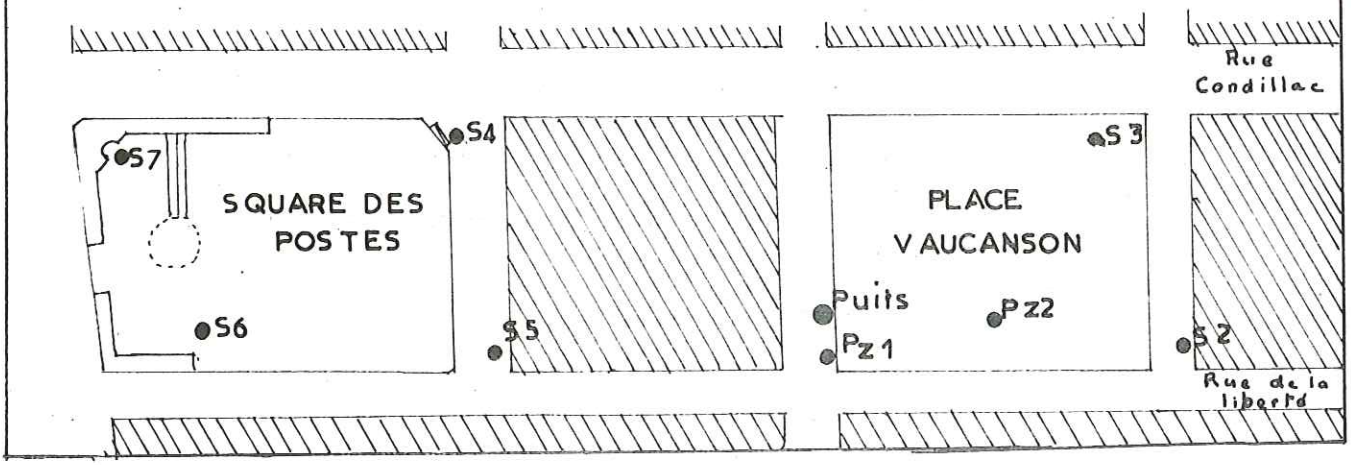


Fig 29

DISPOSITION DES SONDAGES ET PUITS



3. - Essai de courte durée

Pour cet essai, on a fait de courts pompages (20 mn/h) à différents débits, avec des temps d'arrêt suffisamment longs (environ 1,5 fois la durée du pompage) afin de retrouver l'état initial de la nappe.

Avec les résultats des différentes mesures de niveau d'eau, dans le puits, aux différents débits, nous pouvons construire les graphiques suivants :

- courbe rabattement fonction des débits,
- courbe rabattement fonction log. du temps.

a - Courbe rabattement fonction des débits

Le but de ce graphique est de nous montrer s'il y a stabilisation du niveau d'eau dans le puits pour les différents débits.

Le graphique obtenu est une courbe, nous ne sommes pas dans le cas du schéma de DUPUIT, où l'on aurait stabilisation (la courbe serait alors, une droite). Aussi nous ne pourrons employer les formules valables en régime permanent de façon théorique.

Nous sommes dans le cas d'un essai en régime transitoire : le niveau d'eau varie dans le puits pour un débit constant ; le rayon d'action du puits n'est plus fixe mais augmente avec le temps.

Une variable supplémentaire : le temps, devra intervenir dans les calculs, alors que si l'on était en régime permanent, le temps n'interviendrait pas puisque le niveau d'eau serait constant, ainsi que le rayon d'action pour un débit donné.

Pour un tel régime, C.U. THEIS et d'autres auteurs ont mis au point une formule d'approximation logarithmique de l'équation de THEIS :

$$D = \frac{Q}{4\pi T} \qquad \log \frac{2,25\ t\ T}{x^2\ S}$$

où D représente le rabattement dans le puits
Q " le débit pompé
T " la transmissivité
t " le temps
x " la distance du puits de pompage au puits d'observation
S " le cœfficient d'emmagasinement

Cette formule peut s'écrire sous la forme :

$$D = \frac{0,183\ Q}{T} \quad (\log \frac{2,25\ T}{x^2\ S} + \log t)$$

équation de la forme $y = a (\log b + \log x)$
où les variables sont D et log t.

Sur graphique semilogarithmique, cette équation sera représentée par une droite dont la pente sera :

$$tg\ x = \frac{d\ y}{d\ x} = \frac{d\ (D)}{d\ (\log\ t)}$$

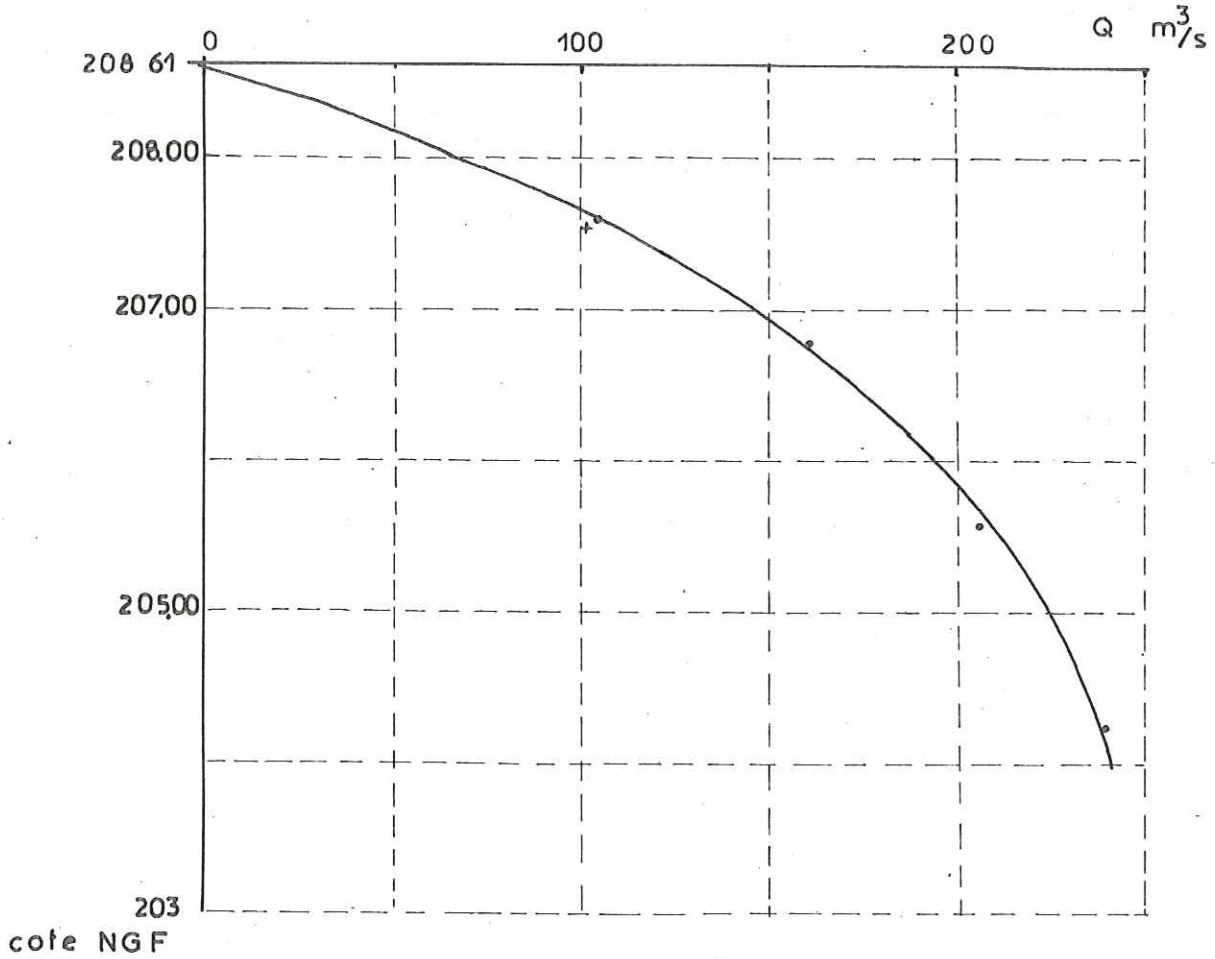
Cette dérivée est donnée par l'accroissement du rabattement pendant un cycle logarithmique : c, et l'on aura pour valeur de la transmissivité :

$$T = \frac{0,183\ Q}{c}$$

Fig 30

CARACTERISTIQUE DU PUITS

COURBE: Rabattements fonction des débits



Pour calculer S, cœfficient d'emmagasinement qui est une autre inconnue intéressante, on peut partir de la même représentation graphique.

Si la droite D, log t, coupe l'axe des temps en to, la rabattement sera nul et l'on aura :

$$0 = \log \frac{2,25\ T\ to}{x^2\ S}$$

d'où

$$S = \frac{2,25\ T\ to}{x^2}$$

Cette solution graphique nous permet de connaître de façon relativement simple, la transmissivité et le cœfficient d'emmagasinement, à partir de la formule d'approximation logarithmique.

Pour compléter ces calculs, on peut aussi étudier ce qui se passe après l'arrêt du pompage. Au moment de l'arrêt et après celui-ci, l'eau de la nappe continue à s'écouler vers le puits dont le niveau piézométrique s'élève et le rabattement décroît.

Pour cette raison et dans les mêmes conditions d'application que pour la formule d'approximation logarithmique :

- terrain homogène et isotrope
- nappe d'étendue infinie
- écoulement laminaire
- milieu aquifère incompressible
- composante verticale de la vitesse négligeable devant la composante horizontale,

nous considérons que :

un débit "+Q" est pompé dans le puits jusqu'à un instant t ; à partir de cet instant t, on imagine que l'ouvrage continue à libérer le même débit, mais au lieu d'être expulsé du puits, il est reversé dans le puits. C'est donc un débit "- Q" qui est pompé à partir de l'instant t', début du temps de pompage "- Q".

On applique la formule d'approximation logarithmique : pour un rabattement D correspondant au débit + Q et pour un rabattement D' correspondant au débit - Q.

Par addition de ces deux formules on obtient :

$$D = \frac{0,183\ Q}{T} \log \frac{2,25\ T\ t}{x^2\ S} - \frac{0,183\ Q'}{T} \log \frac{2,25\ T\ t'}{x^2\ S}$$

Q' n'étant autre que le débit "- Q"

Puisque Q = Q' (même débit mais de sens opposé) on peut écrire l'équation sous la forme :

$$D = \frac{0,183\ Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

où t est le temps depuis le début du pompage

t' est le temps depuis la fin du pompage.

Le rabattement que l'on mesurera sera le rabattement résiduel lors de la remontée du pompage.

En traçant les courbes de rabattement, $\log \frac{t}{t'}$, on peut calculer la transmissivité de la même façon que lors du pompage.

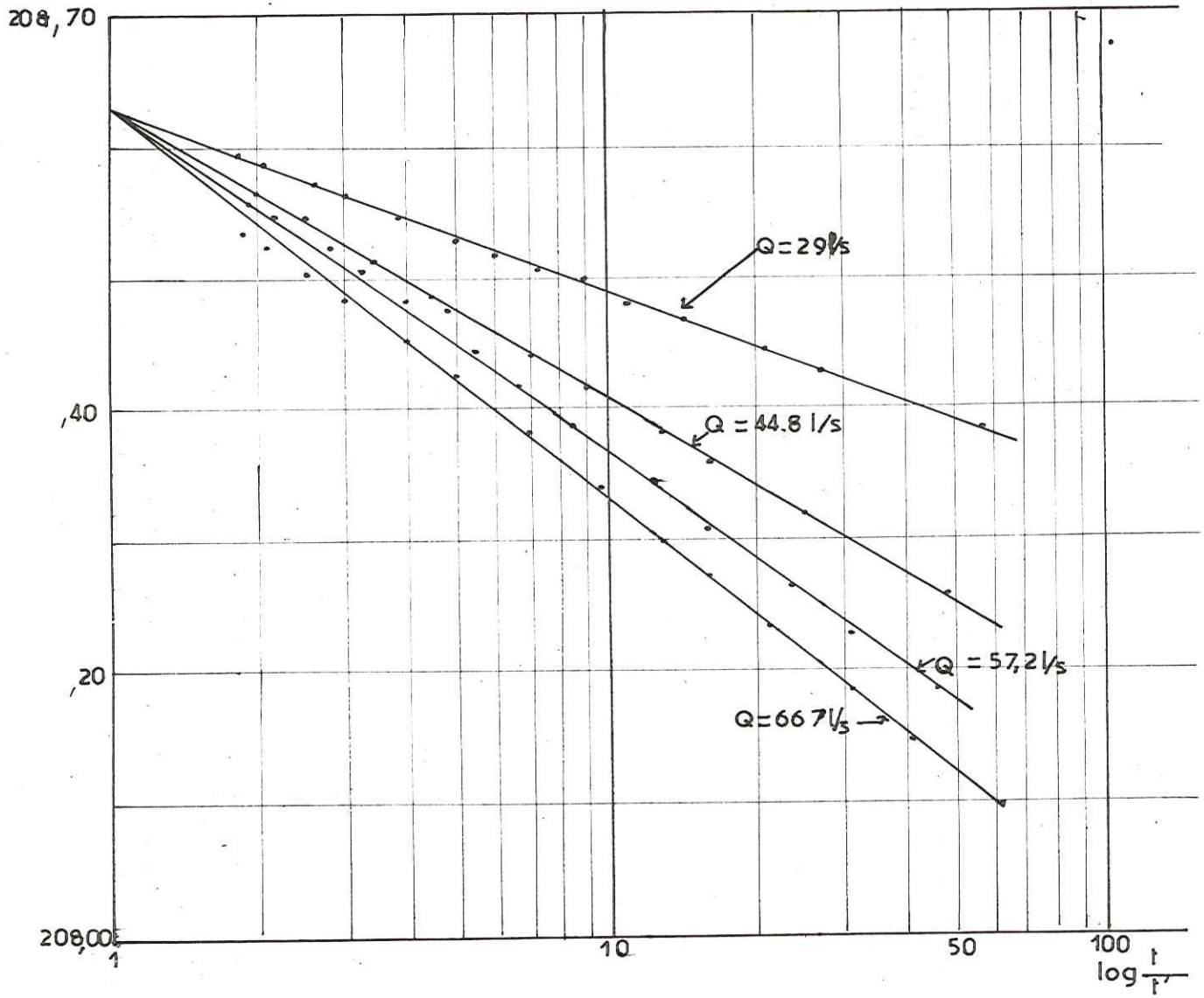
$$T = \frac{0,183\ Q}{c}$$

Mais, puisque S cœfficient d'emmagasinement n'apparaît pas dans la formule de la courbe de remontée, celle-ci sera indépendante de S.

Fig 31

ESSAIS DE COURTE DUREE

COURBES DE REMONTEE



b - Courbe rabattement $\log \frac{t}{t'}$

Pour chaque débit , et bien que le temps de pompage soit court, nous avons effectué les calculs concernant les différentes courbes de remontée.

Pour Q_1 = 29 l/s soit 29.10^{-3} m^3/s	c = 1,14	$T_1 = 3,79.10^{-2}$ m^2/s
Q_2 = 44,8 l/s	c = 0,22	$T_2 = 3,69.10^{-2}$ m^2/s
Q_3 = 57,2 l/s	c = 0,26	$T_3 = 3,93.10^{-2}$ m^2/s
Q_4 = 66,7 l/s	c = 0,30	$T_4 = 4,07.10^{-2}$ m^2/s

Les différents résultats donnent une valeur de la transmissivité comprise entre :

$$3,69.10^{-2} < T < 4,07.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \text{ pour le puits.}$$

Ces valeurs sont intéressantes car très groupées et seront à comparer avec les autres résultats.

4. - Essai de moyenne durée

- Courbe rabattement - $\log \frac{t}{x^2}$

Nous traçons pour chaque piézomètre, sur diagramme semilogarithmique, la droite de rabattement, $\log \frac{t}{x^2}$, x étant la distance à l'axe du puits et nous opérons selon les différents axes.

Nous appliquons la formule :

$$T = \frac{0,183\ Q}{c}$$

où Q est ici de 66,7 l/s, soit $66,7.10^{-3}$ m^3/s.

Pour S_7	c = 0,06	$T = 2,03.10^{-1}$ m^2/s
S_4	c = 0,17	$T = 7,1.10^{-2}$ "
S_6	c = 0,10	$T = 1,2.10^{-1}$ m^2/s
S_5	c = 0,12	$T = 1,1.10^{-1}$ "
Pz 1	c = 0,08	$T = 1,5.10^{-1}$
S_2	c = 0,14	$T = 8,7.10^{-2}$
P_{z2}	c = 0,135	$T = 9.10^{-2}$
S_3	c = 0,14	$T = 8,7.10^{-2}$
S_1	c = 0,13	$T = 9,3.10^{-2}$

Il semble donc y avoir une certaine homogénéité entre les valeurs calculées suivant les divers axes, sauf pour l'axe S_7 et S_4 où les valeurs varient.

Fig 32

ESSAI DE MOYENNE DUREE. COURBE D $\log \frac{t}{x^2}$

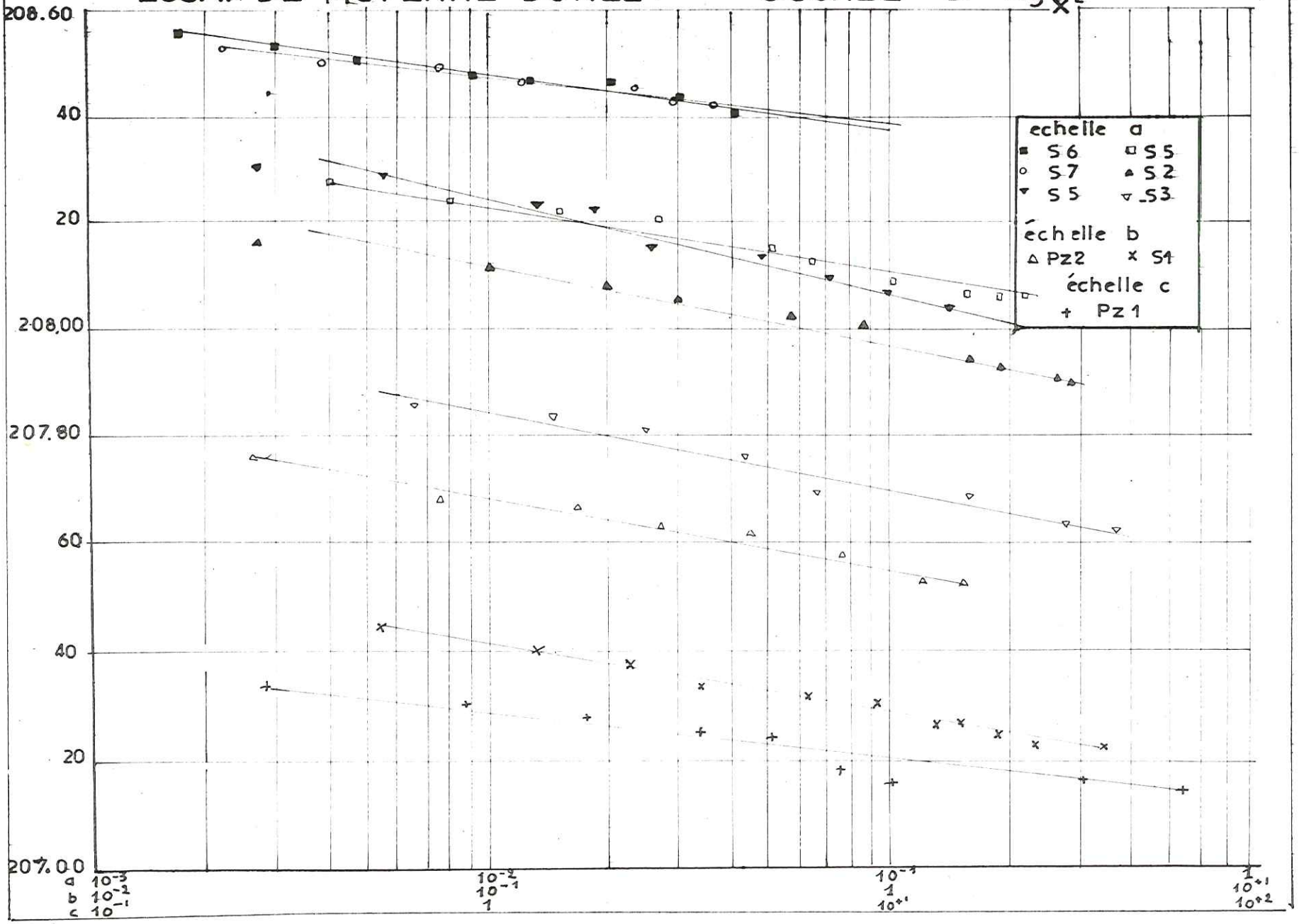
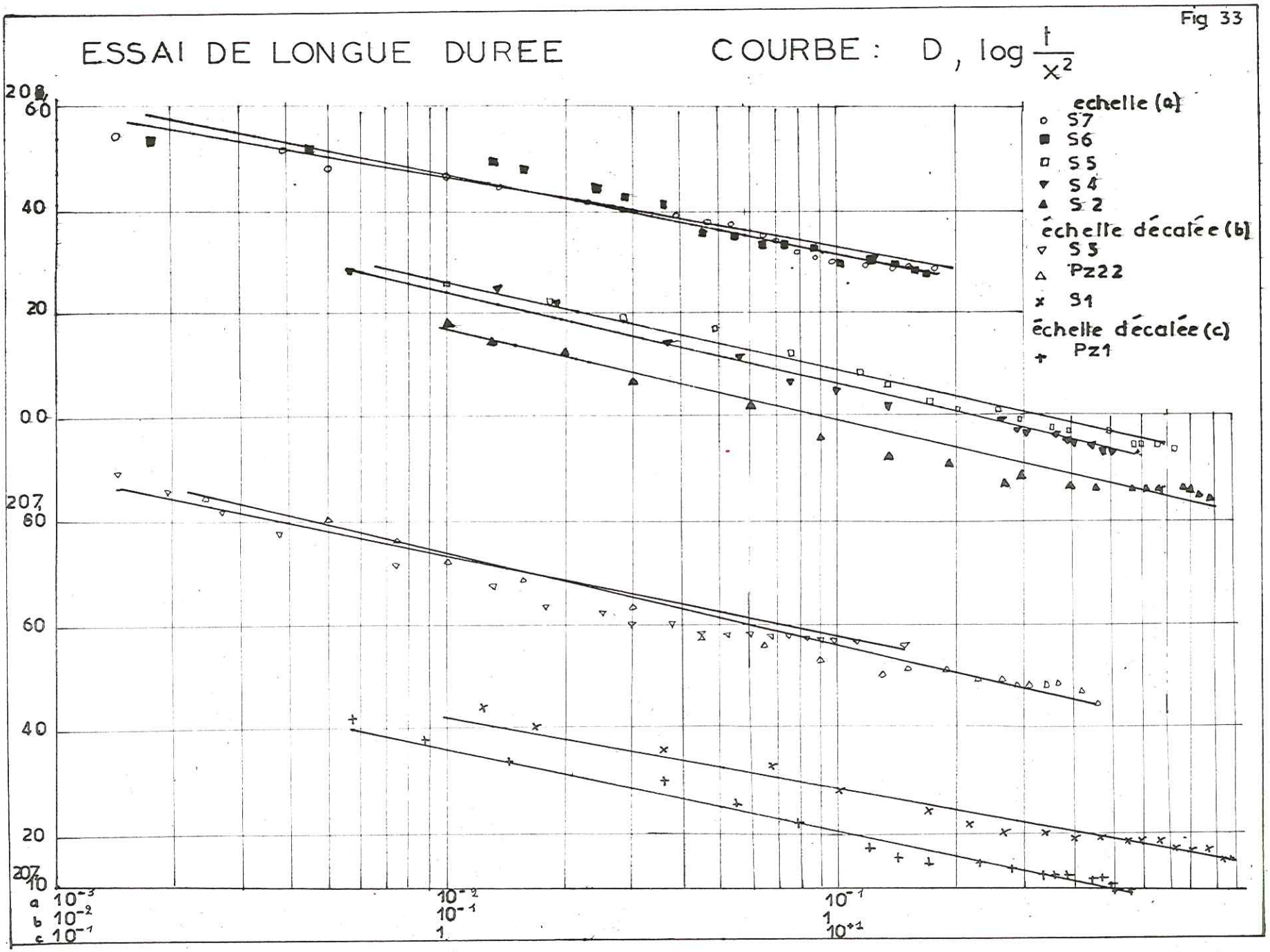


Fig 33

ESSAI DE LONGUE DUREE — COURBE : $D, \log \frac{t}{x^2}$



5. - Essai de longue durée

Comme pour l'essai de moyenne durée, nous reportons sur le graphique le rabattement fonction logarithmique de $\frac{t}{x^2}$.

- Calcul de T

Par la formule d'approximation logarithmique, nous calculons T, Q étant égale à $64,5.10^{-3}$ m^3/s.

Pour	S_7	c = 0,13	$T = 9,07.10^{-2}$ m^2/s
	S_4	c = 0,18	$T = 6,7.10^{-2}$ m^2/s
	S_6	c = 0,14	$T = 8,4.10^{-2}$
	S_5	c = 0,16	$T = 7,2.10^{-2}$
	P_{z1}	c = 0,15	$T = 7,8.10^{-2}$
	S_2	c = 0,17	$T = 6,09.10^{-2}$
	P_{z2}	c = 0,17	$T = 6,09.10^{-2}$
	S_3	c = 0,15	$T = 7,8.10^{-2}$
	S_1	c = 0,14	$T = 8,4.10^{-2}$

- Calcul de S : cœfficient d'emmagasinement

Sur le diagramme concernant le sondage S_4, nous prolongeons la droite représentative jusqu'à l'axe des temps, l'intersection a pour abscisse la valeur $\frac{to}{x^2}$

$to = 5.10^{-4}$ mn/m^2 ou 8.10^{-2} s/m^2

Comme

$$S = \frac{2,25\ T\ to}{x^2}$$

$$S = 2,25 \cdot 6,7.10^{-2} \cdot 8.10^{-2}$$

$$S = 1,2\ \%$$

- Etude de la remontée

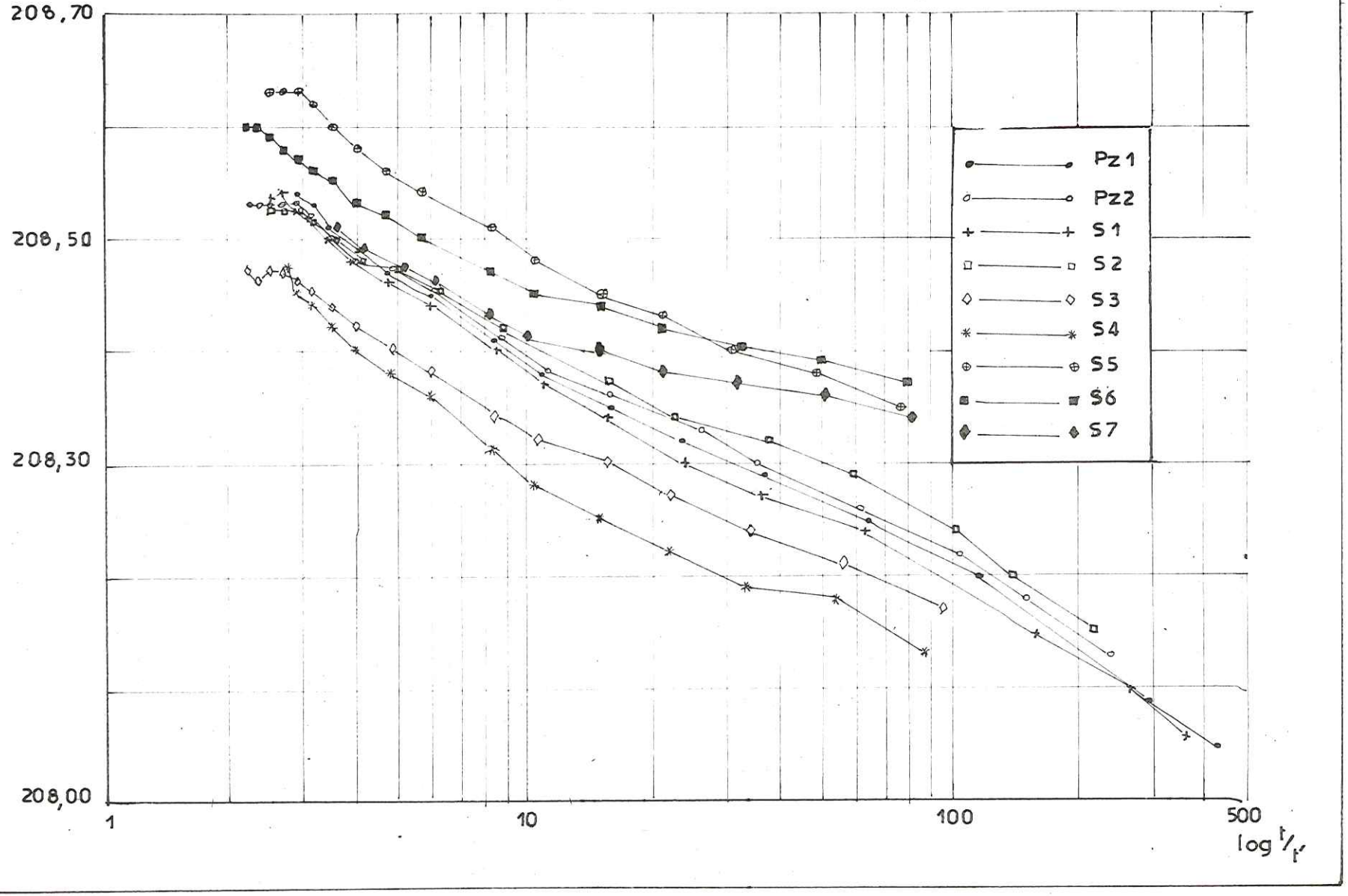
On trace la courbe rabattement $\log \frac{t}{t'}$ et l'on calcule à partir de la même formule la transmissivité.

S_7	c = 0,09	$T = 1,31.10^{-1}$ m^2/s
S_4	c = 0,15	$T = 7,8.10^{-2}$

Fig 34

ESSAI DE LONGUE DUREE

COURBE : D , $\log t/t'$



S_6	c = 0,09	$T = 1,31.10^{-1}$ m²/s
S_5	c = 0,16	$T = 7,2.10^{-2}$
P_{z1}	c = 0,17	$T = 6,09.10^{-2}$
S_2	c = 0,12	$T = 9,8.10^{-2}$
P_{z2}	c = 0,15	$T = 7,8.10^{-2}$
S_3	c = 0,16	$T = 7,2.10^{-2}$

- Résultats

De ces diverses mesures de transmissivité, il ressort quelques différences suivant les rayons par rapport aux puits.

Sur le rayon S_6-S_5, T diminue en se rapprochant du puits ; il en est de même sur l'axe S_7-S_4. Les valeurs de P_{z1} se rapprochent des axes S_6-S_5 et S_7-S_4.

On remarque, de façon globale, que cet essai de pompage montre que la transmissivité moyenne est plus élevée dans les directions ouest et sud que dans les directions est et nord. Ce résultat est en bonne concordance avec l'existence d'importantes différences de nature géologique des terrains qui apparaissaient déjà dans les coupes des sondages réalisés où du côté est de la place Vaucanson en particulier, les terrains aquifères étaient moins épais que du côté ouest.

Les valeurs obtenues lors de cet essai de pompage sont relativement cohérentes entre elles qu'il s'agisse des essais de moyenne ou de longue durée, mais les valeurs de la perméabilité fournies par les essais"in situ" type Lefranc sont nettement plus faibles et conduisent à une transmissivité de : 2.10^{-2} à 9.10^{-3} m²/s.

Une remarque est à faire quant aux graphiques établis ; toutes les courbes obtenues, soit à la descente, soit à la remontée, ne sont pas rigoureusement des droites et l'on constate dans l'alignement des points en palier.

La présence de ce palier en fin de pompage, est peut-être la conséquence d'une suralimentation de la nappe en raison de l'évolution du pompage ; cette suralimentation semble être due à des écoulements préférentiels situés à une profondeur bien supérieure à celle du puits.

6. - Essai d'étude par la formule de Dupuit

Il peut être intéressant, à titre indicatif et pour comparer les résultats obtenus par les diverses méthodes, de donner les calculs des cœfficients T et S effectués, en admettant que l'essai de pompage pourrait correspondre à un régime permanent et en traçant alors la droite rabattement log x qui correspond à l'interprétation graphique de la formule de Dupuit.

Cette droite coupe l'axe des x en un point qui correspond au rayon d'action du puits, mais ceci sera fait à un instant précis, car il augmente avec le temps.

A 3 heures R = 150 m
A 30 heures R = 210 m

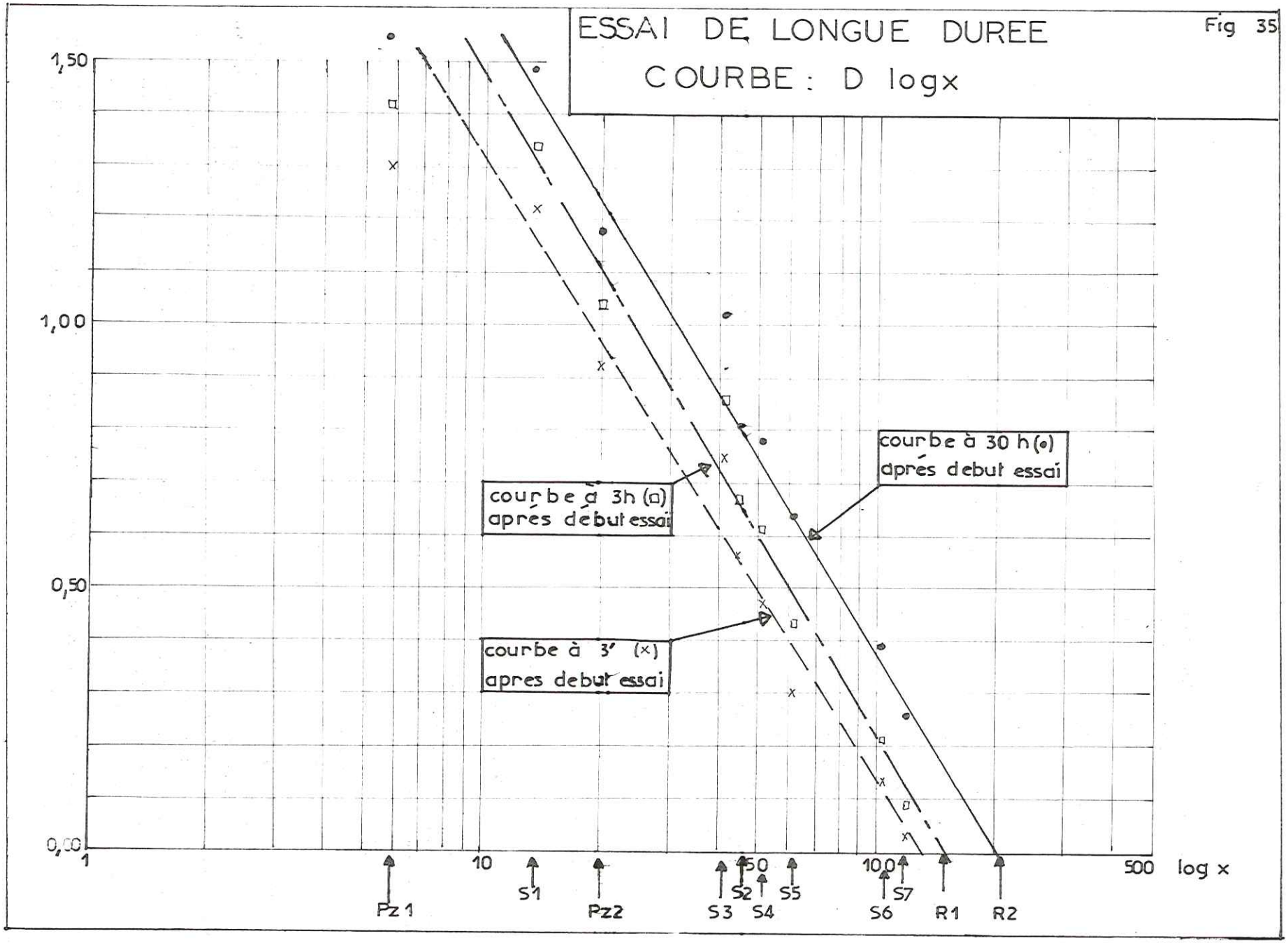
D'après la formule :

$$T = \frac{2,303\ Q}{2\ \pi\ c}$$

Fig 35

ESSAI DE LONGUE DUREE

COURBE : D log x



On peut calculer T à ces mêmes instants

à 3 heures $c = 1,26$ $T = 1,88.10^{-2}\ m^2/s$

à 30 heures $c = 1,22$ $T = 1,94.10^{-2}\ m^2/s$

Le cœfficient d'emmagasinement sera obtenu en égalant les valeurs du rabattement de THEIS à celles de DUPUIT connaissant R :

$$D = \frac{Q}{4\pi T} \text{ Log } \frac{2,25\ T\ t}{x^2\ S} = \frac{Q}{2\pi T} \text{ Log } \frac{R}{x}$$

d'où on a : $R = 1,5 \sqrt{\frac{T\ t}{S}}$

et $S = \frac{T\ t}{(R/1,5)^2}$

A 3 heures $R = 150$ m

$S = 2,17\ \%$

A 30 heures $R = 210$ m

$S = 11\ \%$

Cette dernière valeur du cœfficient d'emmagasinement semble très forte, bien que ce cœfficient augmente en cours de pompage, de façon normale.

7. - Conclusion

L'application de la formule valable pour un régime permanent entraîne une différence notable des résultats avec ceux obtenus par application des formules valables en régime transitoire ou de non équilibre.

Régime permanent $T = 2.10^{-2} m^2/s$

Régime transitoire $T = 7.10^{-2}\ m^2/s.$

Ce fait est normal si l'on se rappelle qu'une telle méthode de calcul, assimilant le régime d'écoulement à un régime permanent, bien que l'on soit en fait en régime de non équilibre, ne devrait être utilisée que dans les conditions suivantes : (théorie de E. GELIS dans Traité pratique des Eaux Souterraines de G. CASTANY).

- fonçage des piézomètres jusqu'au substratum imperméable,
- pompage prolongé,
- homogénéité du milieu aquifère.

Or, ici aucune de ces conditions ne semble réalisée sauf, peut-être, en ce qui concerne le temps du pompage. Ce n'est donc qu'à titre de comparaison que nous avons effectué les calculs par les méthodes de THEIS et de DUPUIT.

Cependant, il nous faut encore souligner qu'aucun des schémas types ne s'applique rigoureusement, les conditions d'application de la formule de THEIS, elles mêmes, n'étant pas parfaitement remplies lors des essais effectués. Il serait peut-être bon d'utiliser en fait la formule de BOULTON, valable dans le cas où existent des écoulements préférentiels, comme le suggère l'existence de palier sur les courbes d'essais ; mais une difficulté provient de ce que les sables sous-jacents aux terrains testés ont certainement une perméabilité non négligeable sur au moins une dizaine de mètres, comme l'ont montré les essais "in situ" où K est égal à 4.10^{-5} m/s.

Il serait donc imprudent de chercher une trop grande rigueur dans les calculs, puisque l'on ne peut tenir compte de tous les paramètres réels du problème. Quoi qu'il en soit, même si l'essai réalisé place Vaucanson est délicat dans

son interprétation. il n'en reste pas moins que comme dans certain cas, un tel essai de pompage donne une meilleure idée des caractéristiques hydrodynamiques pratiques des terrains que les essais ponctuels type Lefranc, car il intéresse toute une série de terrains dont la répartition est très hétérogène, tant dans le sens vertical que dans le sens horizontal. Le volume des terrains intéressés étant considérable, puisque voisin de 700 000 m^3 de sédiments, confère aux résultats obtenus une valeur statistique certaine qui n'efface cependant pas totalement l'opposition des caractéristiques des terrains des secteurs est et ouest, c'est-à-dire en fait les dépôts de l'Isère d'une part, et ceux du Drac d'autre part.

IV. - HYDROCHIMIE

Les eaux superficielles et souterraines renferment des sels dissous sous forme d'ions électropositifs (cations) ou électronégatifs (anions). Si l'observation de ces éléments dissous dans l'eau nous intéresse, c'est moins pour le fait de savoir si l'eau est chimiquement pure, que pour les précisions qu'elle apporte à la connaissance de la nappe :

- précisions sur l'alimentation et la circulation des eaux souterraines ; en effet, l'eau en ruisselant, s'infiltrant puis en s'écoulant dans des terrains de compositions minérales variées, les lessive et ainsi, s'appauvrit ou s'enrichit en certains éléments ;

- précisions sur tout apport étranger, soit naturel (présence de sels massifs qui peuvent être dissous par l'eau), soit dû aux actions de l'homme telles que les rejets d'eaux industrielles ou résiduaires par déversements directs ou non dans la nappe.

- Méthode d'étude

Des prélèvements ont été effectués sur l'ensemble de la zone étudiée, prélèvements répartis selon un quadrillage aussi régulier que le permettaient les points d'observation (puits, pieux, piézomètres) de façon à connaître le mieux possible l'évolution de l'eau au cours de son cheminement et les échanges eau-terrain ; ces campagnes ont été faites dans un délai court (3 à 4 jours) afin d'éviter l'effet de toutes variations dans le temps de la composition chimique des eaux et, ainsi, de pouvoir comparer les résultats entre eux.

Quatre campagnes ont été effectuées :
- les 8, 9, 10 décembre 1968,
- les 1, 2, 3 juillet 1969,
- les 22, 23, 24 avril 1970,
- les 7, 8, 9, 10 décembre 1970.

Pour effectuer ces prélèvements, nous avons pris les échantillons d'eau, de préférence, dans des puits en service ou munis d'une pompe, de façon à ce qu'ils soient plus représentatifs de l'eau de la nappe.

De façon à multiplier les mesures tout en évitant des analyses trop fréquentes, des mesures de résistivité ont été effectuées en place pour mieux suivre l'évolution des eaux.

Dans les analyses effectuées par le laboratoire d'analyses des eaux de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Grenoble, les éléments suivants ont été recherchés :

1 - des critères d'ordre physique

- le pH qui mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau ;
- la résistivité ou son inverse la conductivité qui donne une idée globale de la minéralisation de l'eau ; en effet, plus une eau est minéralisée, moins elle est résistante et plus elle conduit le courant du fait de la présence des ions qui y sont dissous ;
- le DHT ou degré hydrotimétrique total qui traduit la teneur globale en sels de calcium et de magnésium ; on l'exprime en degrés français (1 degré correspond à 0,2 milliéquivalent ou à une eau contenant 10 mg de $CaCO_3$ par litre) ;
- le TAC, ou titre alcalimétrique complet qui indique la teneur en hydrates, carbonates et bicarbonates alcalins et alcalino-terreux.

2 - des critères d'ordre chimique : anions et cations

- HCO_3, bicarbonates qui sont un élément de l'agressivité de l'eau ou de l'incrustation ; suivant la quantité de CO_2 libre dans l'eau, on a soit précipitation des carbonates si le CO_2 n'est pas en excès, soit l'attaque par l'eau si le CO_2 est en excès, c'est-à-dire agressivité de l'eau.

  Généralement, la teneur en carbonates et bicarbonates est élevée car nous sommes dans une zone riche en terrains calcaires;
- les chlorures (Cl^-) peuvent être d'origine naturelle et provenir de la dissolution de sels massifs tels que le sel gemme ou sylvine, ou d'origine météorique : les eaux de pluie contenant une teneur non négligeable en ions Cl^- qui peuvent être concentrés par évapotranspiration ou fixés par les végétaux et dans le sol (SCHOELLER). Dans les terrains la présence de sels naturels massifs est assez rare et généralement bien connue. Aussi, le plus souvent, les fortes teneurs en chlorures sont-elles dues à des rejets industriels.

  La présence de chlorures en quantité élevée intervient sur la solubilité d'autres sels tels que les sulfates et, de plus cette présence a une importance pratique car elle provoque cette action corrosive sur les tuyauteries;
- les nitrates (NO_3^-), en général sont en faible quantité sauf s'il y a contamination de l'eau par des eaux résiduaires;
- les sulfates (SO_4^-) sont liés aux éléments alcalins ou alcalino-terreux ; ils peuvent provenir de dissolution des gypses ou bien d'attaque chimique sur les sulfures métalliques tels que la pyrite. L'oxydation des sulfates et bisulfites des eaux usées industrielles peut provoquer aussi, l'apparition de sulfates ;
- le sodium (Na^+) est un élément constant de l'eau lié aux sulfates et aux chlorures ; il provient de la dissolution de certains minéraux sodiques ou du sodium de l'eau de pluie et surtout des rejets d'eaux usées. Il peut donner lieu à des échanges de base avec les terrains dans lesquels circule l'eau qui en contient ; par exemple, permutation avec des argiles :

  argile calcique + 2 $NaSO_4$ argile sodique + $Ca\,SO_4$;
- le potassium (K^+) est en teneur faible, le plus souvent inférieure à la teneur en sodium de l'eau ;
- le calcium (Ca^{++}) est l'élément dominant. Il existe surtout en association aux carbonates et, en quantité moindre, aux sulfates et aux chlorures. Les eaux de bonne qualité peuvent en contenir de 100 à 140 mg/l ;
- le magnésium (Mg^{++}) est en quantité assez faible et est lié le plus souvent aux sulfates.

3 - Présentation des résultats

Ces différents critères d'ordre physique et chimique vont nous permettre de comparer les eaux entre elles. Les résultats de l'analyse seront reportés sur diagramme semilogarithmique vertical de Schoeller-Berkaloff. Ces diagrammes composés de sept échelles logarithmiques, qui servent au report des points représentatifs des teneurs en Ca, Mg, Na, Cl, SO_4, CO_3 combiné, et du degré hydrotimétrique, ont l'avantage d'être indépendants de la concentration. Dans ce mode de représentation, les eaux ayant la même composition chimique, à la concentration près, ont alors des graphiques parallèles. On pourra distinguer, ainsi, différentes familles d'eau.

Dans une première partie, nous verrons la composition chimique des eaux de surface et ses variations ; la composition des eaux de la nappe sera étudiée dans la deuxième partie.

A. - EAUX DE SURFACE

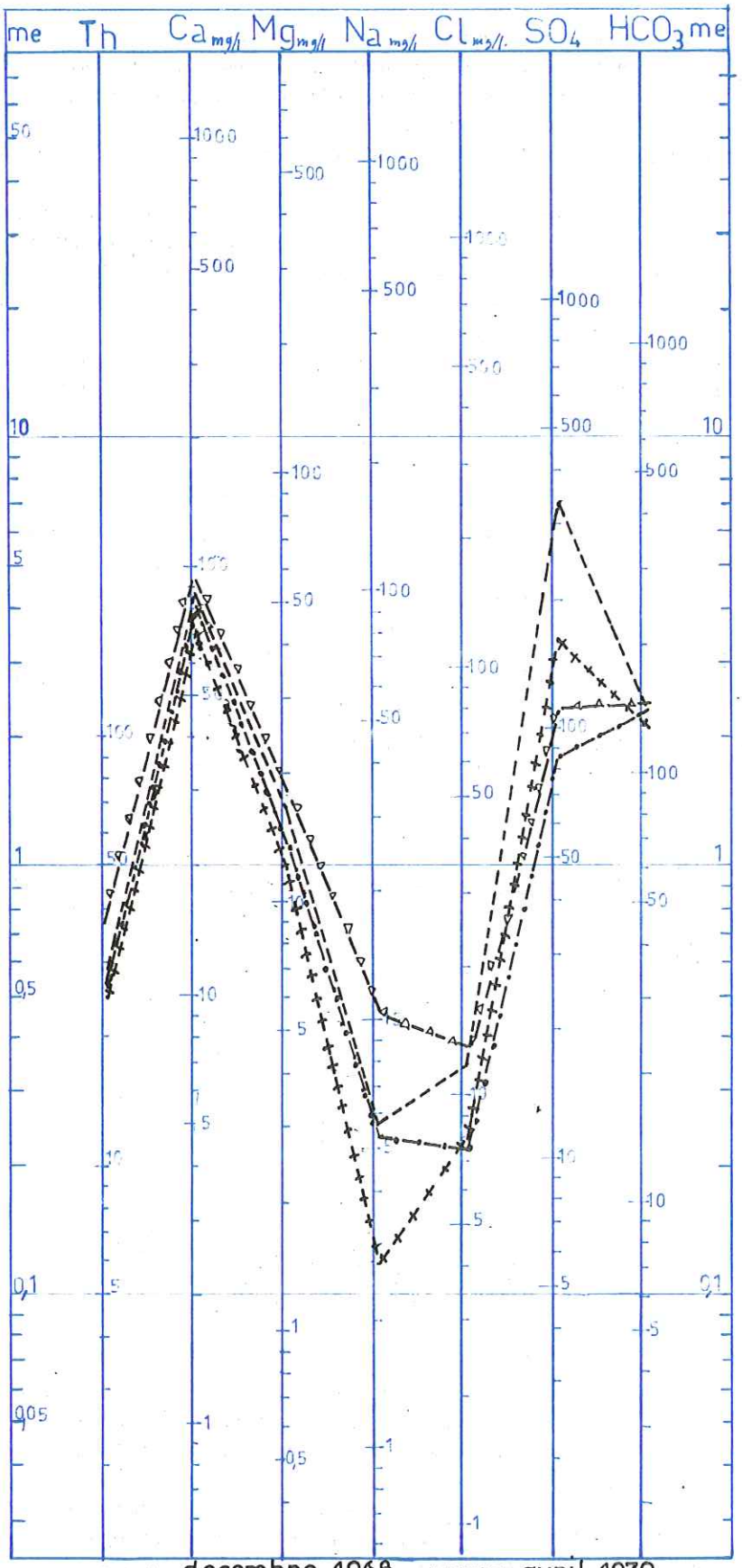
a - Composition chimique

- L'Isère : les eaux de l'Isère sont bicarbonatées calciques, faiblement minéralisées (résistivité de l'ordre de 2 000 à 3 000 ohm/cm), pauvres en chlorures (teneur inférieure à 40 mg/l), mais la teneur en sulfates est assez élevée (80 mg/l en hautes eaux et 140 mg/l en basses eaux), la dureté est d'environ 20 à 30°.

- Ruisseau d'Eybens : les eaux du ruisseau d'Eybens sont bicarbonatées calciques, la résistivité est de 2 000 à 2 800 ohm/cm. Ce sont donc des eaux assez faiblement minéralisées contenant peu de sulfates mais riches en bicarbonates de calcium d'où un DHT généralement élevé (28°).

Fig. 36

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



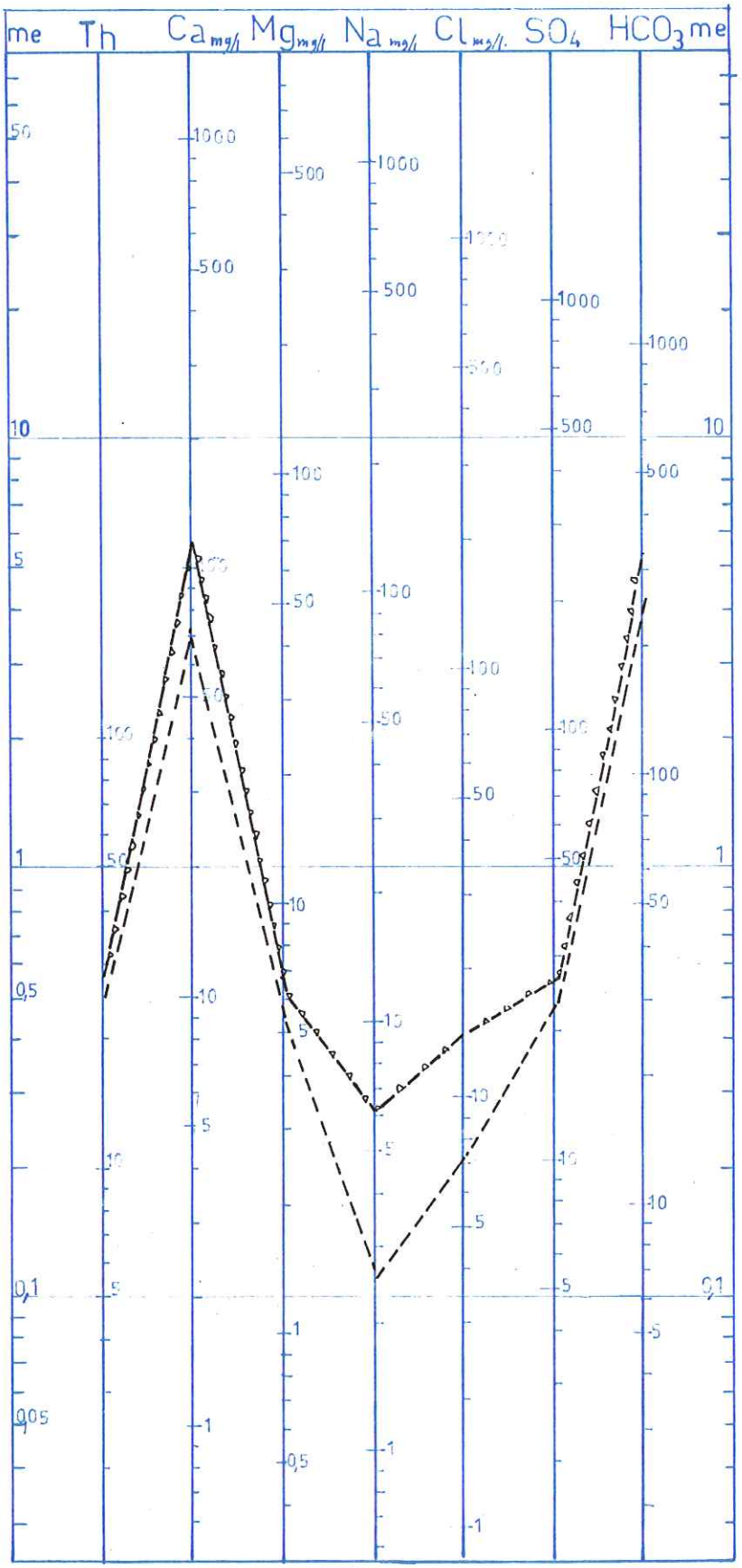
ISERE

---- décembre 1968
+++ juillet 1969
•-•-•- avril 1970
Δ—Δ—Δ décembre 1970

M.Y.

Fig 37

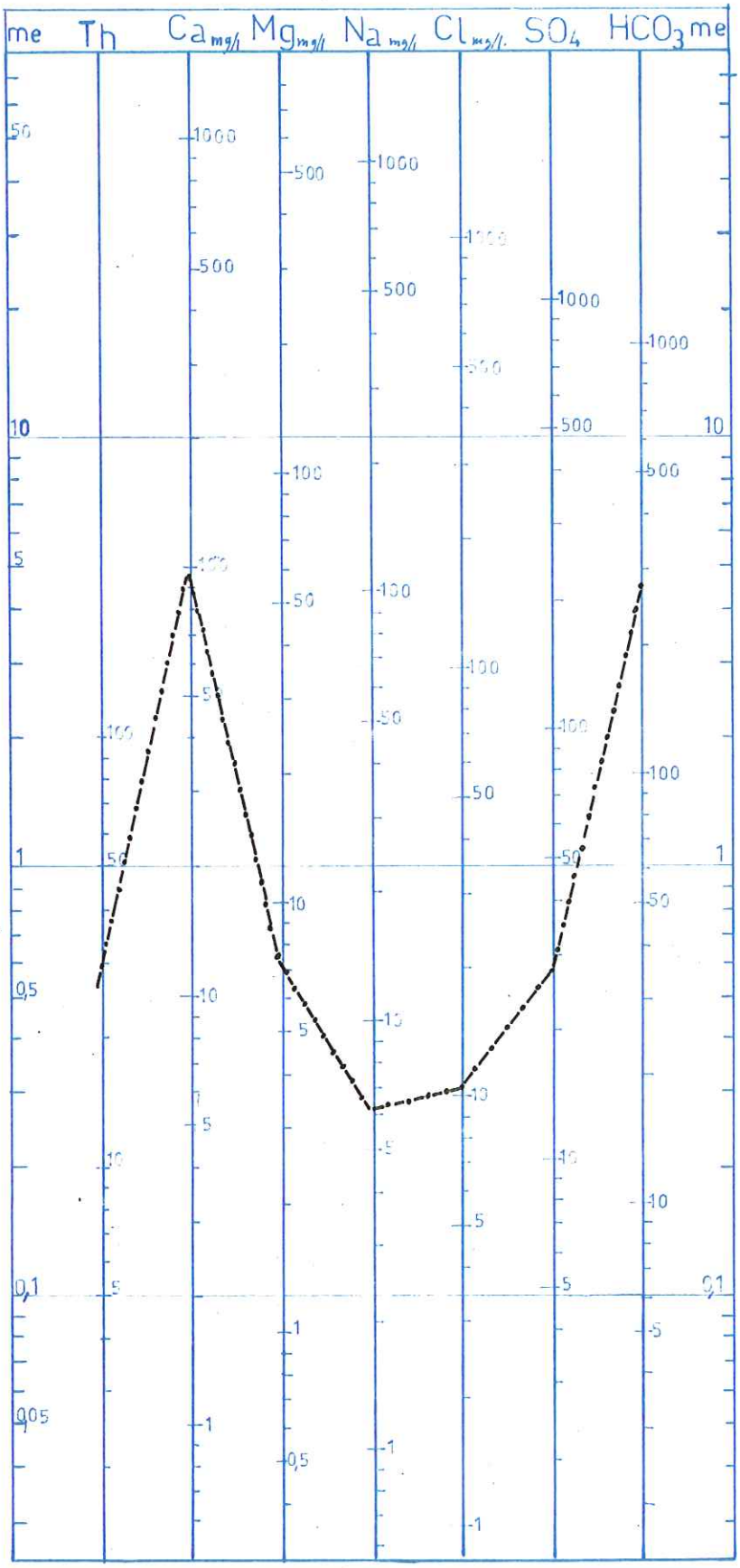
DIAGRAMME [71] LOGARITHMIQUE



Ruisseau d Eybens ---Juillet 1969 _·_·_ décembre 1970

Fig 38

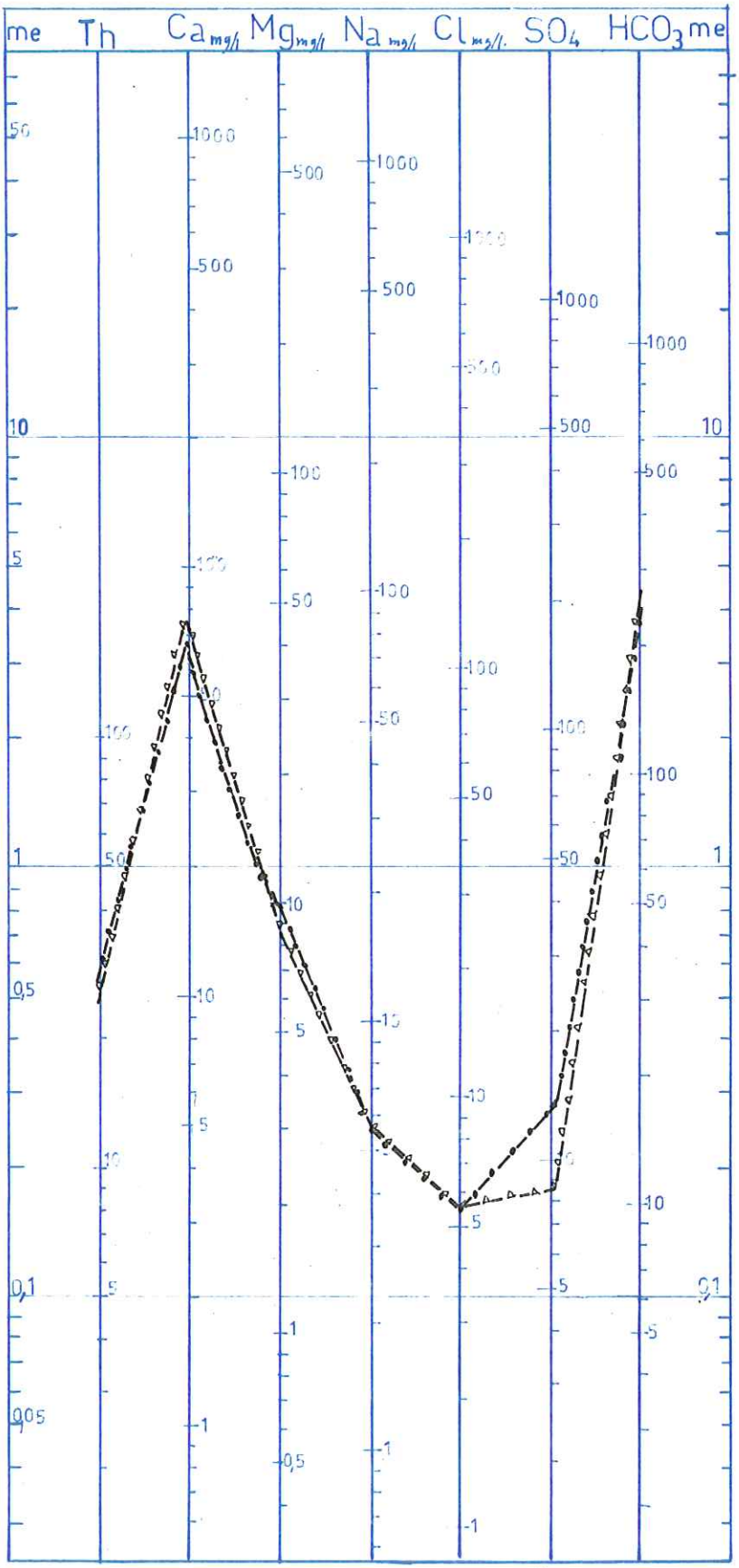
DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



Ruisseau de Bresson ——— avril 1970

Fig 39

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



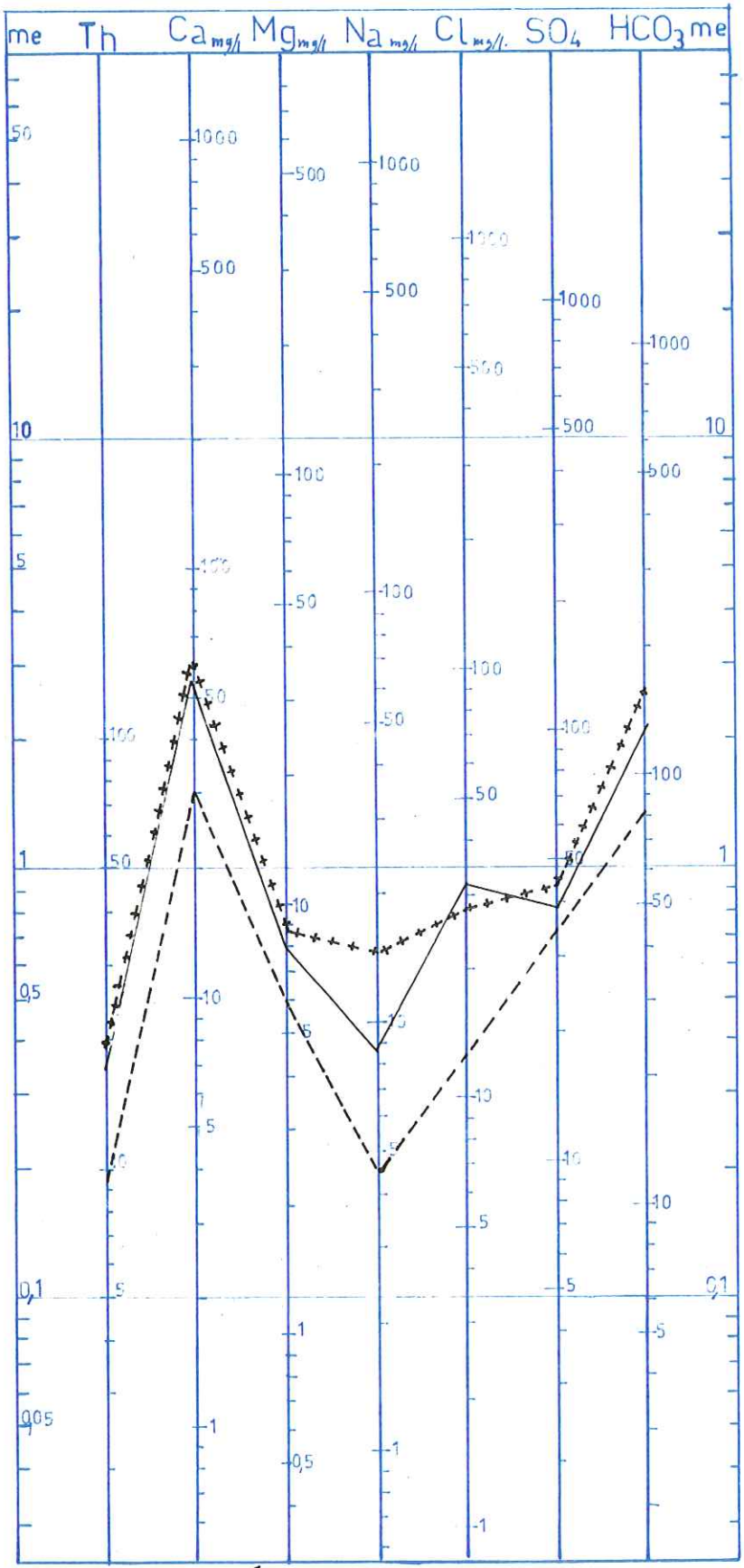
Source Commanderie Echirolles

-·-·- avril 1970

-^-^- décembre 1970

Fig 40

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

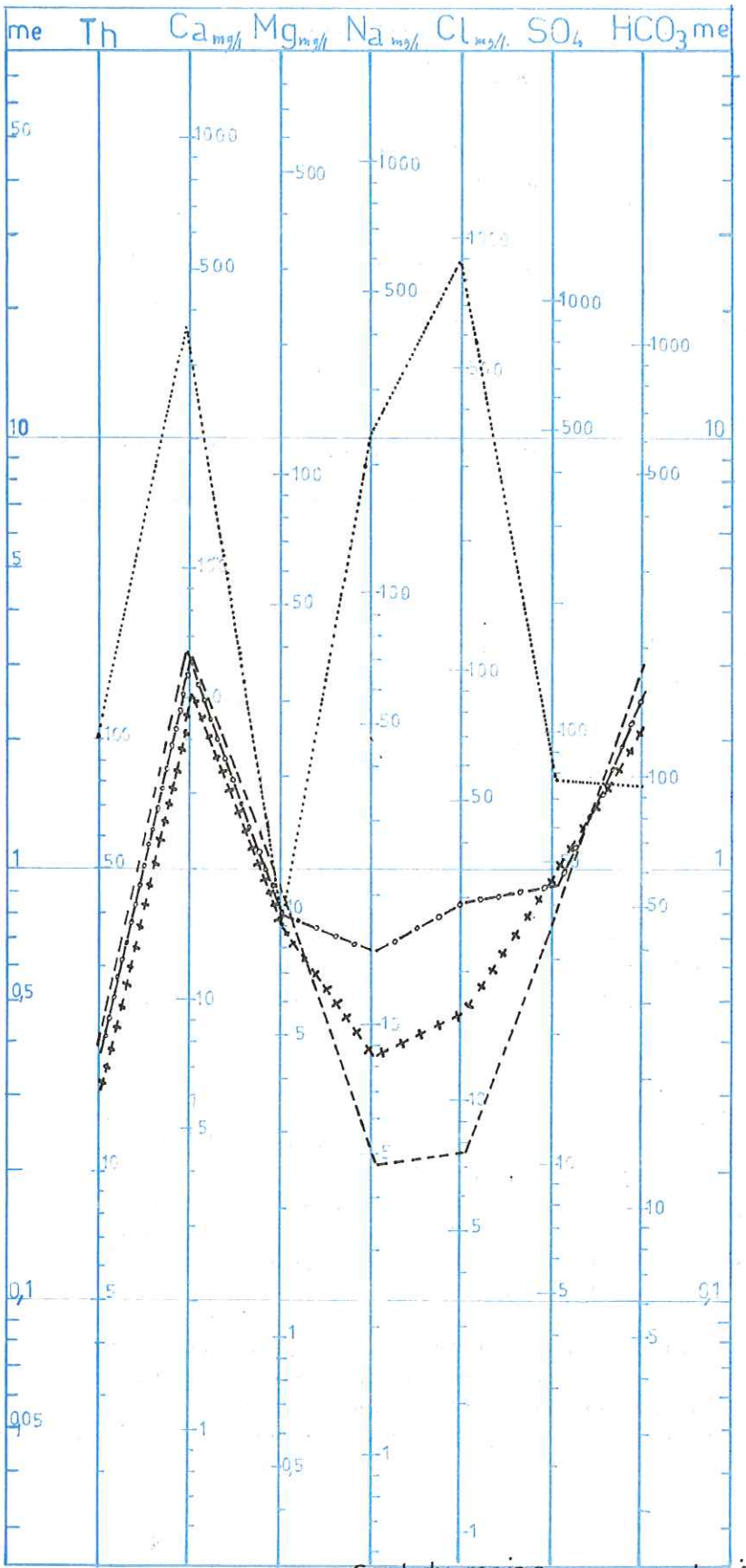


LE DRAC — Décembre 1968 --- Juillet 1969 +++Avril 1970

M.V.

Fig 41

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



- Ruisseau de Bresson : ses eaux sont aussi faiblement minéralisées (2940 ohm/cm) ; il y a peu de sulfates (30 mg/l) et de chlorures (10 mg/l). Le DHT et le TAC sont élevés car cette eau est très riche en bicarbonates de calcium (290 mg/l de CO_3).

- Le Drac : la composition moyenne des eaux du Drac a été étudiée au Pont de Catane ; c'est une eau riche en bicarbonates de calcium mais qui présente des variations dans la teneur en chlorures et en sodium. Le DHT est de l'ordre de 20° à 30°.

- Eaux des sources ayant leur émergence à la base du Plateau de Champagnier ;

Ces eaux sont généralement faiblement minéralisées (2550 ohm/cm) ; elles contiennent très peu de chlorures et de sulfates (8 mg/l) et des bicarbonates en quantité moyenne (150 mg/l).

b - Variations

- Isère : l'examen des diagrammes (voir fig. 36) montre qu'il y a très peu de changements dans la composition chimique moyenne de l'eau de l'Isère dans le temps et selon les saisons ; cependant la concentration de l'eau en sels minéraux augmente peu à peu comme le montrent les résultats de la campagne du 22 avril 1970, effectuée pourtant en hautes eaux. Or, vu le débit de l'Isère (480 m^3/s) la concentration de l'eau devrait être plus faible. Ch. LORY estimait (1867) que le DHT des eaux de l'Isère pouvait varier de 13° en été à 39° en hiver ; cela s'explique par le fait qu'en hautes eaux, l'Isère est alimentée en grande partie par les eaux de fonte des glaciers et qu'au contraire, en basses eaux (mois de novembre, décembre, janvier) la rivière est alimentée par les sources, ruisseaux et ruissellement des parties basses de son bassin versant qui sont constituées par des terrains calcaires plus ou moins riches en éléments pyriteux ou qui contiennent comme en Maurienne des terrains d'âge triasique (présence de gypse). Actuellement le DHT varie de 1 à 2° seulement au cours de l'année. Il faut donc admettre que l'Isère reçoive des apports d'eaux usées industrielles, tels que cela masque les variations saisonnières, fonction elles, du débit de la rivière. Seule la teneur en sulfates est encore sujette à quelques variations mais l'ensemble de la composition chimique donne l'impression d'une grande stabilité.

- Drac : il présente encore d'assez fortes variations qui tendent à s'estomper sous l'effet des rejets industriels.

L'évolution de la composition chimique du Drac ressort nettement du graphique que nous avons établi (fig. 41). Des échantillons ont été prélevés, en une heure, le même jour (22 avril) le long du Drac ; le prélèvement, effectué au niveau du Rondeau, montre une composition nettement différente de tous les autres : très riche en chlorures et sodium et présentant un DHT d'environ 90° ; cette eau est très fortement minéralisée. Ce fait montre l'hétérogénéité de la composition des eaux du Drac en fonction de la position des points de prélèvements.

Selon Ch. LORY, en 1867, le Drac ne contenait que très peu de chlorures 10 à 12 mg/l ; depuis une quinzaine d'années on assiste à une augmentation progressive de cette teneur en chlorures qui passe de 10 mg/l à 1 000 mg/l en certains points mais cette dernière valeur est sujette à de brusques variations et ne se répercute que très peu au niveau du Pont de Catane, situé 3 km en aval. Les prélèvements, en ce point, ne montrent plus que 28 mg/l de chlorures. Cette diminution très rapide n'est pas uniquement le fait d'une dilution car, alors les diagrammes semi-logarithmiques des divers points devraient être parallèles entre eux. Or, on peut remarquer que le graphique "Pont de Catane" est sensiblement parallèle à ceux du "Saut du Moine" et de "Pont-de-Claix" avec seulement une teneur légèrement plus élevée en chlorures et sodium.

Il semblerait donc que l'eau retrouve très rapidement sa composition initiale, mais il se pourrait que les résultats obtenus soient dus au manque d'homogénéisation dans le Drac, le mélange n'étant pas toujours parfait ; il se pourrait ainsi, qu'un prélèvement effectué un peu plus profond dans le cours de la rivière que celui que nous avons fait, fournisse des valeurs assez différentes, les eaux de même composition chimique semblant s'écouler sous forme de "nuages" plus ou moins concentrés.

En résumé, on constate pour les eaux de surface que les deux rivières ont des compositions chimiques assez différentes : l'Isère se caractérise par une eau riche en carbonates et sulfates avec un DHT élevé :
le Drac, lui, est faiblement minéralisé mais des apports importants sous forme de chlorures alcalins, notamment, changent brutalement la composition chimique des eaux.

Quant à l'évolution de cette composition, ce qui est caractéristique, c'est cette stabilisation de leur composition chimique due, en grande partie, à différents rejets industriels ou résiduaires qui ont tendance à estomper les variations saisonnières en maintenant une forte concentration durant toute l'année.

B. - EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE

Le géochimie des eaux de la nappe dépend, d'abord, de son alimentation. Les bassins versants sur lesquels ruissellent l'eau de pluie, les rivières, l'infiltration, les rejets d'eaux industrielles sont autant de facteurs qui conditionnent la composition chimique de ces eaux. Toutefois, au cours de son cheminement souterrain, l'eau s'enrichit ou s'appauvrit en certains éléments, dus à la nature géologique des terrains, ou à la faveur d'inter-réactions entre constituants.

Les données physiques et chimiques obtenues par les différentes analyses, nous permettront de regrouper les échantillons d'eau en familles, correspondant à des zones.

1. - Données physiques

a - La résistivité

Une première idée globale de la minéralisation peut être donnée par l'étude de la résistivité qui est le critère le plus général et tient compte de l'ensemble des ions contenus dans l'eau.

Les campagnes successives de mesures donnent des résultats assez différents. Toutefois, le report sur carte de ces mesures fait apparaître des zones relativement constantes.

- Ce qui est le plus frappant, au premier examen de cet ensemble de cartes, c'est la présence au centre de la plaine de Grenoble (Beauvert, Echirolles, Pont-de-Claix...), selon un axe nord-sud, d'une zone à très faible résistivité (de l'ordre de 200 à 1 000 ohm/cm suivant l'époque des mesures). Mais une observation plus approfondie permet de distinguer dans cette zone, une partie à l'Ouest, la plus importante, où la résistivité varie fortement dans le temps (Echirolles, Pont-de-Claix, Beauvert) et une autre partie, à l'Est (le long de l'avenue J. Perrot) où la résistivité de l'ordre de 1 000 ohm/cm en hautes eaux varie aussi, mais suivant les fluctuations de la nappe.

Nous verrons que ces deux parties correspondent à deux familles bien différentes.

- En amont, dans le quartier des Isles de Champagnier, des Isles de Mars jusqu'au quartier Villancourt, la résistivité est généralement élevée (de 2 500 à 8 000 ohm/cm).

- La zone est de la plaine de Grenoble se caractérise par une assez forte résistivité (2 000 à 3 000 ohm/cm qui décroît à nouveau lorsque l'on va plus à l'Est, en direction de l'Isère.

- Le quartier de l'Ile Verte se distingue par une grande hétérogénéité dans les valeurs, la résistivité restant cependant, assez forte dans l'ensemble.

- La pointe de confluence, manifestement alimentée par le Drac, est une zone à forte résistivité.

Ce critère : résistivité, nous a permis de tracer approximativement des zones, mais il y a rarement coupure nette entre deux zones. Des limites plus précises seront données par les différentes compositions chimiques de l'eau de la nappe.

b - Le DHT

Le DHT mesurant la teneur globale en sels de calcium et de magnésium, est un peu moins variable que la valeur de résistivité sur l'ensemble de la plaine de Grenoble.

Analyse	le 22-4-70	le 8-12-70
Isles de Champagnier Isles de Mars	19 à 28°	16 à 24°
Zone centrale	20 à 90°	20 à 116°
Zone est	≠ 30	≠ 40
Ile Verte	23 à 26°	10 à 38°
Confluence	15 à 35°	15 à 25°

Les mesures extrêmes se trouvent, pour la plus faible dans la zone de "Villancourt" près du Drac et pour la plus élevée dans la zone centrale côté est.

Comme nous le laissait entrevoir l'étude de la résistivité, la zone centrale côté est, est fortement influencée par les sels de calcium et de magnésium alors que l'autre ne l'est pas (le DHT est de l'ordre de 20° à 30°).

Avant même de connaître la composition chimique exacte, on peut dire que la partie est de la zone centrale appartient à une famille riche en sels de calcium et de magnésium ; l'autre partie a donc une composition chimique nettement différente, la résistivité étant identique dans ces deux parties.

La cartographie des mesures du DHT nous montre aussi que, dans la pointe de confluence, on peut distinguer la partie située près de l'Isère à DHT plus élevée, et celle située près du Drac à DHT plus faible. Comme pour la zone centrale, il semble que l'on ait encore deux familles distinctes mais peut-être pas aussi nettes que dans la zone centrale, l'écart entre les valeurs extrêmes étant moins important.

c - Le TAC

Le TAC est une caractéristique relativement plus constante de l'eau puisque liée aux terrains calcaires où l'eau en circulant s'enrichit en carbonates, bicarbonates. Seuls les apports importants de sulfates ou de chlorures peuvent modifier la teneur en calcium en changeant la teneur en CO_2 libre de l'eau ; ce changement entraînera l'augmentation ou la diminution de l'agressivité de l'eau et ainsi pourra modifier son titre alcalimétrique.

Suivant les différentes zones que nous venons de déterminer, la valeur du TAC s'établit comme suit :

Isles de Champagnier	12 à 22°
Zone centrale	10 à 30°
Zone est	35 à 40°
Ile Verte	inf. à 10°
Confluence	20°

La zone Ile Verte a un TAC très faible sauf quelques points où il sera un peu plus fort (fig. n° 46) ce qui correspond bien aux valeurs de la résistivité.

La zone est, avec son TAC assez élevé, sera riche en carbonates, bicarbonates, alors que dans la zone centrale, partie est où le TAC est plus faible, les sels de calcium et de magnésium dont la valeur du DHT exprime la teneur, ne seront pas uniquement associés aux carbonates et bicarbonates.

D'une façon générale, les valeurs du TAC sont assez semblables sur toute l'étendue de la plaine de Grenoble ; seule comme nous l'avons vu, la zone est, située à la base des collines liasiques, a des teneurs relativement élevées.

Fig 42

CARTE D' EQUIRESISTIVITE

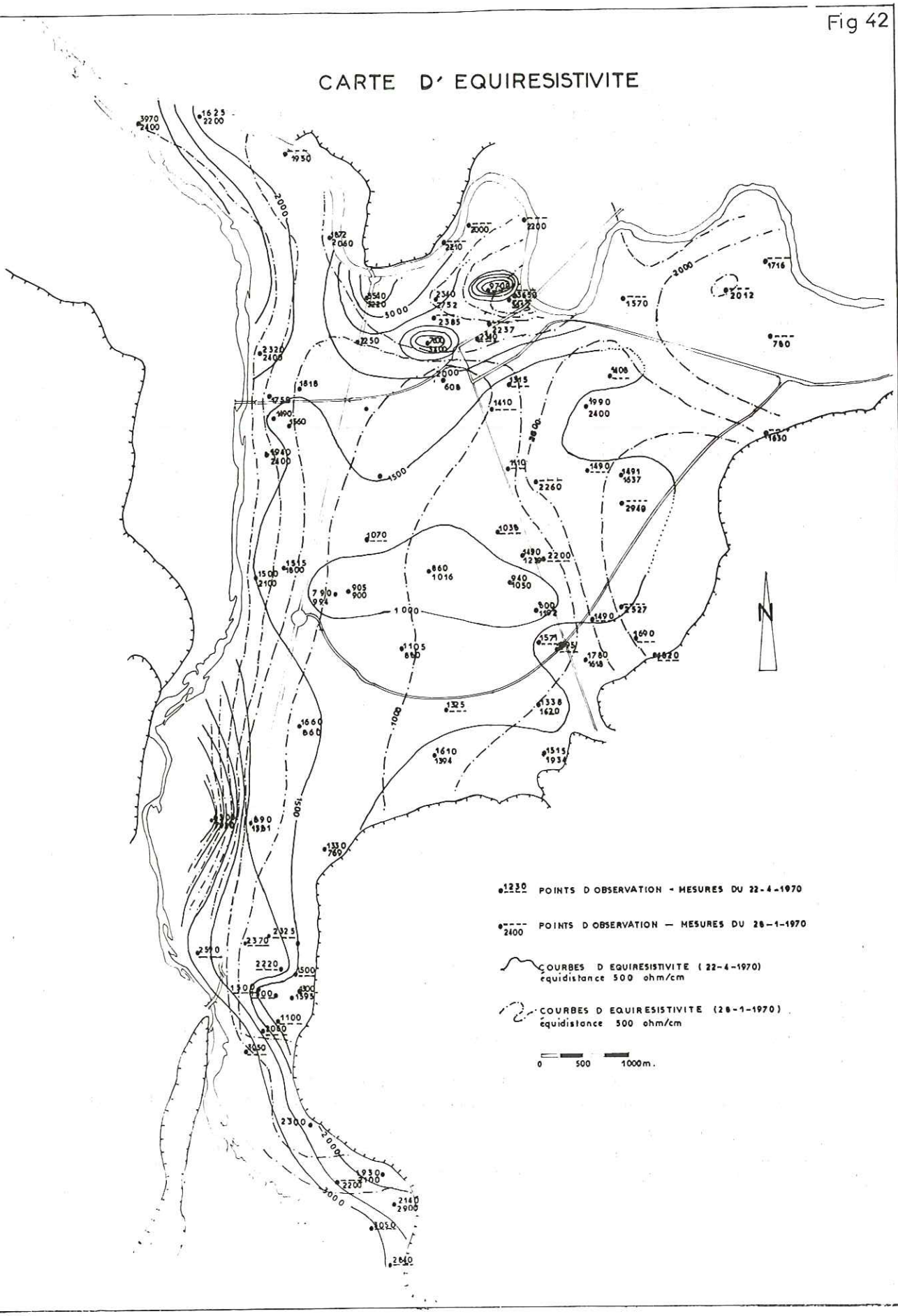


Fig 43

CARTE D'EQUIRESISTIVITE 2 Juillet 1969

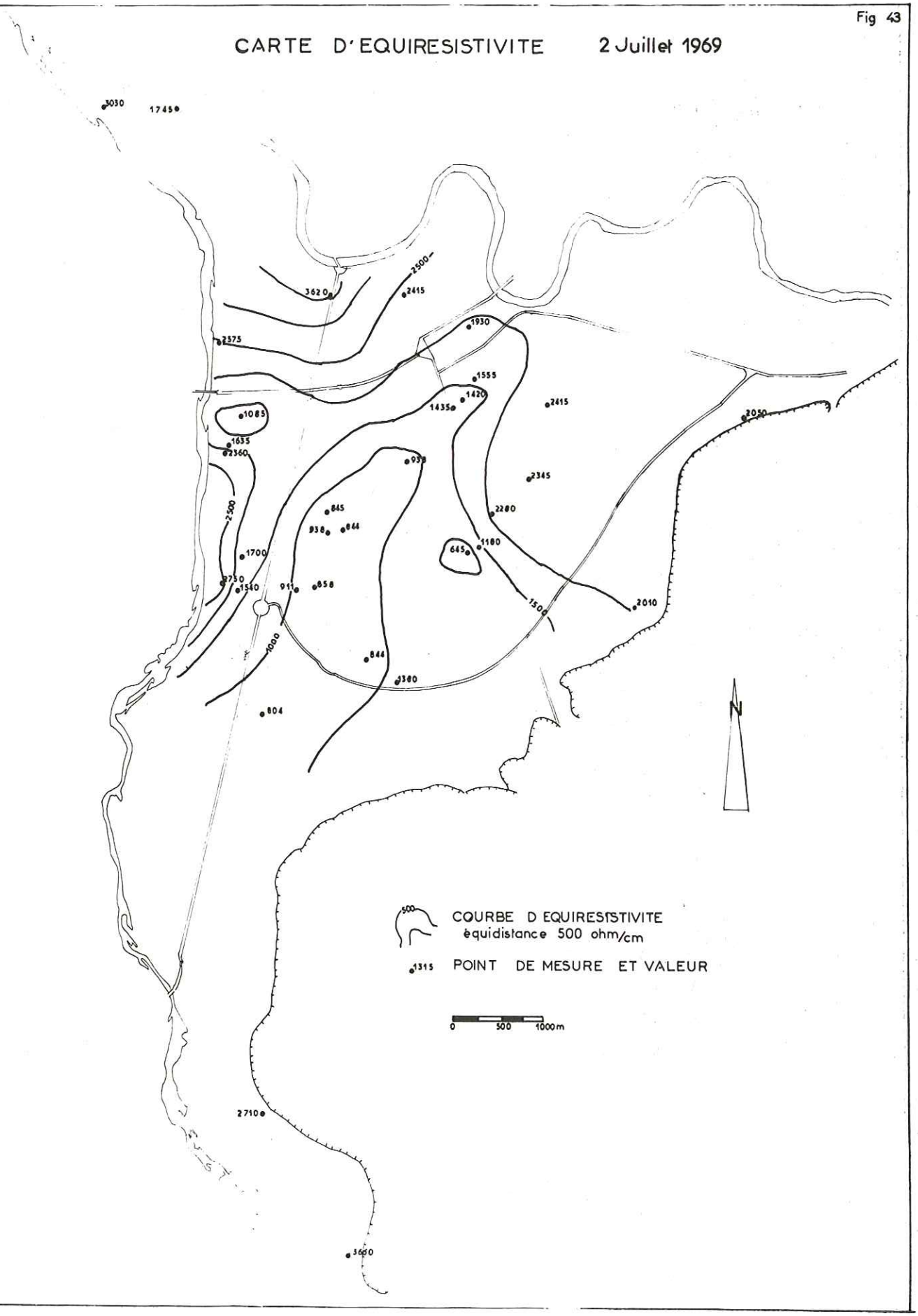


Fig 44

CARTE D'EGAL DEGRE HYDROTIMETRIQUE TOTAL

LE 22-4-70

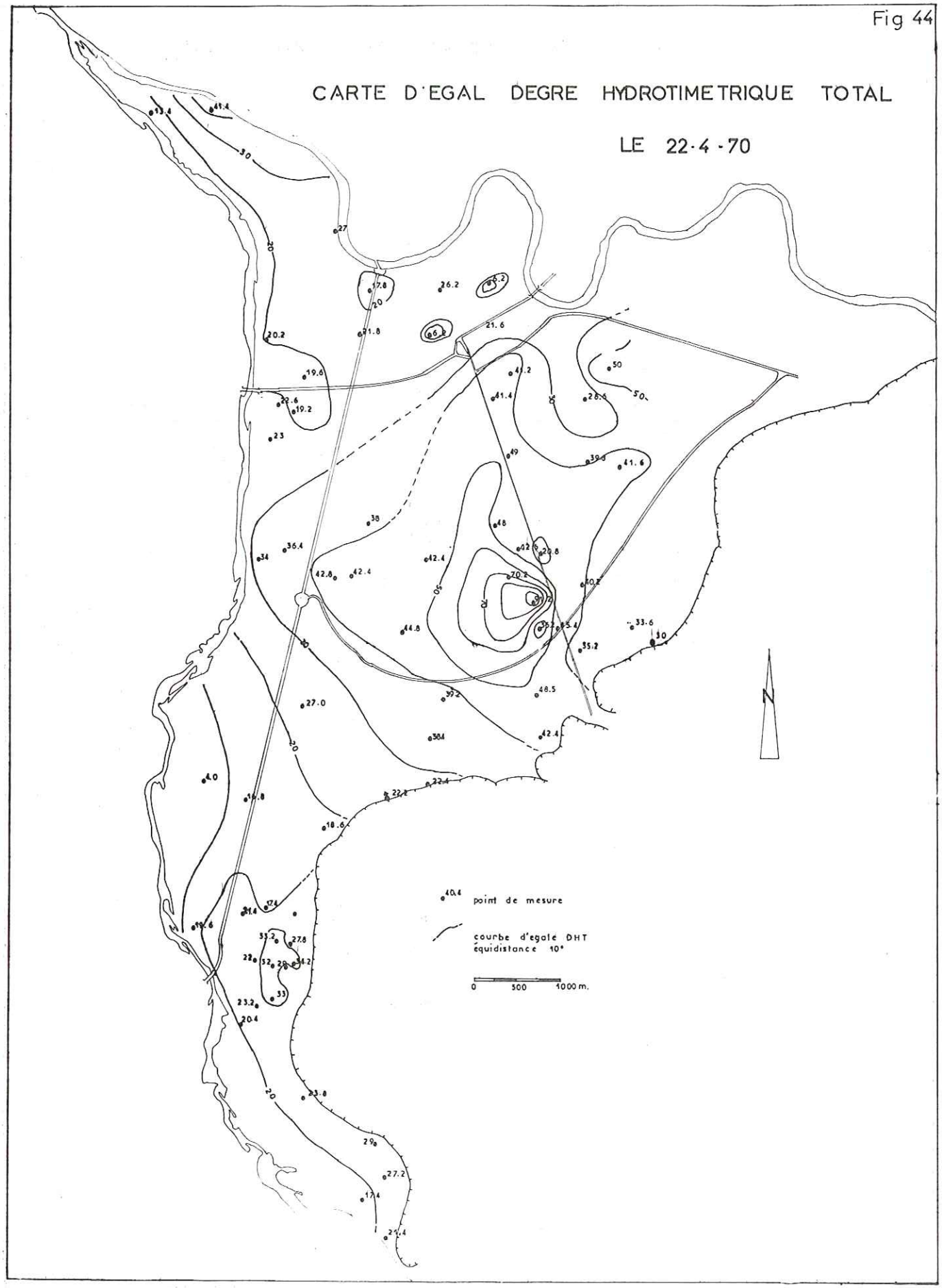


Fig 45

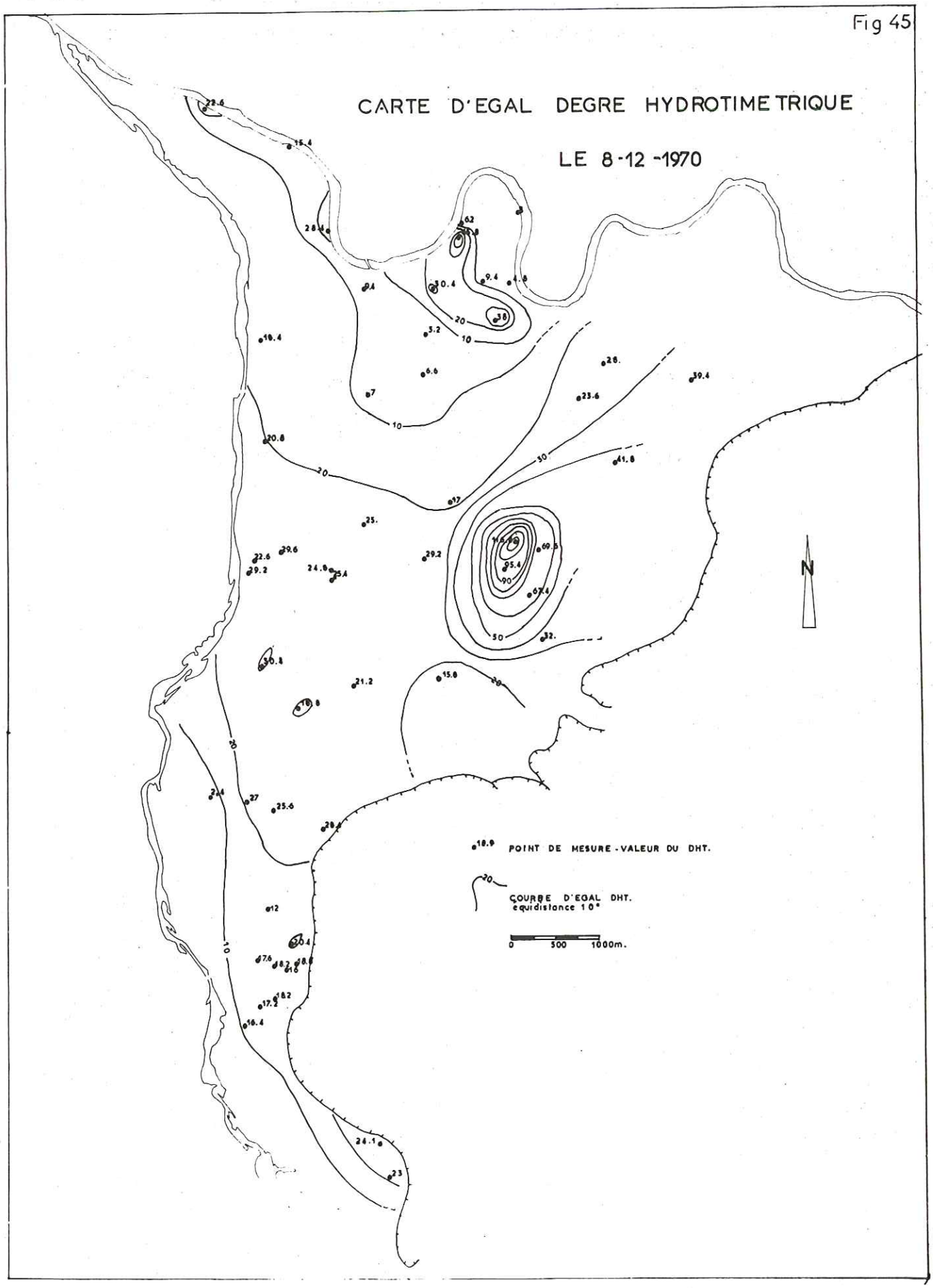

CARTE D'EGAL DEGRE HYDROTIMETRIQUE
LE 8-12-1970
N
POINT DE MESURE - VALEUR DU DHT.
COURBE D'EGAL DHT.
equidistance 10°
0
500
1000m.

Fig 46

CARTE D'EGAL "TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET"

BASSES EAUX

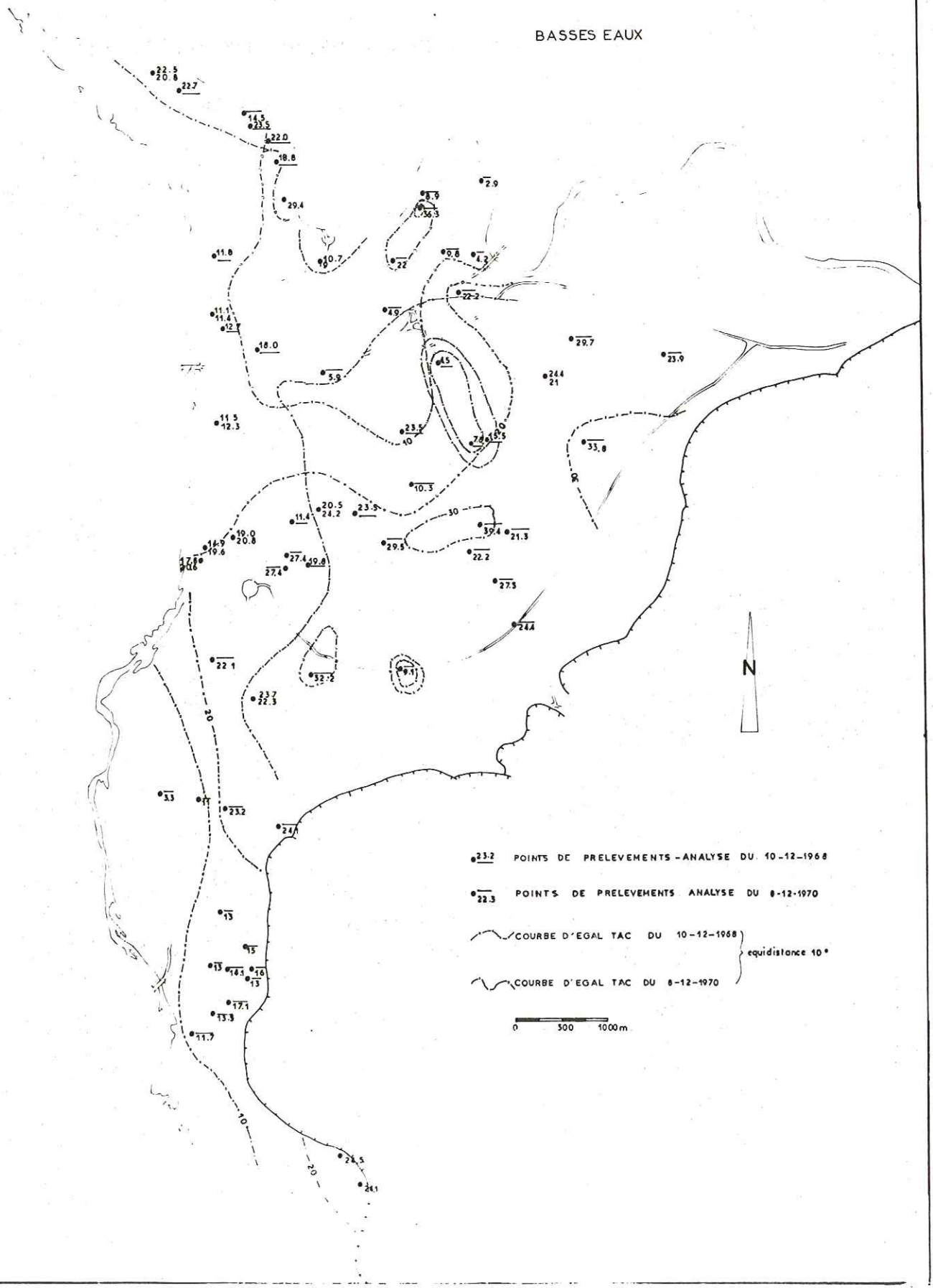


Fig 47

CARTE D EGAL TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET

HAUTES EAUX

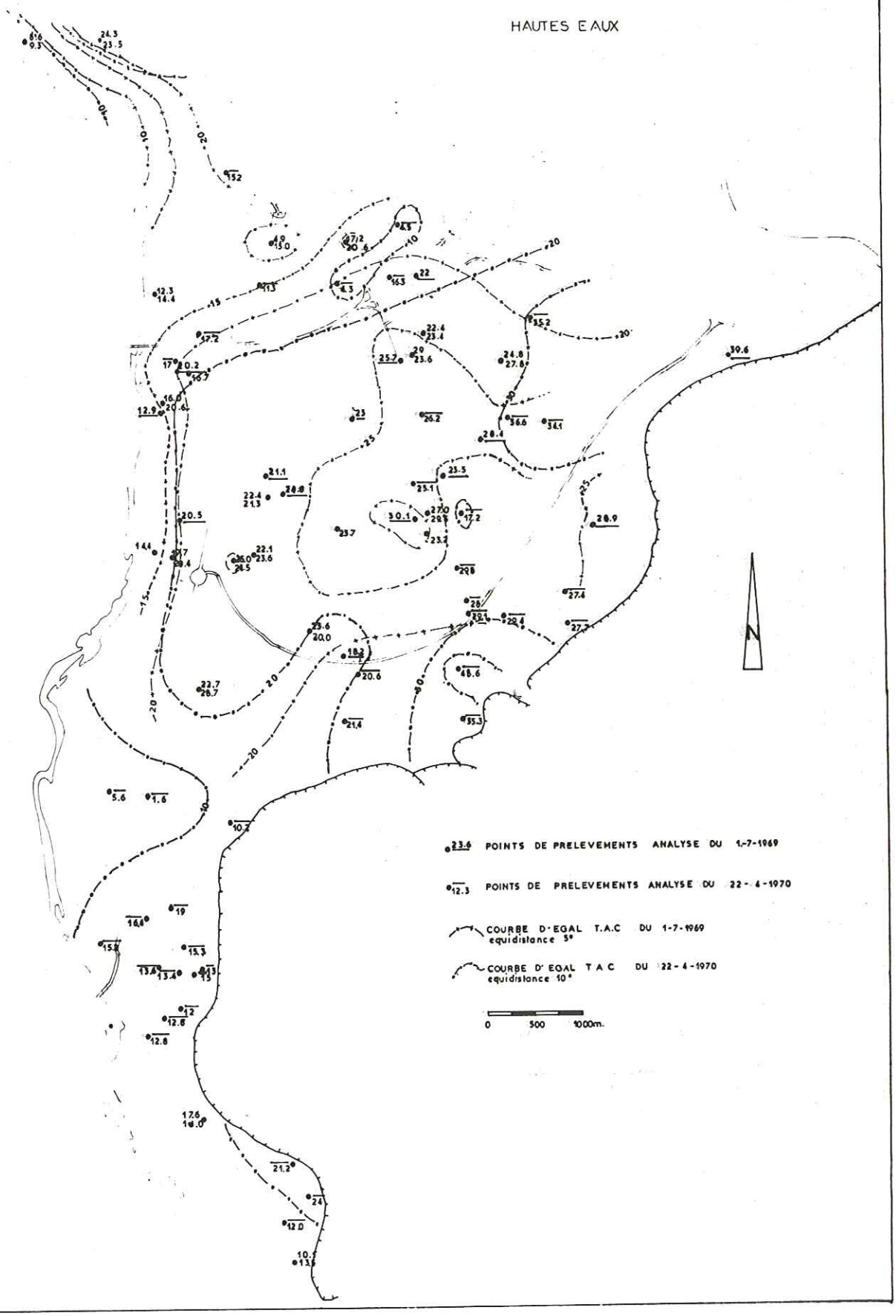
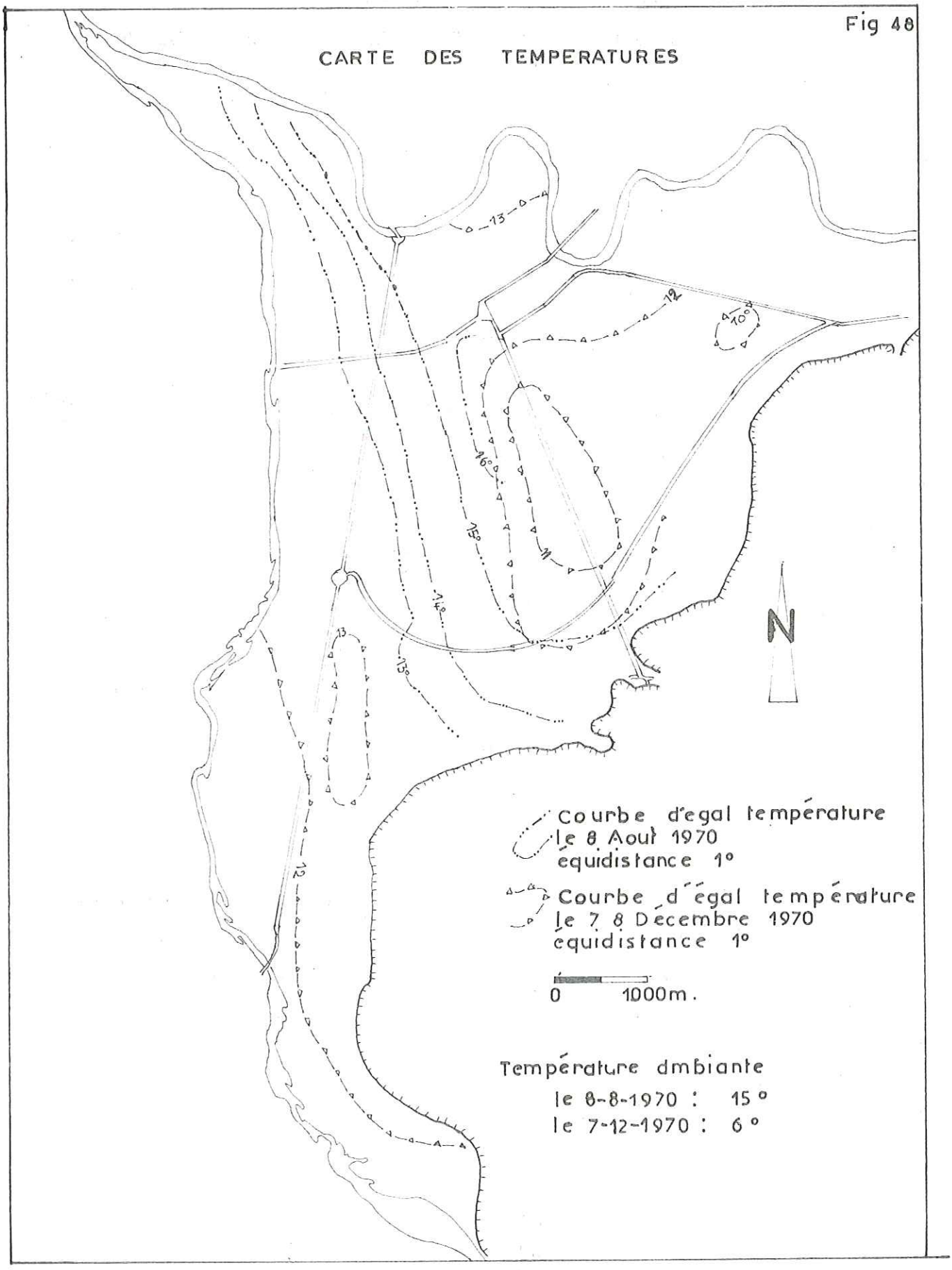


Fig 48

CARTE DES TEMPERATURES



d - La température

La température, d'une façon très générale, est soit très constante et dans ce cas relativement élevée, soit variable suivant les saisons. Dans ce dernier cas, on est obligé de penser à des échanges thermiques eau-air, la surface d'eau libre étant située assez près de la surface du sol.

Dans la plaine de Grenoble, la température de l'eau varie dans de plus ou moins grandes proportions.

Sur la carte (fig. n° 48) nous avons reporté la température de l'eau, le 8 août 1970 (la température ambiante étant de 18 à 22°) et celle du 7, 8 décembre 1970 où la température de l'air était de 5 à 8°.

L'observation de la carte et des variations entre ces deux mesures nous montre que la zone située à l'Ouest d'une ligne partant approximativement du pont Marius Gontard et allant jusqu'à Bresson a une température beaucoup plus constante de 11° à 12°, sauf certains points aberrants, que la zone située à l'Est de cette ligne.

Dans cette "zone est" de cette ligne, il y a des écarts de température beaucoup plus importants de 10° à 15° pour le point 37 et 36 et pour d'autres de 10 à 13°, mais si cet écart n'est pas constant, il est toujours supérieur à 2 ou 3°. Comme nous l'avons vu, d'après l'étude des cartes isopièzes, la proximité de la surface du sol pour les eaux de la nappe peut en être l'origine à moins que ce ne soit dû à un apport d'eau particulier à la nappe.

Fig 49

CARTE DES CATIONS LE 22 4 1970

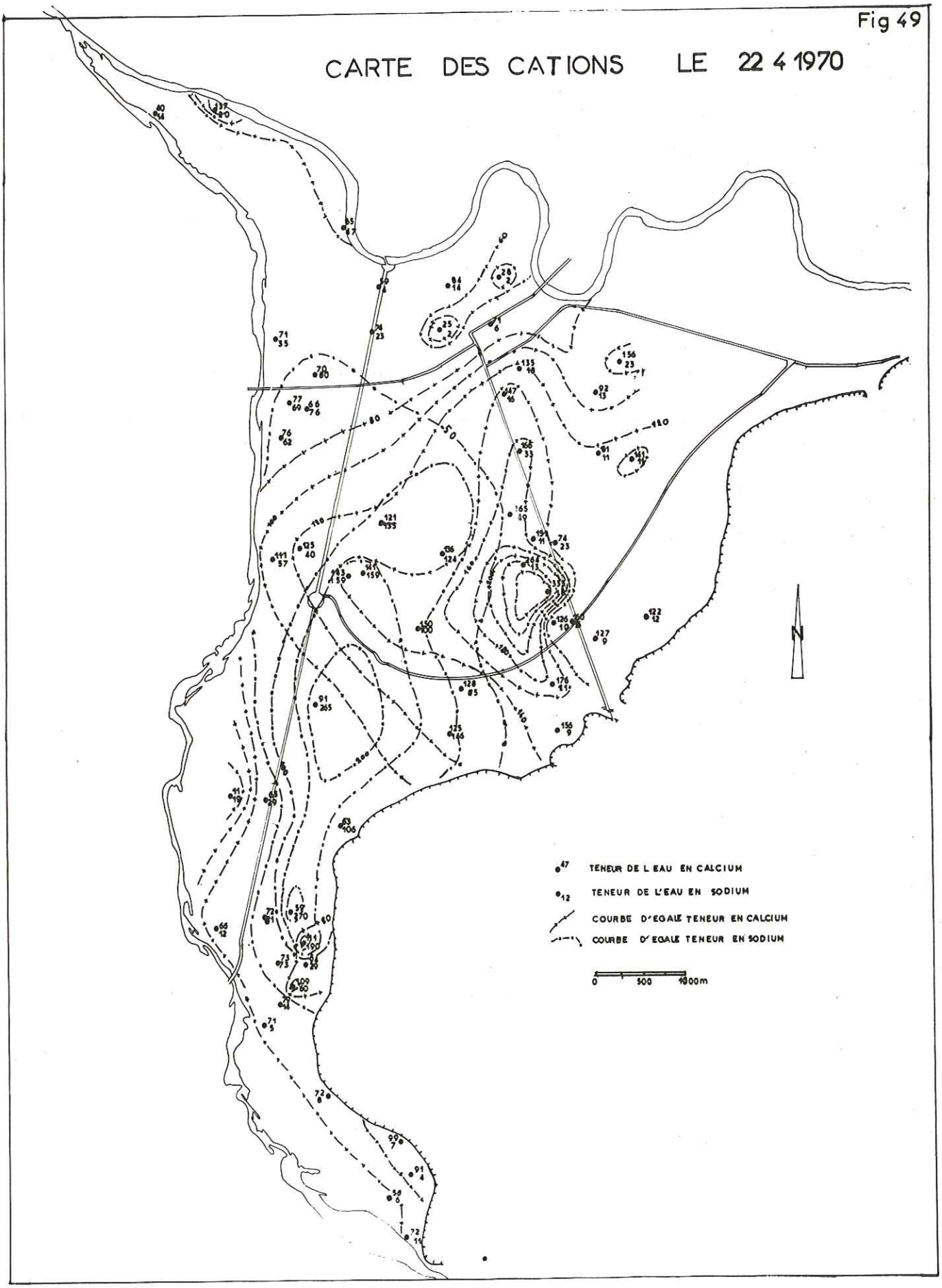


Fig 50

CARTE DES ANIONS LE 22 4 1970

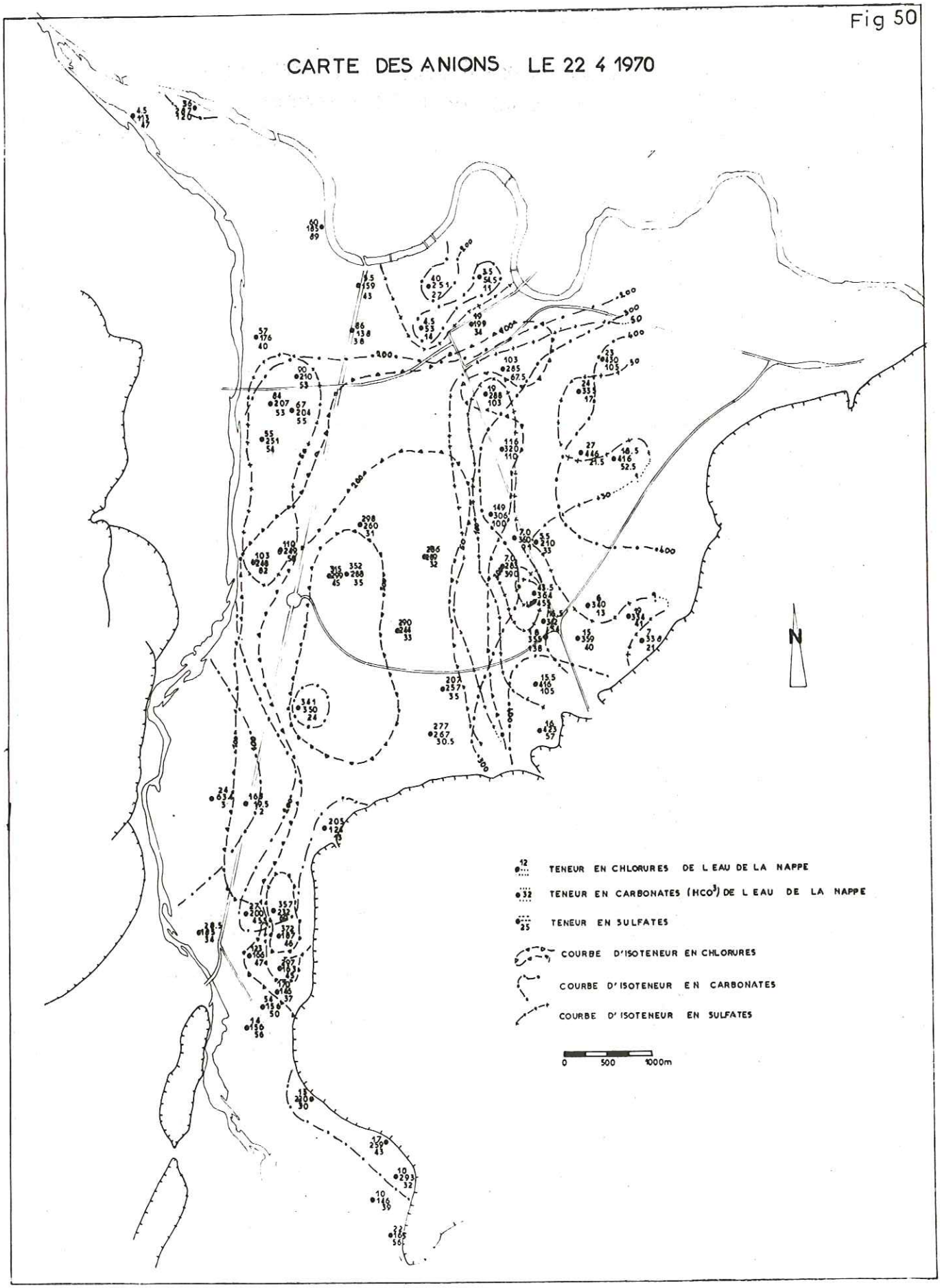


Fig 51

CARTE SCHEMATIQUE DES TENEURS EN CALCIUM ET EN SODIUM

Le 8 Décembre 1970

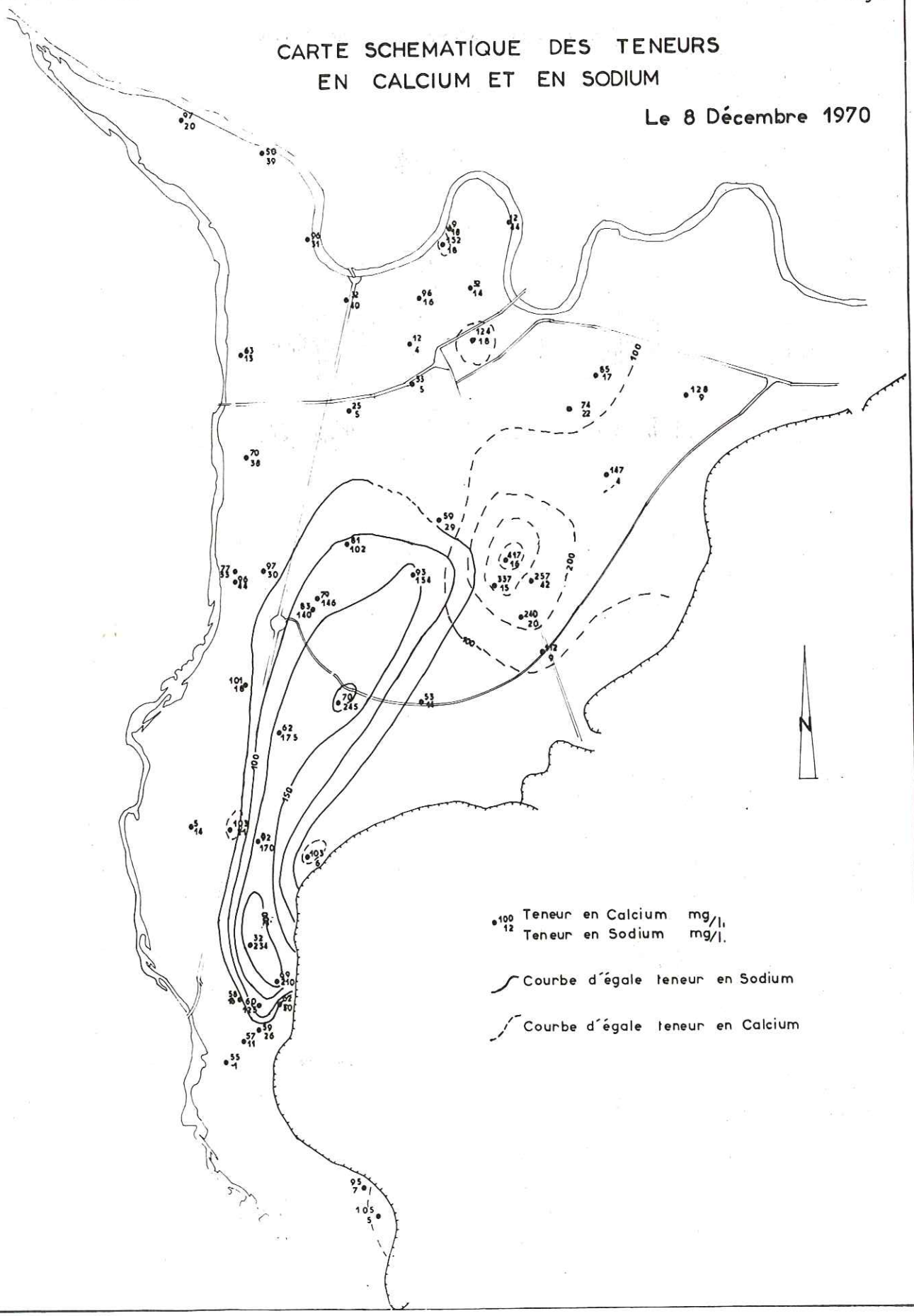
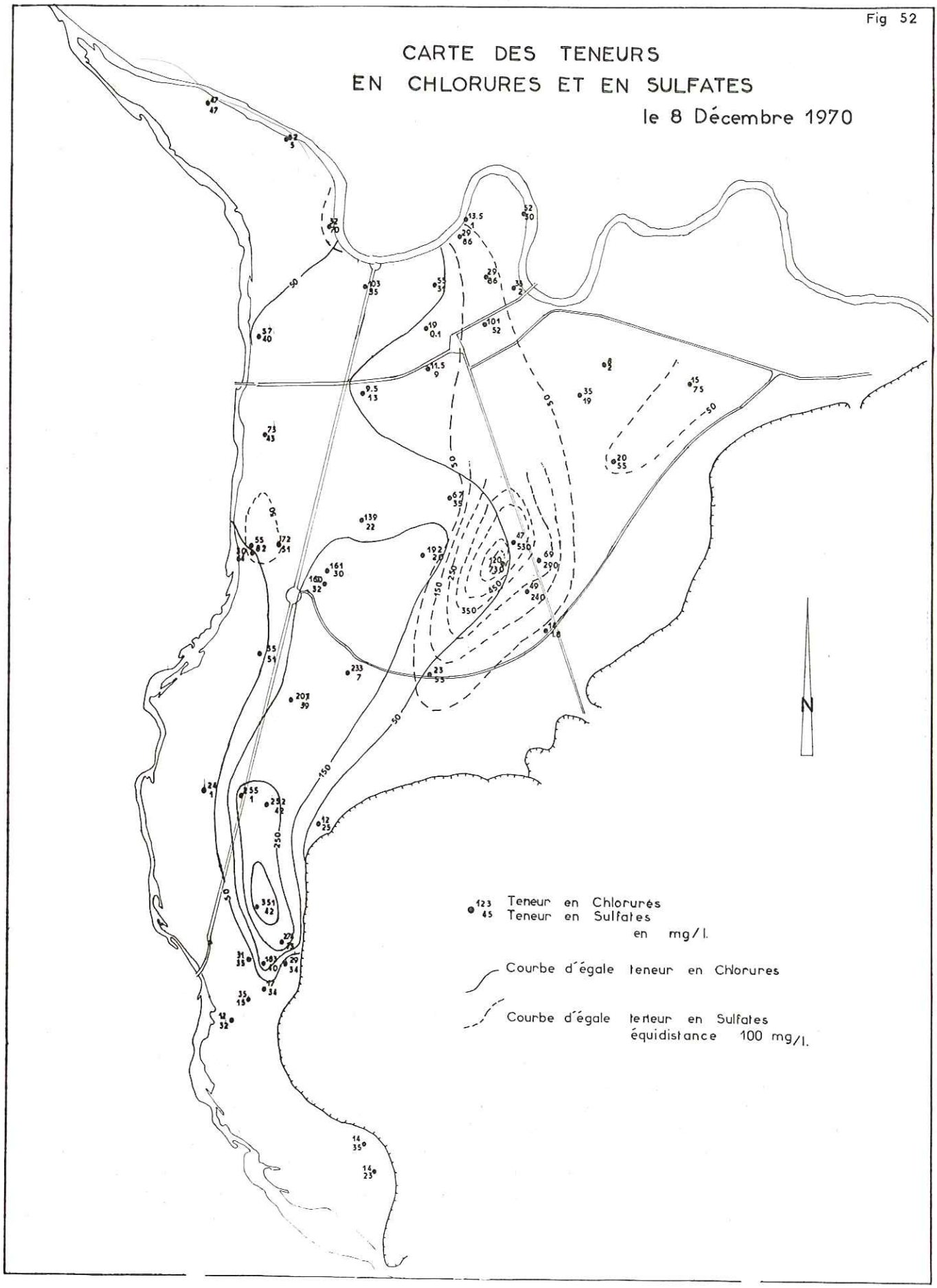


Fig 52

CARTE DES TENEURS EN CHLORURES ET EN SULFATES

le 8 Décembre 1970



2. - Description chimique des différentes familles

Une famille d'eau sera caractérisée par les rapports de quantité entre les différents éléments, plutôt que par la concentration de l'eau en ions. Afin de pouvoir comparer plus facilement ces familles, on établira les rapports suivants :

$$r1 = \frac{r\,CO_3}{r\,Cl + r\,SO_4}$$

$$r2 = \frac{r\,SO4}{r\,Cl}$$

$$r3 = \frac{r\,Mg + r\,Ca}{r\,Na + r\,K}$$

r signifie que la teneur est exprimée en mg/l (le milliéquivalent étant égal au quotient de la masse atomique de l'ion considéré par sa valence ; ainsi, si l'on a xmg/l de chlorures on divise x mg/l par le rapport de masse atomique sur valence de l'élément chlorure ; on obtient le poids en milliéquivalent par litre). Dans le même but que l'établissement de ces rapports, nous avons tracé des diagrammes semilogarithmiques pour chaque famille.

Nous allons décrire maintenant ces familles, leur situation géographique ayant été déterminée autant que cela était possible par l'étude de la résistivité, du DHT et du TAC.

- Zone des Isles de Champagnier et des Isles de Mars

Cette zone, faiblement minéralisée, a une eau dont la teneur moyenne en CO_3 combiné est de 150 mg/l à 200 mg/l. Les chlorures sont en dose très faible et généralement inférieure à 20 mg/l. La teneur en sulfates est plus variable (de 30 à 50 mg/l) mais certains échantillons d'eau n'en contiennent presque pas, leur teneur est inférieure à 20 mg/l.

La teneur en calcium est très constante et de l'ordre de 60 mg/l alors que celle du magnésium varie suivant les points.

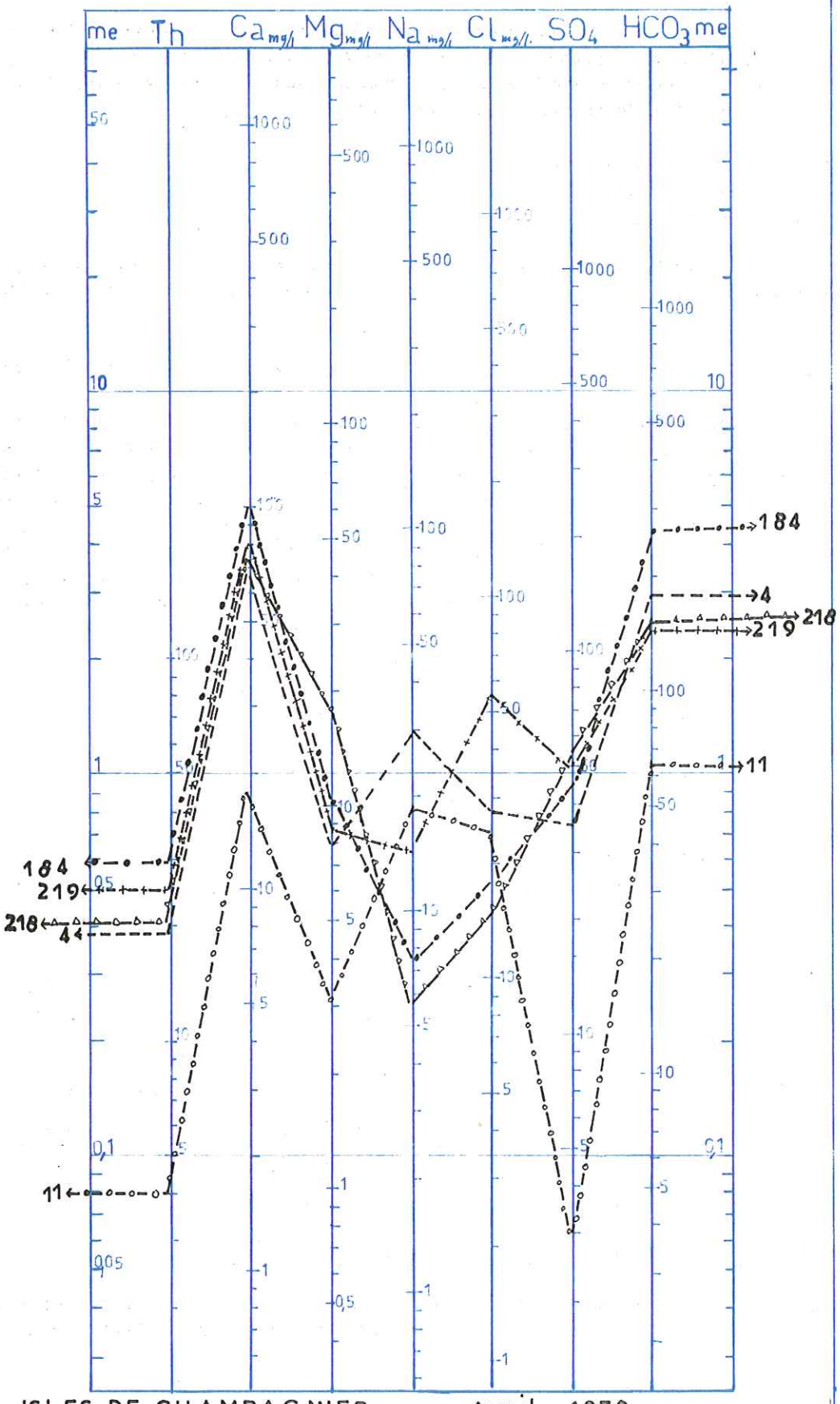
	r1	r2	r3
182	3,16	1,2	13,6
184	3,07	2,1	4,6
204	2,1	2,9	11,5
4	2,02	0,8	7,2
11	1,42	0,009	0,92
218	1,6	2,9	19,5
219	0,98	0,68	6,5
187	1,6	1,8	8,5

Ces rapports et les diagrammes correspondant aux mêmes points de prélèvement montrent que la composition chimique de cette zone est assez hétérogène.

Ainsi le r1 varie de 3,1 à 0,98 pour les points tels que les forages 181 et 184, situés à la base des collines formant le plateau de Champagnier, et les puits 218, 219, 187 situés beaucoup plus près du Drac. Très près, on a donc une teneur assez élevée en r CO_3 qui diminue lorsque l'on se rapproche du Drac. Les apports d'eau à la nappe à partir des collines provoqueraient une augmentation de la teneur en carbonates. La diminution que l'on observe en se dirigeant vers le Drac, correspondrait, hormis le fait d'une précipitation toujours possible des carbonates dans les terrains, à un mélange des eaux ; en effet, ici, la nappe est fortement alimentée par le Drac lui-même et par la nappe amont du Drac.

Fig 53

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



ISLES DE CHAMPAGNIER Avril 1970

M.V.

Le rapport r2, lui aussi, nous permet de distinguer deux types d'eau, l'un dont le r2 est supérieur à 1, donc plus riche en sulfates qu'en chlorures, et l'autre dont le r2 est inférieur à 1, donc moins riche en sulfates.

Les points 4, II, 219 où r2 est inférieur à 1 sont situés très près des usines chimiques ; on assiste alors, à une augmentation locale de la teneur en chlorures depuis ces dernières années.

Pour le point 219, on note l'évolution suivante : en chlorures ;

juillet 1969 : 30 mg/l
avril 1970 : 50 mg/l

Pour les autres points de prélèvement, la teneur en sulfates n'est que légèrement supérieure à la teneur en chlorures, et nous donne une idée de ce que peut être la composition chimique moyenne de l'eau de la nappe du Drac.

Le r3 présente les mêmes variations que le r1, mais il diminue pour les points situés à proximité des usines chimiques car la teneur en r Na est liée à celle de r Cl.

Une remarque est à faire pour le point II que nous avions mis dans cette zone, dans le quartier du Canton à Pont-de-Claix ; ce point avait, en effet, une très faible minéralisation (résistivité : 8 000 ohm/cm), mais le r2 est de 0,009 ; c'est donc que la teneur en chlorures, bien que très faible, est en proportion nettement plus élevée que celle que l'on a observée sur cette zone. Nous verrons que le diagramme de ce point II est parallèle à ceux de la zone centrale. La limite de cette zone doit être, d'après cela, reportée plus en amont.

Dans le secteur des Isles de Champagnier et des Isles de Mars, les eaux sont donc à l'origine bicarbonatées calciques et assez faiblement minéralisées ; mais des différences nombreuses s'observent dans la teneur des divers éléments caractéristiques qui montrent l'existence d'un certain mélange des eaux dû aux apports depuis les flancs du plateau de Champagnier, ou aux apports depuis le Drac superficiel et la nappe à l'amont du Drac, sans oublier les rejets d'eaux industrielles.

- Zone centrale

Comme nous le laissait entrevoir le DHT et la résistivité, on peut distinguer deux sous-zones :

- sous-zone A côté ouest DHT inférieur à 30
- sous-zone B côté est DHT supérieur à 35.

a) Sous-zone A

L'étude des teneurs, des diagrammes et rapports montre que ces eaux sont caractérisées par une teneur en chlorures relativement élevée et variable dans le temps.

Pour le point 21 on a : 600 mg/l en 1968 (décembre)
342 mg/l en 1970 (avril)

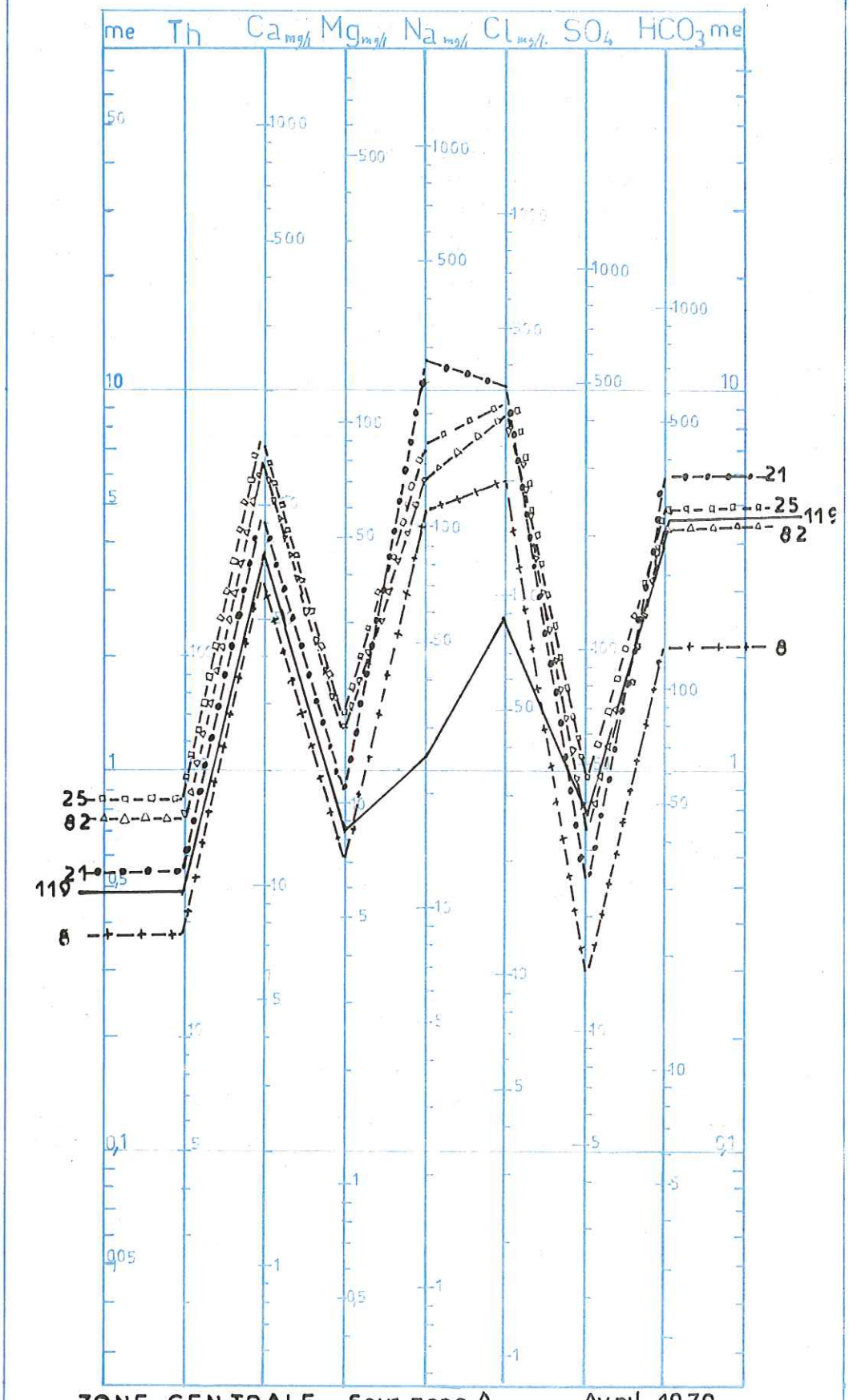
Rapports établis d'après les analyses du 22-4-1970

	r1	r2	r3	Cl mg/l
8	0,33	0,04	0,8	205
21	0,5	0,05	0,4	342
82	0,45	0,07	1,2	298

Ces rapports ont été établis à partir des prélèvements effectués sur une ligne de courant partant de la zone industrielle de Pont-de-Claix et en allant vers la rue des Alliés. Ces rapports sont bien groupés et le r2 est bien inférieur

Fig54

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



ZONE CENTRALE Sous zone A Avril 1970

M.V.

à 1 montrant ainsi l'importance de la teneur en ion chlorure. Le rapport r1 inférieur aussi à 1 montre, comme l'indiquait la valeur du TAC, que la teneur en carbonates est faible (de 150 à 350 mg/l) par rapport à celle des chlorures qui prédominent.

La teneur en sulfates très inférieure à celle des chlorures reste cependant élevée un peu plus que dans la composition moyenne des eaux de la nappe du Drac (10 à 20 mg/l), ceci dû, sans doute, à l'augmentation de la solubilité des sulfates lorsque l'on a une teneur en chlorures assez forte.

Le cœfficient r3 présente des variations analogues suivant le sens d'écoulement général de la nappe, mais la diminution de la teneur en sodium se fait plus rapidement que pour les chlorures auxquels il est lié, et parallèlement à cette diminution, la teneur en calcium augmente sensiblement.

Etant donné que la composition chimique d'une eau doit être équilibrée, les variations calcium-sodium doivent se compenser. Pour cela on peut penser soit à une augmentation de l'agressivité de l'eau due à la présence des chlorures, soit à un échange de base.

Ce changement de l'agressivité de l'eau entraînerait l'attaque des galets et graviers calcaires contenus dans les dépôts de la plaine de Grenoble, mais cette augmentation de la teneur en calcium devrait alors s'accompagner d'une augmentation de la teneur en carbonates que l'on ne constate pas de façon certaine.

Si, au contraire, on explique ces variations des teneurs en calcium par un échange de base, celui-ci se ferait par simple permutation d'un ion calcium pour deux ions sodium dans les terrains traversés.

Rapports établis d'après les analyses du 22-4-1970

	r1	r2	r3
30	0,88	0,6	2,6
89	1,5	0,70	1,3
94	0,9	0,4	1,4
III	1,1	0,59	2,6

Les valeurs de ces différents rapports, situées sur un axe le long du Drac et parallèlement à lui, sont assez groupées le r2 est presque égal à l'unité car la teneur en chlorures diminue par rapport aux valeurs précédentes.

Les diagrammes de ces points comme de ceux situés sur l'axe central (8, 21, 82) sont assez comparables, seules des variantes s'observent pour les lignes Cl et Na car les teneurs de ces éléments sont nettement plus faibles ici que sur l'axe central. Lors de l'étude des eaux de surface, nous avions noté la présence de chlorures alcalins dans les eaux du Drac et très rapidement une baisse sensible était observée pour les échantillons d'eau pris quelques kilomètres en aval sur le cours du Drac.

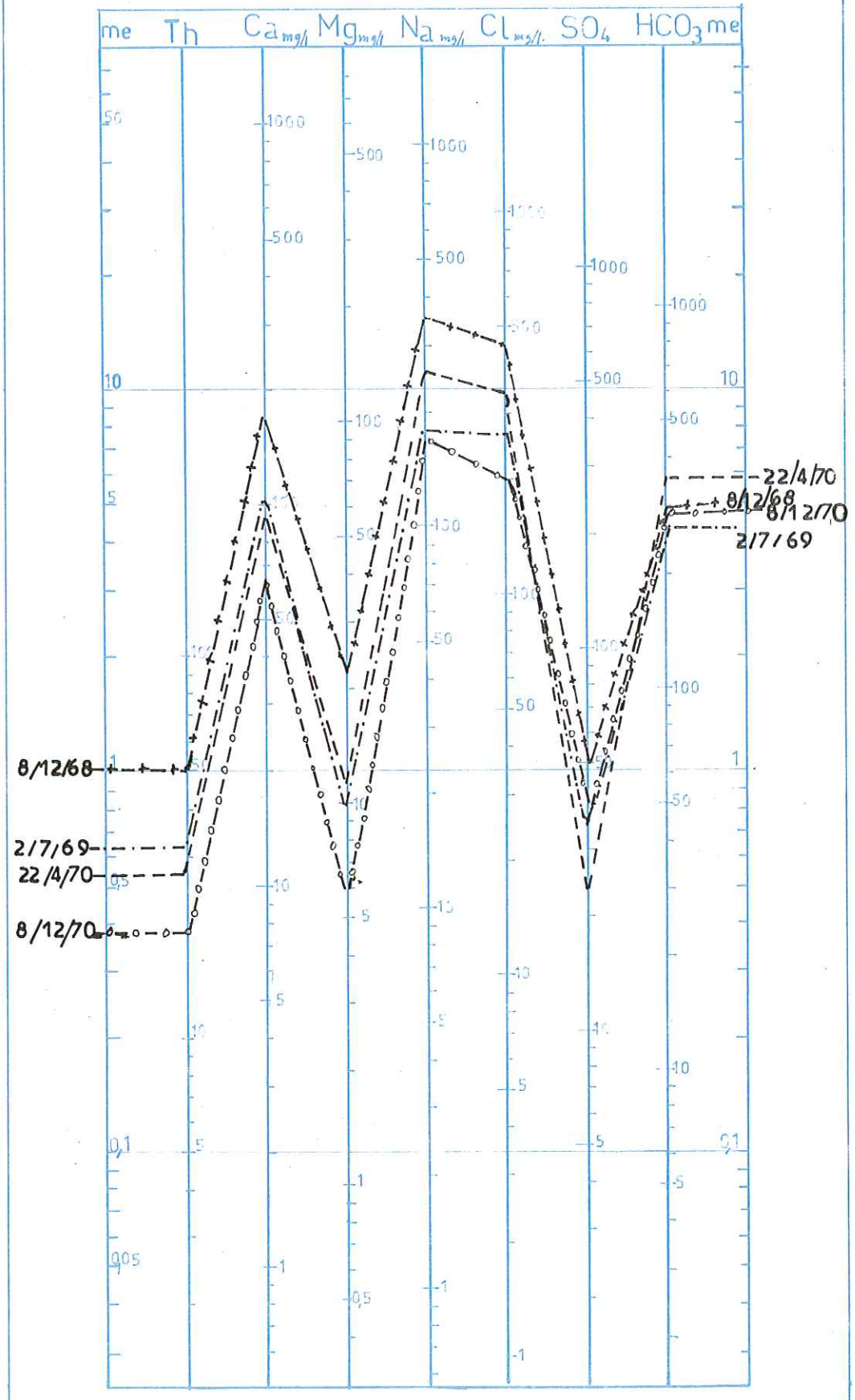
En effectuant des coupes hydrochimiques transversales par rapport à l'écoulement général de la nappe, nous avons essayé de savoir si l'origine des chlorures que contiennent les eaux de la nappe est liée aux eaux du Drac qui alimentent la nappe sur tout son parcours, depuis Pont-de-Claix.

S'il y avait apport à partir du Drac, les différents points situés le long du Drac, où ont été prélevés les échantillons d'eau pour analyse, devraient avoir des eaux riches en chlorures mais avec des teneurs très légèrement plus faibles que celles observées dans le Drac, cette diminution étant la conséquence du passage de l'eau dans les terrains s'accompagnant d'une légère filtration. Or, d'après ces coupes on note une baisse très sensible de la teneur en chlorures pour les eaux situées en bordure du Drac alors que pour les points situés plus au centre la teneur est nettement plus élevée.

Les chlorures proviennent non du Drac mais de rejets dans la nappe et il est même difficile de dire si les teneurs de 60 mg/l que contiennent les échantillons d'eau pris le long du Drac sont dues au Drac lui-même, ou bien au mélange des eaux sur les bords de la zone enrichie en chlorures.

Fig 55

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



EVOLUTION POINT 21

M.T.

Fig56

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

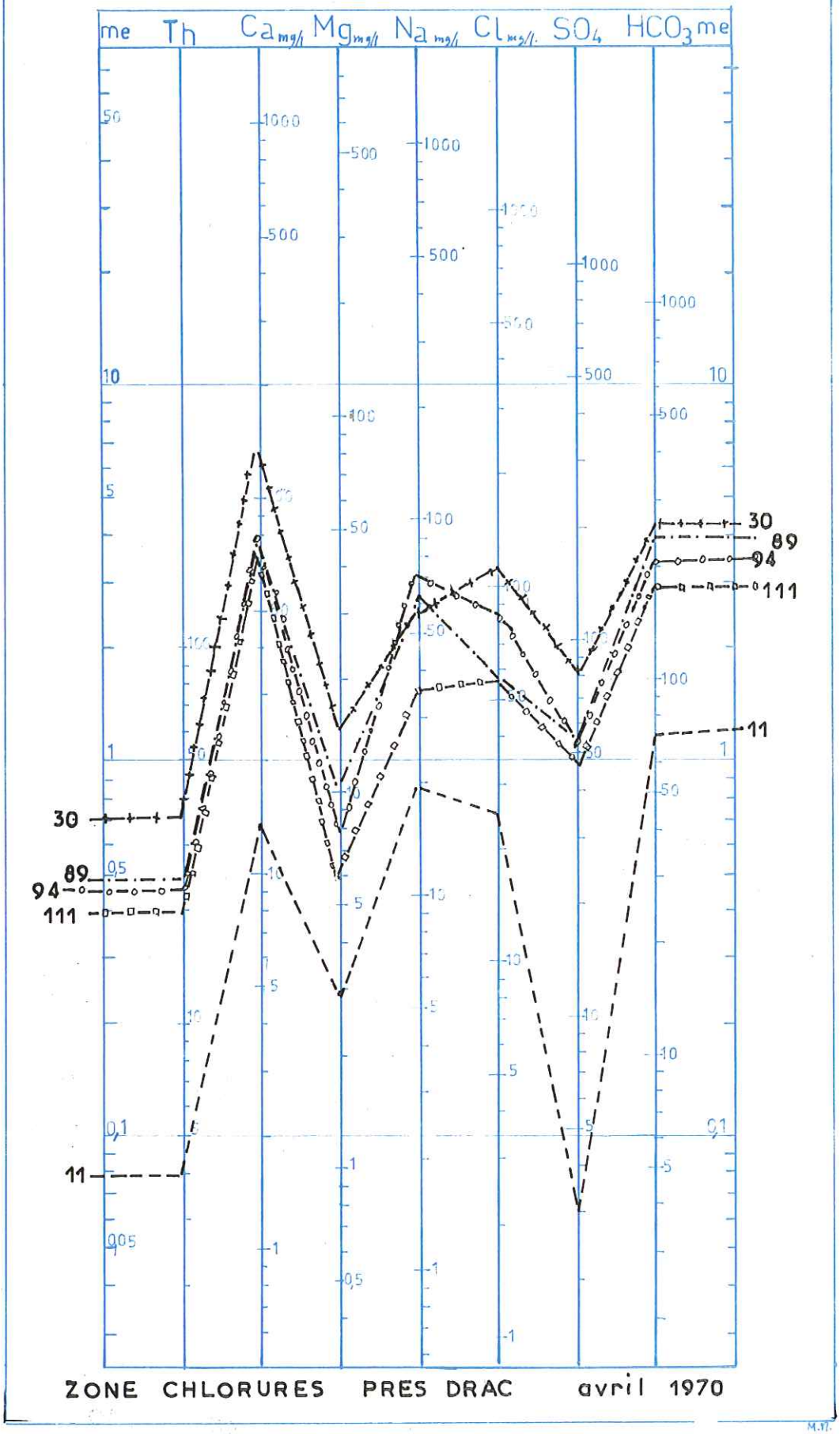
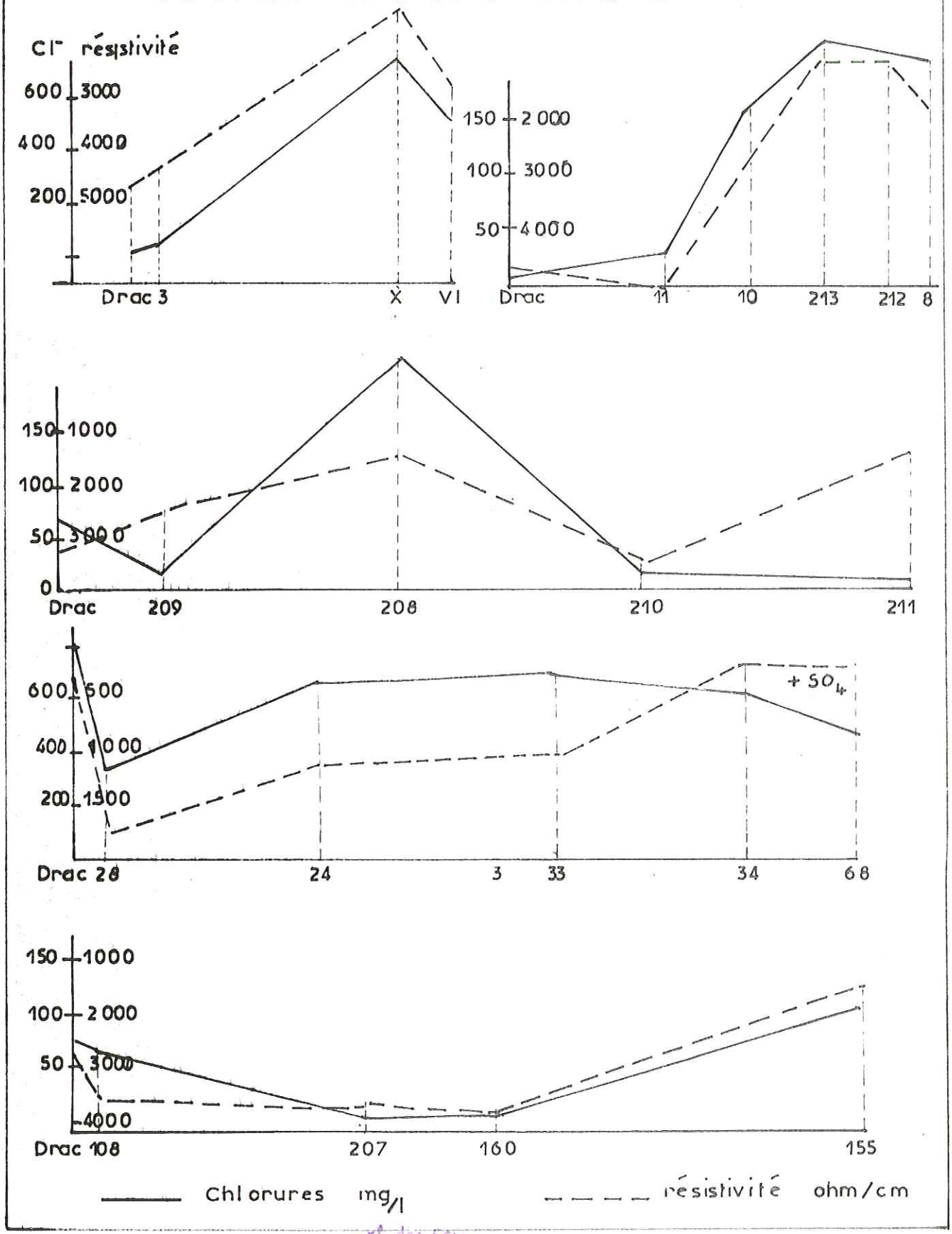


Fig 57

COUPES HYDROCHIMIQUES



FACULTÉ des SCIENCES
LABORATOIRE de GÉOLOGIE de GRENOBLE

050 031279 0

Une autre remarque est à faire quant à la constance de ces chlorures. Ces variations dans la teneur que l'on observe sont fonction du débit de la nappe en plus de la valeur des rejets. Ainsi, si la nappe est basse, un même apport se traduira par une plus forte concentration en chlorures de l'eau de la nappe alors qu'en hautes eaux, cette concentration sera plus faible.

Pour le point 10, en avril 1970 on a 163 mg/l
en décembre 1970 on a 255 mg/l.

La présence de ces chlorures dans la nappe nous permet de déterminer le cheminement de l'eau dans le sous-sol en suivant leur progression car ils jouent un véritable rôle de traceurs.

Les différentes cartes d'équirésistivité et d'égale teneur en chlorures font ressortir un chenal d'écoulement central assez marqué, limité de façon assez nette à l'Est. Il présente une courbure se dirigeant vers la pointe de confluence Isère - Drac.

Cette limite à l'Est se traduit par des différences nettes entre les eaux prélevées à quelques dizaines de mètres les unes des autres.

Ainsi un échantillon prélevé dans le piézomètre 33 donne :
en avril 1970 286 mg/l de Cl^-
en décembre 1970 192 mg/l de Cl^-
tandis que sur le puits 36 on a :
en avril 1970 7 mg/l de Cl^-
en décembre 1970 47 mg/l

Il semble donc, ici, que le mélange des eaux se fasse mal et que bien que le sens d'écoulement soit le même, les chlorures restent bien dans ce chenal central qui doit être plus marqué que ne le montre la forme du toit de la nappe donnée par les cartes isopièzes.

On pourrait penser que, dans ce chenal où circulent les eaux chargées en chlorures, si l'on a, en surface, des eaux riches en chlorures on devrait trouver en profondeur, du fait de la faible perméabilité des terrains dans le sens vertical, de l'eau de meilleure qualité.

En fait, tant que les teneurs sont faibles, cette amélioration se produit en profondeur :
sur le puits 82, il y a une dizaine d'années :

	nappe à 3 m	nappe à 12 m
DHT	44,6	14,8
TAC	20,5°	11,4°
CO_3	250 mg/l	139 mg/l
Cl	200	5
SO_4	30	32
Ca	136	46
Mg	26	8,3
Na	65	3,2
K	2,5	0,8

mais actuellement dans des zones uniquement composées de graviers où les teneurs en chlorures sont relativement fortes, cette amélioration est très peu marquée et l'on a :

à 12 mètres 60 mg/l de chlorures
à 30 mètres 52 mg/l

ceci sur le puits 88 en octobre 1969.

Fig 58

EVOLUTION DE LA TENEUR EN CHLORURES DE LA NAPPE

Point 88

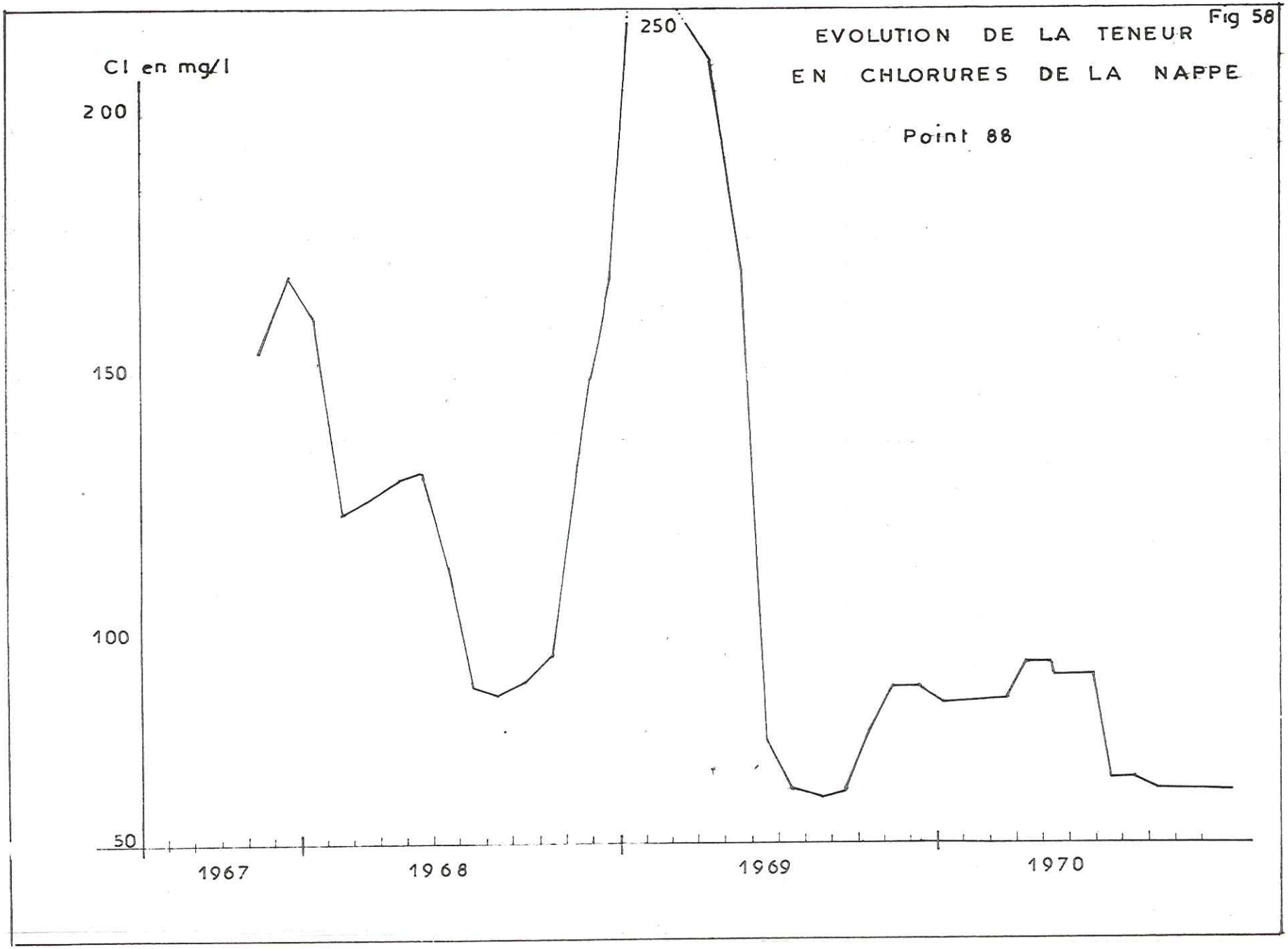


Fig 5

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

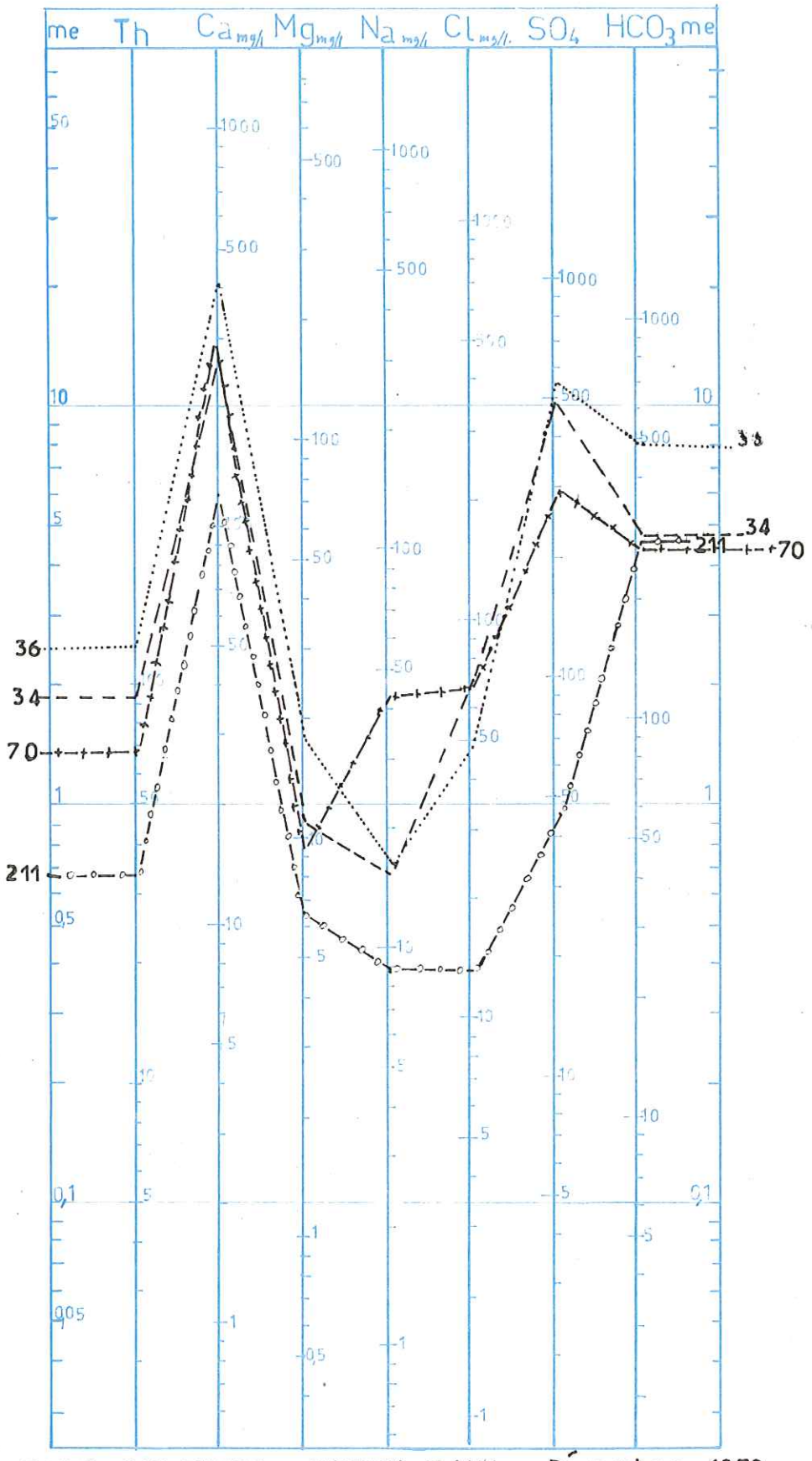
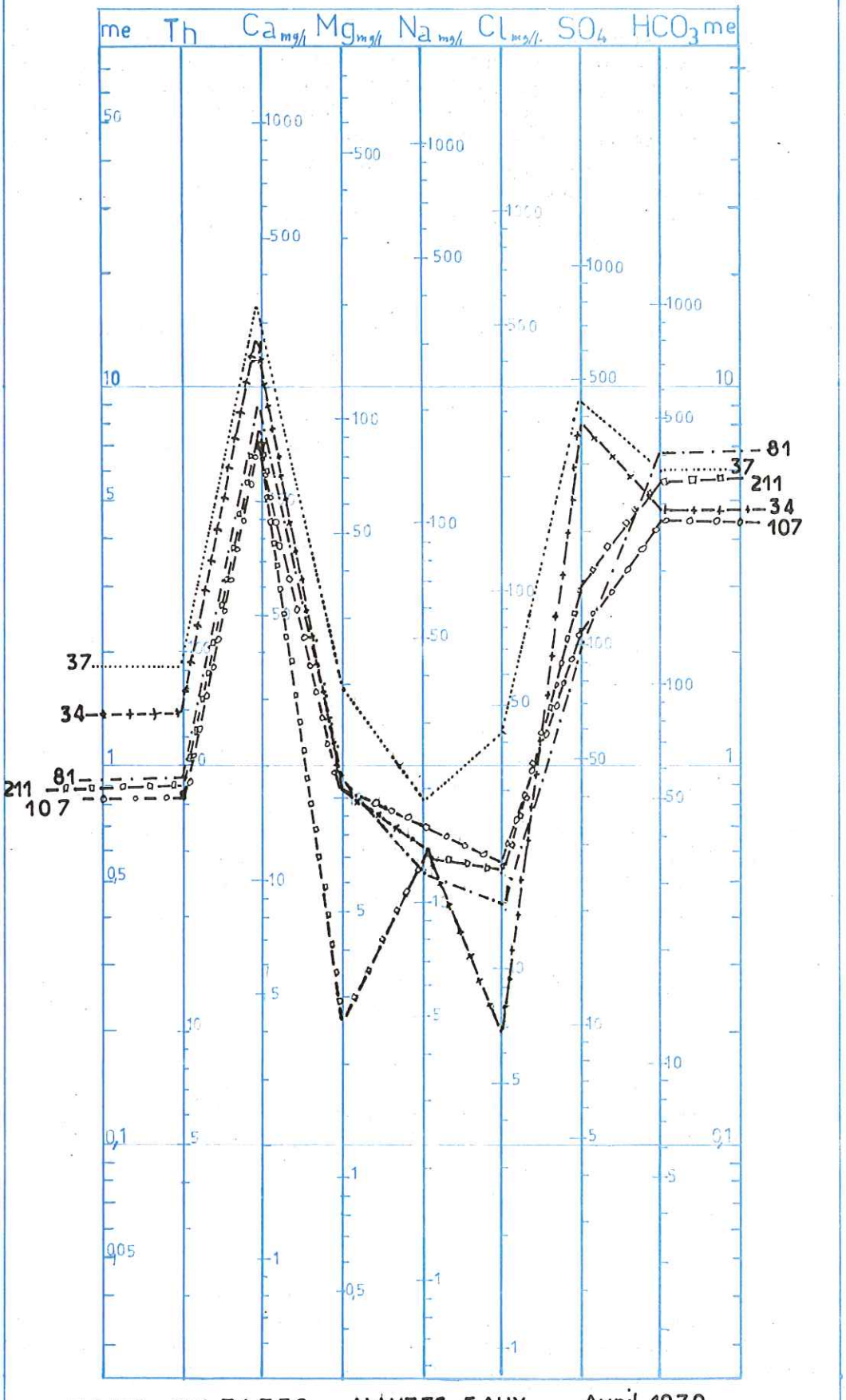


Fig60

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



ZONE SULFATES HAUTES EAUX Avril 1970

La forte solubilité des chlorures de sodium et les phénomènes de diffusion vont à l'encontre de la zonalité verticale des eaux, sauf lorsqu'une couche de terrain filtrant vient s'intercaler dans la masse des sédiments. On peut d'ailleurs penser que cette couche ne joue pas vraiment le rôle de filtre, mais met simplement à l'abri des contaminations l'eau contenue dans des terrains de la zone située au-dessous. De plus, les nombreux pompages effectués à différente profondeur, accélèrent le mélange des eaux et il n'est pas possible de constater cette zonalité verticale qui permettait de trouver de l'eau de meilleure qualité en profondeur.

En résumé, nous voyons donc que dans cette zone occupant une grande partie de la plaine, les eaux sont bicarbonatées calciques avec des teneurs très variables mais élevées en chlorures.

b) Sous zone B

Les sels de calcium et de magnésium seront prépondérants. Cette zone sera étroite mais très allongée.

Rapports établis d'après les analyses du 22-4-1970 :

	r1	r2	r3	SO_4
34	0,56	4,2	22,1	390
212				
107	1,9	4,05	11,4	103
81	2,6	5,07	1,2	
49	4,9	2,6	21,2	
36	2,7	9,9	17	

Cette famille se caractérise par un cœfficient r3 très élevé, le r2 restant assez fort mais variable.

Les valeurs du r1 sont assez groupées autour de l'unité. Leurs variations sont dues à la présence d'une plus ou moins grande quantité de sulfates. En effet, la teneur en sulfates varie énormément d'un point à un autre même très proches. De plus, en se rapprochant de l'Isère on constate le mélange des eaux des deux sous-zones par suite du drainage de la nappe vers la rivière et les teneurs en chlorures s'élèvent.

Il s'agit donc d'une famille d'eau bicarbonatée calcique, avec une teneur en sulfates plus élevée que dans l'ensemble de la plaine de Grenoble. Si, dans la sous-zone précédente, tout portait à penser que nous étions dans une zone polluée, ici la présence de sulfates, bien qu'anormale, semble être due à un apport naturel dont nous nous efforcerons de rechercher l'origine dans le prochain chapitre.

- Zone est - Saint-Martin-d'Hères

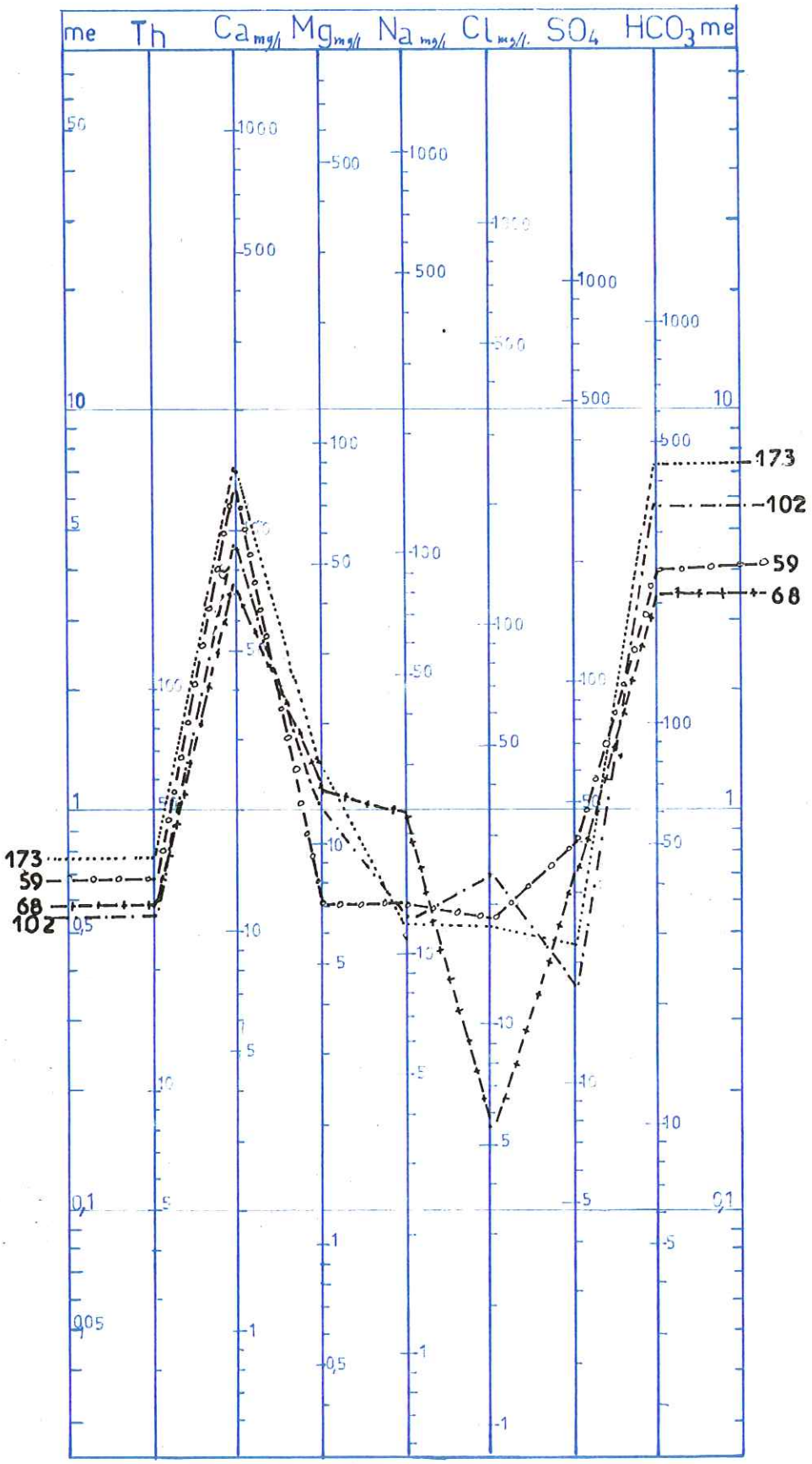
Rapports établis d'après les analyses du 22-4-1970

	r1	r2	r3
59	3,8	1,5	10,8
102	5	0,5	10,04
103	4,2	2,1	14,8
173	6,05	0,6	15,6

Les valeurs de r3 et de r1 de ce secteur sont nettement supérieures à celles atteintes dans les autres zones, sauf pour le r3 dans la sous-zone B. Les eaux sont très riches en carbonates et bicarbonates et en calcium. Les teneurs en sulfates sont assez faibles tandis que celles des chlorures voisines de 20 à 30 mg/l correspondent à la composition chimique moyenne de l'ensemble de cette région si on excepte la zone polluée.

Fig 61

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

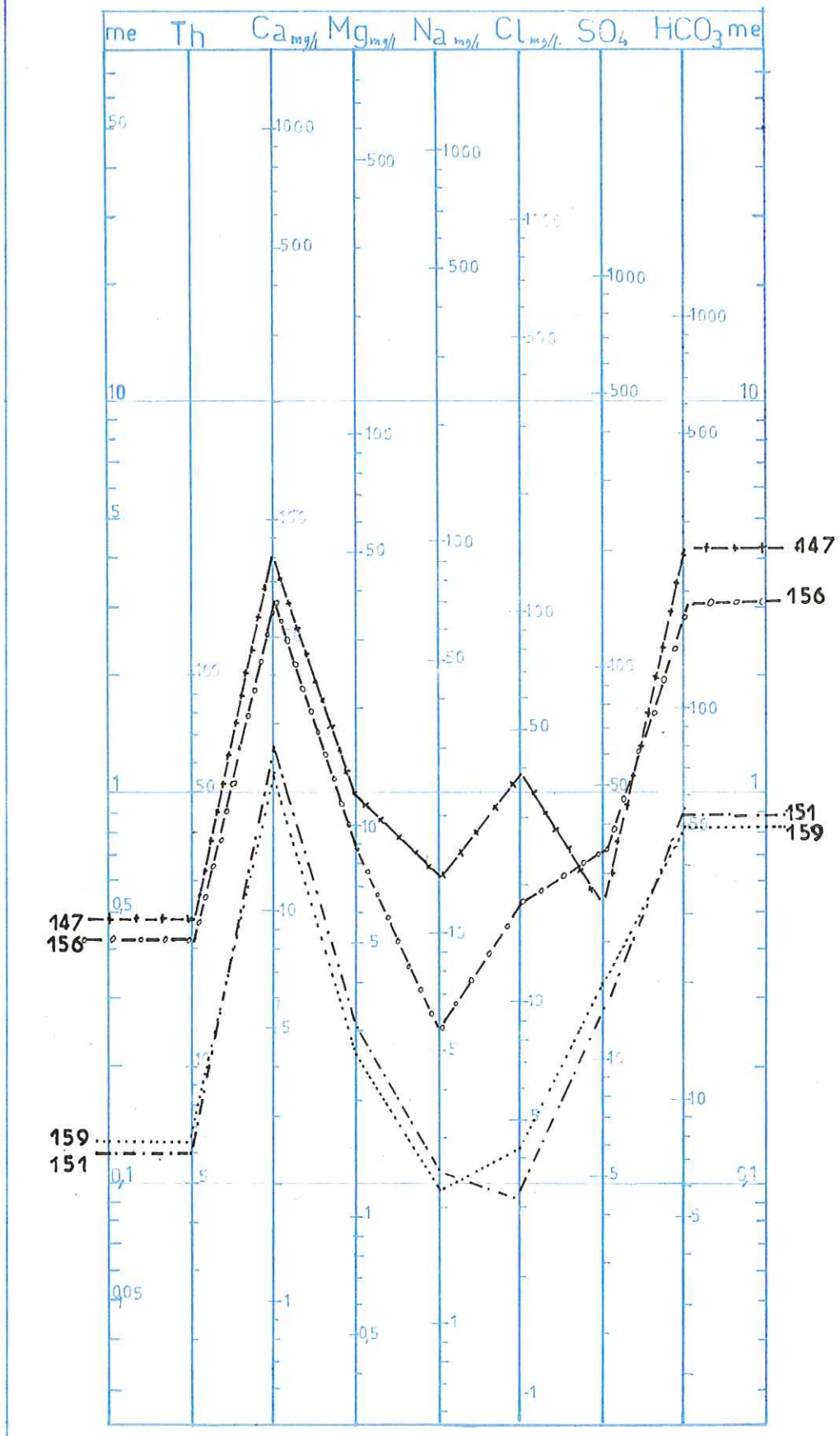


ZONE EST Avril 1970

M.V.

Fig62

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



ZONE ILE VERTE Avril 1970

L'écoulement souterrain de l'eau entraîne une diminution assez sensible de la teneur en carbonates alors que la teneur en sulfates a tendance à augmenter. C'est certainement la proximité de la nappe du Grésivaudan dont les eaux sont relativement riches en sulfates qui est responsable de ce changement dans la composition des eaux de cette zone.

- Zone Ile Verte

Rapports établis d'après les analyses du 22-4-1970

	r1	r2	r3	Ca^{++}	CO_3^{--}
151	3	0,2	10,6	28	54,9
147	2,3	0,6	8,6	84	251
156	2,6	1,3	15,2	71	199
159	2,09	2,4	8,26	25	53

Cette zone, définie par des caractéristiques physiques hétérogènes, montre des rapports relativement homogènes ainsi que des diagrammes parallèles. Il y a donc, variation dans la concentration totale de la composition chimique de l'eau.

Les profondeurs différentes auxquelles les divers échantillons ont été prélevés, peuvent suffire à expliquer ces variations et à en situer l'origine. Ainsi, le point 147 est situé dans la partie supérieure de la nappe à 3 mètres, alors que le point 156 a sa crépine entre 8 et 10 mètres.

La différence de minéralisation serait la conséquence de cette différence de profondeur, et il y aurait amélioration de la qualité chimique par filtration car en profondeur, dans cette partie de la plaine, les terrains sont surtout composés de sable.

Cette famille se rapproche de la précédente par sa forte teneur en carbonates et en calcium en surface.

- Zone de la pointe de confluence

Le DHT, comme nous l'avons vu, varie de 15° près du Drac à 35° près de l'Isère.

Rapports établis d'après les analyses du 22-4-1970

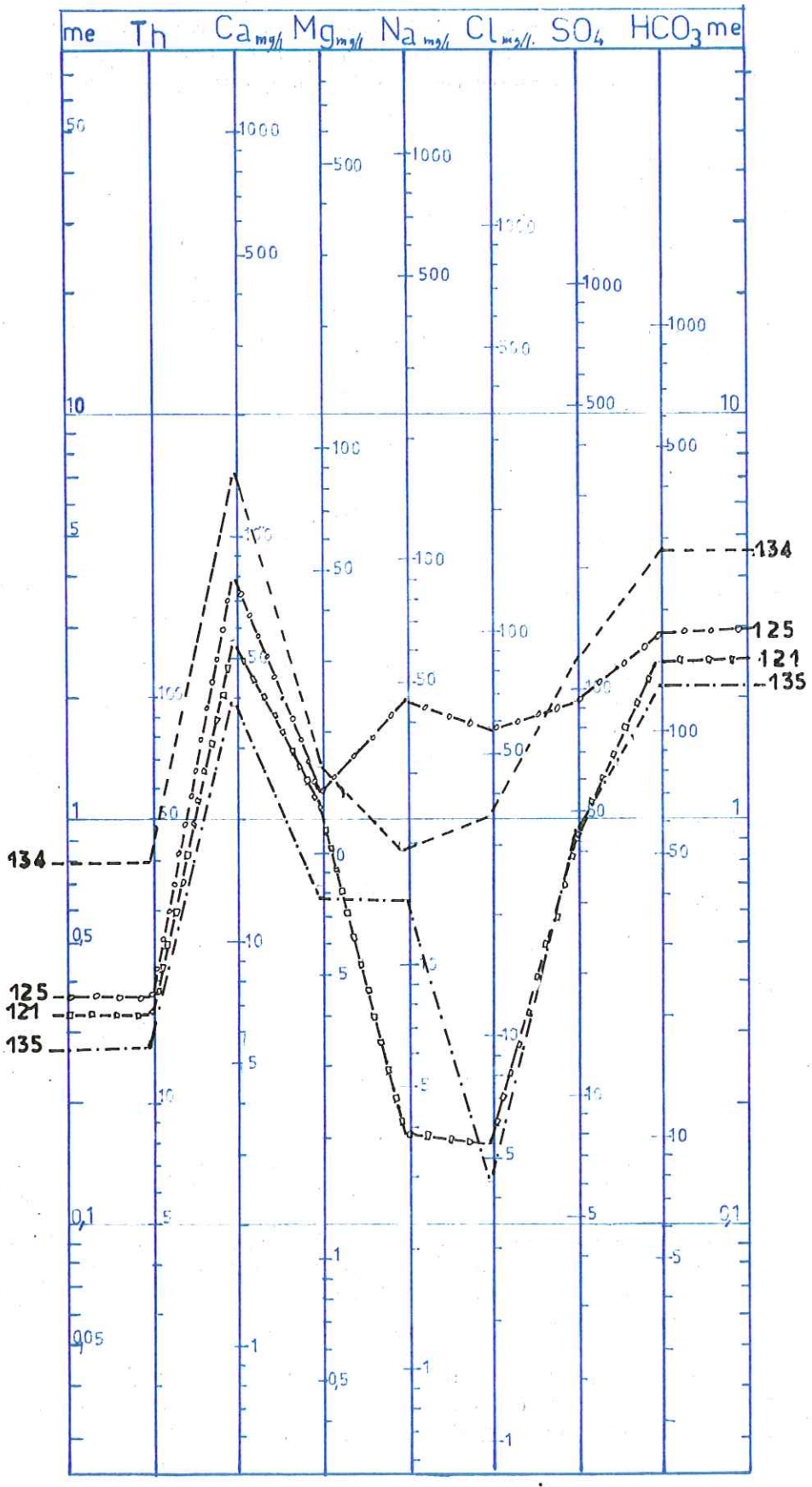
	r1	r2	r3
121	5	8	1,9
134	1,4	2,4	8,8
135	1,8	9	4
125	0,9	1,2	2,5

Les différents rapports caractéristiques sont assez hétérogènes dans cette zone. D'après les différents résultats d'analyse, une prépondérance des sels de calcium et de magnésium semblait différencier les échantillons d'eau prélevés le long du lit de l'Isère de ceux situés près du Drac, mais l'examen des rapports caractéristiques ne la fait pas tellement ressortir. Le seul fait intéressant à noter est la teneur un peu plus élevée en sulfates dans les prélèvements situés le long de l'Isère.

Ici donc, les différents prélèvements sont difficiles à associer aux familles décrites précédemment, bien que par ailleurs ils ne forment pas une famille bien individualisée ; cela doit venir, en grande partie, du fait de la proximité des deux rivières et de l'écoulement souterrain de l'eau allant du Drac vers l'Isère.

Fig63

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE



ZONE DE CONFLUENCE Avril 1970

M.H.

Ayant déterminé géographiquement ces différentes zones et connaissant la composition physico-chimique des familles d'eaux correspondantes nous allons, en conclusion, essayer de retrouver les différentes zones d'apports qui influencent la composition chimique de l'eau de la nappe dans la cuvette de Grenoble.

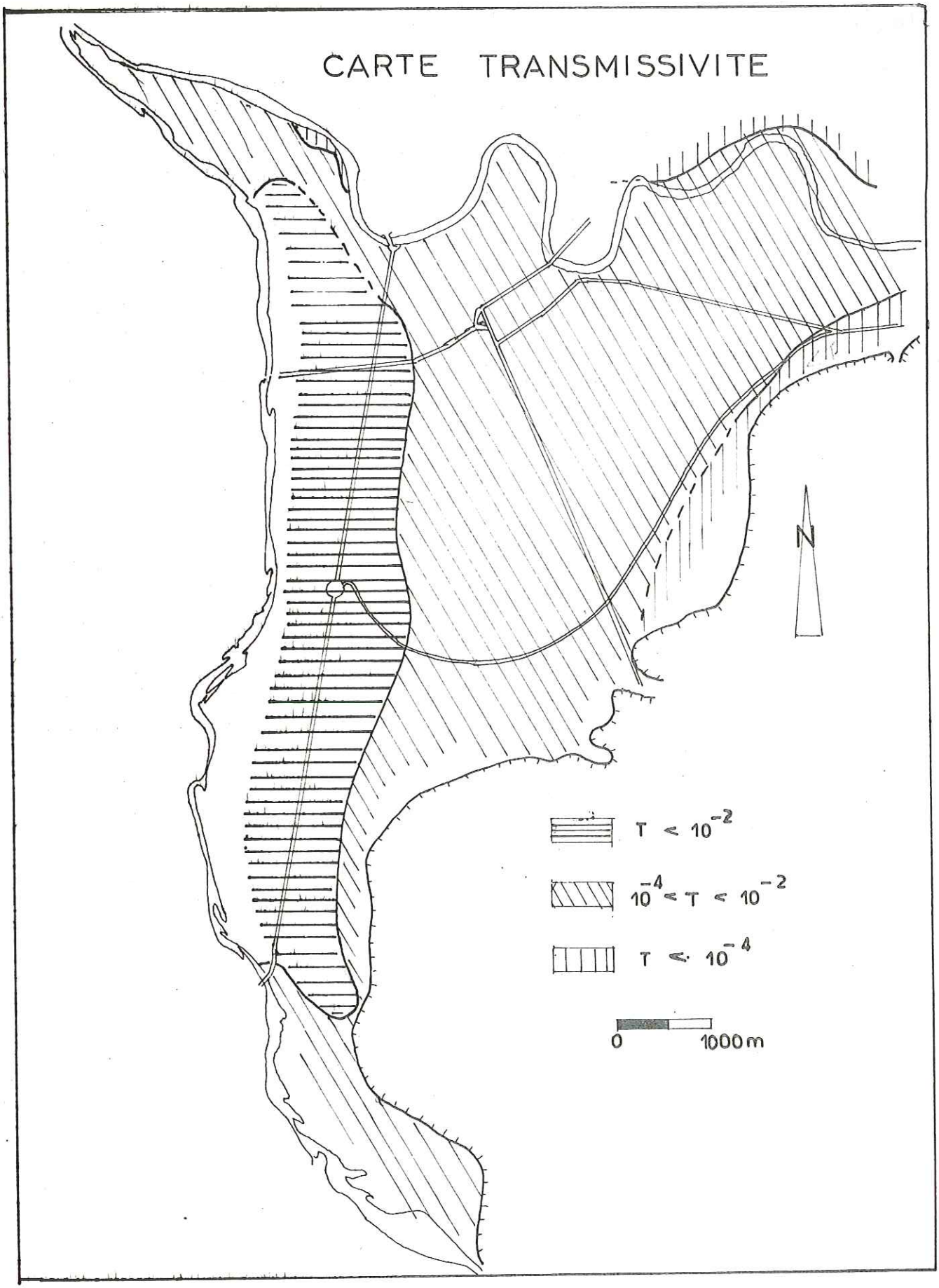
De cette étude, il ressort qu'une grande partie de la nappe est influencée par les eaux venant de la nappe amont du Drac et qui transite par la trouée de Pont-de-Claix et par les eaux du Drac superficiel ; ces eaux sont assez pures chimiquement.

Les eaux de la nappe du Grésivaudan, ainsi que celles qui viennent des flancs du plateau de Champagnier sont alors plus chargées en carbonates.

Dans la nappe, tous ces apports donnent des mélanges dont l'importance est approximativement fonction des distances aux zones d'apports connues ou non.

C'est ainsi que les eaux situées à proximité du plateau de Champagnier, ne sont pas mélangées tandis que, lorsqu'on se rapproche du lit de l'Isère superficielle, qui draine les eaux de la nappe, on assiste à un mélange presque parfait des eaux des diverses origines.

Un point reste encore à expliquer : c'est la présence de ces sulfates au centre de cette plaine.


CARTE TRANSMISSIVITE
N
T < 10^-2
10^-4 < T < 10^-2
T < 10^-4
0
1000 m

2e PARTIE

SYNTHESE ET PROBLEMES PARTICULIERS

1. - Synthèse

Connaissant maintenant les résultats des différentes mesures effectuées sur l'aquifère alluvial de la plaine de Grenoble, nous allons essayer de regrouper tous ces résultats en une synthèse. Nous nous efforcerons, en fonction de toutes ces données, de tracer les grands traits qui caractérisent la nappe de la plaine de Grenoble.

La nappe de Grenoble se situe dans les alluvions récentes de l'Isère et du Drac et son comportement est étroitement lié à la nature et à la structure du remplissage alluvial de la plaine. Seuls les terrains composés de galets, graviers, sable présentent un intérêt économique, constituant grâce à leur perméabilité importante, une réserve en eau considérable.

Les terrains sous-jacents : sable et argile sableuse ont une perméabilité plus faible de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-6} m/s et bien qu'ils constituent, malgré tout, un réservoir ils restent plus difficilement exploitables (entraînement de particules, faible débit).

La valeur de la perméabilité nous a été donnée, soit par des essais directs, soit par des essais de pompage. Mais cette valeur ne tient pas compte de la puissance de l'horizon aquifère. Le produit de ces deux valeurs nous donne ce qu'on appelle : la transmissivité :

$$T = k\ h$$

où T représente la transmissivité
k représente la perméabilité
h représente la puissance de l'horizon aquifère;
cette valeur globale permet de situer rapidement les zones où les possibilités d'extraire l'eau de la nappe seront les plus favorables.

Cette transmissivité, fonction de la perméabilité et de l'épaisseur de l'aquifère, peut être donnée directement par les essais de pompage ; dans ce cas, elle tient compte de tous les facteurs intervenant dans la zone d'influence du pompage. On peut encore l'obtenir en effectuant le produit (k x h) quand on a fait une mesure directe de la perméabilité dans un sondage (l'épaisseur de l'aquifère étant donné avec une approximation suffisante par la coupe de sondage).

Ces valeurs sont reportées sur carte et les zones les plus favorisées ressortent nettement.

Sur l'ensemble de cette plaine, la transmissivité reste assez élevée, elle l'est surtout dans toute la partie située à proximité du Drac et diminue en se rapprochant des collines et en allant vers le Grésivaudan (l'Abbaye, Malfangeat).

Dans la zone centrale, le long du Drac, cette transmissivité correspond bien à l'important remblayage du Drac.

De façon très grossière, dans cette zone ouest de la plaine, la transmissivité diminue légèrement de l'amont vers l'aval, marquant la différence dans la perméabilité des terrains ainsi que la diminution de la puissance de l'horizon aquifère.

2. - Problèmes particuliers

La carte de transmissivité ne nous fournit pas de renseignements sur les deux problèmes difficiles à résoudre :
- l'influence de la nappe du Grésivaudan dans la cuvette de Grenoble,
- l'origine possible des eaux riches en sulfates observées dans certains secteurs.

- Influence de la nappe du Grésivaudan

L'étude des variations piézométriques, comme nous l'avaient laissé entrevoir les différents graphiques des fluctuations, nous montrait que les zones d'influence respectives du Drac et de l'Isère avaient une limite assez différente de celle fournie par l'étude des cartes isopièzes.

L'Isère superficielle, d'après les différentes cartes isopièzes, draine les deux nappes du Drac et du Grésivaudan tout le long de son parcours dans la cuvette de Grenoble. Mais malgré ce rôle de drain, on pouvait trouver une relation entre la nappe aquifère et la rivière, qui explique ces fluctuations ; en effet, les variations de niveau du cours d'eau peuvent se répercuter sur la nappe en créant une recharge de la nappe pendant la période de crue et ensuite une décharge pendant la période de tarissement de la crue. Cette recharge de la nappe peut même, comme il a été étudié, provoquer un changement dans le sens d'écoulement général de la nappe. Si cela ne se produit pas dans notre cas particulier, la pente de la nappe restant toujours la même, ce phénomène de recharge de la nappe peut expliquer les variations du niveau piézométrique tout le long de l'Isère telles qu'on les a observées (point 125, 149, 152, 151). Mais ce phénomène de recharge de la nappe lié à la variation du niveau de base, peut difficilement expliquer les fluctuations que l'on a observées au centre de la plaine de Grenoble (points 34, 36, 37, 45) car si la remontée du niveau d'eau est sensible en bordure de la rivière, elle s'amortit très rapidement ; or la distance entre ces points de mesure et l'Isère est assez importante (3 à 4 km) ; mais vu la simultanéité des variations de l'Isère, des points à proximité de son lit, et de ceux situés dans le centre de la plaine, on peut penser que ces fluctuations sont liées à la nappe du Grésivaudan. L'onde de crue qui viendrait du Grésivaudan, se propageait sous forme d'une onde de pression provoquée par la variation du niveau de l'eau à l'amont. Une telle propagation de l'onde de pression peut être très rapide, surtout dans des terrains de perméabilité élevée où elle est peu amortie ; venant du Grésivaudan, elle se ferait ressentir jusqu'au centre de la plaine de Grenoble. Ce phénomène qui agit sur la nappe et qui nous donne les variations que l'on a observées sur les niveaux piézométriques, peut se produire sans tenir compte du sens d'écoulement de la nappe. Cette onde se propage dans la nappe selon une direction est-ouest, alors que le sens d'écoulement donné par les cartes isopièzes est grossièrement Sud-Nord.

De plus, l'intervalle de temps qui s'écoule entre le moment de la crue de l'Isère et la montée du niveau des points situés dans le centre de la plaine est assez faible (une seule fois j'ai pu constater un retard dans l'apparition de cette onde de crue, l'Isère et les points de mesures proches de celle-ci étaient en crue alors que les points situés dans le centre de la plaine n'avaient pas encore senti l'influence de cette crue). Ce retard est dû à un léger amortissement de l'onde par les terrains traversés. On a bien là la preuve qu'il s'agit d'une transmission de pression, car s'il y avait propagation de la crue avec mélange des eaux, le décalage entre la crue de l'Isère et celle des points situés dans le centre de la plaine serait beaucoup plus considérable.

L'étude du remplissage alluvial nous a, d'ailleurs, montré la présence, sous les limons superficiels, des zones constituées de sable, galets, graviers à perméabilité de l'ordre de 3.10^{-2} m/s. L'onde de crue peut donc se propager dans ces terrains ou bien dans des terrains de perméabilité analogue ou supérieure, mais situés plus profondément par rapport à la surface.

Si un premier indice de l'influence de la nappe du Grésivaudan sur la nappe du Drac nous avait été fourni par l'extension des dépôts argileux, limon brun d'inondation, il semble bien que cette influence est beaucoup plus importante que ne le laissaient prévoir les isopièzes du toit de la nappe dont la forme en surface est liée au drainage de l'Isère.

L'étude des cartes isothermes fait ressortir que, toujours dans le même quartier de la plaine de Grenoble, les valeurs et les variations de la température sont nettement plus accentuées que dans toute la zone ouest de la plaine. Comme nous l'avons dit, il semble que cela soit plus lié au fait de la proximité de la surface du sol qu'à un apport.

Ces variations qui, sans atteindre les variations extrêmes de la température des eaux de surface, sont tout de même importantes, nous laissent entrevoir que les apports depuis la nappe du Grésivaudan sont liés à des phénomènes de surface, soit que les fluctuations dans le niveau piézométrique ou dans la température de l'eau aient leur origine dans les infiltrations à travers les éboulis et les cônes de déjection qui recouvrent les flancs de la vallée du Grésivaudan, soit que ces fluctuations soient dues à des infiltrations vers la nappe de l'Isère superficielle, très en amont de Grenoble, dans le secteur où l'alimentation est forte, l'Isère circulant dans des cailloutis très perméables.

On peut conclure qu'une part, beaucoup plus importante que ne le laissaient prévoir les cartes isopièzes, est alimentée par la nappe du Grésivaudan, et nous verrons ultérieurement le rôle que peut jouer cette influence sur le comportement de la nappe du Grésivaudan.

- Zones à teneurs anormales en sulfates

La présence de sulfates en assez grande quantité dans les eaux de certains secteurs de la nappe du Grésivaudan reste un problème et nous allons essayer d'en trouver l'origine possible en nous servant de tous les éléments que nous possédons.

La zone où une anomalie de la teneur de la nappe en sulfates se manifeste, est située le long d'un axe qui fait un léger angle avec l'axe d'écoulement de la nappe. Cette anomalie peut être la conséquence, soit de la composition chimique de l'eau qui alimente localement la nappe, soit de phénomènes modifiant localement la composition chimique initiale de l'eau de la nappe. Si cette anomalie est due à un apport particulier, cet apport peut soit être important mais très local avec de l'eau contenant de 200 mg/l à 300 mg/l, soit correspondre à un débit très faible d'eau dont la teneur en ions sulfates serait très élevée avant son mélange avec les eaux superficielles de la nappe.

Si la présence de ces sulfates en assez grande quantité est due à un apport d'eau de composition chimique différente de la composition moyenne de l'eau de la nappe, il faut rechercher les zones où l'eau peut s'enrichir en sulfates, c'est-à-dire là où les terrains contiennent des éléments sulfates susceptibles d'être attaqués par l'eau, soit en surface, soit en profondeur.

Le plus souvent, les eaux riches en sulfates sont liées à la présence de gypse dans les terrains. L'étude du remplissage alluvial de la plaine de Grenoble ne nous a jamais montré de bancs de gypse ; de plus, la géologie des flancs de la cuvette de Grenoble ne nous permet pas de supposer la présence de terrains d'âge triasique qui souvent contiennent des gypses, le rebord de la cuvette étant constitué de Lias recouvert plus ou moins par un remblaiement fluvio-glaciaire.

Si la présence de gypse en banc épais ou en nodule est peu probable, on peut signaler que, dans certaines argiles d'origine glaciaire, il a été trouvé des cristallisations de gypse de néoformation. A notre connaissance, cela n'a jamais été signalé dans la plaine de Grenoble ; de plus, si les argiles formant le soubassement des dépôts torrentiels et alluviaux du Drac et de l'Isère en contenaient, pourquoi donc la présence des sulfates serait locale ? Il semble enfin que les teneurs devraient être plus élevées là où les argiles, si elles contenaient ces gypses de néoformation, seraient le plus près de la surface, le long des collines, il n'en est pas ainsi.

Toutefois, des réactions par attaque chimique de l'eau sur les terrains et, en particulier sur les calcaires marneux du Lias riches en éléments pyriteux pourraient faire apparaître des sulfates, la pyrite pouvant, par oxydation, donner des sulfates.

La réaction serait de ce type :

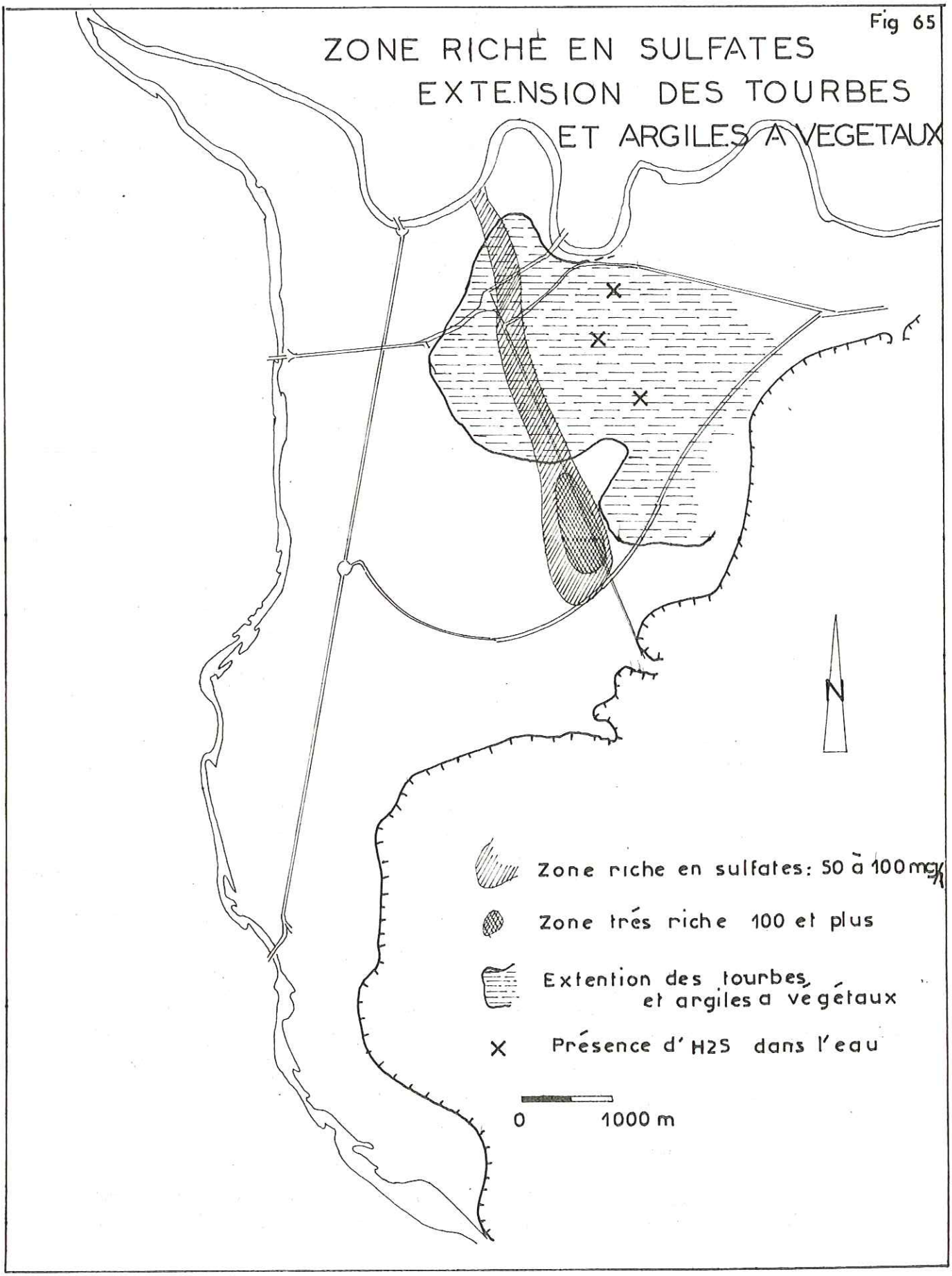
$$Fe\,S_2 + O_2 \longrightarrow H_2SO_4 + Fe\,(OH)$$

$$H_2SO_4 + Ca\,CO_3 \longrightarrow SO_4\,Ca + CO_2 + H_2O$$

On obtient des sulfates de calcium solubles. Connaissant la localisation du Lias sur les flancs de la plaine de Grenoble, cette augmentation de la teneur en sulfates des eaux de la nappe devrait se produire, si son origine était

Fig 65

ZONE RICHE EN SULFATES EXTENSION DES TOURBES ET ARGILES A VEGETAUX



bien dans ces pyrites là où l'eau, en ruisselant sur ces versants calcaires, viendrait alimenter la nappe phréatique, c'est-à-dire en bordure de cette plaine de Grenoble. Comme nous l'avons vu dans l'étude de la répartition des sulfates dans la plaine, il n'y a pas d'augmentation de la teneur en sulfates le long des collines.

Puisque cet enrichissement ne semble pas être dû à des attaques chimiques par l'eau dans les terrains, peut-être que les apports à partir du plateau de Champagnier pourraient en être l'origine ; mais l'analyse des quelques sources ayant leur émergence dans les zones de ravinement des argiles d'Eybens nous montre bien (voir description des eaux de surface) que ces eaux en ruisselant et circulant sur ce plateau, ne peuvent changer notoirement la composition chimique de l'eau de la nappe, car ces eaux sont très peu minéralisées.

Il en est de même pour les eaux du ruisseau d'Eybens et de Bresson dont les résultats d'analyse montrent que la teneur en sulfates de ces eaux est très faible.

Puisqu'il ne s'agit pas des eaux de ruissellement, un apport profond peut, peut-être, être à l'origine de cette anomalie en sulfates de l'eau.

Si une faille en profondeur mettait en contact Lias et Trias, on peut supposer que l'eau percolant le long de cette faille pourrait enrichir localement en sulfates l'eau de la nappe. Bien que l'étude de la géologie d'ensemble de la cuvette de Grenoble permette d'admettre, dans le substratum, l'existence d'une ou de plusieurs failles importantes, l'épaisseur considérable du recouvrement quaternaire et la puissance de la nappe rendent cette hypothèse peu probable.

De même si, sans invoquer l'existence d'une faille, on supposait l'existence d'une venue hydrothermale profonde, il faudrait encore, pour expliquer ces faits, que les eaux arrivent jusqu'à la surface sans que le mélange soit trop important pour donner cette traînée de sulfates que l'on observe. De plus, pour confirmer une telle hypothèse, la température de l'eau devrait être sensiblement élevée et surtout très constante dans la zone des anomalies sulfatées ; or, ce n'est pas le cas, comme nous l'avons vu.

Dans une troisième hypothèse, pour expliquer cette anomalie à partir de la profondeur, on pourrait attribuer l'enrichissement en sulfates aux apports à partir d'une nappe profonde plus ou moins captive, située sous les argiles. Cela s'accorderait avec les résultats du sondage qui a été effectué dans la Tuilerie d'Eybens et qui nous a montré que, sous les argiles d'Eybens la présence de cailloutis grossiers contenant une nappe légèrement en charge (eau remontant jusqu'à la cote moins 19 mètres sous la surface du sol, c'est-à-dire aux environs de 255 mètres, cote N. G. F.). Rien ne nous empêche de penser qu'il en est de même sous la plaine de Grenoble, au-dessous des argiles si nous avons des formations analogues.

Mais pour que les eaux de cette nappe profonde, enrichies en sulfates par attaque chimique dans les terrains ou en raison de son alimentation, viennent rejoindre les eaux de la nappe supérieure, il faut admettre que les argiles, formant le toit de cette nappe soient entaillées, permettant aux deux nappes de communiquer. Pour cela, il faudrait que lors d'un changement du niveau de base, il y eut une reprise d'érosion telle que une partie des argiles ait été entaillée, mettant en contact les cailloutis profonds et les dépôts récents.

Tout cela n'est qu'hypothèse et devrait être vérifié par une série de sondages profonds montrant, d'abord, l'existence d'une nappe profonde, et ensuite, la possibilité du ravinement dans cette zone. Aussi nous ne pouvons nous baser là-dessus pour expliquer l'origine des sulfates.

Dans un autre ordre d'idées, il faut rechercher si des modifications secondaires dues à l'écoulement de l'eau dans les terrains pourraient avoir, pour conséquence, une augmentation de la teneur en sulfates.

D'après les différentes mesures, on remarque pour les prélèvements effectués suivant l'axe de l'anomalie que l'eau présente de façon assez brutale cette augmentation en sulfates et que la teneur de l'eau en suivant le sens d'écoulement présente une diminution sensible des sulfates.

Cette augmentation de la teneur en sulfates s'accompagne d'une forte teneur en carbonates et de teneurs relativement élevées en calcium et en magnésium, par rapport à l'ensemble de la plaine de Grenoble.

Mais ce qui frappe surtout lorsqu'on regarde les cartes des ions (fig. n° 50 et n° 52), c'est que certains échantillons pris dans les mêmes conditions et dans les mêmes types d'ouvrage ont des teneurs anormalement pauvres en sulfates, Mais ces points présentent une odeur. Aussi lors de la dernière campagne, nous avons fait effectuer, par le laboratoire d'analyse des eaux de Grenoble, un dosage de l'hydrogène sulfureux sur trois points :

102 a donné 2,1 mg/l de H_2S
103 a donné 0,2 mg/l "
164 a donné des traces indosables, mais ici le prélèvement a été fait dans un puits sans pompe et à l'air libre.

Fig 66

CARTE DES PROFONDEURS

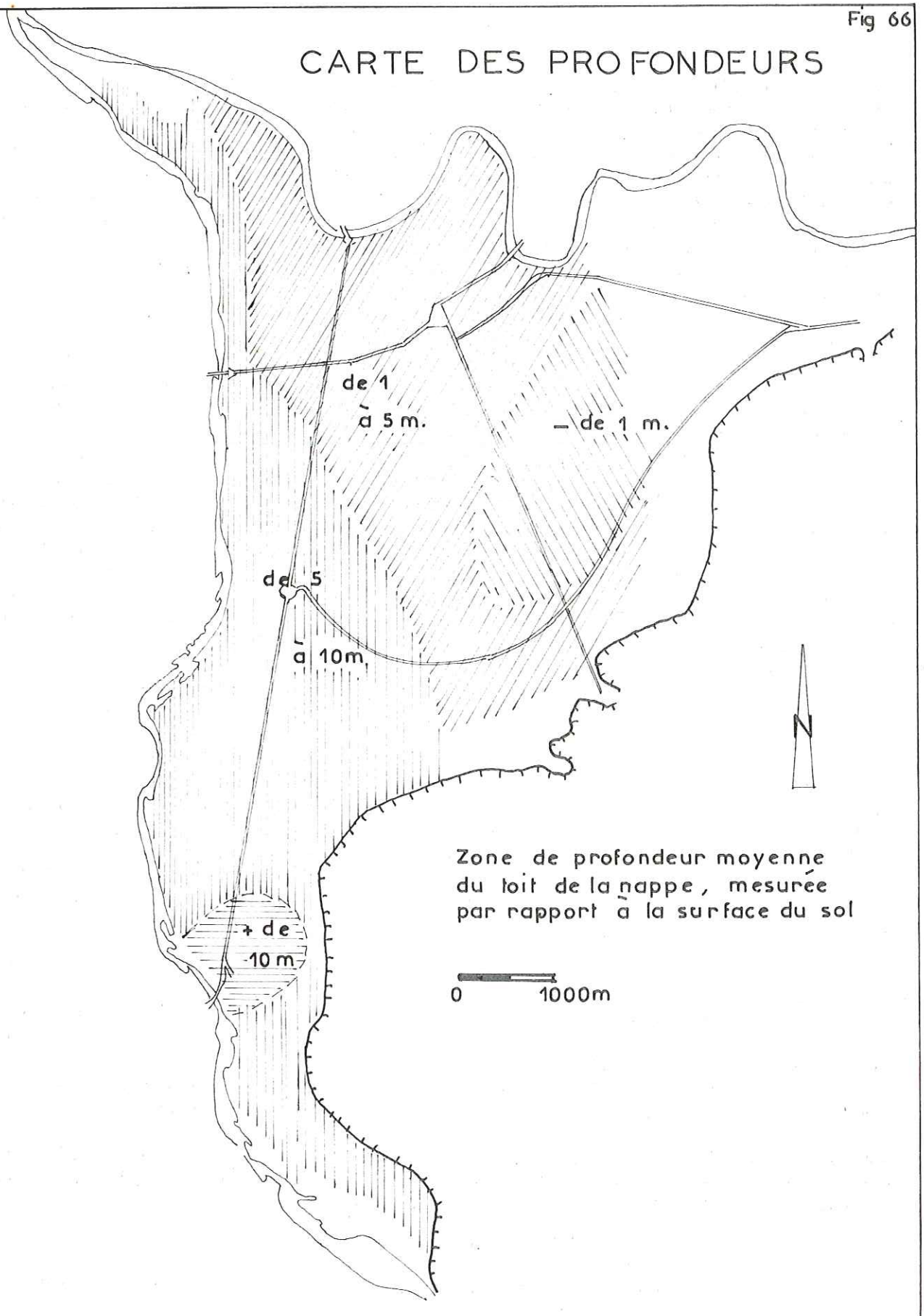
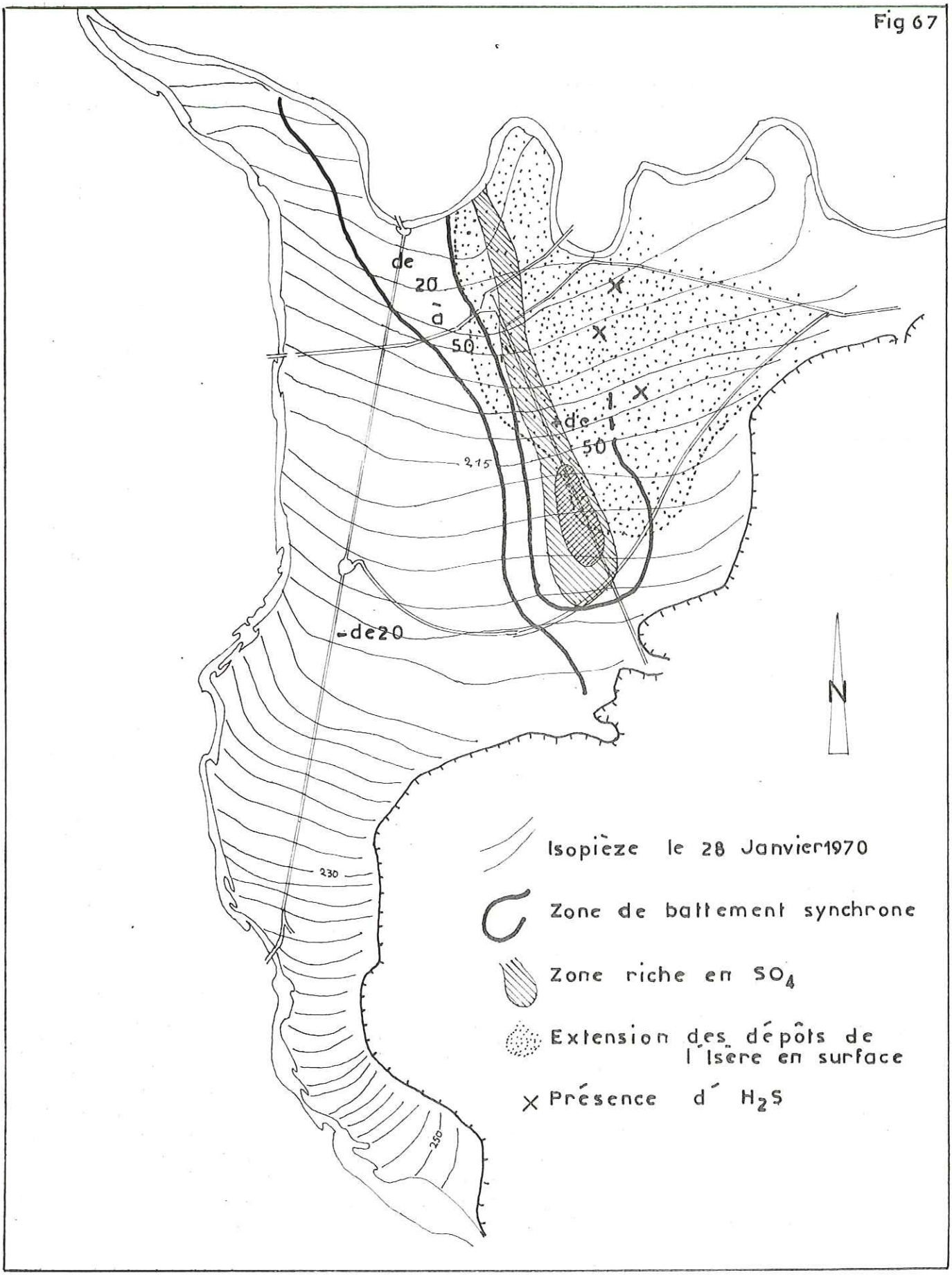


Fig 67


de
20
à
50
de
1
à
50
215
-de20
230
250
N
Isopièze le 28 Janvier1970
Zone de battement synchrone
Zone riche en SO_4
Extension des dépôts de l'Isère en surface
Présence d' H_2S

Pour expliquer la présence de cet élément, un milieu réducteur est nécessaire ; comme nous l'avons vu dans l'étude du remplissage alluvial, les zones riches en tourbe et en matières organiques sont réparties à l'Est de l'avenue J. Perrot et cela correspond aux zones où apparaissent ces traces de H_2S.

Ce milieu, riche en matières organiques, est donc réducteur et provoque la réduction des sulfates, cette réduction s'accompagne d'une oxydation des composés organiques avec production de CO_2.

La zone riche en sulfates se trouve située en limite ouest de cette zone riche en éléments sulfureux. On peut donc admettre que, de la même façon qu'il y avait réduction des sulfates, là où l'on n'a plus de milieu réducteur, l'eau étant près de la surface du sol, subisse une oxygénation. La zone où l'eau est enrichie en sulfates correspond à la partie de la nappe où le niveau piézométrique moyen est le plus près de la surface du sol, ceci favorise les échanges eau - air et facilite l'oxygénation de l'eau de la nappe.

Ces eaux devenues pauvres en sulfates, par réduction, se trouvent ensuite, dans un milieu oxydant, l'oxygène pénétrant facilement dans la partie superficielle de la nappe.

On peut donc admettre, que la zone à forte teneur correspond non seulement aux secteurs où les eaux ont effectivement une teneur élevée en sulfates, mais contradictoirement, là où la teneur en sulfates est très faible et où l'on constate la présence d'hydrogène sulfureux.

La zone des anomalies sulfatées ne correspondrait plus alors à un axe étroit mais à une zone s'étendant vers le Grésivaudan.

En effet, comme nous l'avons constaté, l'influence de la nappe du Grésivaudan est beaucoup plus importante que ne la laissait entrevoir l'étude des cartes isopièzes. Les points qui présentaient des variations identiques à celles de l'Isère, ont généralement des teneurs élevées en sulfates. De plus, les argiles d'inondation, témoins des grandes crues de l'Isère, s'étendent aussi sur toute cette partie de la plaine. Il y a donc lieu de regrouper tous ces phénomènes et l'origine des sulfates est à rechercher dans les apports d'eau venant de la nappe du Grésivaudan. Si on peut regrouper ces phénomènes, du point de vue dynamique ils restent cependant bien séparés.

- Lors d'un changement de niveau dans la nappe du Grésivaudan, la transmission de cette crue se propage par pression et se transmet très rapidement jusque dans le centre de la plaine de Grenoble ; cette transmission de pression ne provoquant pas le mélange des eaux.

- Mais, dans notre cas particulier, le mélange des eaux s'opère, c'est un phénomène beaucoup plus lent ; les eaux de la nappe du Grésivaudan qui contiennent des sulfates en plus ou moins grande quantité, suivant les secteurs, viennent se mélanger aux eaux de la nappe de Grenoble en apportant un supplément de sulfates qui permet de les différencier des eaux de la nappe du Drac.

La nappe du Grésivaudan, dont on ressent jusqu'au centre de la plaine de Grenoble l'influence, circule dans des graviers ou bien est-elle située en profondeur ? L'étude des températures nous a montré que les variations que l'on observe dans cette zone sont importantes et se rapprochent des variations saisonnières de température. Cette simple remarque est plutôt en faveur d'une nappe peu profonde circulant, par exemple, dans les éboulis qui forment une bande continue le long des collines liasiques. Le problème reste encore posé, car les mesures effectuées sont celles des eaux situées entre un ou deux mètres sous la surface du sol et liées étroitement à la température de l'air, aussi ne sont-elles pas très significatives.

Quant à l'origine des sulfates, on a vu que les eaux de l'Isère en étaient assez fortement chargées de 60 à 180 mg/l. Les analyses chimiques effectuées sur le Grésivaudan ont souvent des teneurs assez élevées en sulfates (voir étude sur le Grésivaudan par J.C. FOURNEAUX), si donc on peut penser que l'origine des sulfates vient des apports depuis la nappe du Grésivaudan, ce qu'il y a de particulier est que la limite d'influence entre les deux nappes est assez nette, et elle est aussi bien marquée dans l'étude des fluctuations que dans l'étude de la chimie des eaux.

Les cartes hydrochimiques d'égale teneur en chlorures (fig. n° 50) marquent bien cette limite et il semble qu'il n'y ait que peu de mélange des eaux ; il existerait une sorte de seuil hydrochimique, dans la partie amont, tout au moins, de la plaine de Grenoble ; les eaux du Drac que les chlorures permettent de suivre en servant de traceur, suivent ce chenal d'écoulement dont les cartes isopièzes rendent compte à cause de la plus grande transmissivité des terrains ; au contraire, les eaux enrichies en sulfates par les apports du Grésivaudan ne seraient pas drainées par ce chenal ; pour ces eaux, la différence de sens d'écoulement que l'on observe entre celui qui est fourni par les cartes isopièzes et celui qui

est déduit de l'étude des fluctuations de la nappe et de la présence des sulfates en serait, peut-être, la cause ; il y aurait une sorte de blocage des eaux venant du Grésivaudan contre le chenal d'écoulement préférentiel des eaux de la nappe du Drac.

Si ce phénomène de ligne de partage des eaux entre les deux nappes est net à l'amont de la plaine de Grenoble (niveau Z.U.P. Echirolles, Grenoble) il n'en est pas de même lorsque l'on se rapproche de l'Isère, car là le drainage important de l'Isère, accentué par les nombreuses tranchées qui ont été effectuées dans la ville créant des chenaux d'écoulement préférentiel, permet un certain mélange des eaux et le tracé de cette limite est difficile à suivre.

CONCLUSION

Le comportement de la nappe phréatique de la plaine alluviale de Grenoble est, comme on l'a vu, étroitement lié à la nature et à la structure du remplissage de cette plaine, formée d'alluvions anciennes et modernes apportées par le Drac et l'Isère. La différence de caractère qui existe entre ces deux rivières, le Drac étant un torrent et l'Isère transportant une charge importante de matériaux fins, se répercute sur cette nappe, notamment en ce qui concerne les alluvions modernes de la plaine dans laquelle elles circulent.

Les dépôts antérieurs, qu'ils soient lacustres ou simplement dus à un type de sédimentation différent de celui qui existe actuellement, ont été déblayés plus ou moins, pour donner quelques vastes sillons.

Le remplissage de ces sillons par des dépôts grossiers a été souvent repris par les chenaux successifs qu'a emprunté le Drac, entaillant de nouveau ces formations ; cela donne lieu à des écoulements préférentiels dus aux différences de granulométrie.

Les cartes piézométriques nous montrent que le Drac alimente la nappe sur tout son parcours depuis le rocher de Pont-de-Claix ; l'Isère superficielle par contre, étant donné qu'elle constitue le niveau de base pour les eaux de la nappe, joue un rôle de drain et son influence sur la nappe semble être relativement restreinte.

Si le rôle de l'Isère semble peu important, l'étude des fluctuations de la nappe et des températures nous a montré la probabilité de l'influence de la nappe du Grésivaudan qui est relativement indépendante de l'Isère elle-même ; en effet, soit dans les études antérieures sur le Grésivaudan, soit dans la partie concernant l'Ile Verte de ce mémoire, la nappe phréatique s'écoule sans tenir compte des méandres de l'Isère. C'est la raison pour laquelle nous employons le terme de nappe du Grésivaudan pour distinguer cette nappe, évitant ainsi toute confusion avec la nappe superficielle de l'Isère.

Nous avons vu que les fluctuations de la nappe du Grésivaudan se transmettaient jusqu'au centre de la plaine de Grenoble. De même, les sulfates que contiennent les eaux de cette même partie de la plaine, jouant le rôle de traceurs, nous ont permis de suivre et de différencier les eaux ayant une composition analogue à celles de la nappe du Grésivaudan de celles de la nappe du Drac.

Cette limite d'influence de la nappe du Grésivaudan coupe approximativement la plaine de Grenoble en deux, la ligne de partage se situant un peu à l'Ouest de l'avenue d'Eybens. A l'Ouest de cette ligne, l'influence prépondérante est celle du Drac tandis que, à l'Est, l'influence de la nappe du Grésivaudan est dominante.

Là où la nappe du Drac est prépondérante, la vitesse d'écoulement de l'eau est élevée en raison de la forte perméabilité des terrains, résultant de l'énorme quantité de matériaux grossiers et de ces chenaux d'écoulement préférentiel, formant un axe de drainage pour les eaux de la nappe. Le plus important de ces axes de drainage est emprunté par les eaux enrichies en chlorures et il n'y a que très peu de diffusion des eaux en bordure de cet axe.

On peut noter pour ce qui est de la perméabilité, quelques différences qui sont dues soit à la diminution de la granulométrie lorsqu'on se rapproche de la base du cône de déjection du Drac, soit à une sorte de compactage en profondeur de ces alluvions en certains secteurs.

Quoi qu'il en soit ce qui caractérise cette zone, c'est la grande homogénéité des formations et leur grande perméabilité. Les possibilités d'extraction de l'eau sont très grandes, vu la transmissivité, mais les qualités physico-chimiques en rendent l'exploitation plus délicate.

L'influence de la nappe du Grésivaudan se fait surtout sentir dans la qualité physico-chimique de l'eau. L'influence sur les caractéristiques hydrogéologiques de cette partie de la nappe pour ce qui est du sens et de la vitesse d'écoulement est difficilement décelable, les représentations classiques telles que les cartes piézométriques, ne nous les faisant pas ressortir. Seules les fluctuations simultanées du niveau piézométrique les mettent en évidence.

Contrairement à l'autre partie de la plaine, les formations qui entrent dans le remplissage alluvial sont hétérogènes, puisque l'on a des formations grossières se superposant avec des formations argileuses.

La granulométrie des formations grossières, plus faible que celle des dépôts, côté ouest de la plaine de Grenoble donne lieu à une perméabilité inférieure. De plus, l'imbrication de ces formations argileuses dans les formations grossières diminue de beaucoup les possibilités d'extraction de l'eau, les zones ayant une bonne perméabilité étant beaucoup plus restreintes en épaisseur et en extension.

En revanche ici, nous nous trouvons en présence d'une eau ayant d'assez bonnes qualités physico-chimiques, à part quelques points où la teneur en sulfates et calcium est élevée.

La présence de l'hydrogène sulfureux reste toujours faible, on peut même penser qu'après un pompage assez long, il y aurait diminution de cette teneur en raison du faible pourcentage par rapport à l'ensemble des terrains, des matières végétales provoquant le milieu réducteur.

Dans l'état actuel des connaissances, il n'est cependant pas possible de dire, si les eaux de la nappe du Grésivaudan qui influencent la nappe de la plaine de Grenoble proviennent de la partie superficielle de la nappe des alluvions modernes de l'Isère ou d'une nappe située plus en profondeur dans ces alluvions et s'alimentant très à l'amont du bassin versant de l'Isère. Mais ce qui ressort de nos observations, c'est que le mélange des eaux des deux zones d'influence, Isère et Drac, ne se fait pratiquement pas, sauf près du lit de l'Isère où le drainage qui se produit, favorise le mélange. Il semble que cela soit dû à cette contradiction que l'on a entre les cartes de nappe et les fluctuations de la nappe, montrant que la nappe du Grésivaudan s'avance à contre-courant.

De plus, l'important chenal d'écoulement préférentiel qui se situe à la limite de la ligne de partage des eaux forme une sorte de blocage pour les eaux venant du Grésivaudan.

En définitive, notre étude nous a permis de mettre en évidence les parts d'influence de l'Isère et du Drac sur la nappe de la cuvette de Grenoble, ce dont une étude faite uniquement sur carte piézométrique n'aurait pas rendu compte. Nous n'avons pas cependant pu résoudre tous les problèmes hydrogéologiques que pose cette nappe. Il reste en effet, à rechercher s'il existe véritablement une nappe profonde sous les argiles interglaciaires laissées par le grand lac du Grésivaudan et quelle est la structure profonde du complexe quaternaire, tant dans la vallée de l'Isère que dans la vallée du Drac. Seuls les forages profonds permettront, dans l'avenir, de résoudre ces problèmes, toutefois, il nous paraît important, en terminant, de souligner l'intérêt d'une observation des caractères physico-chimiques de la nappe. C'est grâce à ces données que nous avons pu, avec des moyens réduits, faire progresser les connaissances hydrogéologiques sur la plaine de Grenoble. Il est certain que des observations sur une période de temps plus longue que celle dont nous avons pu disposer, permettraient de connaître mieux encore l'évolution de la nappe de la plaine de Grenoble.

Une étude hydrogéologique n'est, en effet, jamais terminée, chaque investigation sur le sous-sol apporte des données nouvelles mais surtout, les nappes aquifères réagissent constamment à toutes les modifications qui peuvent intervenir, tant dans leur gîte que dans leur bassin d'alimentation et c'est là que réside l'intérêt, toujours renouvelé, des recherches hydrogéologiques dont notre étude voudrait être une étape.

BIBLIOGRAPHIE

AGARD (M.), 1942. - L'endiguement de l'Isère en Grésivaudan. - R.G.A., t. 30.
ALIMEN (M.H.). - Le Quaternaire de France.
ALLIX (A.), 1917. - Vizille et le bassin inférieure de la Romanche. - Essai de monographie régionale. R.G.A., t. 5
APRAHAMIAN (J.), FOURNEAUX (J.C.), LACROIX (B. Mme), USELLE (J.P.), 1970. - Observations nouvelles sur les argiles interglaciaires de la vallée de l'Isère. - C.R.A.S., t. 271, p. 1071-1074.
ARMAND (G.), 1950. - Les crues de l'Isère en juin et septembre 1948. - R.G.A., t. 38, fasc. 3

BADIN (L.), MICHEL (R.), 1955. - Etude hydrogéologique des nappes d'alluvions de l'Allier et de la Loire.
BELLAIR (P.), MONTJUVENT (G.), SARROT-REYNAULD (J.), 1970. - Les argiles d'Eybens et le lac du Grésivaudan. C.R.A.S., t. 270, p. 7-10.
BLACHE (J.), 1914. - Le bord de l'auge glaciaire du Grésivaudan. Bull. Soc. Stat. Isère et R.G.A., t. 2.
BLANCHET (C.), BRISSAUD (M.), 1968. - Type de protection adopté, après étude sur modèle pour les ponts de Catane, Berriat et du Vercors ; protection du remblai de l'autoroute A 48. Evolution du lit du Drac dans la traversée de Grenoble. Soc. Hydrotechnique de France. Xe journées de l'Hydraulique.
BLANCHARD (R.). - Les Alpes occidentales (3 tomes)
--- 1922. - A propos du sous-sol du Grésivaudan. - R.G.A., t. 22
--- 1934. - Le prétendu niveau d'érosion du Haut-Grésivaudan. - R.G.A., t. 22
--- 1941. - Formes d'obturation glaciaire latérale dans la partie centrale du sillon alpin. - R.G.A., t. 22.
BOCQUET (A.) et (J.), 1969. - Le lac würmien du Grésivaudan. - R.G.A., t. 57.
BOINEAU (A.M.), 1965. - Contribution à l'étude de la pollution chimique et bactériologique des eaux de l'Isère. Thèse de Docteur en Médecine.
BOGOMOLOV. - Hydrogéologie et géologie à l'usage de l'ingénieur. - Ed. de la Paix.
BOUCHAYER (A.), 1925. - Le Drac et la plaine de Grenoble de 1280 à 1651. - R.G.A., t. 13.
--- 1925. - Le Drac et ses affluents. - R.G.A., t. 13.
--- 1925. - Le bassin du Drac. - R.G.A., t. 13.
--- 1945. - L'aménagement du Drac. - R.G.A., t. 45.
--- 1945. - Les déplacements de l'embouchure du Drac depuis le Moyen Age. - Bull. Soc. Sci. Isère, t. 45.
BOURDIER (F.), 1935. - Stratigraphie des alluvions quaternaires antéwürmiennes du Grésivaudan et de la vallée de Chambéry. - C.R.A.S., t. CCI, p. 977.
--- 1961. - Le bassin du Rhône au Quaternaire. - C.N.R.S.
--- A propos d'une note récente de R. BLANCHARD sur le Quaternaire alpin. R.G.A., t. 29.
BREMOND (R.), 1965. - Contribution à l'interprétation des mesures de débit et de rabattement dans les nappes souterraines. - Gauthier et Villars.
B. R. G. M. - Méthodes d'étude et de recherche des nappes aquifères.

CAMBEFORT, 1966. - Forages et sondages ; leurs emplois dans les travaux publics. Eyrolles.
CASTANY. - Traité pratique des eaux souterraines. - Masson.
--- Prospection et exploitation des nappes. - Masson.

CHOUTEAU (A.F.), 1968. - Influence de la pollution chimique sur les populations animales de la rivière Isère. D.E.S., Grenoble. Sciences.
CHOUTEAU (A.F.), FOURNEAUX (J.C.), 1968. - Etude de la chimie des eaux souterraines de la plaine du Grésivaudan. - Ass. des géol. du S.E., Lyon.
COLAS, 1946. - L'écoulement de l'eau dans les terrains perméables. - L'Eau, n° 10 - 11 - 12.
Compagnie de prospection géophysique française : 1970. - Confluence Isère - Drac, recherche de zone perméable. (inédit).

DENIZOT. - Les argiles lacustres d'Eybens et les dépôts lacustres du Grésivaudan. - T.L.G., t. 30.
DERRUAU. - Précis de géomorphologie. - Masson.
DUBUS, 1969. - Le Quaternaire en tant que aquifère. - R.G.A., t. 57, fasc. 3.
DUBUS, FOURNEAUX (J.C.), 1969. - Les ressources en eau de la vallée de l'Isère. - R.G.A., t. LVI.

FOURNEAUX (J.C.), 1968. - Hydrogéologie du Grésivaudan. - Thèse 3e Cycle, Sicences. Grenoble
--- 1968. - Résultats préliminaires de l'étude hydrogéologique de la plaine du Grésivaudan, entre Pontcharra et Grenoble. - C.R.A.S., t. 266, p. 64-67.
FRECAULT (R.), STRAUS (R.), 1969. - Composition chimique des eaux souterraines et nature lithologique des bassins. - Rev. géogr. phy. et géol. dyn., 2e série, vol. X, fasc. 3.

GIGNOUX (M.), 1946. - Les nappes d'eau souterraines profondes dans les alluvions des vallées alpines. - T.L.G., t. 24.
--- 1944. - L'épaisseur des dépôts quaternaires dans la plaine de Grenoble. - C.R.S.S.G.F., p. 77
--- Traité de stratigraphie.
GIGNOUX (M.), MORET (L.). - Géologie dauphinoise. - Masson.
GIRARD (R.). - La corrosion des métaux ferreux par les eaux naturelles "L'eau", n° 50. 1963.
---, 1967. - Méthode d'étude d'une eau naturelle. "L'eau", n° 54.
GOGUEL, 1959. - Application de la géologie aux travaux de l'ingénieur. Masson.
GUEYMARD (E.), 1844-1847. - Statistiques générales du département de l'Isère.
--- 1839. - Notice sur le sondage de Bois Rolland près Grenoble. - Bull. Stat. de l'Isère, t. 1

JAIL (M.). - Note préliminaire sur les précipitations à Grenoble depuis 1878. - R.G.A., t. 56, fasc. 3
JAIL (M.), MARCHINI (J.). - Observations météorologiques dans le département de l'Isère pour l'année 1968. - R.G.A., t. 58, fasc. 1

KILIAN (W.). - Rapport entre les terrains géologiques et les différentes sources thermo-minérales. Allier.

LEROY (C.), 1839. - Statistiques scientifique et médicale sur les eaux minérales des environs de Grenoble. - Bull. Stat., Isère.
LETOUZE (F.), 1970. - Etude géologique et hydrogéologique de la vallée du Rhône entre Vienne et Andance. - Thèse 3e Cycle, Grenoble.
LORY (C.), 1874. - Analyse des eaux de rivières et de sources. P.V. du Conseil Général du département de l'Isère.
LORY (P.), 1902. - Quelques observations sur le pléistocène de la région grenobloise. - T.L.G. VI, fasc. 2.
--- 1904. - Sur les vallées de la région grenobloise. - Bull. Soc. Sci., Isère, t. 4.
--- 1923. - Le glaciaire entre la plaine de Grenoble et Chamrousse. - Bull. Soc. Sci., Isère, t. 45.
--- 1941. - Dépôts d'obturation glaciaires : les argiles d'Eybens. - R.G.A., t. 29

MARCHAND, 1957. - Les nappes souterraines des vallées du Drac, de la Romanche et de la Gresse. Rev. "l'ingénieur".
MICHEL (R.), 1960. - Contribution à l'étude des températures des sources dans le département de l'Isère. - T.L.G., t. 36.
--- 1959. - Sur la nature et l'épaisseur des alluvions quaternaires dans le bassin de Vizille. - T.L.G., t. 35
--- 1961. - Aperçu d'ensemble sur la structure géologique du département de l'Isère. - R.G.A., t. 49.

MIEGE (J.), 1951. - A propos de l'aménagement du Grésivaudan. - R.G.A., t. 39
MORET (L.), 1946. - Les sources thermo-minérales. Masson.
--- 1950. - Sources thermales alpines et grands travaux de barrages. - T.L.G., t. 34.
--- 1956. - Données nouvelles sur l'âge absolu et l'origine des argiles d'Eybens. - T.L.G., t. 32.
MORET (L.), DEBELMAS (J.), 1959. - Structures géologiques du bassin de Vif. - T.L.G., t. 35.

PACHOUD (A.), 1968. - Note explicative de la carte hydrogéologique du bassin inférieur du Drac. Publication B. R. G. M.
PARDE. - Fleuves et rivières. Armand Collin.
--- , 1940. - Transports de matières solides et remblaiement de la cluse de Grenoble. - R.G.A., t. 28.
PEGUY (Ch.), 1967. - Aperçu sur le climat des Alpes dauphinoises.
PIRAUD, 1936. - Arbre sub-fossile trouvé dans le sous-sol de Grenoble. - Bull. Soc. dauph. Ethnologie, t. 29.
--- 1938. - Cailloux du Drac et argile de l'Isère. Bull. Soc. Sci., t. 58.
--- 1924. - Le sous-sol de la vallée du Grésivaudan. - Bull. Soc. Sci. Isère, t. 45.
--- 1922. - Présence d'une couche de tourbe dans le sous-sol de Grenoble. - P.V. de la Soc. dauphinoise d'études biologiques.

REMENIERAS. - Hydrogéologie de l'ingénieur. - Eyrolles.
ROCHE. - Hydrologie de surface. - Gauthier - Villars.
RODIER. - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Dunod.

SARROT-REYNAULD (J.), 1953. - Observations sur la nature physico-chimique des argiles d'Eybens. - T.L.G., t. 31.
------- 1963. - Le glaciaire et fluvio-glaciaire du Drac et de la Romanche à la périphérie du Dôme de la Mure. - T.L.G., t. 37.
------- 1963. - Deux exemples de régime hydrogéologique dans les collines du Bas-Dauphiné. - T.L.G., t. 39.
SARROT-REYNAULD (J.), MONTJUVENT (G.), FOURNEAUX (J.C.), 1969. - Sur l'extension des argiles d'Eybens et leurs rapports avec les formations quaternaires voisines. - C.R.A.S., t. 268.
SCHOELLER (H.), 1935. - Utilité de la notion d'échange de base pour la comparaison des eaux souterraines vadoses. - B.S.G.F., t. V.
--- 1949. - Variation de la composition chimique dans une même nappe. A.G. Oslo.
Géochimie des eaux souterraines. Rev. Ins. France Pétrole, t. 10, n° 3.
--- 1955. - La solubilité du fer dans les eaux souterraines. Ann. Institut Hydrologie et Climatologie, t. XXVI, fasc. 1, n° 78.
--- 1967. - Méthode pour obtenir le bilan des eaux souterraines. A. G., Berne.
Les eaux souterraines. Masson.
--- 1970. - L'acide carbonique des eaux souterraines. Publication B. R. G. M.

VIVIAN (H.), 1969. - Les crues de l'Isère à Grenoble et l'aménagement actuel des digues. - R.G.A., t. 58, fasc. 1.

ANNEXE II

RESULTATS DES ANALYSES DU 1-2 juillet 1969

	DHT	TAC	CO_3H	NO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	Na	K
Drac	5,35	6,7	82	0,9	35	12	31	6,0	4,7	0,6
Drac	9,95	6,9	84	0,9	29	32	13,6	1,0	18	1,7
Isère	24,6	10,2	124	0,9	116	8,0	73	11	2,8	1,1
Isère	20,2	9,2	112	0,85	70	9,5	61	5,0	2,5	0,88
Romanche	10,8	7,4	90	1,0	30	6,5	32	6,8	1,5	0,6
21	32,0	22,7	277	0,1	37	278	101	10	172	4,9
23	40,4	23,6	288	0,1	21,5	289	123	13	141	4,9
24	35,2	22,1	270	1,7	25	265	109	9	141	4,7
25	41,2	25,0	305	4,45	48	238	131	20	102	5,3
28	19,4	14,4	176	2,1	42	22	61	9,7	7,0	1,0
30	33,4	19,7	240	4,5	116	56	101	25	19	4,9
31	36,4	20,5	250	5,35	67	76	100	24	12,5	6,8
34	54,8	27,0	329	4,65	195	5,8	173	25	8,6	1,8
36	115,4	30,2	368	1,5	695	32	391	16	7,6	2,25
83	52,4	21,1	245	2,6	41	290	139	23	95	4,9
82	42,4	22,4	273	1,8	32	255	113	35	98	4,9
84	45,2	24,8	303	1,2	39	240	129	11	117	4,9
88	14,2	12,9	157	2,6	40	42	46	18	19	1,2
89	14,0	16,0	195	2,9	42	65	44	1,8	35	1,4
94	29,4	20,3	248	10,5	60	175	77	16	117	4,9
98	47,6	23	281	3,8	34	235	138	20	76	4,9
101	28,4	25,8	315	0,05	23	12,5	83	19	31	0,95
106	47,6	29,0	354	4,2	130	43	130	34	9,4	1,8
107	43,2	25,5	311	1,3	85	86	111	38	9,4	1,8
111	17,6	12,3	150	2,15	43	31	58	9,7	6,4	1,4
121	6,75	4,9	60		27	30	21	0,5	8,4	13,3
134	34,2	24,3	296	5,4	74	28	104	21	6,8	2,25
135	8,0	8,6	105	1,85	50	8,5	25	11,9	16,8	2,5
147	23,6	17,2	210	0,3	36	32	70	18	1,25	1,3
158	30,4	22,0	268	1,0	53	48	92	24	5,7	1,6
165	35,6	28,2	351	22	42,5	15	121	13	3,7	3,6
166	18,8	14,7	179	3,1	44,5	48	60	17	17	2,35
182	22,4	17,6	215	19,7	23	11	69	12	3,1	1,4
187	14,0	10,1	123	2,2	32	11,5	43	8,3	2,2	0,95

ANNEXE I

RESULTATS DES ANALYSES DU 10-11 décembre 1968

	DHT	TAC	CO_3H	NO_3	Cl	SO_4	Ca	Na	Mg	K
Drac	42,8	11,3	138	4,8	243	48	149	90	12,5	1,5
Drac	17,6	10,5	128	1,2	32	40	57	9,0	8,3	0,9
Drac	17,6	10,5	129	1,6	31	41	57	9,0	8,3	0,94
Isère	31,2	13	146	1,2	13	165	95	7,8	18,3	1,25
Isère	29	11,5	140	0,85	11,5	134	88	5,8	11	0,9
21	50,8	23,4	289	0,3	419	25,5	167	350	21	2,8
24	59,2	19,8	242	0,45	419	25,5	204	160	21	3,0
28	21,2	14,9	182	3,1	25,5	58	68	20	10	1,17
29	33,0	17,8	217	4,8	70	75	103	43	17,5	1,6
31	32,8	19,0	232	4,5	75	47	103	22	17	3,0
32	14,8	11,4	139	1,45	5,0	32	46	3,2	8,3	0,8
82	44,6	20,5	250	1,4	200	30	136	65	26	2,5
85	39,6	23,5	287	0,40	145	27	115	62	27	2,1
89	26,6	11,5	140	3,6	97	36	84	26	13,5	1,46
98	38,6	23,5	287	1,25	135	34	120	50	21	2,4
99	26,8	15,5	189	0,7	57,5	51	79	7,6	17	3,7
100	8,0	7,8	95		22,5	1	11,2	7,0	12,5	1,1
101	27,0	24,4	298	0,1	12,5	29	87	6,7	13	1,0
111	17,2	11,1	135	3,0	30	39	55	17	8,3	1,25
112	18,2	12,7	155	1,6	25,5	37	57	17	9,70	1,10
113	18,6	11,8	144	3,1	35,5	41,5	60	14	8,8	1,46
118	22,0	18,0	219	5,3	51,5	42	71	24	10	1,9
121	14,8	10,7	130	1,25	7,5	35	46	3,2	8,3	0,14
124	26,0	18,8	229	6,5	12	54	82	10,6	13,5	0,46
127	34,0	240	268	15,6	38	120	155	22	12,6	1,9
128	31,0	23,5	287	2,0	30	60,5	98	18	16	3,0
131	29,4	22,7	277	3,25	28,5	52	93	15	12	1,6
134	29,0	22,5	274	4,1	25,5	52	97	11,5	11,7	2,1
162	7,0	4,5	54,9		10	24	25	5,8	2	2,1

ANNEXE 3

RESULTATS DES ANALYSES DU 22 - 23 AVRIL 1970

	DHT	TAC	CO_3H	Cl	SO_4	NO_3	Ca	Mg	Na	K
4	19,6	15,2	185	28,5	34	1,3	66	14	12	0,95
8	18,6	10,2	124	205	13	0,5	63		106	1,85
10	16,8	1,6	19,5	163	2,	1,55	63		29	2,5
11	4,0	5,2	63,4	24	3	0,45	11,2		19	1,6
19	38,4	21,9	267	277	30,5	2,7	125		146	2,7
21	27,0	28,7	350	342	24	0,5	91		265	2,4
22	39,2	20,6	251	207	35	6,1	128		85	2,25
23	44,8	20,0	244	290	33	3,75	150		100	2,35
24	42,4	23,6	288	352	35	2,35	141		159	2,5
25	42,8	24,6	299	315	45	4,5	143		159	2,8
30	34,0	20,3	248	103	82	4,5	111		57,8	1,7
31	36,4	20,4	249	110	58	4,9	125		40	1,85
33	42,4	23,7	289	286	32	5,4	136		124	2,8
34	70,2	23,2	283	7,0	390	1,55	264		13	3,62
36	42,4	29,5	360	7,0	91	8,7	151		11,7	0,26
37	91,2	29,8	364	43,5	455	22	333		18	7,5
45	36,2	28,0	342	16,5	54	9,5	126		10,6	2,4
49	42,4	35,3	423	16	57,5	0,4	156		9,4	0,32
51	35,2	29,4	359	15	40	13,8	127		9,04	2,35
59	33,6	27,4	334	19,5	41	22	122		12,4	3,5
60	48,0	25,1	306	149	100	2,9	165		49	2,4
68	20,8	17,2	210	5,5	33	33,5	74		23,7	0,81
81	48,6	34,1	416	15,5	105	25	176		11,7	2,13
82	38,0	21,3	260	298	31	2,15	123		135	2,6
89	23,0	20,6	251	55	54	7	76		62	1,41
92	19,2	16,7	204	67	55	12	66		76	2,35
94	22,6	17,0	207	84	53	11	77		69	1,8
102	28,6	27,5	335	24	17	0,75	92		13	0,75
103	41,6	34,1	416	18,5	52,5	0,7	145		11,5	1,94
107	41,4	23,6	288	19	103	70	147		16	1,7
111	20,2	14,4	176	57	46	3,2	71		35	1,33
118	19,6	17,2	210	90	53	9,5	70		80	2,13
119	21,8	11,4	138	86	38	2,5	74		23,4	2,8
121	17,8	13,0	159	5,5	43	3,55	59		4,0	0,75
125	27,0	15,2	185	60	89	8,5	85		47	3,5
134	41,4	23,5	287	36	120	5,6	137		20	2,80
135	13,4	9,3	113	4,5	47	4,3	40		14,6	1,70
147	26,2	20,6	251	40	27	0,6	84		14	1,49
151	6,2	4,5	54,9	3,5	11	3,1	28		2,2	1,85
156	21,6	16,3	199	19	34	5,4	71		6	0,95
159	6,2	4,3	53	4,5	14	1,4	25		2,3	2,25
163	41,2	23,4	285	104	67,5	1,25	135		18,8	1,80
164	50,0	35,2	430	23	105	60	156		23,5	0,40
169	49,0	26,2	320	116	110	2,1	166		33,5	2,25
173	39,8	36,6	446	27	21,5	0,6	131		11	1,49
182	28,8	18,0	220	13	30,5	19,5	72		8,1	0,75

ANNEXE 3 (suite)

	DHT	TAC	CO_3H	Cl	SO_4	NO_3	Ca	Mg	Na	K
184	29,0	21,2	259	17,5	43	29	99		7,6	3,62
185	27,2	24,0	293	10,5	32	4,9	91		4,7	1,10
187	21,4	13,5	165	22	56	6,5	72		11	0,95
204	17,4	12,0	146	10	39,5	3,0	58		6,7	0,62
218	20,4	12,8	156	14,5	56	3,3	71		5,6	0,88
219	23,2	12,8	156	54	50	3,75	79		14,5	1,19
211	45,8	29,1	355	18	138	17,7	160		11,6	2,50
POINT DE PRELEVEMENT USINE PROGYL										
ACX	33	12	146	170	37	5	109		60	1,7
IV	32,0	13,4	163	297	45,5	4,65	107		138	1,85
V	34,2	15	183	168	39	5,4	114		4,9	1,6
VI	27,8	13,8	168	125	39,5	2,6	95		36	0,95
VII	29,0	13	158	125	35,5	3,7	94		29	1,44
XI	22	13,6	166	123	47,5	2,2	73		73	1,7
X	33,2	15,3	187	372	46	3,5	111		190	1,2
IX	17,4	19,0	232	357	69	0,0	59		270	1,7
XII	21,4	16,4	200	27	45,5	4,5	72		21	1,41
DRAC	19,4	13,1	160	29,5	44	---	62		34	1,94
ISERE	25,0	12,7	155	7,5	88	2,7	82		5,6	1,6
BRESSON	27,8	23,8	290	10,5	30	8	99		6,7	3,8
Source du plateau de Champagnier	22,2	21,5	262	6	13	2,6	72		6,0	1,33

ANNEXE 4

RESULTATS DES ANALYSES DU 8 DECEMBRE 1970

	DHT	TAC	Cl	SO_4	NO_3	Ca	Na	K
8	28,4	24,5	12	25	8,5	103	6,8	4,43
10	27,0	1,1	255	1,5	1,1	103	21,5	2,5
11	2,4	3,3	24,5	1,5	0,25	5,6	14	1,4
21	18,8	22,9	207	39	0,1	62	175	1,8
25	25,4	27,4	160	34	2,95	79	146	1,7
26	24,8	27,4	161	30,5	1,15	83	140	2,4
28	22,6	19,6	30	64	4	77	43,2	1,6
29	29,3	20,7	55	82	4,5	96	44	1,7
31	29,6	20,0	72	51	4,3	97	30,2	1,8
33	29,2	29,5	192	20	2,5	93	154	3,3
34	95,4	22,2	121	480	3,55	337	15	1,8
36	116,8	39,3	47	530	3,1	417	16	0,8
37	67,4	27,3	49	250	5,7	240	20	6,2
70	69,6	21,3	69	290	70,5	257	42	1,33
82	25,0	24,2	139	22,5	1,9	81	102	2,4
89	20,8	12,3	73	43	2,7	70	37,7	1,41
102	23,6	21,0	35	19	0,7	74	22,6	1,49
103	41,8	33,8	20	55	0,3	147	4,3	3,33
113	18,4	11,4	57	40	1,7	63	16	1
121	9,4	1,9	103	35	0,75	32	40	42,6
125	28,4	20,4	32	70	3,3	96	31	3,8
130	15,4	14,5	82	5,5	0,35	50	39	5
134	22,6	20,8	47	47	2,1	97	20	1,9
147	30,4	22,0	55	31	0,6	96	16	1,49
149	6,2	8,9	13,5	1	0,15	9,6	18,2	3,04
150	45,8	36,3	29	85	2,0	152	18,0	2,8
151	9,4	9,8	25	24	1,6	32	14,6	31,6
152	3,0	2,9	52	30	0,7	12	44	3,6
154	4,8	4,2	38	2	0,7	14	15	7,1
158	38,0	22,2	101	52	0,52	194	18,8	1,7
159	3,2	4,8	19	---	1,2	12	4,4	12
160	6,6	5,4	11,5	9	0,85	33	5,8	3,92
164	28	29,7	8	2	1,7	85	11,7	1,25
184	---	---	14,5	23	29	95	7,3	3,3
185	24,1	24,5	14,5	35,5	7,5	105	5,2	1,7
206	17,2	10,6	67	35	0,15	59	29	8,5
207	7,0	3,9	9,5	13	2,9	25	5	8,9
208	21,2	32,5	233	7	0,3	70	245	2,35
209	30,4	22,4	35	51	14,2	101	18	2,25
210	15,8	9,1	23	55	1,15	53	14,6	2,94
211	32	24,4	14,5	1,8	16,0	112	9,04	2,4
213	25,2	23,2	252	42	0,15	92	170	2,4
218	16,4	11,7	12	32	2,25	55	5,6	1
219	17,2	13,3	15	35	2,75	57	11	1,19
220	39,4	23,9	15	75	61	128	9,4	1,33

ANNEXE 4 (suite)

POINT DE PROGYL

	DHT	TAC	Cl	SO_4	NO_3	Ca	Na	K
IV	18,2	14,2	183	40	2,8	60	125	1,41
V	18,8	16,4	29	34	6,0	62	30;4	1,25
VI	20,4	13,0	274	73	1,0	69	210	1,3
VII	16,0	13,5	39	36	2,9	52	35	1,19
IX	12,0	13,3	351	42		32	234	1,4
XI	17,6	13,0	31	35	1,8	58	18,08	1
ACX	18,2	17,3	17	34	5,6	59	26,8	1,33
ISERE	28,0	11,2	10,5	138	1,3	91	11	1,19
Ruisseau d'EYBENS	30,5	26,2	12,5	27	7,05	111	6,4	2,94
Source du plateau de CHAMPAGNIER émergence de la Commanderie d'ECHIROLLES	25,4	22,5	6	9	4,5	79	6,0	2,4

Vu,
Grenoble, le
le Président de la thèse

R. BARBIER

Vu, et permis d'imprimer,
Grenoble, le
le Président de l'Université
Scientifique et Médicale

M. SOUTIF