



HAL
open science

**Régime des eaux souterraines et paléomorphologie,
géologie et hydrogéologie de la basse vallée de l'Arve
(Haute-Savoie) - Alpes françaises**

Claude Armand

► **To cite this version:**

Claude Armand. Régime des eaux souterraines et paléomorphologie, géologie et hydrogéologie de la basse vallée de l'Arve (Haute-Savoie) - Alpes françaises. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1978. Français. NNT: . tel-00605995

HAL Id: tel-00605995

<https://theses.hal.science/tel-00605995>

Submitted on 5 Jul 2011

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

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

N° d'ordre :

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR de SPECIALITE
(Géologie Appliquée)

par

Claude ARMAND

REGIME DES EAUX SOUTERRAINES ET PALEOMORPHOLOGIE
GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DE LA
BASSE VALLEE DE L'ARVE
(Haute-Savoie)

Soutenue le 12 septembre 1978 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER	Professeur à l'USMG	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'USMG	Rapporteur
J.-C. FOURNEAUX	Maître Assistant à l'USMG	Examineur

A V A N T P R O P O S

Au terme de cette étude, c'est avec plaisir que je tiens à remercier tous ceux qui, à des titres divers, ont contribué à sa réalisation :

- *Monsieur le Professeur R. BARBIER, qui me fait l'honneur de présider le jury.*
- *Monsieur le Professeur J. SARROT REYNAULD qui m'a confié ce travail et l'a suivi depuis le début.*
- *Monsieur J.C. FOURNEAUX, Maître Assistant, qui m'a très amicalement fait bénéficier de son expérience sur les formations quaternaires.*
- *Monsieur E. LANTERNO, Conservateur du Muséum d'Histoire Naturelle de GENEVE, qui m'a accueilli avec sympathie et m'a introduit dans le milieu géologique genevois.*
- *Monsieur G. AMBERGER, géologue du canton de GENEVE, à qui je dois de nombreuses informations sur l'hydrogéologie genevoise ... et frontalière.*
- *Monsieur P. OLIVE, sous-directeur du Centre de Recherche Géodynamique de THONON.*
- *Madame B. USELLE, du service spectrophotométrie ;*
et enfin, mes amis de Troisième Cycle de l'Institut DOLOMIEU.

Je dédie ce travail à Michèle.

" I'm fixing a hole where the rain gets in
and stop my mind from wandering where
it will go "

The Beatles

S O M M A I R E

	Pages
<u>INTRODUCTION</u>	I
I CADRE GEOGRAPHIQUE	3
II ORIGINE ET BUT DE L'ETUDE	4
III CADRE GEOLOGIQUE	5
I) Aperçu structural du substratum	5
2) Aperçu stratigraphique du substratum	8
IV CONCLUSION	18
<u>PREMIERE PARTIE : GEOLOGIE DES FORMATIONS QUATERNAIRES</u>	
<u>CHAPITRE I : ETUDE GEOPHYSIQUE</u>	21
I INTRODUCTION	23
II DISPOSITIF UTILISE ET MATERIEL DE MESURE	24
I) Dispositif	24
2) Matériel de mesure	24
3) Mode d'interprétation	25
III DIFFICULTEES RENCONTREES	25
I) Densité de l'habitat	25
2) Profondeur du substratum	25
3) Faibles résistivités	26
4) Faibles contrastes de résistivité	26
5) Présence de nappes aquifères	26
6) Détermination de l'épaisseur des différentes formations quaternaires	27
IV ETALONNAGES DE LA RESISTIVITE DU SUBSTRATUM	27
V RESULTATS	29
I) Gamme de résistivités des différentes forma- -tions	29
2) Forme du substratum molassique	31
VI CONCLUSION DE L'ETUDE GEOPHYSIQUE	37
<u>CHAPITRE II : ETUDE MORPHOLOGIQUE ET LITHOLOGIQUE DES FORMATIONS QUATERNAIRES</u>	39
A-INTRODUCTION	41
B-MORPHOLOGIE ET LITHOLOGIE DES PRINCIPAUX ENSEMBLES QUATERNAIRES	42
I FORMATIONS QUATERNAIRES OCCUPANT LES FLANCS DE LA VALLEE DE L'ARVE	42
I) Les moraines latérales	42
2) La terrasse d'Esserts-Salève	45
II LES FORMATIONS QUATERNAIRES OCCUPANT LE FOND DE LA VALLEE	49
I) Vallée de l'Arve en amont du pont de Bellecombe	49
2) La zone des rocailles	52
3) La terrasse d'Arthaz-Le Pont et ses bordures	57
4) La terrasse de la Bergue-Loex	65
5) La terrasse d'Annemasse	70
6) La terrasse d'Etrembières	73
7) Les sillons de surcreusement glaciaire imprimés dans le substratum	74
C-CONCLUSION	79
<u>CHAPITRE III : ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE</u>	83
I INTRODUCTION	85

II	COMPTAGE PETROGRAPHIQUE	85
1)	But recherché	85
2)	Méthode employée	85
3)	Résultats	89
III	MORPHOMETRIE DES GALETS	92
1)	But recherché	92
2)	Méthode employée	94
3)	Résultats	94
IV	ANALYSE GRANULOMETRIQUE	95
1)	But recherché	95
2)	Méthode employée	95
3)	Résultats	97
V	ETUDE CALCIMETRIQUE	98
1)	But recherché	98
2)	Méthode employée	98
3)	Résultats	98
VI	CONCLUSION DE L'ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE	I02
1)	Les comptages pétrographiques	I02
2)	Les études granulométriques et morphométriques	I02
3)	La carbonatimétrie	I03
<u>CHAPITRE IV : ETUDE DES STADES DE RETRAIT GLACIAIRES</u>		I05
A-	INTRODUCTION	I07
B-	LES PREMIERS STADES DE RETRAIT OBSERVABLES	I07
I	GRAND SALEVE	I07
II	VOIRONS ET PETIT SALEVE	I09
1)	Pentes des Voirons	I09
2)	Pentes des Voirons et du Salève au des- -sous de 900 m	I09
III	COL DE MONNETIER	I10
C-	LES STADES INFERIEURS DU RETRAIT GLACIAIRE	I10
I	ENREGISTREMENT PAR LES VARIATIONS DU NIVEAU DE BASE DES TORRENTS	I10
II	ANALYSE MORPHOLOGIQUE DES STADES DE RETRAIT GLACIAIRE	I13
1)	Stade d'Esserts-Salève	I13
2)	Stade de La Bergue	I15
3)	Stade d'Arthaz	I17
4)	Stade d'Annemasse	I19
5)	Stade d'Etrembières	I21
6)	Récurrence glaciaire des Rocailles	I21
7)	Edification de la terrasse de Contamine sur Arve	I21
D-	CONCLUSION	I23
I	ESSAI DE CORRELATION AVEC LES STADES OBSERVES DANS LA REGION DE THONON	I23
II	ESSAI DE CHRONOLOGIE ABSOLUE	I23
<u>DEUXIEME PARTIE : HYDROGEOLOGIE</u>		
<u>CHAPITRE I : ETUDE CLIMATOLOGIQUE</u>		I29
I	INTRODUCTION	I31
II	VENTS DOMINANTS	I31
III	HYGROMETRIE	I33
IV	TEMPERATURES	I33
1)	Moyennes annuelles des températures	I33
2)	Moyennes mensuelles des températures	I33
3)	Amplitude thermique	I34
V	ETUDE DES PRECIPITATIONS	I35
1)	Réseau d'observation	I35
2)	Pluviométrie observée du 1-7-76 au 30-6-77 ...	I37
VI	ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION	I43
I)	Evaporation réelle calculée par la formule de Turc	I44

2) Evapotranspiration selon Coutagne	I44
3) Evapotranspiration potentielle : formule de Serra	I45
4) Evapotranspiration potentielle de Thornthwaite	I45
5) Tableau récapitulatif des résultats	I46
VII CONCLUSION DE L'ETUDE CLIMATOLOGIQUE	I46
<u>CHAPITRE II : ETUDE DES COURS D'EAU</u>	I49
I INTRODUCTION	I51
II DIMENSIONS	I53
I) L'Arve	I53
2) Les cours d'eau locaux	I53
III EVOLUTION MENSUELLE DES DEBITS	I53
I) L'Arve	I53
2) Les cours d'eau locaux	I54
IV EVOLUTION MENSUELLE DE LA RESISTIVITE	I57
I) L'Arve	I57
2) Les cours d'eau locaux	I57
V RELATION RESISTIVITE-DEBIT DES COURS D'EAU	I58
I) L'Arve	I58
2) Les cours d'eau locaux	I58
VI RELATION ENTRE LA RESISTIVITE DES COURS D'EAU ET CELLE DES NAPPES	I61
I) But de l'étude de cette relation	I61
2) Méthode employée	I61
3) Mise en oeuvre	I61
4) Résultats	I65
VII ALIMENTATION DE L'ARVE A PARTIR DES CALCAIRES DU SALEVE	I67
VIII CONCLUSION A L'ETUDE DES COURS D'EAU	I67
I) Types de cours d'eau	I67
2) Relation résistivité-débit	I67
3) Relation résistivité des nappes-résistivité des cours d'eau	I68
<u>CHAPITRE III : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE</u>	I71
A-INTRODUCTION	I73
I METHODE UTILISEE	I73
II ROLE DE LA MOLASSE OLIGOCENE	I73
B-ETUDE GENERALE DES NAPPES DE LA BASSE VALLEE DE L'ARVE	I74
I NAPPES SUPERFICIELLES CONTENUES DANS LES PLACA- GES MORAINIQUES	I74
I) Résistivité	I74
2) Débit	I74
3) Température	I79
II PETITES NAPPES CAPTIVES DANS LES ARGILES A BLOCAUX	I79
I) Résistivité	I79
2) Débit	I79
3) Température	I80
III NAPPES DES TERRASSES FLUVIOGLACIAIRES	I80
I) Nappe de la terrasse de Loex	I80
2) Nappe de la terrasse d'Arthaz-Le Pont	I81
IV SOURCES LIEE AU CONTACT CALCAIRES DU SALEVE- MOLASSE	I82
I) Source 344 Bas Mornex	I83
2) Source 487 Faubourg	I84
V LA NAPPE CAPTIVE DU SILLON DE L'ARVE	I84
I) Historique des recherches	I84
2) Aquifère	I86
3) Réseau d'observation	I86
4) Caractéristiques de la nappe	I87
5) Variations des teneurs en tritium et de la résistivité	I93

6) La température	199
VI CAS DU SILLON DE LA MENOGE	201
1) Aquifère	201
2) Nappe captive rencontrée par les forages de Rosses et Terrailon	201
VII CONCLUSION DE L'ETUDE DE LA NAPPE PROFONDE ..	201
C-ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION COMPRISE ENTRE REIGNIER ET LA RN 203A	205
I BUT DE L'ETUDE	205
II METHODE UTILISEE	205
1) Mesures	205
2) Utilisation des mesures	206
III RESULTATS : IDENTIFICATION DES DIFFERENTS AQUIFERES	206
1) La partie située à l'ouest des Rocailles	209
2) La zone des Rocailles	211
3) La partie située à l'est des Rocailles	213
IV EVOLUTION DE LA RESISTIVITE DES EAUX DANS LES AQUIFERES SUPERFICIELS DE LA REGION DE REIGNIER	214
1) Période de mai à septembre 1976	214
2) Evolution jusqu'en avril 1977	225
V EVOLUTION MENSUELLE DES TEMPERATURES	226
1) Causes d'imprécision	226
2) Résultats	226
VI CONCLUSION DE L'ETUDE DE LA REGION DE REIGNIER	227
1) Les nappes libres superficielles	227
2) Les nappes captives superficielles	227
3) Nappe captive	228
CHAPITRE IV : ETUDE HYDROCHIMIQUE	231
A-DETERMINATION DES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES	234
I PARAMETRES PHYSIQUES	234
1) La température	234
2) Le pH	234
3) La résistivité	234
II PARAMETRES CHIMIQUES	236
1) Titrimétrie	236
2) Colorimétrie	238
3) Turbidimétrie	239
4) Spectrophotométrie de flamme	239
B-HYDROCHIMIE DES APPORTS ATMOSPHERIQUES	241
I INTRODUCTION	241
II MODE DE PRELEVEMENT	241
III RESULTATS	241
C-HYDROCHIMIE DES NAPPES AQUIFERES ET DES COURS D'EAU ..	243
I UTILISATION DE L'INFORMATIQUE POUR LE TRAITEMENT DES DONNEES D'ANALYSE	243
1) Traitement des données	243
2) Support d'entrée des données	245
3) Détail des analyses chimiques effectuées	245
II PLAN DE L'ETUDE HYDROCHIMIQUE	246
III HYDROCHIMIE DES NAPPES SUPERFICIELLES	247
1) Composition chimique en mg/l	247
2) Faciès chimique	252
3) Formules caractéristiques	252
4) Rapports des teneurs en méq/l	252
5) Evolution des proportions entre les ions, diagramme de Piper	252

6) Indice d'échange de bases	252
7) Origine des ions	255
IV HYDROCHIMIE DES NAPPES CAPTIVES	256
1) Nappe captive sous la plaine de Reigner	256
2) Nappes captives lenticulaires dans les argiles à blocs	263
3) Nappe captive profonde du sillon de l'Arve	267
V HYDROCHIMIE DES SOURCES LIEES AU SUBSTRATUM ...	275
1) Sources liées au contact calcaires crétacés-molasse tertiaire	275
2) Sources issues des calcaires crétacés ..	278
VI HYDROCHIMIE DES COURS D'EAU	281
1) Composition chimique en mg/l	281
2) Faciès chimique	284
3) Formules caractéristiques	284
4) Rapports des teneurs en méq/l	284
5) Evolution des proportions entre les ions, diagramme de Piper	284
6) Indice d'échange de bases	284
7) Origine des ions	285
VII CONCLUSION DE L'ETUDE HYDROCHIMIQUE	285
CONCLUSION GENERALE	291

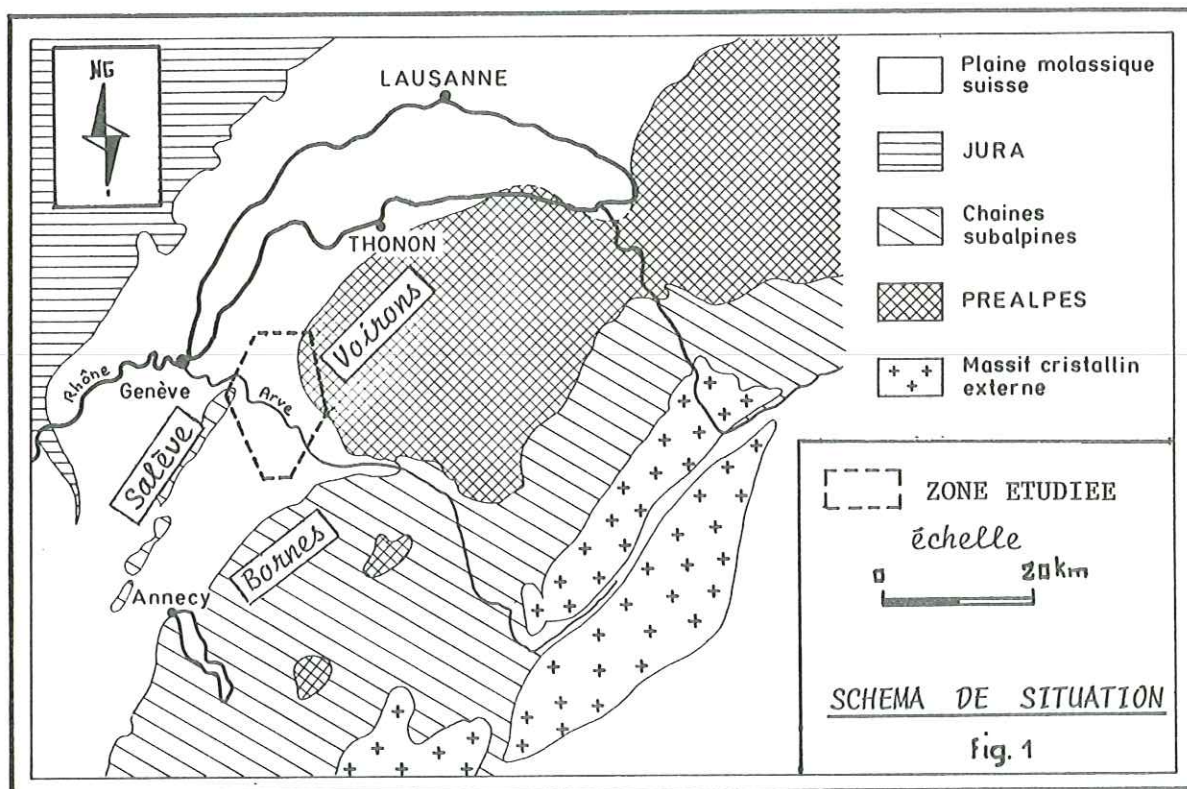
INTRODUCTION

INTRODUCTION

I - CADRE GEOGRAPHIQUE

. Notre étude a porté sur une superficie de 100 km^2 environ, auxquels il faut ajouter environ 10 km^2 étudiés sous l'angle des stades de retrait glaciaire et destinés à raccorder nos travaux avec ceux de R.VIAL sur la feuille DOUVAINNE 1/50.000^e.

. La basse vallée de l'Arve est limitée au Nord par la frontière suisse qui borde la dépression lémanique, à l'Ouest par le massif préalpin des Voirons, au Sud par une ligne joignant CONTAMINE sur ARVE à CORNIER, et à l'Ouest par les collines molassiques d'EVIERES qui s'appuient sur le flanc méridional du chaînon subalpin du salève. (voir figure ci-dessous).



I I - O R I G I N E E T B U T D E L ' E T U D E

. Jusqu'à présent, et en comparaison de son prolongement en Suisse, la basse vallée de l'Arve n'a pas fait l'objet d'un intérêt soutenu de la part des géologues : la carte géologique à l'échelle 1/50.000^e ANNEMASSE est toujours à paraître, et le relevé des terrains quaternaires de la feuille ANNECY 1/80.000^e qui couvre notre zone d'étude date de soixante dix ans.

. Pourtant, la basse vallée de l'Arve offre de nombreux facteurs favorables à une étude axée sur les formations quaternaires et l'hydrogéologie.

. En effet, située au confluent de deux vallées glaciaires importantes, on peut s'attendre à ce que cette région ait conservé des témoins intéressants de l'affrontement, puis des phases de retrait des glaciers du Rhône et de l'Arve à la fin de la dernière glaciation.

. Par ailleurs, depuis une vingtaine d'années, cette zone frontalière est le siège d'un développement industriel très rapide entraînant une forte augmentation de population.

. pour satisfaire l'accroissement des besoins en eau qui en ont découlé, l'agglomération annemassienne a dû abandonner les captages vétustes des Voirons, qu'elle utilisait jusqu'en 1947, pour se tourner vers des pompages en nappe alluviale, aux Eaux Belles dès 1950 puis à Veyrier en 1956 et 1962, et enfin à Creuze et Nant, respectivement en 1972 et 1974.

. Tous ces forages montraient l'importance hydrogéologique des sillons d'érosion découverts dans le substratum molassique.

C'est l'ensemble de ces facteurs qui nous a incité à entreprendre l'étude des formations quaternaires et de l'hydrogéologie de la basse vallée de l'Arve.

Après avoir défini le cadre géologique de notre étude, nous envisagerons successivement :

- L'ETUDE GEOPHYSIQUE, dont le principal objectif sera la détermination de la morphologie du substratum molassique, essentielle à connaître.

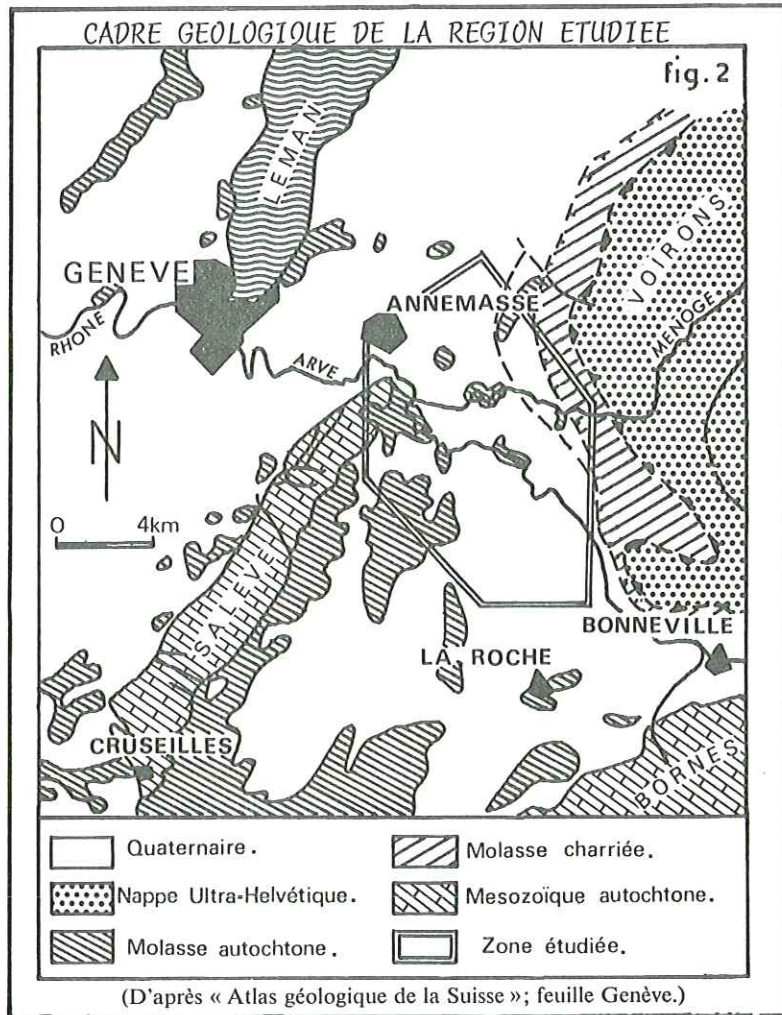
- Les ETUDES LITHOMORPHOLOGIQUE et SEDIMENTOLOGIQUE des formations quaternaires, destinées à servir de base aux études suivantes :

- L'ETUDE DES STADES DE RETRAIT GLACIAIRE, établissant une chronologie relative entre les différents témoins laissés par la décrue des glaciers.

- L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA BASSE VALLEE DE L'ARVE, comprenant une partie détaillée consacrée à la région de REIGNIER, où nous disposons d'un réseau très dense de points d'observation.

- L'ETUDE HYDROCHIMIQUE, enfin, qui s'intéressera à la physicochimie des aquifères et aux variations de ses différents paramètres au cours de l'année. C'est pour faciliter cette étude que nous avons mis au point un programme informatique automatisant de nombreux calculs fastidieux.

I I I - C A D R E G E O L O G I Q U E



I) APERCU STRUCTURAL DU SUBSTRATUM

Trois domaines structuraux sont à distinguer :

a - Molasse autochtone.

Dans toute la partie médiane de la basse vallée de l'Arve, et dans les collines de la bordure Ouest, on trouve la molasse autochtone, dont la structure d'ensemble est monoclinale, pentée vers le Sud - Est.

Dans le détail, la structure est beaucoup plus complexe,

mais le très petit nombre d'affleurements et la monotonie des facies rendent l'analyse difficile.

Des investigations géologiques et géophysiques, entreprises depuis une vingtaine d'années dans la partie aval de notre zone d'étude, ont donné quelques précisions sur le style tectonique de la molasse autochtone :

Suivant JAYET (1956), RIGASSI (1957), SCHROEDER (1958) et POLDINI (1963), un réseau de failles d'orientation globale NW - SE délimiterait de nombreux compartiments, ou "claveaux" ayant une valeur soit anticlinale, soit synclinale, d'axe NE - SW.

En fait, sur le terrain, nous n'avons pas trouvé d'inversions de pendage, par contre, on note fréquemment la présence de diaclases faiblement inclinées portant des stries de glissement. C'est le cas, en particulier, dans la coupe que nous avons relevée dans le lit du torrent de la Menoge entre LA FORGE et LA BERGUE.

Il est donc probable que les limites entre les compartiments synclinaux et anticlinaux correspondent à un ensemble de failles inverses, d'orientation NE - SW et plongeant vers le SE. Celles-ci seraient apparues sous l'effet des "poussées préalpines" responsables du charriage de la molasse au contact de la nappe Ultrahelvétique. L'écaille de la colline de Monthoux serait un exemple de cette disposition.

Quant à la vallée de l'Arve, elle correspondrait à un décrochement NW - SE, associé à des failles profondes d'effondrement responsables de l'axe gravifique négatif observé par E. POLDINI entre Monthoux et le Petit Salève.

b - Nappe de charriage ULTRAHELVETIQUE.

A l'Est, se trouve le massif des Voirons, dont la partie supérieure correspond à la nappe de charriage Ultrahelvétique, appartenant à la première unité des Préalpes Externes.

Dans cette nappe d'âge Tertiaire, on rencontre quelques écailles de terrains plus anciens, notamment au dessus de LUCINGES.

La base de cette série monoclinale de flysch chevauche la molasse subalpine, elle même charriée. Cette dernière forme une large frange à la base des Voirons.

c - L'anticlinal du Salève. (fig. 3)

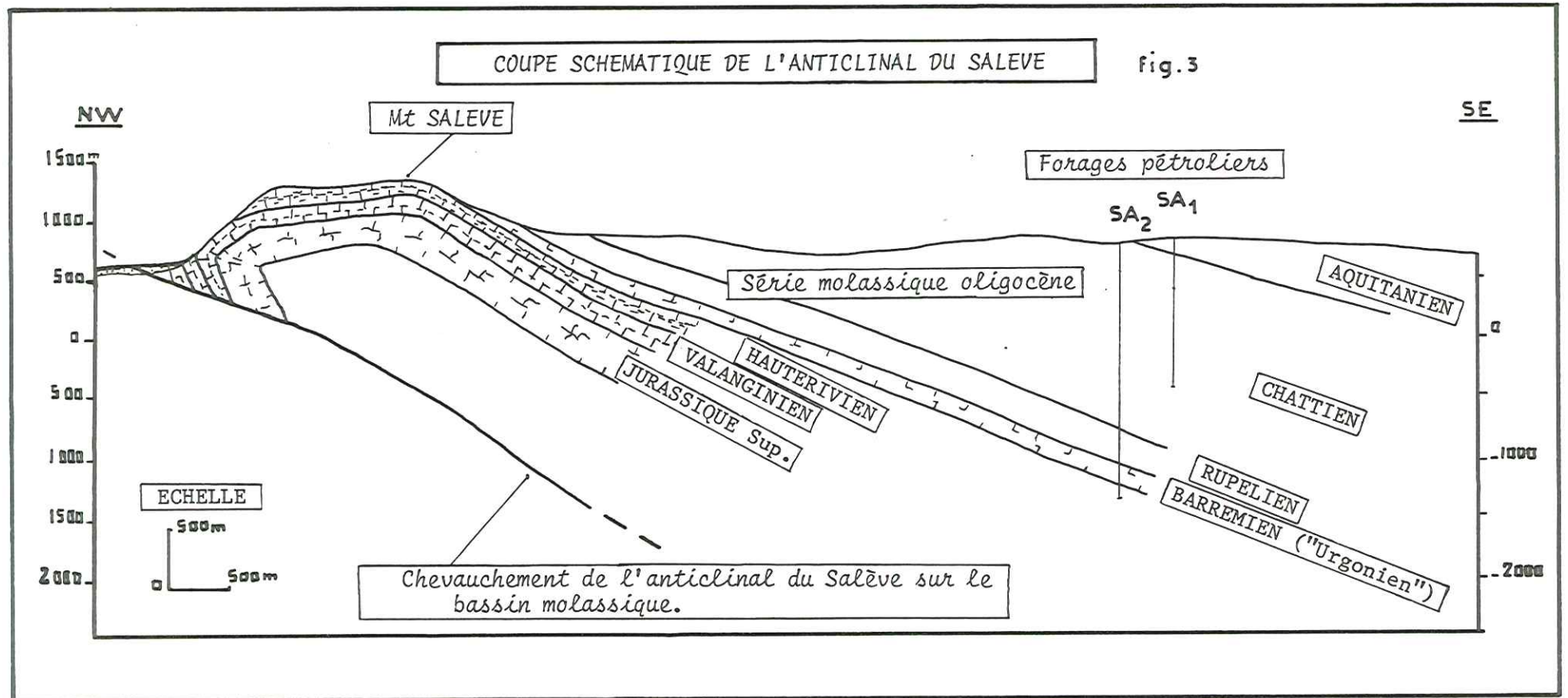
A la limite Nord-Ouest de notre terrain d'étude, la molasse autochtone repose en concordance sur l'anticlinal du Salève, dont la figure

3 donne un profil schématique.

Il s'agit d'un pli dissymétrique dont l'axe, orienté NE-SW,

COUPE SCHEMATIQUE DE L'ANTICLINAL DU SALEVE

fig. 3



présente un pendage vers le Nord-Est au niveau du petit Salève.

Deux types d'accidents l'affectent :

- des failles de décrochement (décrochements des Pitons et du Coin), d'orientation NW-SE, considérés comme étant les prolongements des structures observées dans le Jura.

- des accidents chevauchants, mis en évidence pas RIGASSI (1957), SCHROEDER (1958) et RUCHAT (1959), qui entraînent un léger chevauchement du Salève sur le bassin molassique.

2) APERCU STRATIGRAPHIQUE DU SUBSTRATUM.

Aux trois unités structurales distinguées dans le chapitre précédent correspondent sensiblement trois séries stratigraphiques :

- La série tertiaire du flanc SE du Salève et de la partie médiane de la vallée de l'Arve.
- La série charriée des Voirons.
- La série mésosoiïque autochtone du Salève.

a - La série tertiaire du flanc SE du Salève et de la partie médiane de la vallée de l'Arve.

Cette série repose en concordance sur les calcaires cré-tacés du Salève.

On rencontre, de bas en haut :

- L'EOCENE sidérolithique.

Il est localisé dans les dépressions et les poches karstiques affectant la série mésosoiïque jusqu'au Portlandien inférieur.

Il s'agit de grès quartzeux riches en oxydes de fer, ce qui leur donne une teinte rouge caractéristique.

Seuls deux gisements sont situés sur notre terrain d'étude ; ils se présentent sous la forme de grès rougeâtres, parfois glauconieux, en remplissage de poches dans l'Urgonien, près de l'extrémité Nord du Petit Salève (X = 900,85 Y = 138,10) et dans l'ancienne carrière d'ESSERTS (X = 899,90 Y = 135,75).

- L'OLIGOCENE.

Il comprend :

. Le "poudingue de MORNEX", dont la puissance varie de 2 à 30m, transgressif sur la série mésosoiïque du Salève.

Son âge n'est pas connu avec certitude, il pourrait être Rupélien.

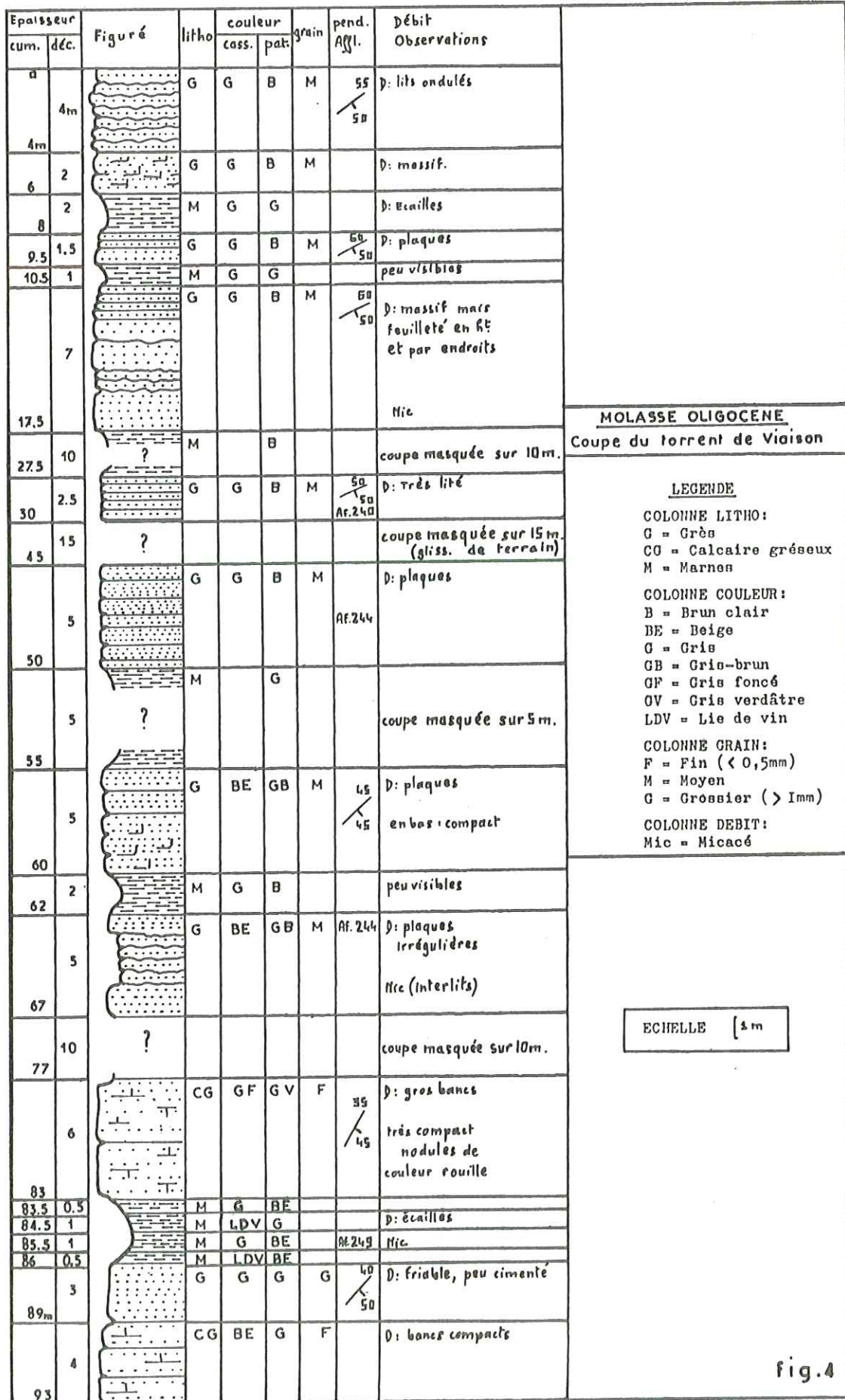


fig.4

Epaisseur cum.	Figuré	Litho.	couleur		grain	pendage n° Affl.	D: Débit Observations
			cass.	pat.			
4		G+M	B	BE	F	Af. 48	D: bancs 0.2m compacts.
10		M	LDV	BE		80/15	indices de tectonisation.
15		CG	G	B	F		D: Bancs compacts.
18		M	LDV	LDV			peu visibles
24.5		GM	BE	BE	F	35/30	pistes de vers.
30.5		Al: M+G	G	BE	F		D: plaquettes
40.5		CG+G	G	G	F	35/30 Af. 49	D: feuilletés compacts litage entrecroisé.
47		M	G-R	BE-R		Af. 50	lentilles de grès avec Slumps
51.5		Al: M+G	BE	BE	F	0-60	Tectonisation coupe non visible sur 5m
60.5		M	B	B			Friables
69		Al: M+G	G-B	B-BE	F		passées lie de vin. coupe non visible sur 5m
76		M	BE	R			Friables
91.5		Al: CG + M	B+R	B+R	F	40/35	D: peu compact, nodules. indices de tectonisation coupe non visible sur 4m
103.5		G	G	G	M	80/35 Af. 45	D: très gros bancs coupe non visible sur 3m
112.5		Al: G+M	B-LDV	B-R	F	55/40 Af. 44	pistes de vers stries de glissement N30E
118.5		M	R	LDV		60/30	indices de tectonisation coupe non visible sur 4m
143		Al: G + CG + M	BE LDV	BE LDV	F	60/45 Af. 42	D: rogneux Indices de tectonisation nombreuses pistes de vers
163.5		G	G-BE	G-BE	F	50/25	D: bancs métriques compacts Litage entrecroisé. niveau de 0.5m: marner lie de vin feuilletés
167		GM	G-BE	G-BE	F		D: feuilleté
170		M	LDV	LDV		45/35	99 bancs gréseux rogneux
173.5		CG	G-BE	BE	F		D: compact
177.5		Al: G+M	G-R	G-BE	F		
201		Al: G + GM + CG	G	G-BE	F	45/35	D: feuilleté Litage entrecroisé
205		Al: M-G	G	G	F		
217.5		CG	G-BE	G	F		D: massif. compact. très calcaire
227.5		Al: M + CG	G LDV	G LDV	F	45/35	D: compact, souvent lég. rogneux
232.5		M	G-BE	BE			lég. gréseuse.
240		Al: M + GM	G BE	BE LDV	F		D: feuilleté
249		M	LDV	LDV			D: Ecailles et petits blocs
258.5		Al: M + CG	G LDV	BE LDV	F	60/30	D: bancs compacts fractures 80-5-60
263.5		M	LDV	R			D: petits blocs tacheté BE
270.5		G	G	BE	M	Af. 38	D: massif. qqfacher LDV

MOLASSE OLIGOCENE
Coupe de la Menoge

LEGENDE

COLONNE LITHO

G = Grès
CG = Calcaire gréseux
GM = Grès marneux

COLONNE COULEUR

R = Brun clair
BE = Beige
G = Gris
LDV = Lie de vin
R = Rosâtre

COLONNE GRAIN

F = Fin (< 0,5mm)
M = Moyen
G = Grossier (> 1mm)

ECHELLE [4m

fig. 5

Les éléments de ce conglomérat sont des galets hétérométriques de calcaire Crétacé et de silex, liés par un ciment calcaire grossier, fréquemment de couleur rouille.

Il affleure principalement sur le flanc Sud-Est du Petit Salève.

. La Molasse, qui forme le substratum de toute la basse vallée de l'Arve et de la dépression lémanique.

Il s'agit d'une formation déposée en milieu continental durant le Rupélien, le Chattien et l'Aquitaniens .

On distingue classiquement la molasse grise, la molasse rouge, et la molasse gypseuse; ce dernier faciès n'ayant été observé qu'en forage, en aval de notre zone d'étude.

La molasse grise.

Nous citerons F.LANTERNO :

C'est " un complexe marno-calcaréo-gréseux très monotone, comportant surtout des marnes et des marno-calcaires très souvent plus ou moins silto-gréseux, parfois micacés ou bimicacés, de couleurs variées, où dominant le gris-bleu, le vert, parfois le brun"(...) "avec parfois de vrais calcaires, ces termes lithologiques alternant avec des grès quartzo-feldspathiques micacés ou bimicacés, à ciment marneux, marno-calcaire ou calcaire, les argiles n'étant que très peu fréquentes. Tout ce complexe se présente sous une forme lenticulaire, montrant des passages continus, autant horizontalement que verticalement".

On observe souvent de minces niveaux de lignite, et des couches gypseuses qui, nous le verrons, donnent un caractère sulfaté aux eaux qui circulent au contact de la molasse.

C'est dans les gorges du torrent de Viaison que les conditions d'affleurement sont les meilleures. Nous y avons relevé une coupe sur une puissance de 90m environ, entre les affleurements N° 28 (X = 901,2 Y = 136,4) et N° 320 (X = 900,6 Y = 135,6) voir figure 4 .

La molasse rouge, ou molasse bariolée.

Elle est souvent plus riche en faciès marneux que la molasse grise. On y observe fréquemment des couleurs telles que le brun-rouge, parfois lie de vin, le gris foncé ou le rouge brique.

Dans le lit de la Menoge nous avons relevé une coupe sur une puissance de 270m environ, entre les affleurements N° 38 (X = 904,4 Y = 137,8) et N° 48 (X = 905,3 Y = 137,8). Voir figure 5 .

REMARQUE : Cet ensemble d'affleurements, qui se prolonge sur près de 2km de long

en amont du pont de LA FORGE, n'est que très partiellement indiqué sur les cartes géologiques française au 1/80.000^e et suisse au 1/25.000^e.

Dans le lit de l'Arve, notons aussi qu'un affleurement molassique de 1,5 km de long s'étendant entre les points X = 905,2 Y = 135,5 et X = 906,4 et Y = 134,7 n'est reporté sur aucune carte.

C'est le cas aussi, en aval du méandre de NANT, entre les points X = 902,9 Y = 135,6 et X = 902,6 Y = 136,1 etc.

Cela montre que les relevés actuels des affleurements molassiques comportent de nombreuses lacunes ; or, la présence du substratum dans le lit des cours d'eau est importante à connaître car nous verrons qu'elle permet de réduire considérablement l'incertitude sur le tracé des sillons de surcreusement glaciaire.

b - La série charriée des Voirons.

Elle comprend deux unités stratigraphiques et tectoniques :

- La molasse subalpine.

Elle forme la partie inférieure de la série des Voirons et chevauche vers l'Ouest la molasse autochtone décrite au paragraphe précédent.

Il s'agit d'une molasse paraautochtone marine à faciès flysch, qui comprend deux ensembles :

. Des grès massifs et des marnes tendres attribués au Paléocène.

. Des grès durs, gris-verdâtres, polygéniques et granoclassés, associés à des marnes micacées, tendres, gris sombre. Une écaille à faciès beaucoup plus grossier affleure au dessus de LUCINGES (X = 908,1 Y = 140,9). Cet ensemble serait rupélien.

- La nappe Ultrahelvétique.

Elle chevauche vers l'Ouest la molasse subalpine et constitue la première unité des Préalpes Externes.


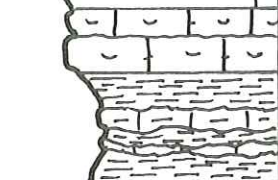
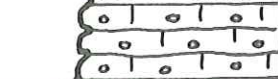
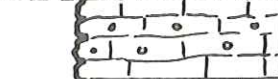
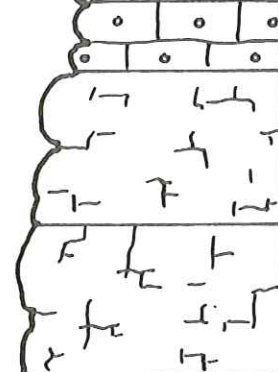
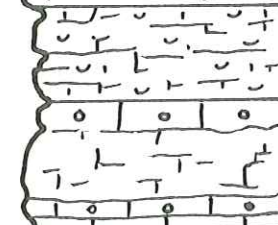
Il s'agit d'une puissante série monoclinale d'âge Tertiaire, à faciès flysch, qui comprend :

. Des flysch de base, associés à des écailles mésozoïques dont l'âge s'étend du Lias à faciès marneux, au Barrémien marno-calcaire, très fossilifère, affleurant aux HIVERNANCHES.

. Une épaisse série gréseuse, correspondant aux "grès des Voirons", d'âge Thanétien - Lutétien (R. JAN DU CHENE 1974) surmontée par les grès et conglomérats très grossiers du Vouan, datés du Lutétien - Priabonien (LOMBARD 1940).

COUPE SYNTHETIQUE DE LA SERIE MESOZOIQUE DU SALEVE

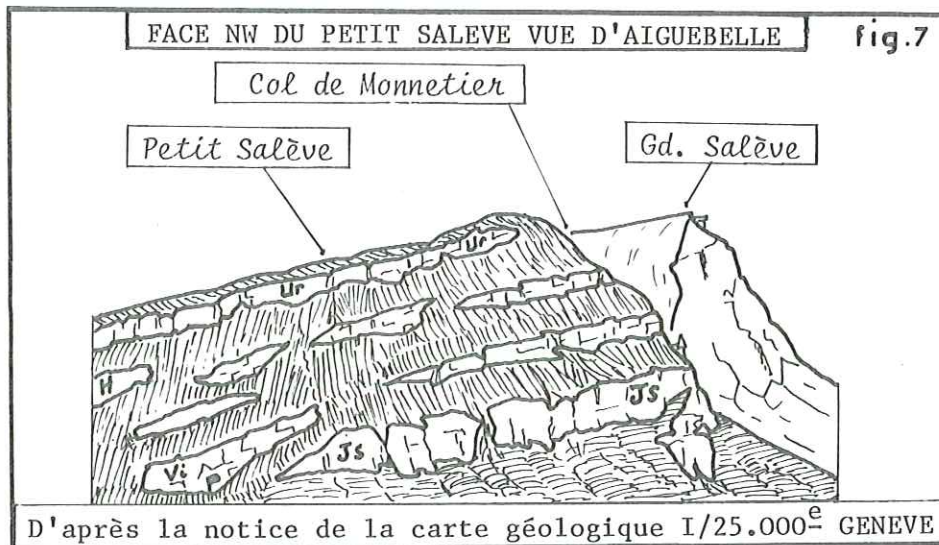
fig.6

CRETACE	110 m		C ₄	BARREMIEN "Urgonien"	Calcaires blancs massifs, récifaux
	35		C ₃	HAUTERIVIEN	Calcaire brun biodétritique
	60				Marnes et marno-calcaires gris-bleu.
	40		C ₂	VALANGINIEN Sup.	Calcaire oolithique roux
	25		C ₁	VALANGINIEN Inf.	Calcaire blanc
	50	Marnes et marno-calcaires			
22	Calcaire zoogène				
JURASSIQUE SUPERIEUR	46		I ₈ b	"Purbeckien"	Calcaire fin et Calcaire oolithique
	36		I ₈ a	PORTLANDIEN Sup. Inf.	Calcaire oolithique
	84	Calcaires récifaux			
	80		I ₇	KIMMERIDGIEN	Calcaires blancs récifaux
	50				Micro-brèche zoogène
	70		I ₆	SEQUANIEN Sup.	Calcaires oolithiques et récifaux

c - La série mésosoïque autochtone du Salève.

Elle constitue l'ossature de l'anticlinal du Salève et n'affleure que très partiellement sur notre terrain d'étude, au niveau du Petit Salève.

Cette série s'étend du Jurassique (Séquanien supérieur) au Crétacé à faciès Urgonien (Barrémien supérieur). Elle se caractérise par l'abondance des faciès calcaires massifs, sièges de phénomènes karstiques et responsables d'impressionnantes falaises dans le paysage. (voir figure ci-dessous).



La figure 6 donne un relevé synthétique de la série mésosoïque du Salève.

REMARQUE : Forme du toit de la série mésosoïque au Sud du Salève.

Dans une campagne de prospection sismique, les calcaires urgoniens constituent un réflecteur très net.

La société ESSO-REP a ainsi pu établir, sur son permis du haut Rhône, une carte en isochrones d'un horizon correspondant sensiblement au toit de la série mésosoïque.

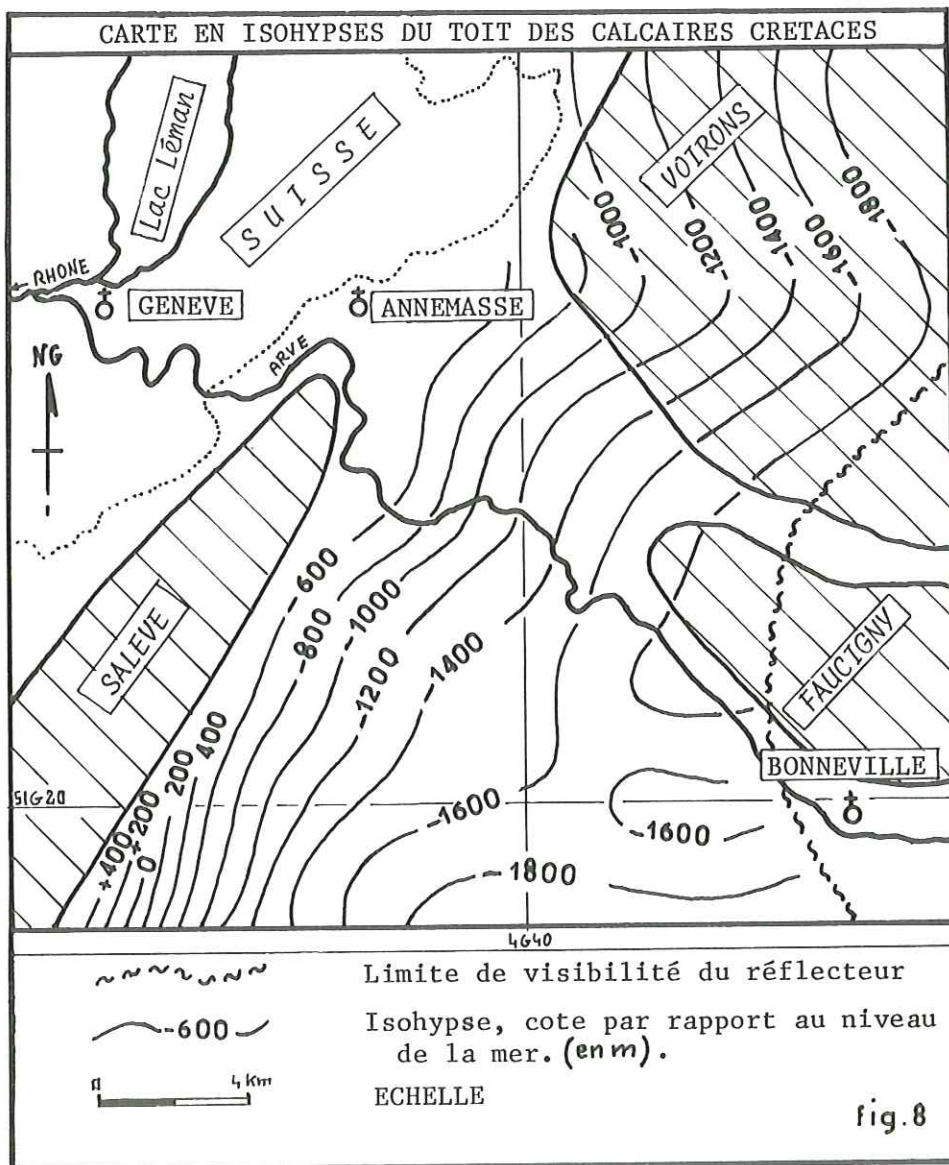
La figure 8 donne un extrait de cette carte, où nous avons converti en isohypses les isochrones qui étaient relatives à un "datum plane" à +400m d'altitude. Nous avons effectué cette transformation en adoptant une vitesse moyenne des ondes sismiques calculée d'après les données des forages SALEVE I, SALEVE 2, et MONT DE BOISY.

On constate que les calcaires crétacés s'enfoncent rapidement vers le Sud-Est, avec une pente de 15 à 20% et qu'ils marquent un net replat à la limite Sud de notre terrain d'étude (région de CORNIER, LA ROCHE sur FORON).

IV - CONCLUSION

Malgré la grande diversité tectonique et stratigraphique de la basse vallée de l'Arve et de ses bordures, c'est la molasse autochtone qui constitue la quasi totalité du substratum de notre zone d'étude.

Si le style structural de la molasse n'a que peu d'incidence sur les formations de recouvrement, nous verrons par contre que sa morphologie fossile et son caractère imperméable jouent un rôle considérable dans l'hydrogéologie de toute la région.



PREMIERE PARTIE

G E O L O G I E

D E S

F O R M A T I O N S Q U A T E R N A I R E S

CHAPITRE I

ETUDE GEOPHYSIQUE

CHAPITRE I ETUDE GEOPHYSIQUE

- Si l'étude géophysique est placée en tête de ce mémoire, c'est qu'il y sera fait constamment référence dans les chapitres suivants.

En effet, il nous a paru nécessaire d'accompagner l'étude de surface par une méthode d'investigation qui, même si elle ne donne souvent que des résultats qualitatifs, n'en permet pas moins de relier entre eux les rares affleurements et coupes de forages, et d'avoir des renseignements sur la série des formations quaternaires dans des endroits où aucune information n'est disponible.

I - INTRODUCTION

La cartographie de surface permet d'identifier les grands traits de la morphologie du substratum, et en particulier de détecter la présence de sillons creusés dans la molasse.

Pour apporter plus de précisions sur la forme, le tracé et l'ampleur du surcreusement, j'ai entrepris une prospection qui a comporté une cinquantaine de sondages géophysiques électriques, avec une densité d'environ deux sondages par kilomètre carré. (voir figure I3)

Etant donnés le temps et les moyens réduits dont je disposais, c'est essentiellement la profondeur du substratum que je me suis attaché à déterminer à chaque emplacement de sondage géophysique.

La coupe exacte des formations quaternaires a souvent été considérée comme accessoire : en effet, dans le détail, les facies des terrains quaternaires varient très vite latéralement, et il aurait fallu une densité de sondages beaucoup plus grande pour en rendre compte. Cependant, les grands ensembles argileux ou graveleux ont pu être suivis, et les informations recueillies ont été exploitées dans le chapitre " Formations quaternaires ".

II - DISPOSITIF UTILISE ET MATERIEL DE MESURE

1) DISPOSITIF

La géométrie du dispositif que j'ai utilisé correspondait au quadripôle classique A M N B de type SCHLUMBERGER.

Dans ce dispositif, la résistivité apparente est donnée par :

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{2\pi}{\frac{I}{AM} - \frac{I}{AN} - \frac{I}{BM} + \frac{I}{BN}}$$

qui est de la forme $\rho = \frac{V}{I} \cdot K$

en ohm.m
V en millivolts
I en milliampères
AM, AN, BM, BN en mètres.

Les électrodes d'injection du courant, A et B, étaient en fer galvanisé, alors que les électrodes de mesure, M et N étaient en cuivre.

Je me suis attaché à ce que la distance entre les électrodes M et N soit petite devant A B, afin de réduire les "à-coups de prise".

La distance maximale A B atteignait 430m.

Le tableau ci-dessous donne la progression que j'ai adoptée pour les distances respectives A B et M N :

AB/2	MN/2	K	AB/2	MN/2	K
1	0,1	15,7	30	2,5	562
	0,25	6,28			
2	0,25	25,2	40	2,5	1001
3	0,25	56,5	50	2,5	1567
	0,5	27,8			
5	0,25	156,7	75	10	377
	0,5	78			
7	0,5	153	100	10	867
10	0,5	313	150	10	3520
15	0,5	709	180	10	5074
	2,5	137,5			
20	0,5	1258	215	10	7245
	2,5	247,5			
				20	3600

2) MATERIEL DE MESURE

a - Deux potentiomètres ont successivement été mis en oeuvre, suivant la longueur de ligne et la disponibilité des appareils :

- Potentiomètre de type CAGNIARD

En manipulant avec soin, cet appareil, déjà ancien, donne de bons résultats pour des lignes d'injection de courant jusqu'à 200m, ou 300m dans les cas favorables (terrains résistants).

- Un potentiomètre plus sensible, mis au point par B.BONHOMME, pour les sondages électriques comportant les plus grandes longueurs de ligne (A B jusqu'à 430m).

Dans cet appareil, le zéro, réalisé dans l'appareil CAGNIARD par un galvanomètre, était remplacé par l'équilibrage de deux diodes électroluminescentes. Par ailleurs, d'autres perfectionnements rendaient les lectures beaucoup plus rapides, d'où une usure moindre des piles et une réduction des perturbations dues aux variations de polarisation spontanée.

- Un millivoltmètre a par ailleurs été testé à plusieurs reprises. La précision des mesures est acceptable, mais la compensation de la polarisation spontanée, mal adaptée, s'est révélée impossible lorsqu'elle atteignait de fortes valeurs (supérieures à 1,5 volts).

b - Une alimentation comportant deux piles de type "radio" de 90 volts a permis d'obtenir 45, 90, 135 ou 180 volts suivant les besoins.

3) MODE D'INTERPRETATION

Le report des mesures de terrain s'est fait sur graphique semi-logarithmique de module 55,2 mm.

L'interprétation a été réalisée grâce aux abaques de BHATTACHARYA et PATRA, qui permettent de traiter une superposition d'un grand nombre de terrains en les assimilant à des "bicouches" successifs.

III - D I F F I C U L T E S R E N C O N T R E E S

1) DENSITE DE L'HABITAT.

Une urbanisation rapide de la basse vallée de l'Arve est en cours, et l'extension de l'agglomération annemassienne vers le Sud a sensiblement gêné la prospection. Plusieurs sites de sondages électriques, repérés sur carte, ont dû être abandonnés à cause de la présence de villas, d'usines, ou de l'aérodrome. Le même problème s'est posé aux abords des agglomérations de Reignier, La Bergue, Bonne sur Menoge et Cranves-Sales .

2) PROFONDEUR DU SUBSTRATUM.

La profondeur d'investigation pratique de l'appareillage employé est de 60m environ, compte tenu de la longueur maximale de ligne et des conditions géo-électriques des terrains. Or, en de nombreux endroits, le substratum molas-sique se rencontre à près de 100m de profondeur. Lorsque les conditions s'y

prêtaient, les sondages ont été placés dans les endroits topographiquement les plus bas, mais une partie de la zone Sud est demeurée inaccessible (environs de l'Ecule et de Porte).

3) FAIBLES RESISTIVITES.

Dans les formations quaternaires rencontrées, on note une très nette prédominance des faciès argileux de faible résistivité : 40 à 70 ohm.m ; parfois même 15 ohm.m pour certaines moraines au contact du substratum. Deux inconvénients en découlent :

a - Faible profondeur d'investigation :

Les lignes de courant sont canalisées par les couches conductrices. Nous avons généralement observé AB/6, AB/7, parfois même AB/10.

b - Faible différence de potentiel entre M et N.

Elle est souvent très inférieure à 5 mV quand A B dépasse 150m. L'incertitude sur la résistivité apparente devient alors importante.

Pour conserver une bonne précision, nous avons utilisé un voltage d'alimentation élevé (180 V), d'où une intensité atteignant souvent 500 mA avec des piles prévues pour débiter 10 mA en continu. Leur usure rapide a pu être évitée en injectant le courant pendant un très court laps de temps.

Par ailleurs, la résistance de prise en A et B a été diminuée en doublant ou triplant chaque électrode d'envoi du courant à partir de AB = 100m.

4) FAIBLES CONTRASTES DE RESISTIVITE

Le contraste est généralement faible entre les différentes formations quaternaires, et entre le substratum molassique et son recouvrement. On obtient des courbes "plates" où la détermination des profondeurs est délicate.

Les mesures ont donc été faites avec un soin particulier, et répétées plusieurs fois jusqu'à stabilisation de la polarisation spontanée.

La part des "à-coups de prise" a été réduite en effectuant la majorité des mesures avec deux longueurs M N différentes pour un même A B.

5) PRESENCE DE NAPPES AQUIFERES.

La plus grande partie de la prospection s'est déroulée durant les mois d'Avril et Mai 1977, particulièrement pluvieux.

Dans la plupart des zones, au vu des conditions de terrain, on peut

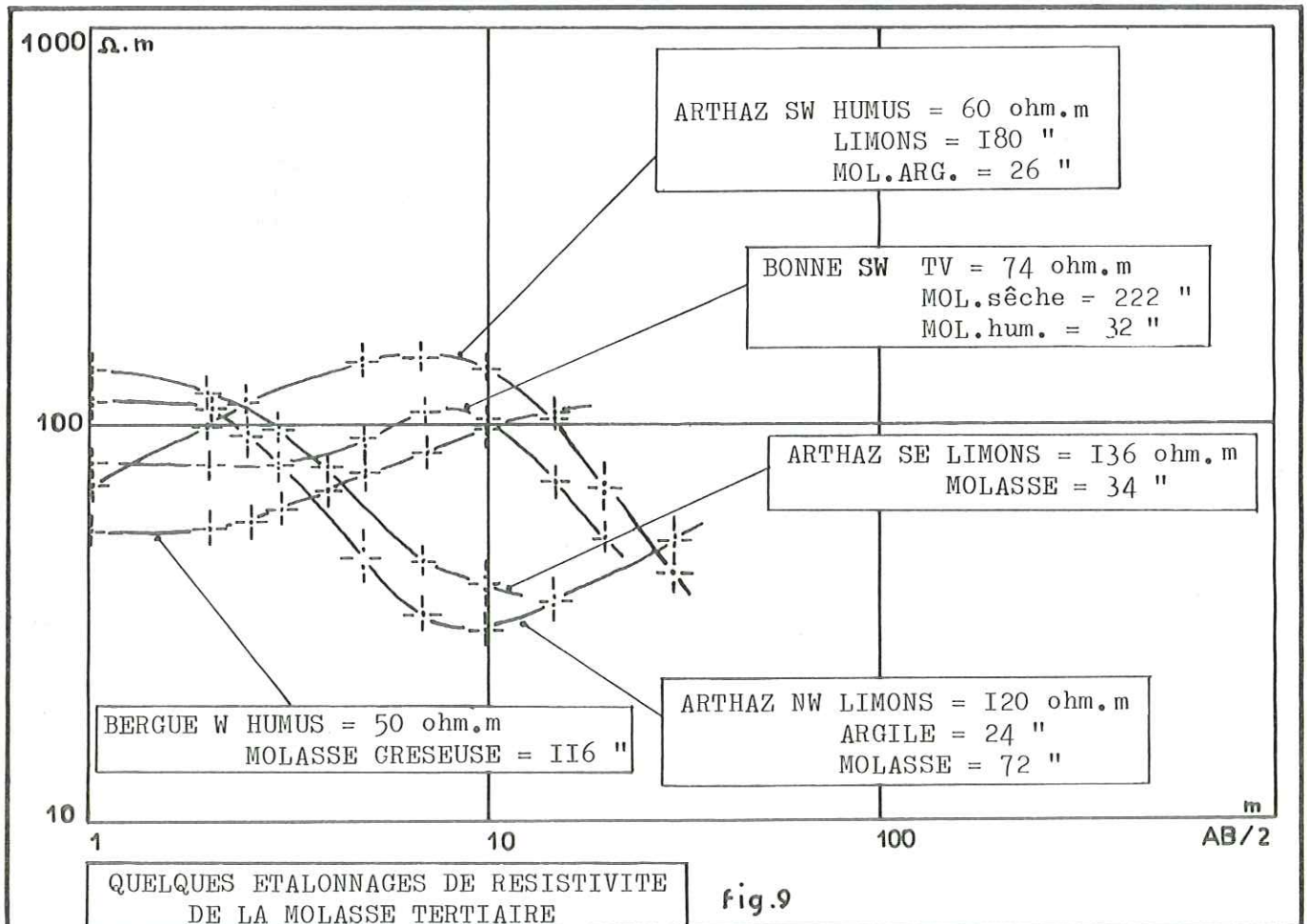
considérer que le sol était saturé en eau dès la surface et qu'il n'y avait pas intervention d'un niveau piézométrique bien marqué en profondeur.

Cependant, au fond des vallées de l'Arve et de la Menoge, des difficultés d'interprétation ont été rencontrées, sans doute à cause de phénomènes d'électro-filtration à proximité des captages (région de Nant), ou dans la nappe profonde (basse vallée de la Menoge).

6) DETERMINATION DE L'ÉPAISSEUR DES DIFFÉRENTES FORMATIONS QUATÉRNAIRES.

Des comparaisons ont pu être faites en plusieurs endroits entre les sondages électriques et les coupes naturelles ou les forages. Mais le manque de forages de contrôle en certains points et la rareté des coupes, ne permettent pas une interprétation quantitative très sûre. La prospection a surtout donné l'épaisseur cumulée des terrains de couverture, avec des renseignements qualitatifs sur les faciès dominants dans chaque coupe.

IV - ETALONNAGES DE LA RESISTIVITE DU
SUBSTRATUM.



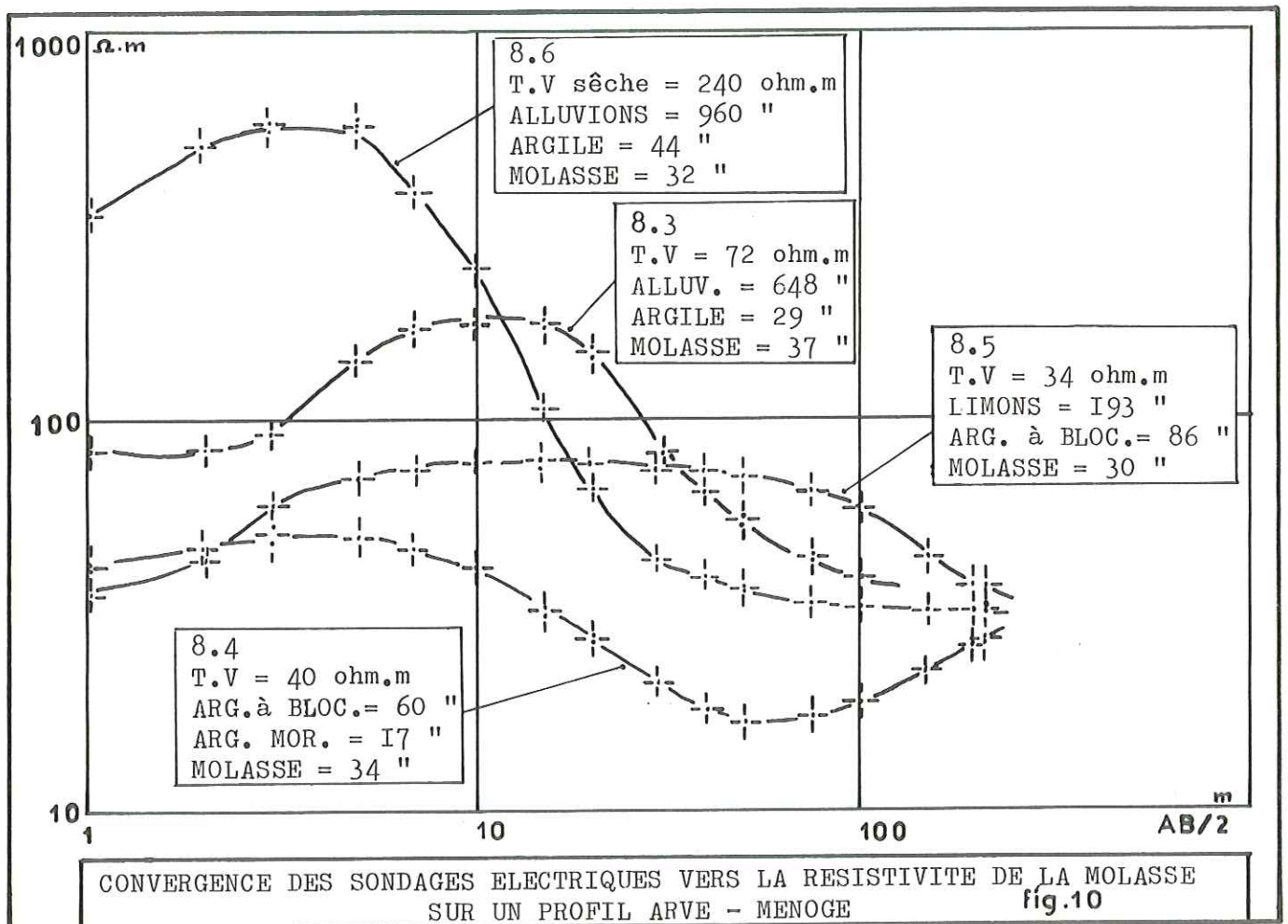
Sept étalonnages ont été réalisés afin de réduire les incertitudes concernant les propriétés géo-électriques du substratum.

En effet, le but principal de la prospection était la détermination de la cote du substratum ; et il était indispensable de "caler" avec précision les parties finales des courbes de sondages électriques, surtout dans le cas de faibles contrastes de résistivité.

Les étalonnages étaient des sondages électriques avec A B jusqu'à 40 ou 60m, placés à proximité immédiate d'un affleurement du substratum.

Pour chaque groupe de sondages électriques, une résistivité moyenne, par zone, a pu être affectée aux différents faciès de la molasse : gréseux ou calcaire, argileux, intermédiaire; qu'ils soient secs ou imprégnés d'eau.

Sur un même profil, on assiste alors à une convergence des courbes de sondages vers la résistivité du substratum. (voir figure IO).



V - R E S U L T A T S

I) GAMME DE RESISTIVITE DES DIFFERENTES FORMATIONS.

Les résultats des étalonnages sur le substratum et les forages existants, ainsi que la prospection proprement dite, ont permis d'établir l'histogramme de fréquence de la figure II .

a - Tableau des gammes de résistivité des différents faciès.

Les résistivités les plus fréquemment rencontrées sont :

Faciès	Résistivité en ohm.m
Terre végétale	55 à 80
Limons	120 à 180
Sables et graviers	450 à 650
Argiles à blocaux	55 à 80
Argiles à blocaux très compactes	180 à 290
Argiles	35 à 53
Argiles morainiques	15 à 35
Molasse à dominante argileuse	25 à 50
Molasse à dominante calcaire ou gréseuse	80 à 280

b - Faciès aisément identifiables.

On constate que les alluvions et les limons se distinguent assez facilement des autres formations.

La terre végétale a une gamme très large de résistivités car sa nature et sa teneur en eau varient beaucoup d'un endroit à l'autre. Ce n'est pas gênant car, étant le premier terrain rencontré, il ne peut y avoir confusion avec d'autres formations.

c - Confusion entre les argiles à blocaux et la molasse.

La résistivité des argiles à blocaux est fonction de leur teneur en eau, donc de leur compacité. Certaines argiles surconsolidées peuvent ainsi être confondues avec les faciès calcaréo-gréseux de la molasse. Dans ce cas la distinction peut néanmoins être faite en étalonnant soigneusement la résistivité de la molasse, et en prolongeant suffisamment le sondage électrique pour qu'apparaisse un palier indiquant une formation très épaisse, correspondant au substratum.

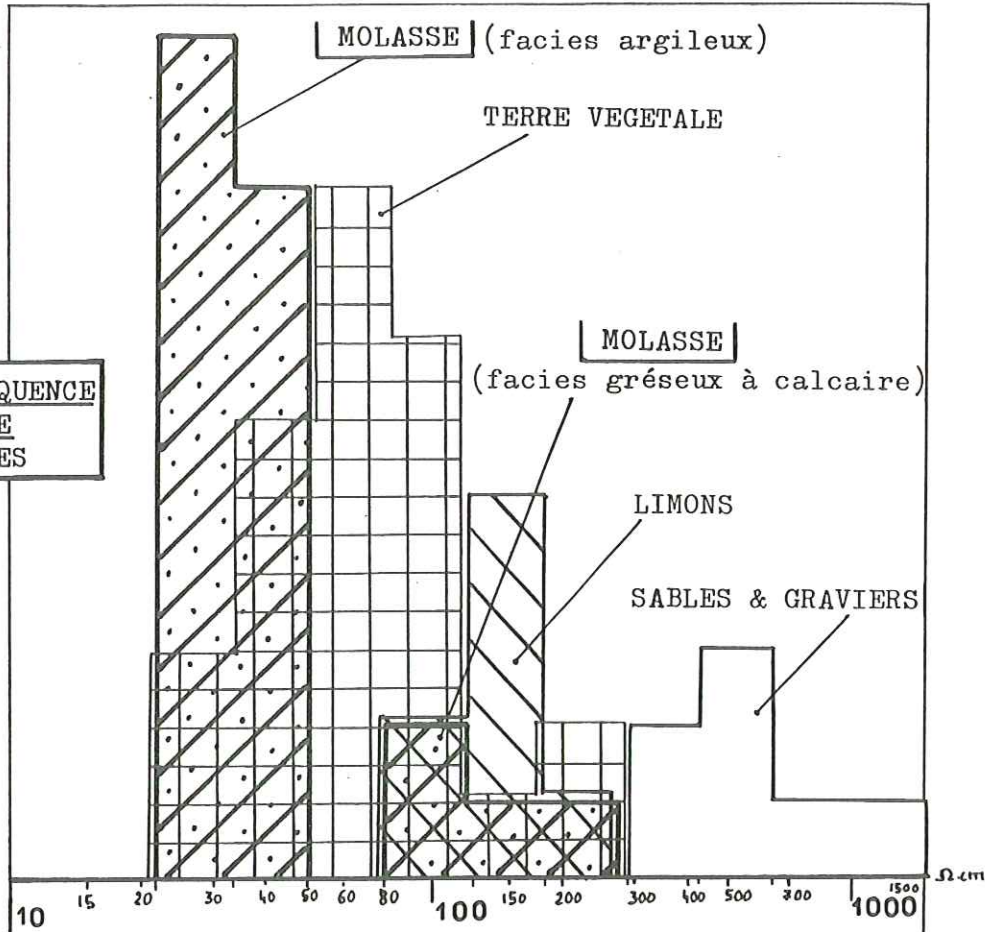
d - Distinction entre les formations argileuses.

Elle est délicate car on peut voir qu'entre 25 et 80 ohm.m il existe de multiples possibilités de correspondance résistivité - lithologie.

En réalité, on peut lever un certain nombre d'ambiguïtés en observant les successions relevées dans des zones plus accessibles. En particulier, on a souvent la série suivante : Terre végétale, argiles ou limons, argiles à blocaux, argiles morainiques, molasse.

HISTOGRAMME DE FREQUENCE
DE RESISTIVITE
SELON LES FACIES

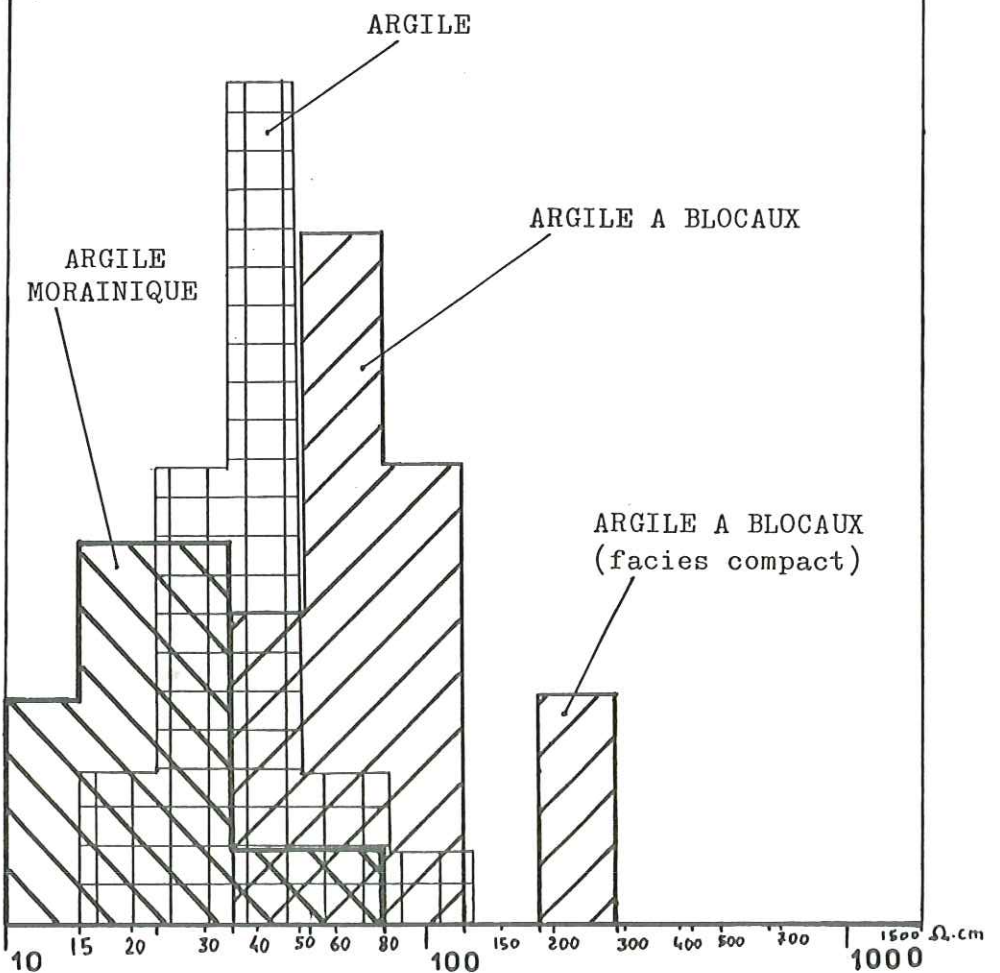
fig. 11



ORDONNEES :
2 Observations

ABSCISSES :
Résistivités

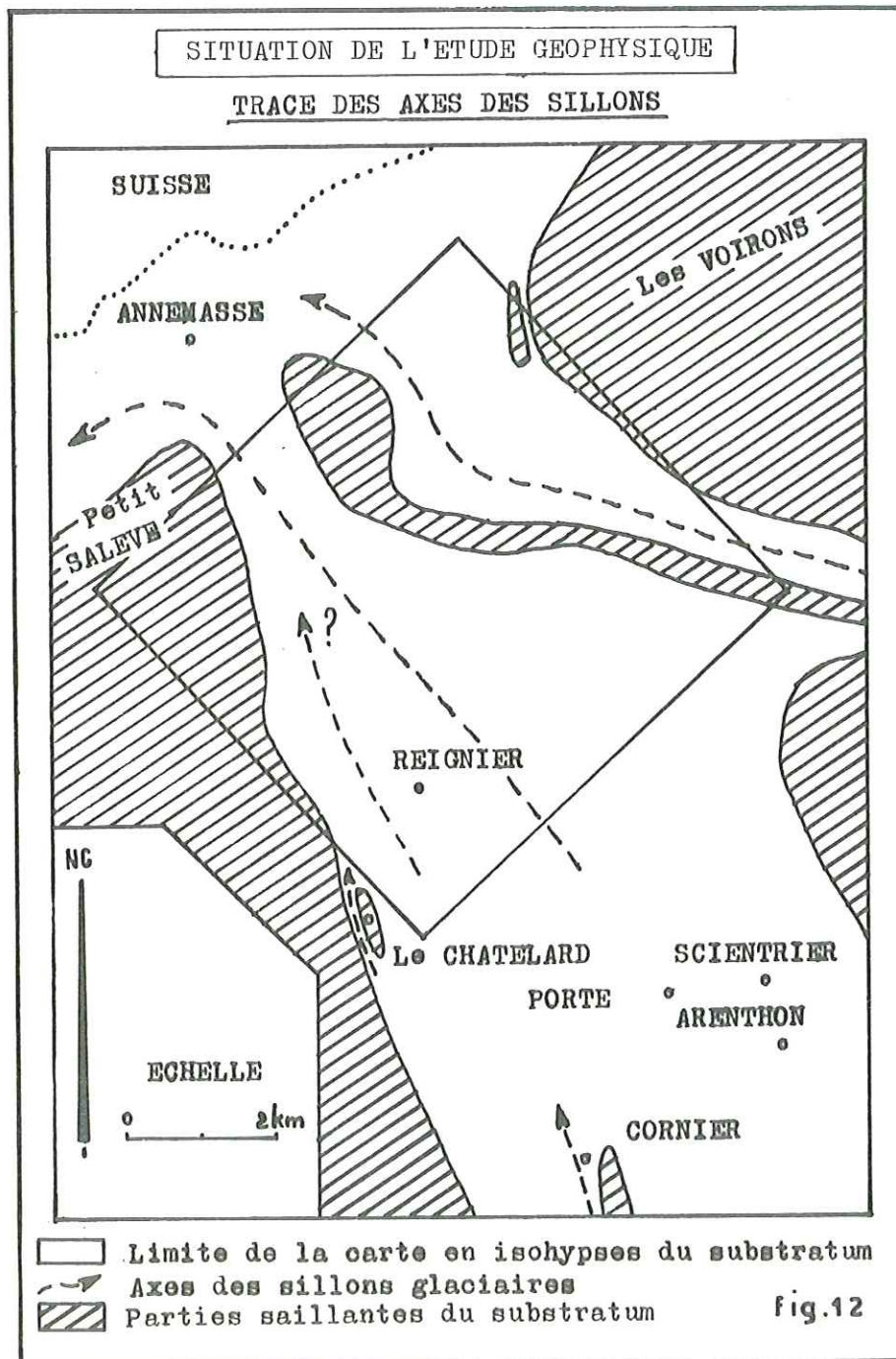
I Classe



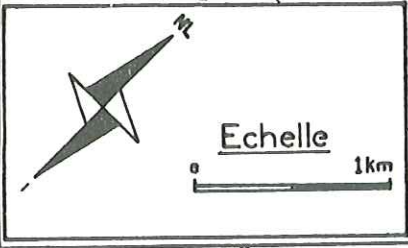
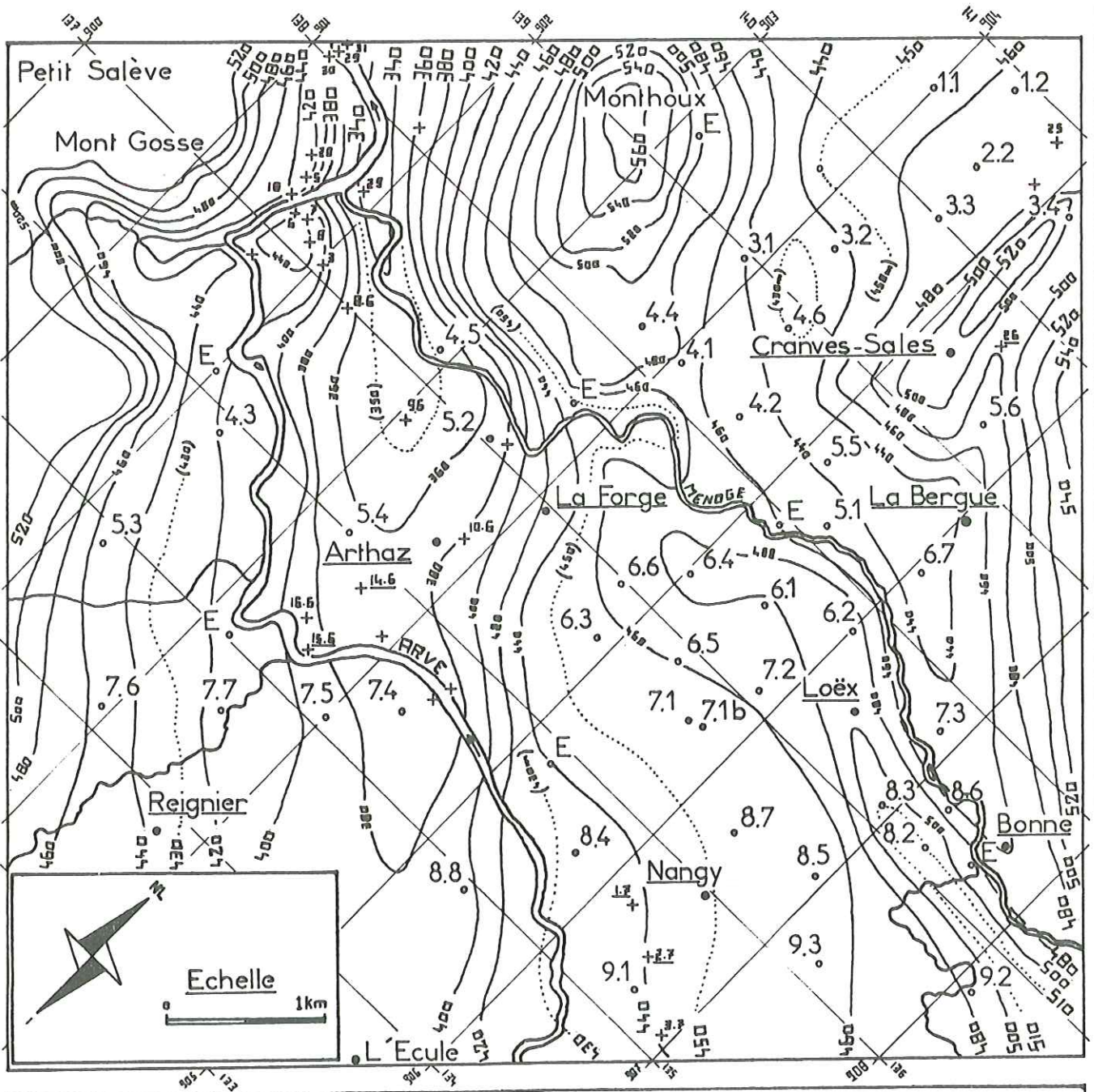
D'autre part, si la ligne A B a été assez longue, on peut observer le palier correspondant au substratum.

2) FORME DU SUBSTRATUM MOLASSIQUE

La prospection géophysique, complétée par les données de plusieurs forages existants et de la cartographie, a permis d'établir une CARTE EN ISO-HYPSES du substratum molassique dans la basse vallée de l'Arve. (voir figures 12 & 13).

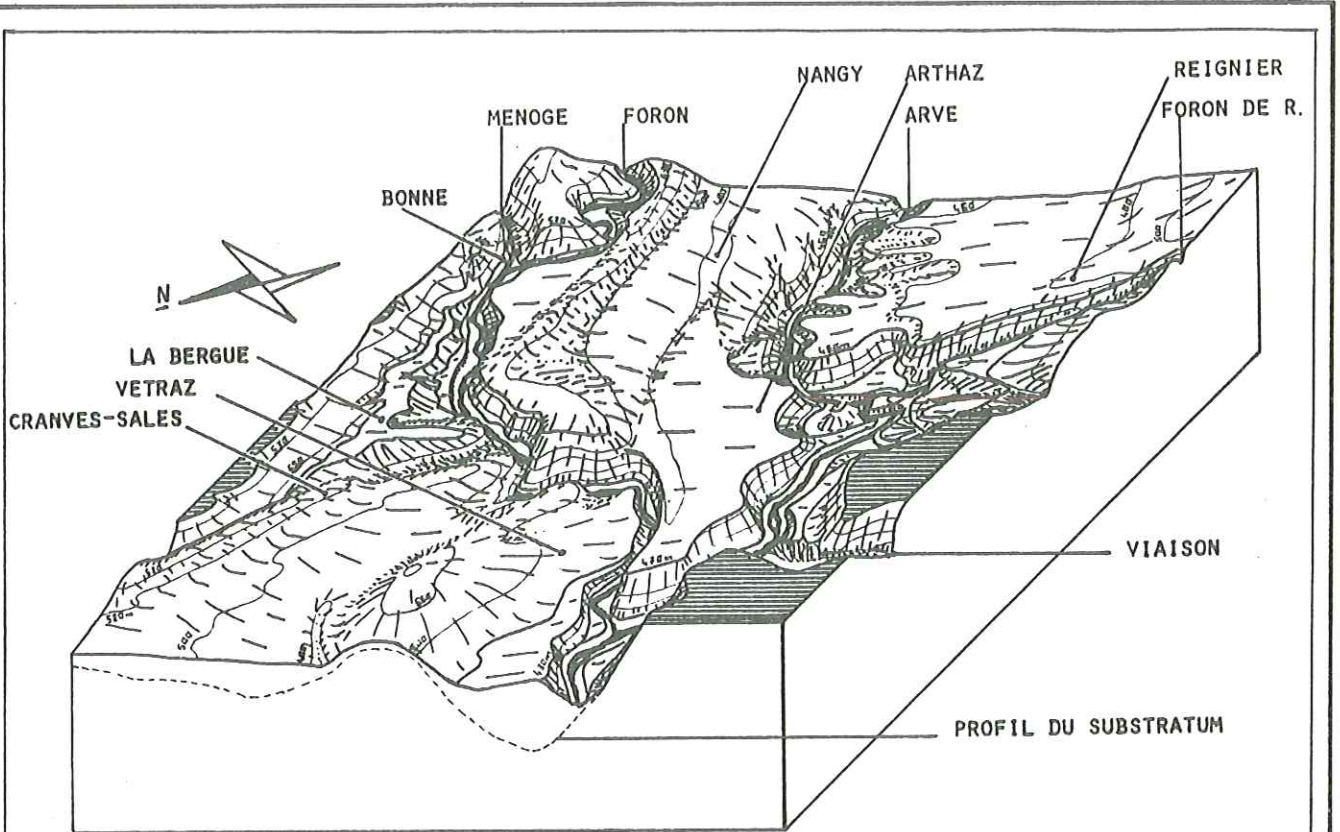


CARTE EN ISOHYPSES du SUBSTRATUM MOLASSIQUE



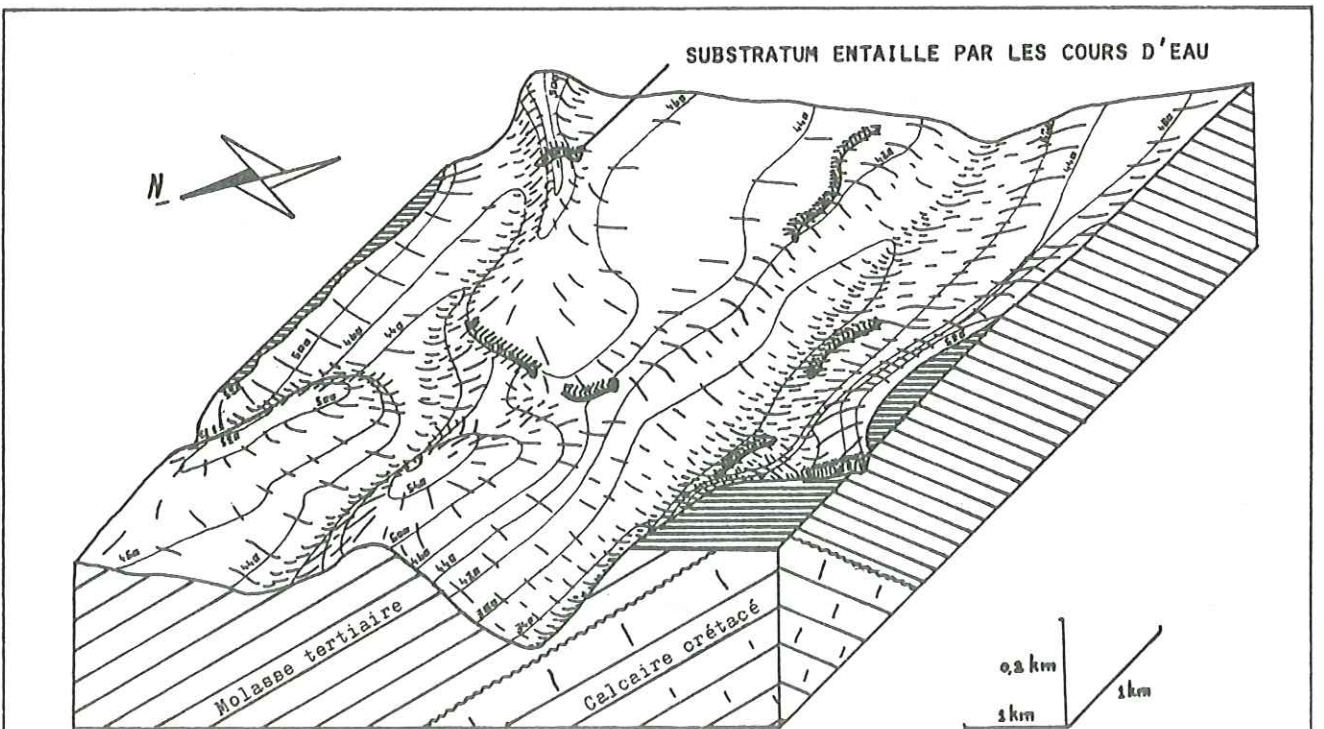
- 7.1 Sondage Electrique et son numéro .
- E S.E d'étalonnage de la résistivité de la molasse .
- + 3.7 Forage . Numérotation : archives du B.R.G.M .
- + 14.6 Forage utilisé pour étalonnage .
- Isohypse . Courbe intercalaire . Alt. en m .

fig. 13



BLOC DIAGRAMME DE LA TOPOGRAPHIE ACTUELLE

Salève et Virons : Topographie >550m non figurée



BLOC DIAGRAMME DU SUBSTRATUM

Salève et Virons : Topographie >550m non figurée




fig.14

FORME DU SUBSTRATUM MOLASSIQUE

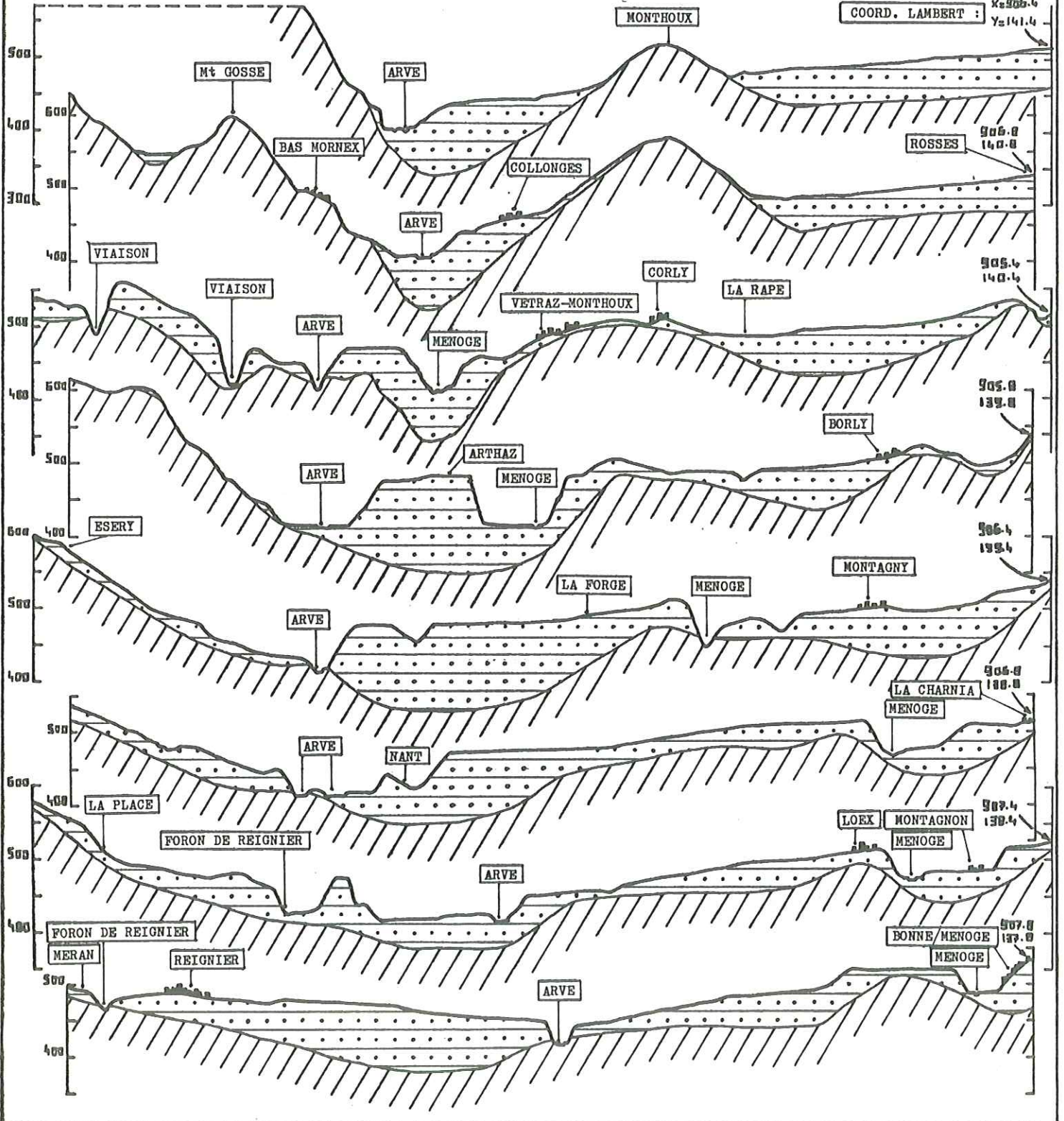
fig. 15

COUPES SERIEES ENTRE ANNEMASSE ET BONNE-SUR-MENOGE

SW ORIENTATION DES COUPES : N45E

 SUBSTRATUM MOLASSIQUE	ECHELLES : 
 FORMATIONS QUATERNAIRES	

COORD. LAMBERT : X=906.4 Y=141.4



a - Présence de sillons de surcreusement dans le substratum.

Deux sillons se dégagent : celui de l'Arve, particulièrement important, surcreusé de près de 70 m par rapport au cours actuel, épigénique de la rivière. Celui de la Menoge, plus modeste et plus irrégulier, ne pouvait être détecté par des indices de surface. Il est axé, en amont, sur le cours du torrent entre BONNE et LA BERGUE. En aval, son tracé continue à suivre une direction SE - NW, qui l'amène à passer à l'Est de la colline de Monthoux, alors que le cours actuel, épigénique, de la Menoge s'oriente à l'Ouest pour rejoindre l'Arve. Par rapport à la cote de la Menoge, le surcreusement est de 20 m environ.

- Profil transversal.

La prospection a précisé les profils transversaux des deux sillons. Deux particularités ont été mises en évidence :

. un élargissement sensible des sillons en amont du double verrou Salève - Monthoux - Voiron.

. un net replat en rive droite du sillon de l'Arve, au niveau de NANGY et LA FORGE.

REMARQUE :

Il est probable que le flanc Ouest du sillon de l'Arve est accidenté d'ondulations secondaires, en particulier dans sa partie amont. En effet, on peut observer deux sillons annexes :

. l'un au SW de REIGNIER, longeant le flanc occidental de la colline du Châtelard;

. l'autre à l'Est de CORNIER, bordant une crête morainique isolée, allongée parallèlement à l'axe de la vallée de l'Arve.

Dans la partie aval, il est possible qu'il existe un sillon secondaire au NW de REIGNIER, (voir figure I2), mais sa détermination par géophysique serait délicate en raison de la topographie accidentée.

- Profil longitudinal.

Le sillon de l'Arve présente une pente moyenne de 1% dans la zone prospectée, ce qui est très supérieur à la rivière sur le même trajet : 0,3%.

Pour le sillon de la Menoge, la pente est de 2% en amont de LA BERGUE, alors que pour le torrent, elle n'est que de 1,3% environ.

En fait, la pente des sillons n'est pas constante, elle semble même s'annuler dans la partie centrale de la zone prospectée, pour reprendre en aval du verrou Salève - Monthoux - Voiron.

La densité des sondages électriques et leur précision à grande profondeur n'ont pas été suffisantes pour établir avec certitude la présence de contre-pentes locales dans le profil longitudinal. Il se

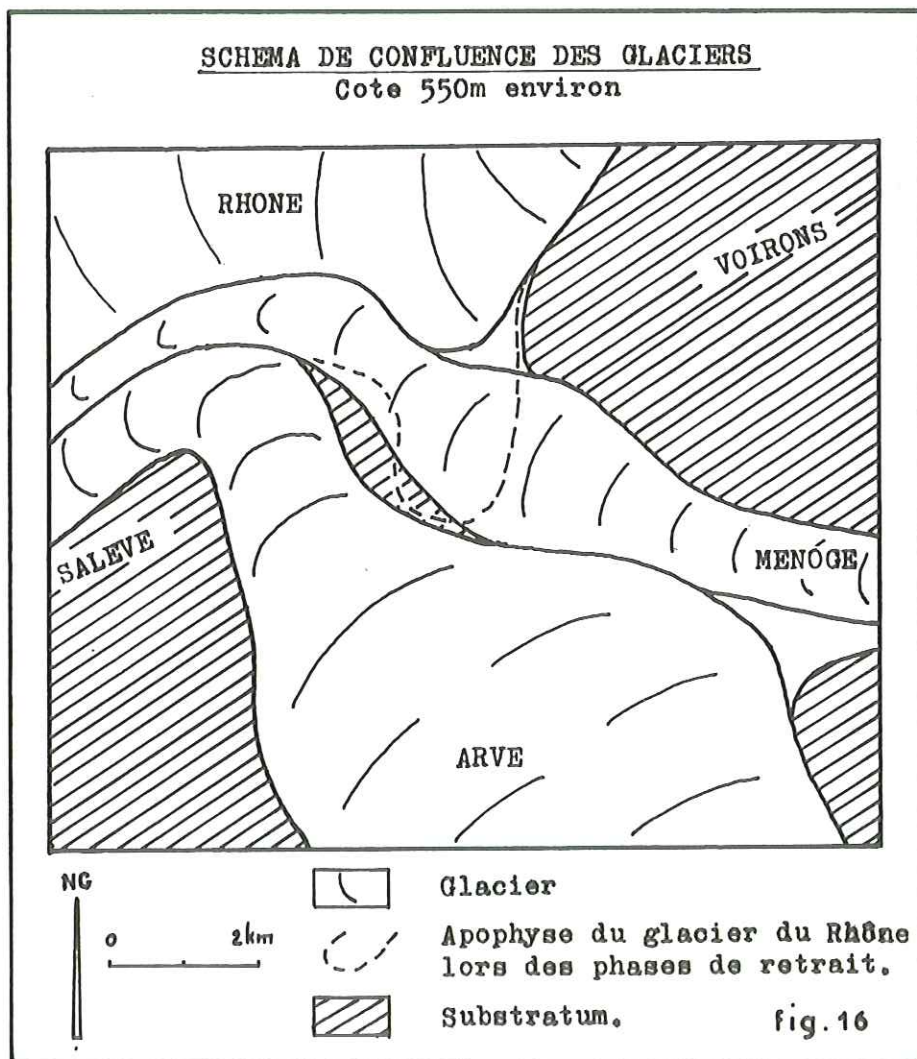
pourrait qu'elles existent, notamment au niveau des élargissements précédant le verrou Salève - Monthoux - Voiron, et en amont de la zone prospectée (environs de SCIENTRIER et d'ARENTHON).

b - Edification de la morphologie.

La prospection géophysique a confirmé le fait que les grands traits de la morphologie du substratum ont été essentiellement façonnés lors des maxima glaciaires.

Les phases de retrait ont amené le remplissage partiel de la vallée, avec des orientations morphologiques indépendantes, pour une large part, de celles du substratum.

La position des crêtes de la molasse correspond aux endroits où l'érosion était la moins forte dans le système des glaciers Rhône - Arve - Menoge à leur confluence. (voir figure ci-dessous).



c - Orientation générale des sillons.

On sait que l'orientation générale de la vallée de l'Arve est déterminée par un ensemble de failles profondes, d'effondrement, qui affectent le substratum et sont responsables de l'axe gravifique négatif détecté par E.POLDINI.

Le tracé des sillons observés est très certainement lié à ces structures, et au réseau hydrographique hérité du Pliocène et modifié lors des premières glaciations.

VI - C O N C L U S I O N D E L ' E T U D E G E O P H Y S I Q U E

La prospection électrique a complété utilement la cartographie de terrain, en apportant des renseignements qu'il n'était pas possible d'obtenir par la géologie de surface.

En particulier, elle a précisé la forme du substratum molassique en faisant apparaître deux sillons de surcreusement glaciaire : l'un axé sur l'Arve, surcreusé de près de 70m ; l'autre axé en partie sur la Menoge, surcreusé de 20m environ.

En outre, les renseignements recueillis sur les terrains de recouvrement, à l'occasion de la prospection, ont été constamment utilisés dans l'étude des formations quaternaires qui fait l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE II

ETUDE MORPHOLOGIQUE
ET
LITHOLOGIQUE
DES
FORMATIONS QUATERNAIRES

CHAPITRE II

ETUDE MORPHOLOGIQUE ET LITHOLOGIQUE
DES FORMATIONS QUATERNAIRES

- A - INTRODUCTION

. Dans la basse vallée de l'Arve, les formations quaternaires sont particulièrement bien représentées puisqu'elles occupent plus de 80% de la superficie, et que leur épaisseur dépasse 100m en plusieurs endroits.

. En outre, la situation de cette région à proximité de la confluence des anciens glaciers du Rhône et de l'Arve laisse présager l'existence de témoins intéressants de son histoire géologique récente.

- HISTORIQUE.

Malgré ces facteurs favorables, les géologues ont depuis longtemps préféré s'intéresser à la cuvette lémanique, toute proche, ou aux massifs pré-alpins voisins, d'une complexité sans doute plus attrayante.

En effet, il faut attendre le début de ce siècle pour voir les toutes premières publications sur les formations quaternaires de la zone qui nous intéresse : B.AEBERHARDT et T.BIELER en 1903 sur les alluvions et les terrasses des environs de GENEVE ; A.DELEBECQUE en 1909 puis W.KILIAN en 1914 et 1916 sur l'origine de la plaine des Rocailles et les terrains glaciaires et fluvioglaciaires de la feuille ANNECY 1/80.000^e.

Dans le même temps, R.BOISSIER commençait en 1914 l'étude des eaux souterraines de l'Arve.

Mais c'est à E.GAGNEBIN, F.BOURDIER, et surtout à E.JOUKOWSKI et à A.JAYET que l'on doit une grande part des connaissances actuelles sur les formations quaternaires de la région, en particulier à l'aval de notre zone d'étude.

- METHODE D'ETUDE.

L'étude géomorphologique, réalisée par interprétation de photographies aériennes (mission DOUVAINÉ 1952), a facilité et accompagné la cartographie sur le terrain à l'échelle 1/25.000^e.

Ce travail a été suivi par l'examen systématique et le report sur carte de tous les affleurements de la zone, au demeurant assez peu nombreux (500).

Enfin, la prospection géophysique, décrite dans le chapitre précédent a déterminé la forme du substratum et a fourni des renseignements sur les formations quaternaires des parties où aucune coupe n'était disponible.

- B - LITHOLOGIE ET MORPHOLOGIE DES
PRINCIPAUX ENSEMBLES QUATERNAIRES

I - FORMATIONS QUATERNAIRES OCCUPANT LES
FLANCS DE LA VALLEE DE L'ARVE

1) LES MORAINES LATERALES.

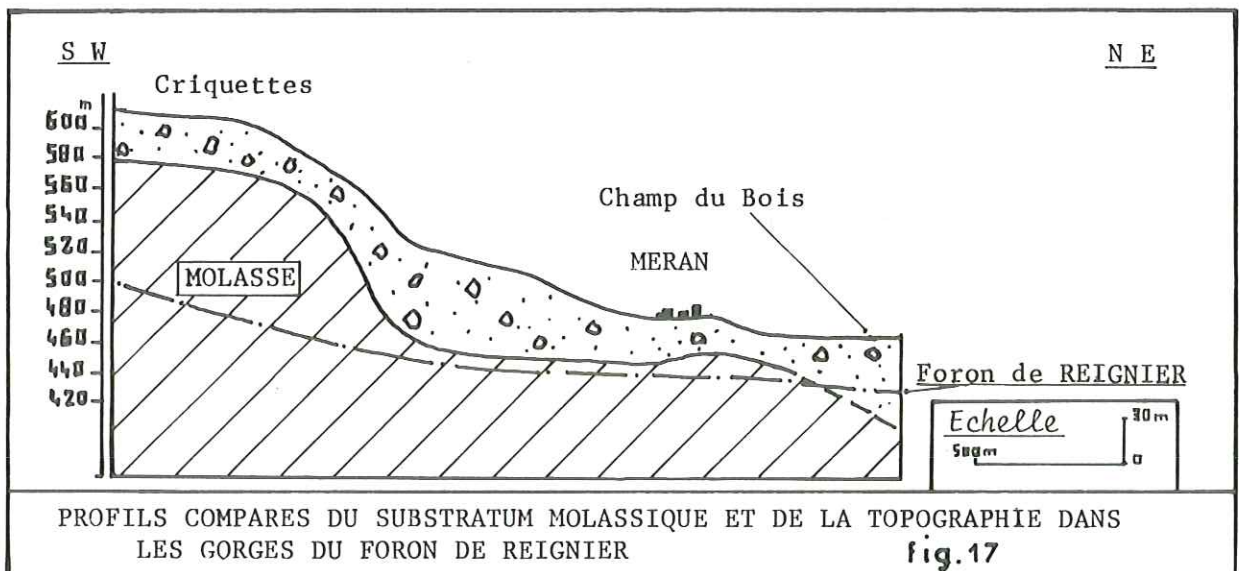
a - Morphologie.

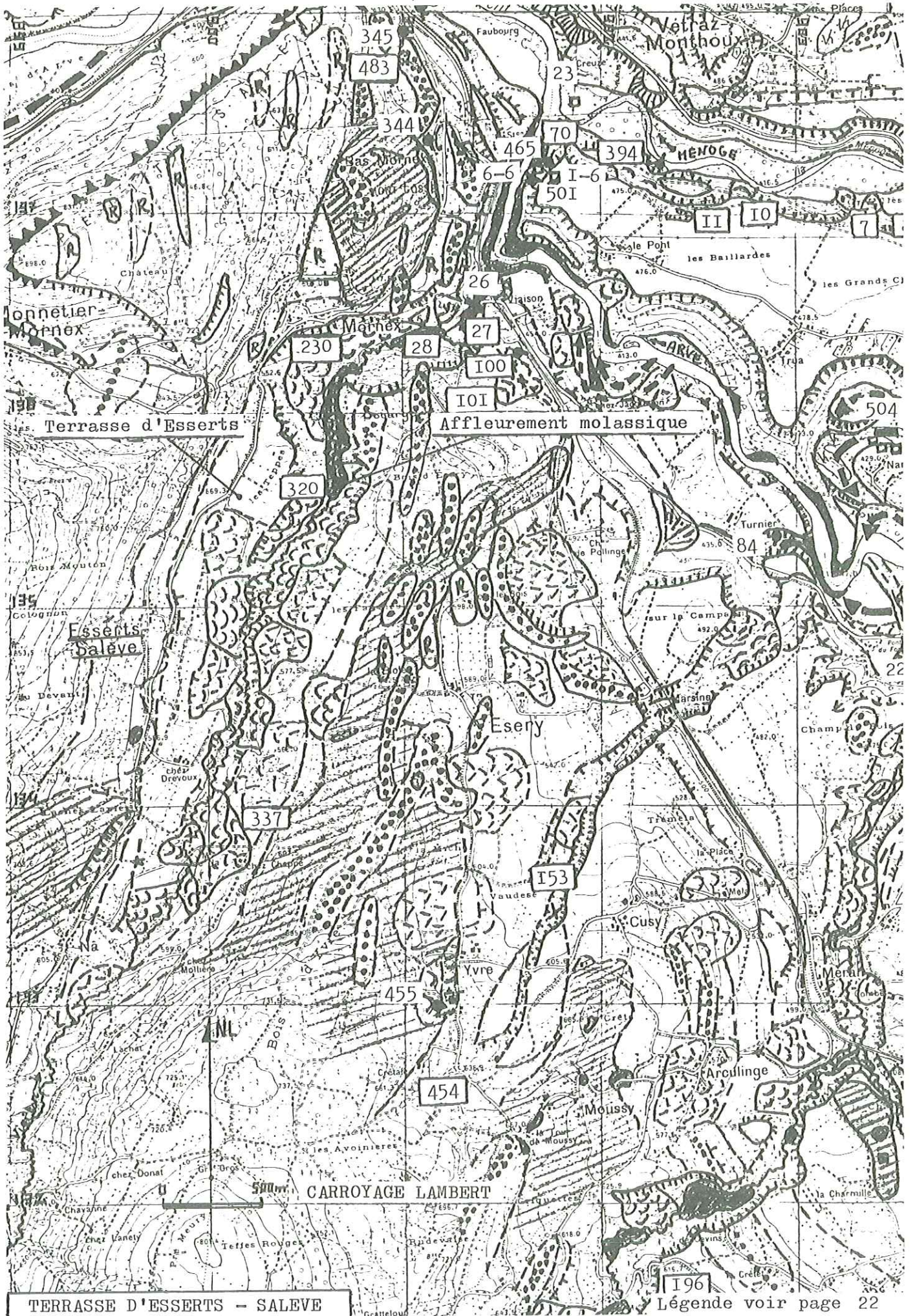
A proximité des sommets tels que la crête du Salève et les parties les plus élevées des Voirons, la morphologie des dépôts morainiques ne présente rien de caractéristique. Il s'agit de minces placages fortement érodés et altérés, reconnaissables uniquement grâce à la présence de blocs erratiques.

Sur les pentes des collines molassiques du flanc Sud-Ouest, et sur les Voirons, il s'agit de bourrelets aplatis, sensiblement alignés, ou de placages morainiques produisant des ruptures de pente à des altitudes similaires.

De PERS-JUSSY à ESERY, en particulier, les bourrelets correspondant aux moraines latérales du glacier de l'Arve sont abondants, entre 500 et 600m d'altitude. (voir figure 18). Malheureusement, de nombreux glissements de terrain les affectent, ce qui rend plus difficile leur analyse morphologique.

La figure ci-dessous permet d'observer la bonne corrélation





TERRASSE D'ESSERTS - SALEVE

fig.18

Légende voir page 22

entre la morphologie superficielle et les ruptures de pente du substratum.

b - Lithologie.

Les moraines les plus élevées, celles du Salève par exemple, ont une matrice argileuse réduite. Les éléments sont très hétérométriques et leur nature pétrographique reflète les roches affleurant dans les parties hautes des bassins versants du Rhône ou de l'Arve suivant la position du gisement par rapport au confluent des deux glaciers.

Les moraines déposées par le glacier de l'Arve abondent en granite du Mont Blanc, alors que celles déposées par le glacier du Rhône contiennent de nombreux éléments de quartzites et de roches vertes.

Les moraines latérales plus basses, déposées sur les collines molassiques de la rive gauche de l'Arve, ont une matrice "argileuse" généralement abondante, pauvre en carbonates pour les moraines élevées. (voir paragraphe étude sédimentologique).

Les blocs erratiques peuvent atteindre 100m^3 ; ils sont particulièrement nombreux lorsque le substratum est sub-affleurant comme sur les crêtes de MOUSSY et d'ESERY; ils forment alors un véritable pavage au contact de la molasse.

Lorsqu'ils sont emballés dans la matrice argileuse, les blocs cristallins sont fréquemment en grande partie arénisés.

2) LA TERRASSE D'ESSERTS-SALEVE. 550-590m.

a - Morphologie. (voir figure I8).

Cette terrasse s'étend de part et d'autre du cours du Viaison. Elle est surtout visible en rive gauche du torrent, où les glissements de terrain l'ont moins affectée.

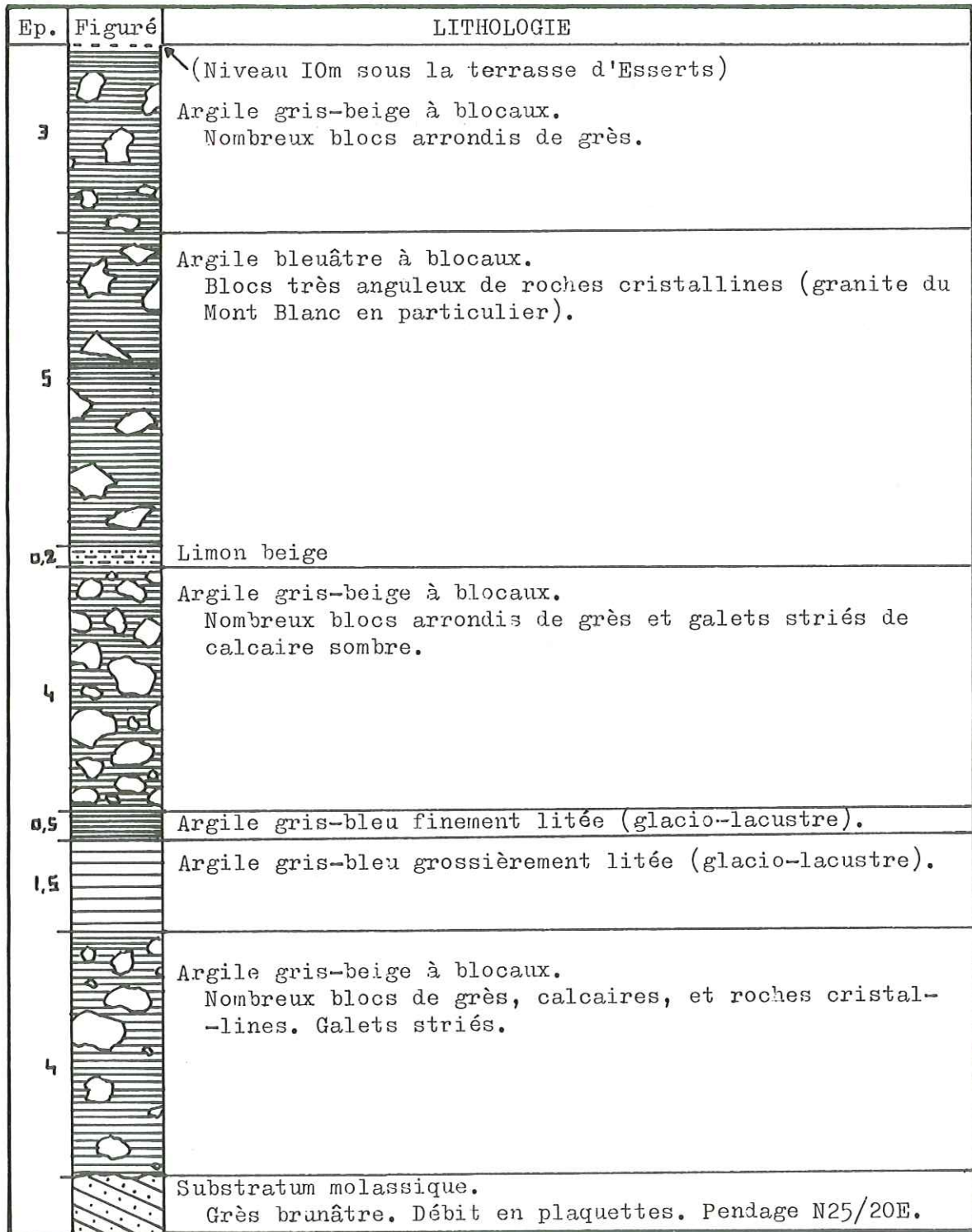
A l'Ouest, elle se raccorde progressivement au flanc du Salève par l'intermédiaire d'anciens talus d'éboulis.

La forme générale en "cuvette" de la terrasse d'ESSERTS est due aux importants glissements de terrain, anciens et actifs qui affectent sa partie médiane.

b - Lithologie.

Les formations qui constituent la terrasse d'ESSERTS ne sont visibles que dans le lit du torrent de Viaison. A cet endroit, cinq affleurements permettent d'établir la coupe de la partie inférieure de la terrasse : voir figure I9 .

TERRASSE D'ESSERTS . COUPE DE LA PARTIE INFÉRIEURE



ECHELLE

1m.

fig.19

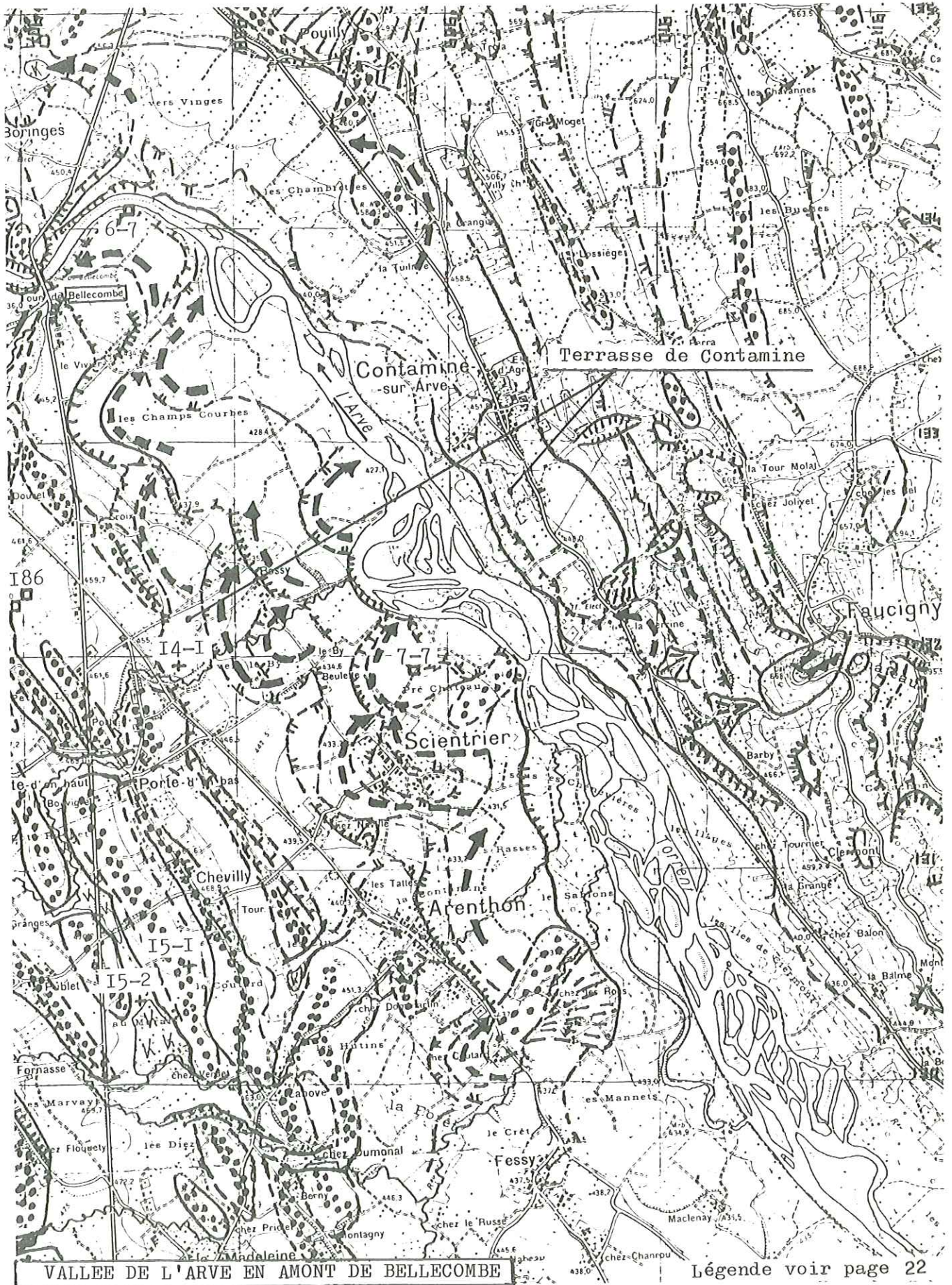


fig. 20

Légende voir page 22

AFFLEUREMENT	X	Y
313	900,40	135,35
314	900,38	135,52
321	900,35	135,20
322	900,35	135,15
324	900,20	135,13

La présence d'un niveau de 2m d'argiles litées montre qu'il s'agit d'une série ayant comporté des épisodes glacio-lacustres.

Les très nombreux blocs erratiques qui encombrant le lit du torrent proviennent des argiles à blocs, ou, plus probablement des placages morainiques occupant les crêtes voisines.

I I - LES FORMATIONS QUATERNAIRES OCCUPANT

LE FOND DE LA VALLEE

Nous décrirons ces différents ensembles d'amont en aval :

1) VALLEE DE L'ARVE EN AMONT DU PONT DE BELLECOMBE.

a - Entre les cotes 510 et 470m.

- Morphologie. (voir figure 20)

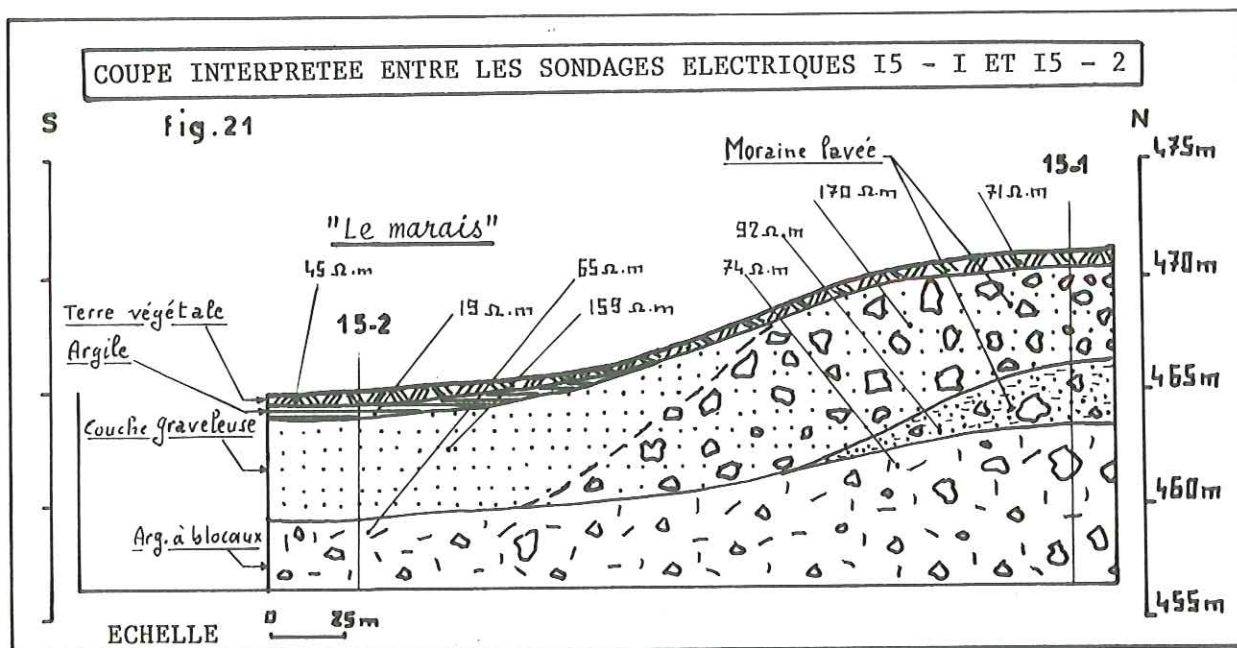
En rive droite, l'érosion n'a pas laissé subsister de témoins morphologiques intéressants : il s'agit de placages d'épaisseur réduite recouvrant le substratum.

En rive gauche, par contre, la topographie s'abaisse vers le centre de la vallée par gradins successifs accidentés de bourrelets aplatis alignés SE - NW.

Il s'agit d'une morphologie de retrait bien conservée, modifiée postérieurement par un ruissellement du Nord-Ouest vers le Sud-Est, en provenance de la zone des Rocailles, demeurée provisoirement en relief, comme nous le verrons plus loin. Les torrents actuels recoupent ces structures par l'intermédiaire de petites gorges dans lesquelles peuvent affleurer les crêtes du substratum molassique (LAMOILLE-MARTIAN à l'Est de CORNIER).

- Lithologie.

De rares affleurements permettent de constater que les crêtes morainiques comportent de nombreux blocs erratiques, essentiellement cristallins, emballés dans une matrice sableuse et graveleuse.



LEGENDE COMMUNE AUX EXTRAITS DE CARTE MORPHOLOGIQUE I/25.000. fig. 22

	Substratum affleurant ; sub-affleurant.
	Bourrelet morainique.
	Abrupt (de terrasse en particulier) plus ou moins prononcé.
	Falaises.
	Rupture de pente ou limite morphologique.
	Replat.
	Cône de déjection actif ; inactif.
	Ancien méandre.
	Zône marécageuse.
	Glissement de terrain actif ; inactif.
	I00 Source citée dans le texte.
	I86 Forage ou puits.
	+ I5-I Sondages électriques cités dans le texte.
	394 Affleurement cité dans le texte.

REMARQUE : Le relevé complet des points d'eau de la région de Reignier est donné dans le chapitre HYDROGEOLOGIE.

Comme c'est souvent le cas, ce matériel morainique a été délavé par les eaux de fonte.

Dans les dépressions, les nombreux marais laissent supposer la présence d'argiles ou d'une nappe affleurante.

Pour préciser la série, deux sondages électriques ont été faits :

	S. E.	X	Y	Z
Crêt morainique :	I5 - I	907,70	I30,60	472m
Lieu-dit "le marais" :	I5 - 2	907,6I	I30,35	466m

Le sondage I5 - 2 était implanté dans un ancien chenal d'écoulement des eaux de fonte.

La coupe interprétée de ces sondages est donnée dans la figure 2I .

b - Entre la cote 470m et le niveau de l'Arve.

- Morphologie. (voir figure 20).

La terrasse de CONTAMINE (470 - 440m) s'étend en rive droite mais surtout en rive gauche de l'Arve, où l'érosion l'a moins affectée.

Elle s'est édifiée en arrière du barrage temporaire formé par la moraine des Rocailles lors des phases de retrait. Aux environs de Bellecombe, cette terrasse recouvre d'ailleurs la formation des Rocailles. (affleurements I8I et I83).

Au dessous de 440m, on note une série de méandres emboîtés aboutissant à la cote actuelle de l'Arve en amont immédiat du Pont de Bellecombe : 425m. A cet endroit, l'érosion régressive se poursuit et amène peu à peu la rivière à s'encaisser dans sa terrasse récente de 428m.

- Lithologie.

Les coupes du forage I86 SCIENTRIER et du sondage électrique I4 - I (X = 907,7 Y = I32,0) montrent que la terrasse de CONTAMINE comporte une couche superficielle argileuse d'épaisseur inférieure à 2m surmontant une couche de sables et graviers plus ou moins argileux de 3 à 5m de puissance. Au dessous, au P I86, on rencontre des argiles à blocs gris-bleu très compactes. Au sondage électrique I4 - I, par contre, il s'agit d'argiles glacio-lacustres brunes peu consolidées, comme viennent de le confirmer les récents travaux de reconnaissance de la future autoroute en direction d'ANNECY.

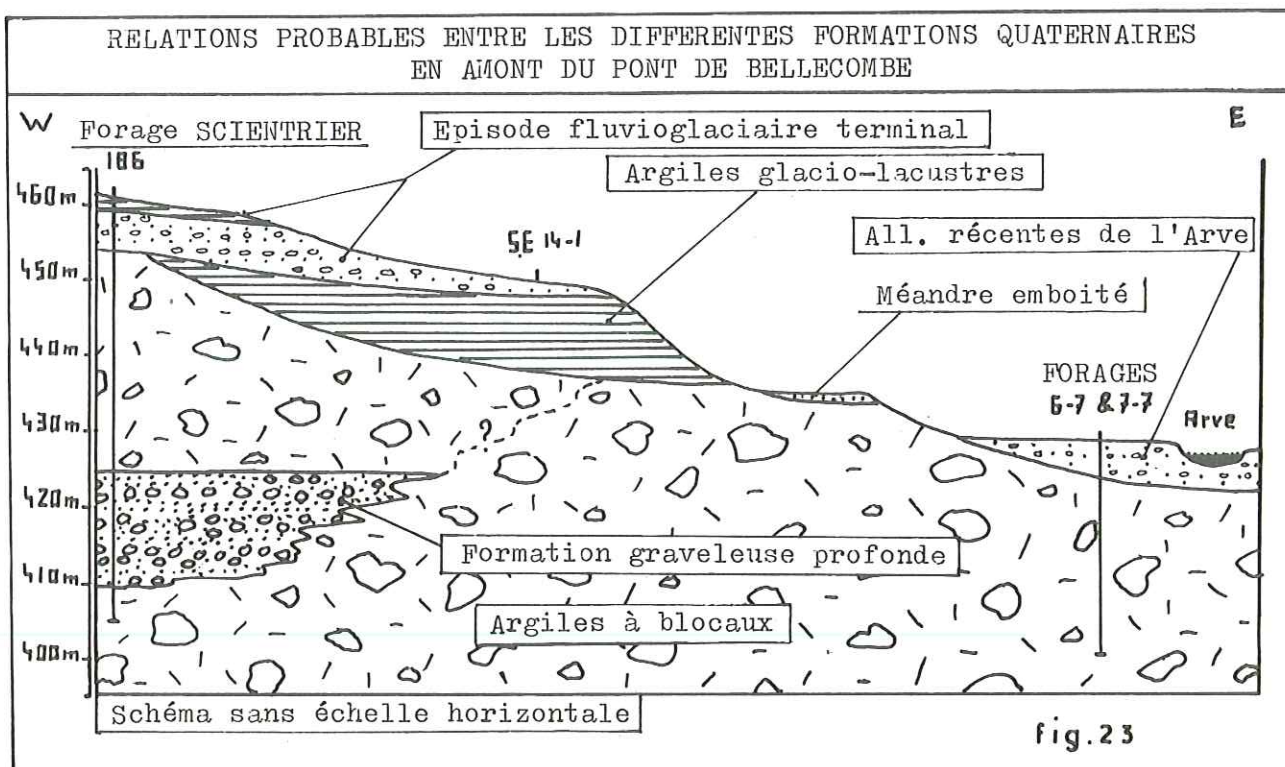
Les méandres emboîtés de l'Arve comportent chacun une mince couche sablo-limoneuse reposant sur les argiles à blocs.

Au fond de la vallée, les alluvions récentes

de l'Arve (terrasse de 428m) ont une épaisseur de 4 à 8m ; elles reposent sur les argiles à blocs qui colmatent le fond de la vallée.

Dans les forages 6 - 7 et 7 - 7, on ne rencontre pas de graviers qui pourraient être les équivalents latéraux de ceux qui sont présents entre 425m et 409m dans le forage P I86 SCIENTRIER.

La coupe schématique de la figure 23 résume les relations entre les différentes formations quaternaires en amont du Pont de Bellecombe.



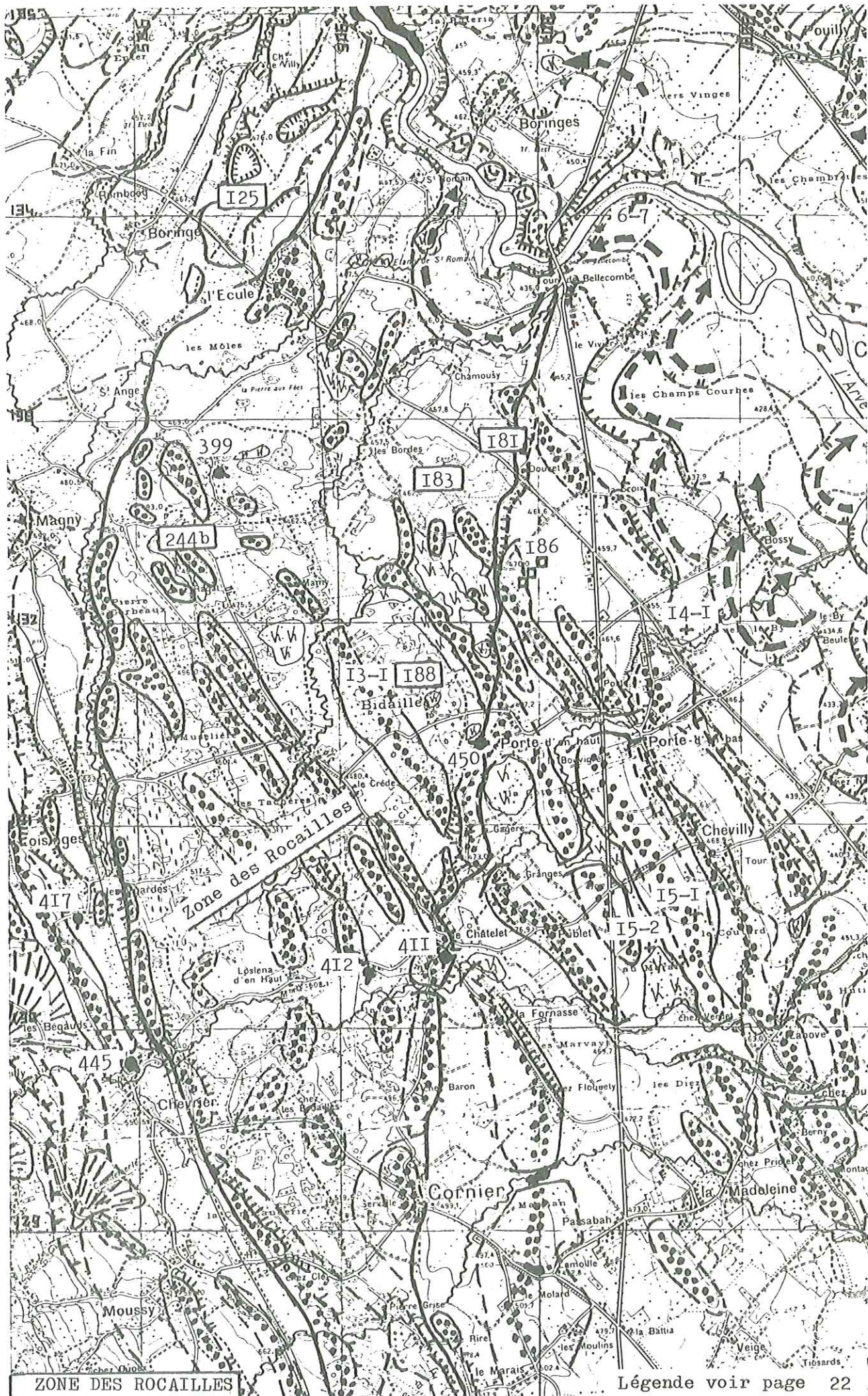
2) LA ZONE DES ROCAILLES.

a - Morphologie. (voir figure 24).

Elle s'individualise très bien dans le paysage, en rive gauche de l'Arve, sous la forme d'une bande étroite, orientée SE - NW de LA ROCHE à CORNIER, et qui s'élargit ensuite en prenant une direction N - S jusqu'à FIN-DROL (Château de Pierre).

La morphologie est apparemment chaotique, faite de bourrelets morainiques séparant des zones marécageuses. En fait, on constate en photographie aérienne le prolongement rigoureux des structures en gradins et bourrelets observés à l'amont.

A la suite des observations de A.DELEBECQUE (1909), puis de W.KILIAN (1916), les auteurs s'accordent à admettre qu'il s'agit d'un énorme



ZONE DES ROCAILLES

Légende voir page 22

fig. 24

écroulement de calcaire urgonien du massif des Bornes, véhiculé par le glacier de l'Arve et abandonné sous la forme d'une moraine, frontale dans sa partie Nord, latérale dans sa partie Sud-Ouest.

Sur les bordures Est et Ouest sont établis d'anciens chemins d'écoulement des eaux de fonte. Ils ont principalement fonctionné au moment du retrait glaciaire, quand la zone des Rocailles se trouvait en relief sur un socle de glace "morte" qui a fondu tardivement en raison de l'épaisse couverture morainique à cet endroit.

La fraîcheur de la morphologie glaciaire des Rocailles est remarquable ; par ailleurs, cette zone est déprimée par rapport à la terrasse d'ARTHAZ, qui s'interrompt brutalement à son contact. A la bordure Ouest de la zone des Rocailles, au niveau de St ANGE et du Château de Pierre, les blocs d'Urgonien reposent sur les graviers et sables de la terrasse d'ARTHAZ. De plus, cette dernière terrasse ne contient pratiquement aucun bloc de calcaire urgonien.

Cet ensemble d'observations nous font penser que la moraine des Rocailles est très postérieure à la terrasse d'ARTHAZ. Elle s'est mise en place à la faveur d'une récurrence glaciaire et constitue le témoin de la zone frontale d'une ultime avancée du glacier de l'Arve.

b - Lithologie.

En surface, la moraine des Rocailles est constituée par des amas plus ou moins étendus de blocs de calcaire urgonien, dont la taille, très hétérogène, peut atteindre 20m comme à l'affleurement 224b (X = 905,25 Y = 132,5). Les éléments cristallins sont rarissimes, ce qui contraste avec toutes les moraines de la région, où les blocs cristallins de forte taille sont fréquents.

Les amas de blocs, qui peuvent atteindre 18m d'épaisseur (Bidaille affl. 188 X = 906,6 Y = 131,65) surmontent une couche irrégulière, de 1 à 4m d'épaisseur constituée de fragments anguleux centimétriques de calcaire urgonien mêlés d'argile brunâtre. Ces argiles sont responsables des zones marécageuses.

Quelques forages de recherche de matériaux, ainsi que le sondage électrique I3 - I (X = 906,25 Y = 131,65) montrent qu'au dessous on rencontre une formation graveleuse aquifère assez continue, probablement fluvio-glaciaire, contenant de nombreux galets de roches cristallines. Son épaisseur peut dépasser 4m.

Le tout repose sur une argile compacte gris-bleu comportant des lentilles limoneuses, des galets striés et des éléments de roches cristallines.

La figure 25 montre les relations entre la moraine des Rocailles et les unités voisines.

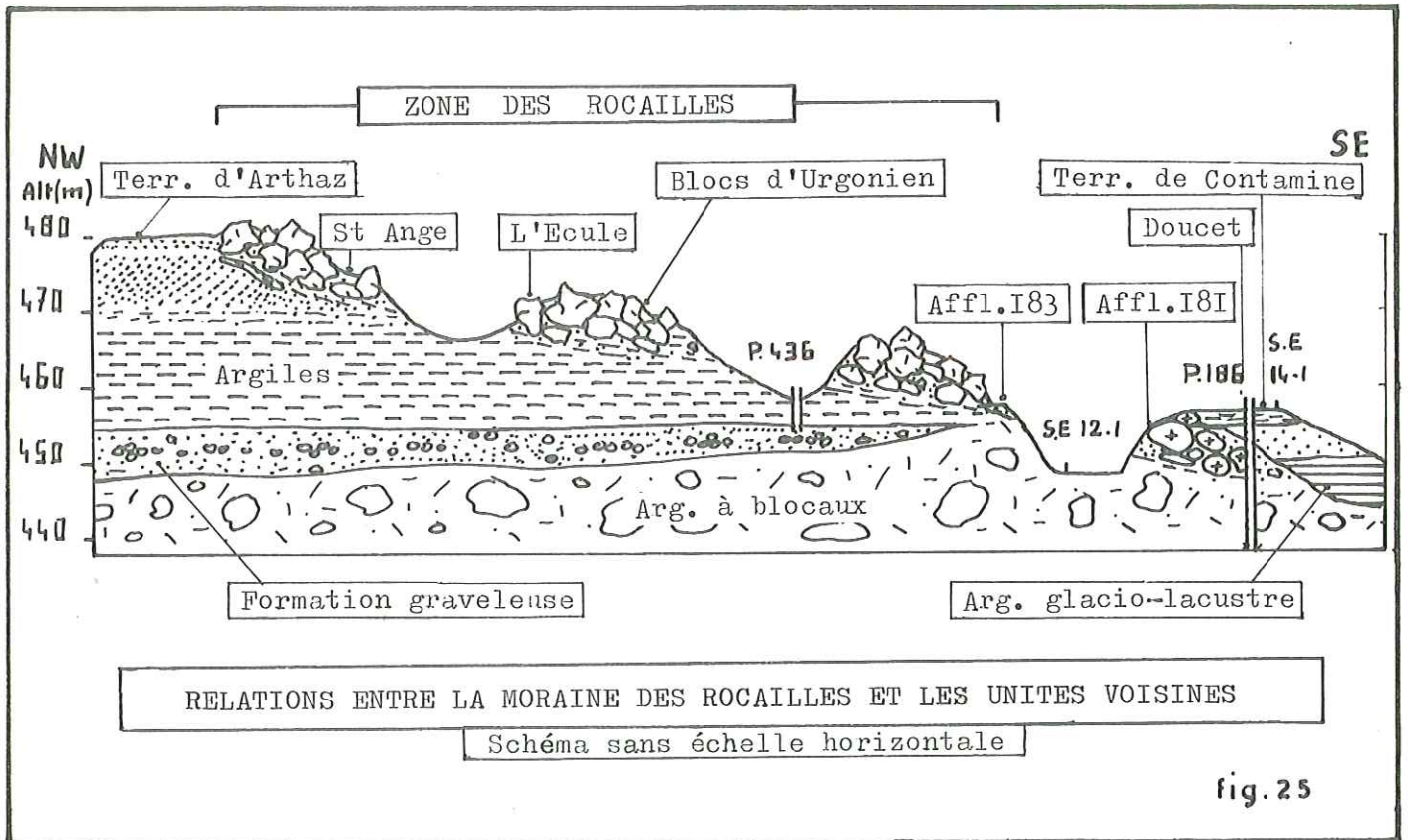


fig. 25

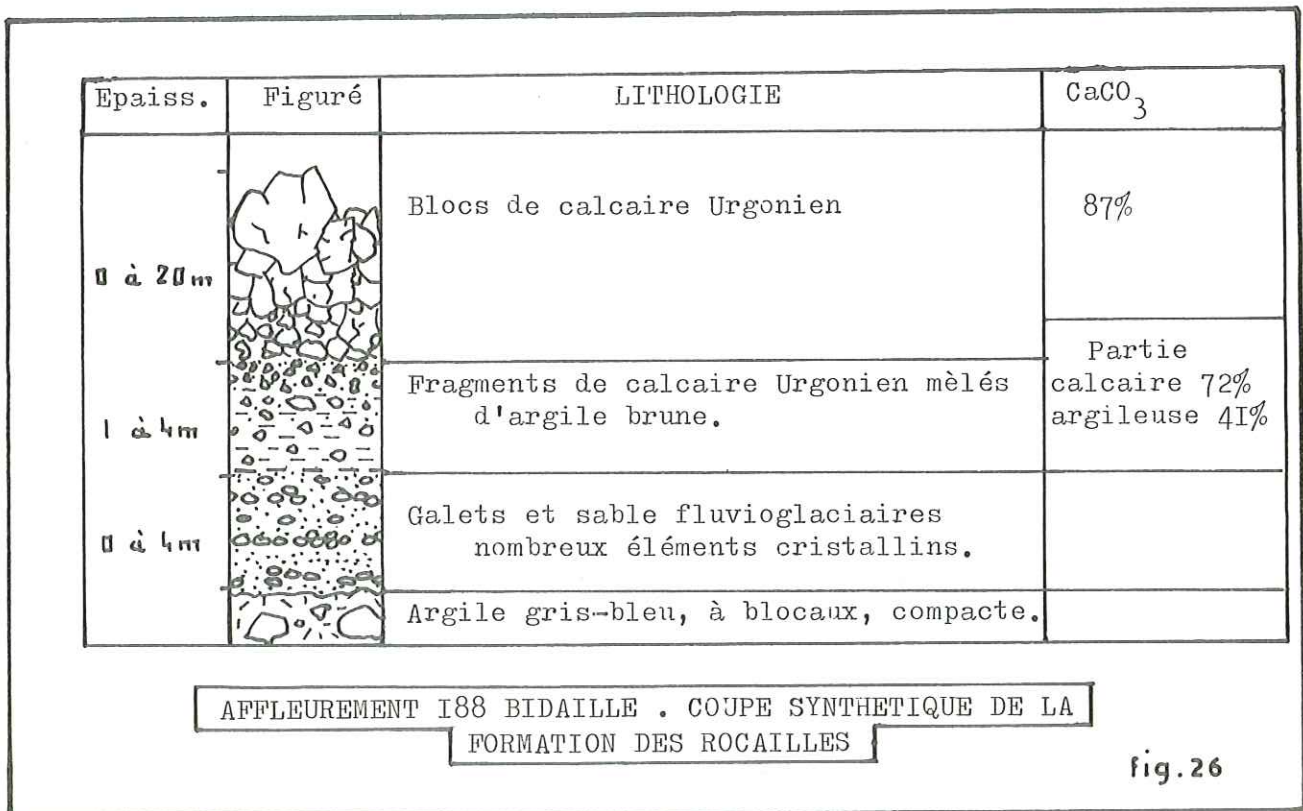
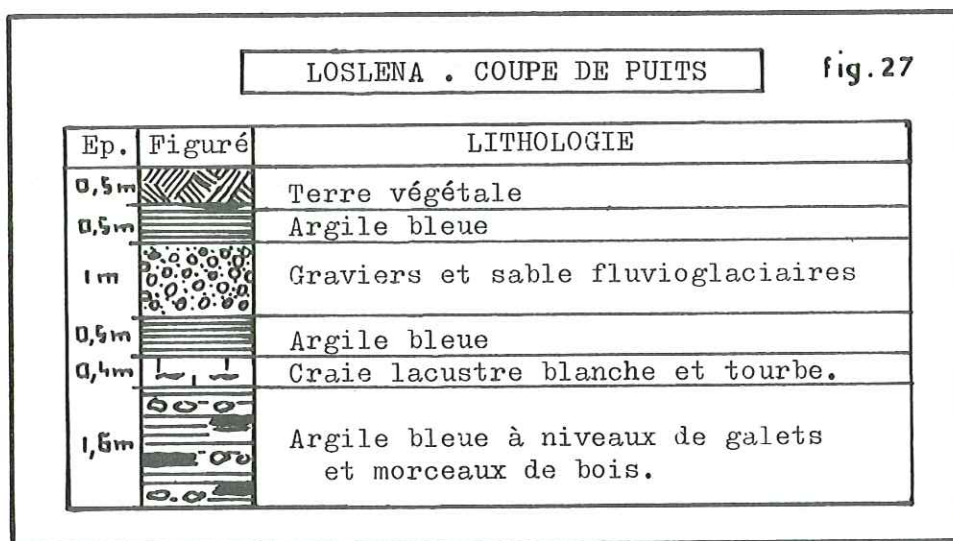


fig. 26

La figure 26 donne la coupe et les teneurs en carbonates observées dans la carrière d'enrochements de Bidaille (affl. I88).

REMARQUE : Entre les amas de blocs de calcaire Urgonien, les zones marécageuses ont souvent été le siège d'une sédimentation franchement lacustre.

En effet, une grande quantité de coquilles de mollusques lacustres a été mise à jour lors de travaux d'aménagement de la source 450 à PORTE D'EN HAUT (X = 906,74 Y = 131,41). Par ailleurs, le creusement d'un puits à LOSLENA (X = 905,6 Y = 130,27) a rencontré des niveaux de tourbe associés à une couche de craie lacustre blanche (CaCO₃ = 85%). L'argile bleue sous-jacente contenait un fragment de tronc bien conservé. La figure 27 ci-dessous donne le détail de la coupe relevée à cet endroit :



3) LA TERRASSE D'ARTHAZ - LE PONT ET SES BORDURES.

Cet ensemble est un élément dominant dans la morphologie de la basse vallée de l'Arve.

a - Morphologie. (voir figure 28).

- La partie centrale. 475 - 485m.

Entre ARTHAZ et LE PONT, la terrasse est sensiblement horizontale (475 - 485m) ; elle est très profondément entaillée par les cours actuels de l'Arve et de la Menoge, qui sont encaissés de plus de 60m.

Par corrélation d'altitude et de morphologie, il faut rattacher à cette partie centrale, la terrasse de CRY, et le fragment isolé au Sud du Château de Villy.

Une grande part de la zone amont de cette terrasse a disparu par érosion.



LA TERRASSE D'ARTHAZ ET SES BORDURES

Légende voir page 22

fig.28

- Les bordures de la terrasse d'ARTHAZ - LE PONT. 485 - 510m

Au moyen de coupes s riees, on met en  viden-
-ce le passage en continuité de la partie centrale, horizontale, de la terrasse,
  ses bordures, qui sont de vastes surfaces pent es régulièrement de 2,5 à 3%.

Ces bordures, bien que modifiées par une érosion ultérieure, montrent clairement le dispositif d'alimentation en matière-
-aux détritiques de la terrasse glacio-lacustre d'ARTHAZ - LE PONT.

Cette alimentation s'est faite par le Nord, à travers la trouée séparant la colline de Monthoux des Voirons (voir chapitre Etude sédimentologique), par les torrents descendant des collines molassiques, par le chenal de JUSSY, ainsi que suivant l'axe de la vallée, comme le prouvent les figures de sédimentation de la gravière de Villy. (voir figure 31).

REMARQUE : La vaste surface d' pendage, légèrement inclinée vers l'Ouest, qui s'étend entre ANNEMASSE et les Voirons, est à rattacher au même ensemble morpho-
-logique. Mais, tout en étant contemporaine, elle appartient à un bassin versant diff rent de celui de la terrasse d'ARTHAZ.

b - Lithologie.

- La partie centrale.

En utilisant les coupes des forages I - 6 (X = 901,75 Y = 137,22) pour la partie supérieure, et 6 - 6 (X = 901,68 Y = 137,20) pour la partie inférieure, on peut avoir une bonne coupe de la terrasse d'ARTHAZ - LE PONT. (voir figure 29).

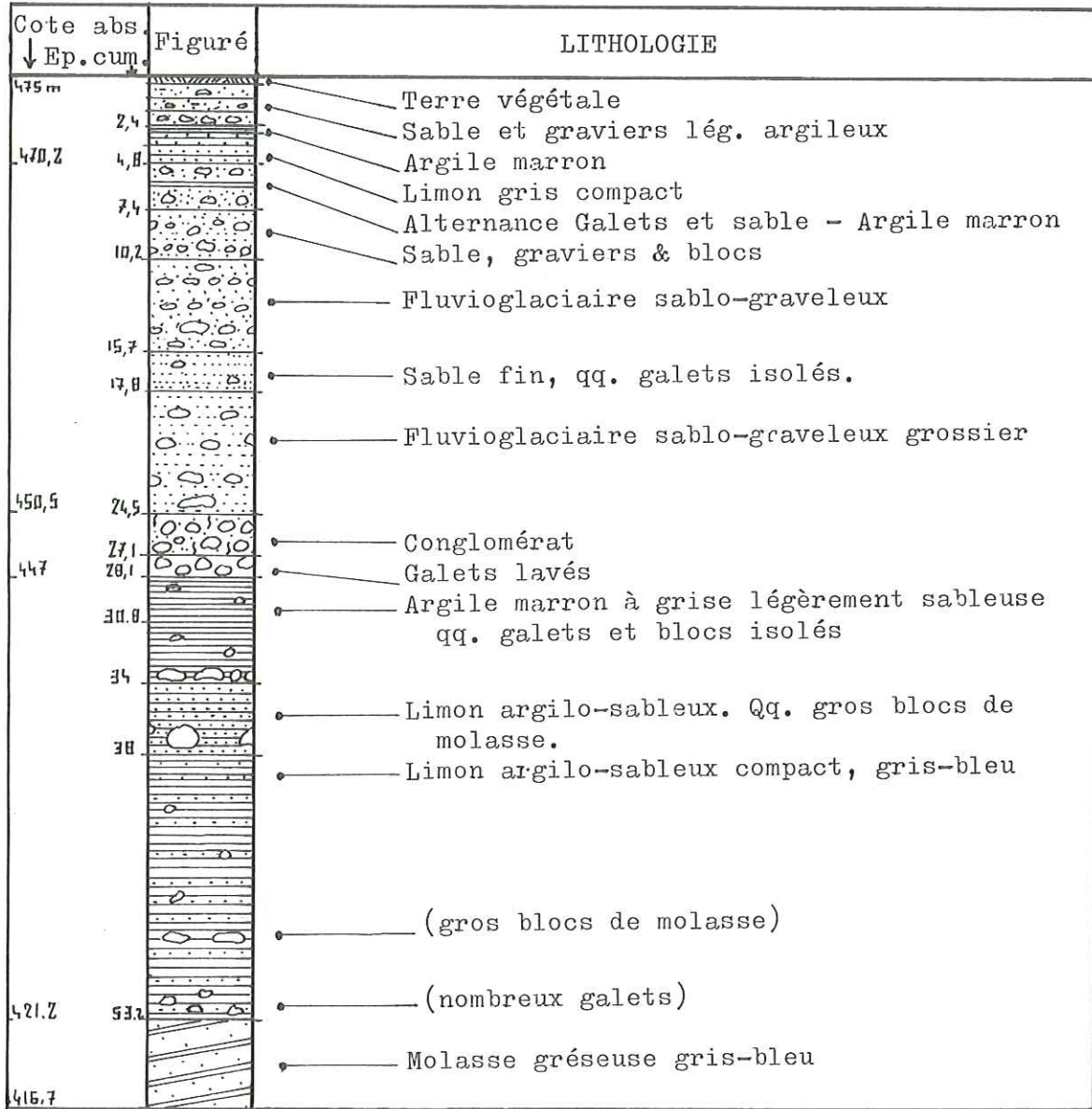
On constate que seule la partie superficielle de la terrasse est graveleuse, fluvioglaciale. Dans le reste de la coupe, le faciès dominant est une argile à blocs compacte gris-bleu à éléments anguleux et arrondis mêlés, composés de calcaires, grès et roches cristallines. Les galets striés sont très fréquents.

. Les faciès fluvioglaciaux superficiels.

De l'Est vers l'Ouest, en se rapprochant du centre de la terrasse, on note une augmentation de la puissance de la série graveleuse superficielle : de 2m au niveau des affleurements 8 et 7 (Les Grands Champs X = 903,5 Y = 136,9), puis 5m   l'affleurement 10 (Les Baillardes X = 902,8 Y = 137,1), elle passe à 8m   l'affleurement II (LE PONT X = 902,5 Y = 137,0), pour atteindre 15 à 25m suivant les endroits à l'affleurement 70 (X = 902 Y = 137,2).

COUPE DE LA TERRASSE D'ARTHAZ - LE PONT (partie centrale)

Etablie grâce aux forages I-6 & 6-6



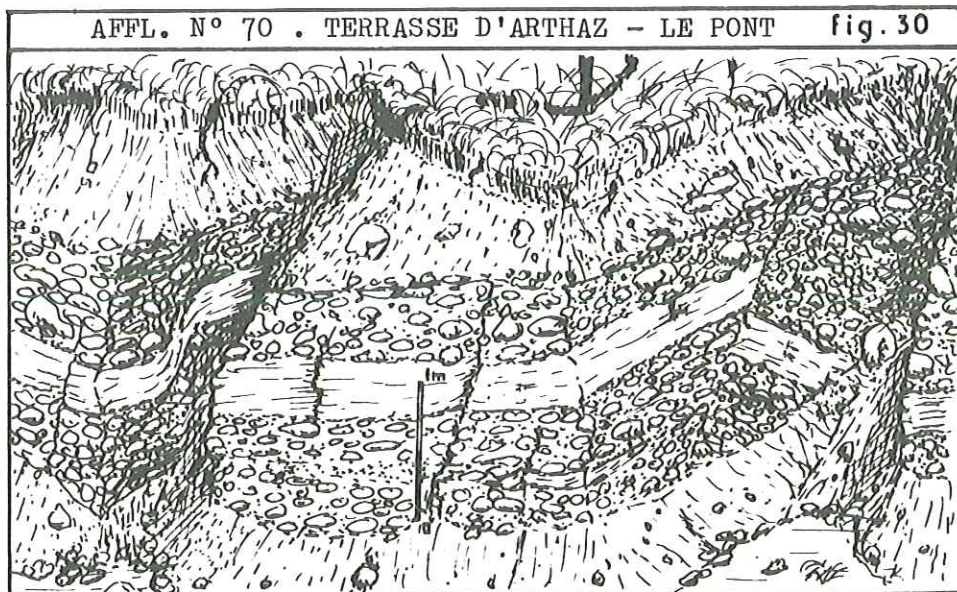
ECHELLE

4 m

fig. 29

On observe aussi que la série se complète à sa partie inférieure par des couches sableuses à litage incliné et minces niveaux argileux qui présentent les caractères d'une sédimentation deltaïque glacio-lacustre.

L'affleurement 70 est situé à l'extrémité aval de la terrasse d'ARTHAZ - LE PONT. En plusieurs endroits on y remarque d'intéressantes structures affectant les sables, les limons, et les niveaux d'argile litée : il s'agit de petits plis métriques et de nombreuses failles normales de rejet décimétrique ou métrique, découpant l'affleurement en panneaux dont le pendage peut atteindre 60°. (voir figure 30 ci-dessous).

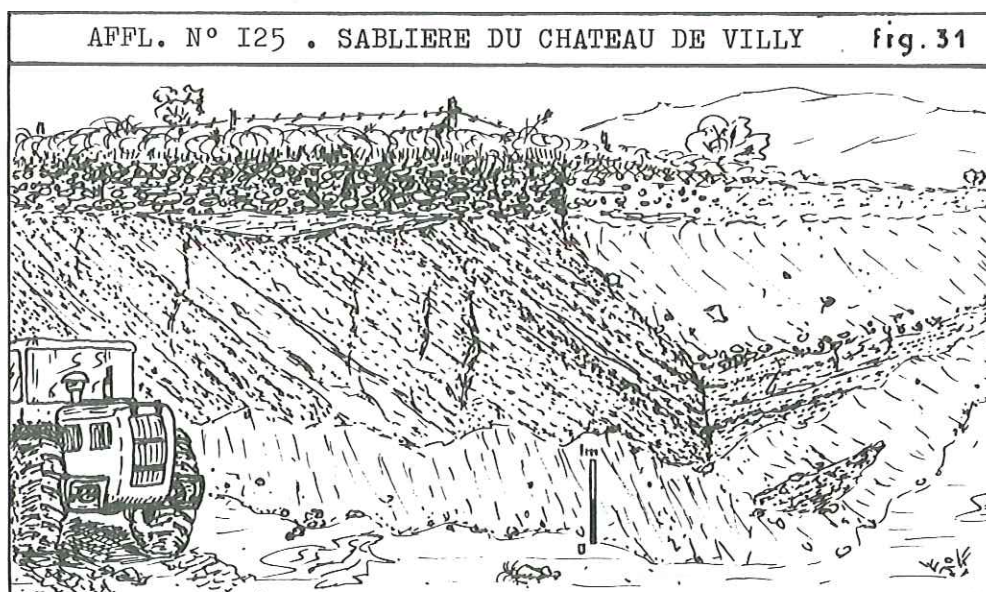


Nous avons très probablement là un cas de sédimentation glacio-lacustre perturbée par la proximité d'un glacier, celui du Rhône, formant barrage mobile. Les mouvements de ce glacier seraient à l'origine des déformations observées dans les sédiments.

REMARQUE : Le bloc de plusieurs mètres cubes présent dans la partie Sud-Ouest de la gravière a pu être amené par un iceberg flottant sur le lac, à moins qu'il ne s'agisse, et c'est plus probable, d'un pointement de la topographie morainique de retrait recouverte par la série glacio-lacustre.

A l'extrémité amont de la terrasse, l'affleurement I25 (X = 905,5 Y = I34, I Villy) laisse, lui aussi, apparaître des structures glacio-lacustres : on observe, sur une puissance de 6m environ, des limons sables et graviers qui présentent un litage très régulier, incliné de 30° environ vers le Nord-Ouest, ce qui montre une alimentation en matériaux détritiques suivant l'axe de la vallée. Au dessus de cet ensemble, qui constitue le "foreset" du dispositif deltaïque, on rencontre une fin de séquence

de 1m de puissance, litée horizontalement, correspondant au "topset". (voir figure 31 ci-dessous).



. Les argiles à blocs sous-jacentes.

Elles sont particulièrement bien visibles au niveau de l'affleurement 394 (CREUZE X = 902,3 Y = 137,2) où la coupe est périodiquement rafraîchie par des glissements de terrain. (voir coupe de la figure 32).

On observe de nombreuses lentilles très allongées, sableuses ou graveleuses, avec des pendages faibles, noyées dans une masse d'argiles à blocs gris-bleu, très compacte.

Malgré nos recherches, nous n'avons observé aucun litage, ni indice de sédimentation lacustre dans les argiles à blocs de ce niveau. A. JAYET voit dans ce type de formation une superposition de "lames morainiques intraglaciaires" de nature différente mises en contact par la lente fusion du glacier. A notre avis, les 30 à 40m de puissance sont difficilement conciliables avec cet unique mode de mise en place ; et il est probable que les argiles à blocs de la basse vallée de l'Arve ont plusieurs origines : moraines de fond, pour les argiles les plus profondes, en particulier au contact du substratum ; moraines "intraglaciaires" pour les argiles à nombreuses lentilles sablo-graveleuses observées dans la partie moyenne des coupes (Aff. 394 par exemple) ; argiles et limons glacio-lacustres plus ou moins accompagnés d'un chenal médian, sablo-graveleux, recouvrant la topographie morainique de retrait dans la partie supérieure de la terrasse d'ARTHAZ. (Affl. 70).

La coupe de la figure 33 représente les relations probables entre les formations quaternaires au niveau de la terrasse d'ARTHAZ.

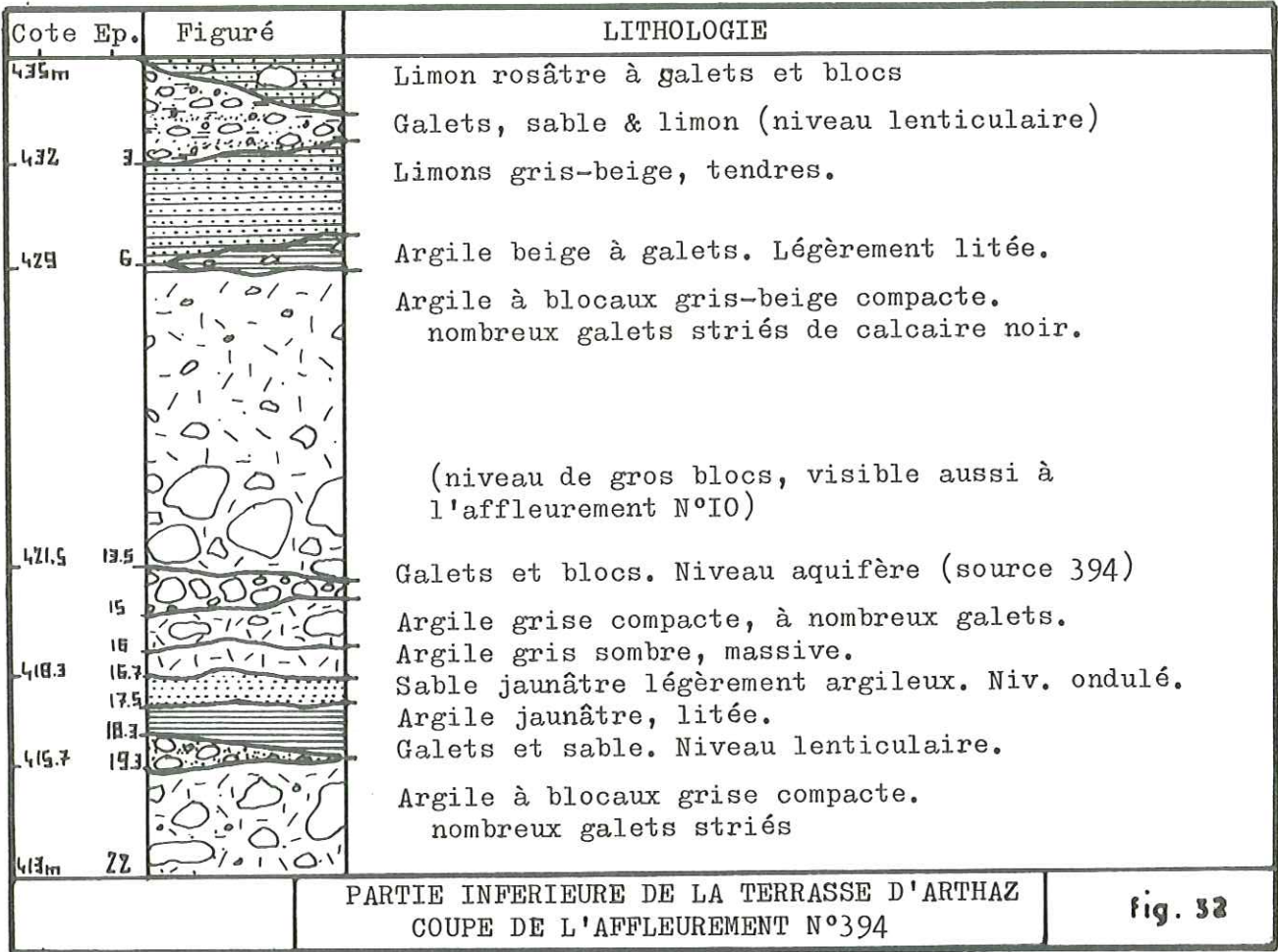


fig. 32

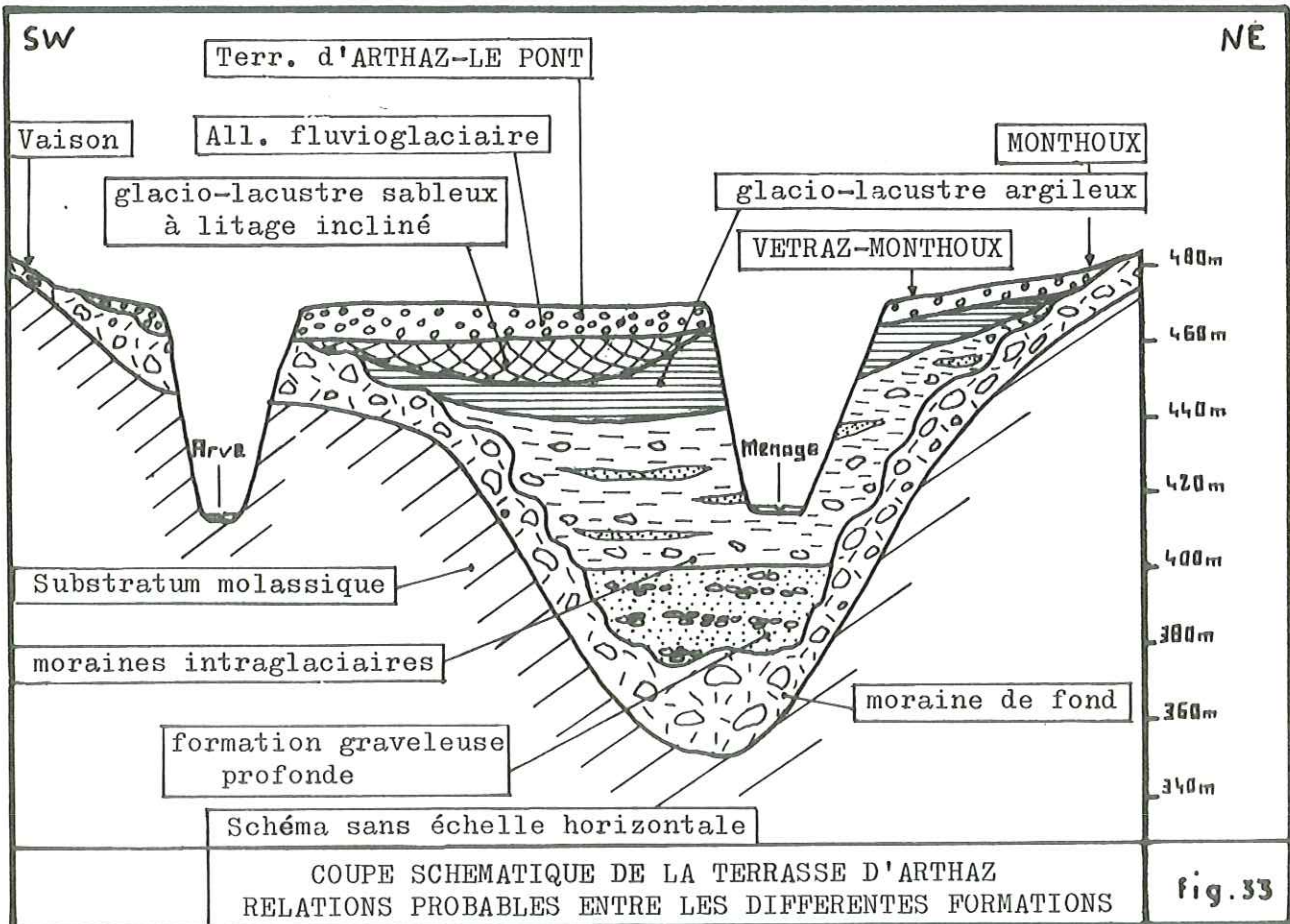
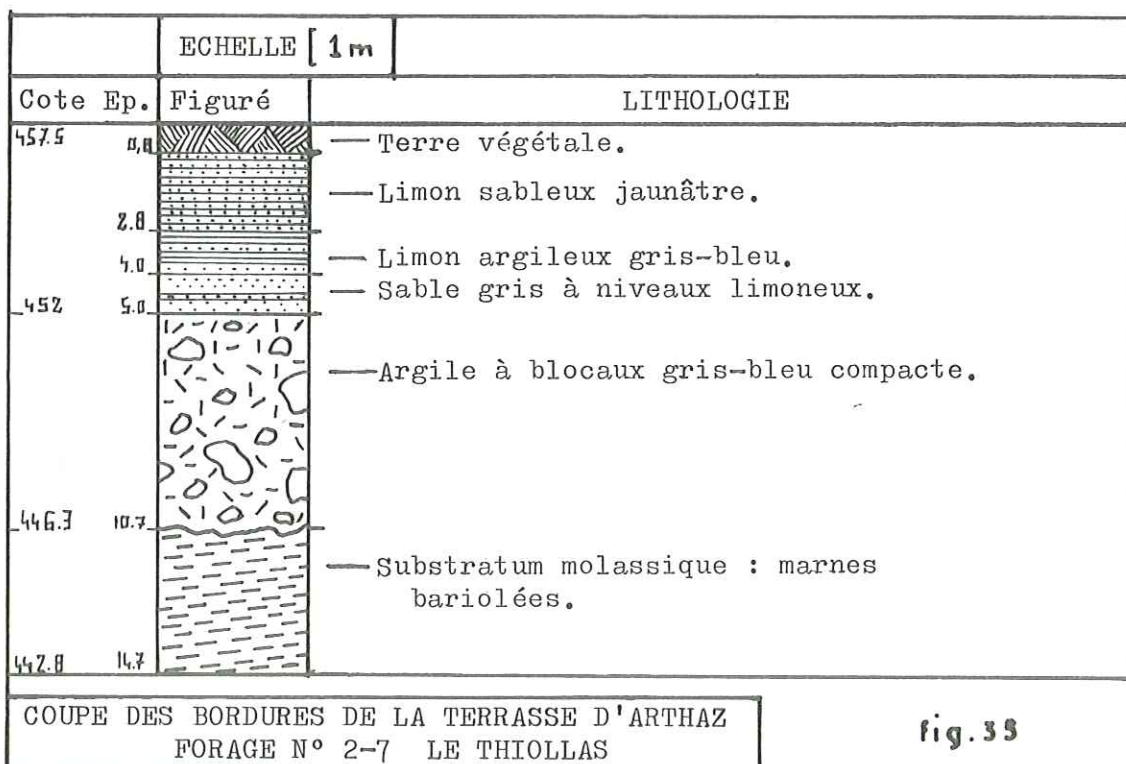
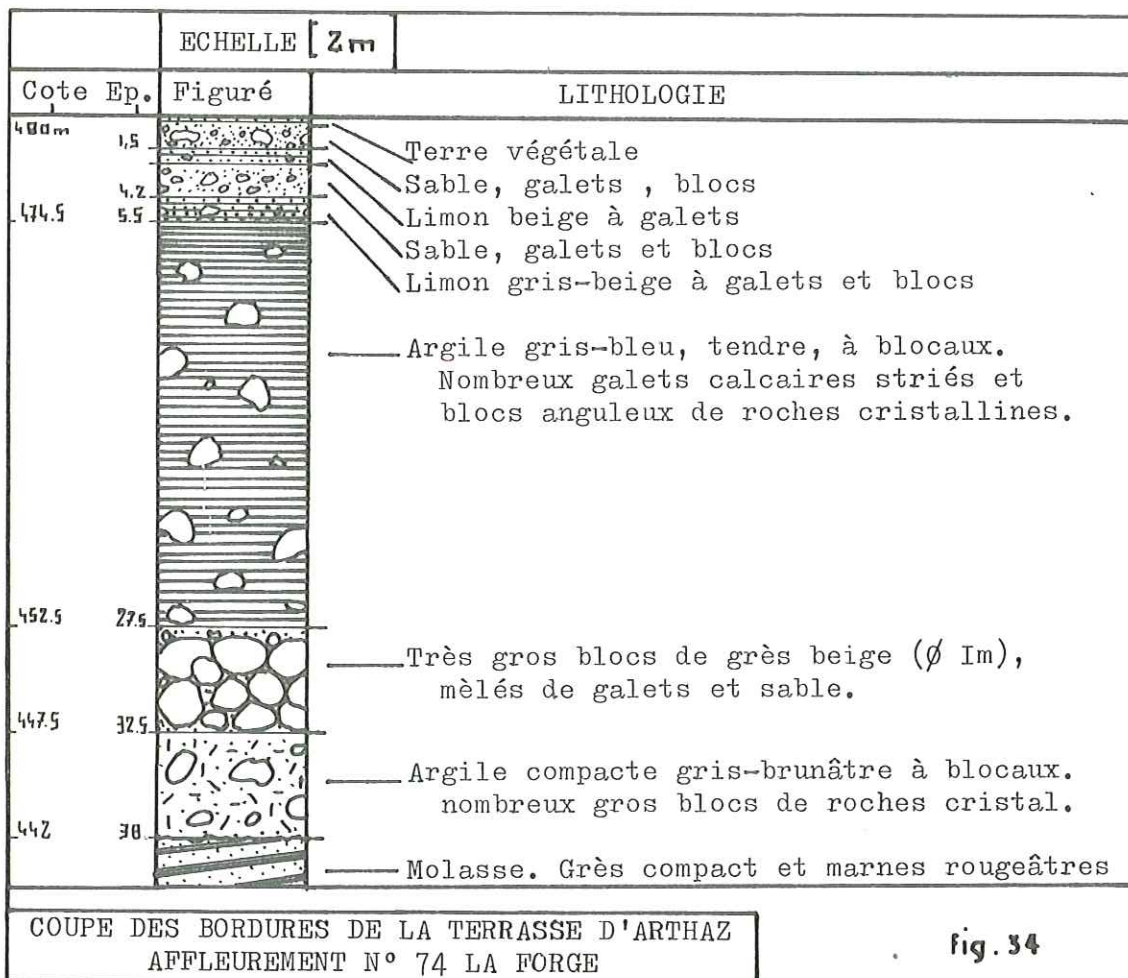


fig. 33



- Les bordures de la terrasse d'ARTHAZ - LE PONT.

Les sables et graviers de la partie centrale de la terrasse reposent sur une formation argileuse qui affleure largement sur les bordures, faiblement inclinées, de la terrasse d'ARTHAZ - LE PONT.

La meilleure coupe est celle de l'affleurement 74 proche du pont de LA FORGE (X = 904,1 Y = 137,4) dans un méandre de la Menoge. (voir figure 34).

Les 5,5 premiers mètres correspondent à la série fluvioglaciaire d'un chenal qui alimentait la terrasse d'ARTHAZ - LE PONT à partir du bassin du Rhône par la trouée séparant Monthoux des Voirons.

Au dessous, jusqu'à la cote 452,5m, il s'agit d'une argile à blocs gris-bleu comprenant des galets striés et des blocs de roches cristallines.

Entre les cotes 452,5 et 447,5m, on observe un niveau très continu, légèrement penté vers le Sud-Ouest, de gros blocs arrondis de grès beige, dont le diamètre dépasse souvent 1m. L'allure du dépôt évoque tout à fait une crue torrentielle très violente ayant mis en place des matériaux grossiers dans un milieu de sédimentation glacio-lacustre. La régularité du dépôt, et sa continuité latérale sur plusieurs dizaines de mètres font écarter l'hypothèse d'une mise en place morainique.

Il semble donc qu'au dessus de ce niveau, les argiles à blocs soient de type glacio-lacustre, ce qui concorderait avec les observations que l'on peut faire dans la partie médiane de la terrasse d'ARTHAZ.

Au contact de la molasse, on trouve 6m d'argiles à blocs très compactes, gris-brunâtre. Elles correspondraient à la moraine de fond du glacier de l'Arve, qui forme un placage plus ou moins continu sur les parois du sillon glaciaire.

Lorsque le substratum molassique est presque affleurant, comme c'est le cas à proximité de NANGY, la série glacio-lacustre se réduit à quelques mètres de limons, sables, et argiles bariolées recouvrant le placage d'argiles morainiques : coupe du forage 2 - 7 Thiollas X = 906,55 Y = 135,46 . figure 35).

4) LA TERRASSE DE LA BERGUE - LOEX 520 - 550m.

a - Morphologie. (voir figures 36 37).

Cette terrasse, de forme grossièrement triangulaire s'étend au pied du flanc Sud-Ouest des Voirons. Elle se raccorde aux pentes de la montagne par l'intermédiaire d'anciens talus d'éboulis et de petits cônes de déjection.

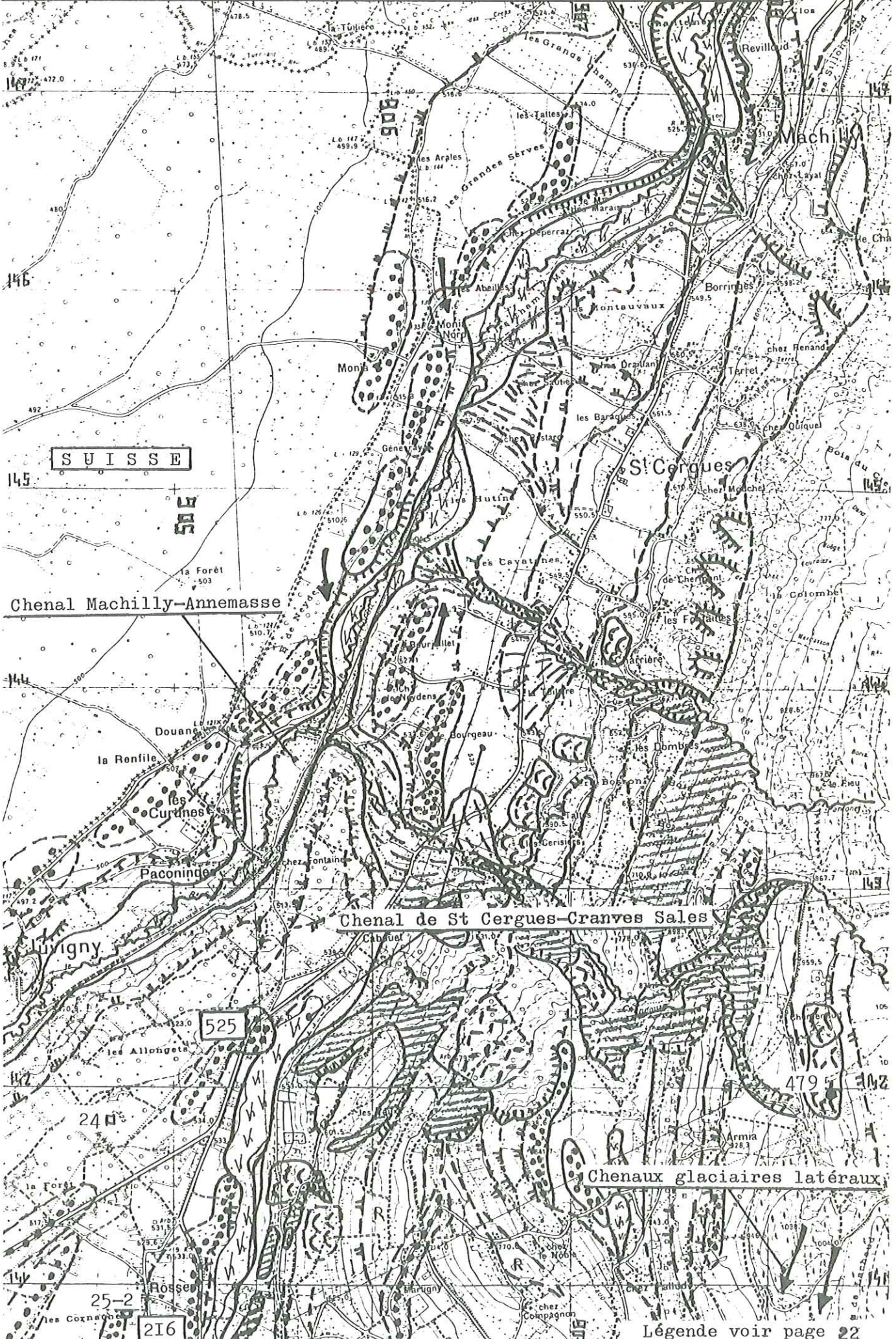


TERRASSE DE LA BERGUE - LOEX

Légende voir page 22

fig. 36

LIAISON ENTRE LA TERRASSE DE LA BERGUE ET LE FLANC OUEST DES VOIRONS



SUISSE

Chenal Machilly-Annemasse

Chenal de St Cergues-Cranves Sales

Chenaux glaciaires latéraux

25-2

216

Légende voir page 22

fig. 37

Ses limites sont, à l'Ouest, le bourrelet morainique de CRANVES-SALES, au Sud-Ouest celui de LOEX et à l'Est le bourrelet de FILLINGES qui était une moraine frontale du glacier commun à la Menoge et au Foron.

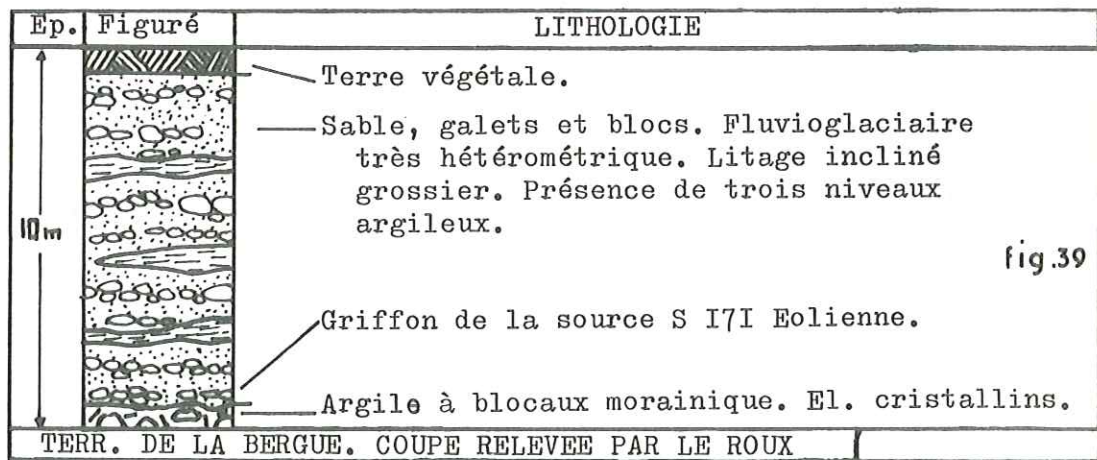
La terrasse de LA BERGUE-LOEX est entaillée, sur une profondeur de 50m environ, par les cours actuels de la Menoge, du Foron de Fillinges et du ruisseau de Borly. Ces vallées, hors de proportions avec les écoulements actuels, ont évolué à partir d'anciens chenaux d'évacuation des eaux de fonte glaciaire surcreusés lors des phases de retrait.

REMARQUE : Un niveau de terrasse à 475-490m (terrasse de Verchille) est visible en bordure de la Menoge, surtout en rive droite bien qu'il soit en partie masqué par les cônes de déjection des torrents descendant des Voirons.

Cette interruption dans l'encaissement de la Menoge est à mettre en relation avec l'édification de la terrasse d'ARTHAZ.

b - Lithologie.

Il n'existe pas de coupe naturelle complète de la terrasse de LA BERGUE ; on peut cependant noter la coupe partielle levée par LE ROUX dans un rapport d'expertise de 1929 (travaux de captage de la source de "l'éolienne" S I7I) voir figure ci-dessous.



Grâce à quelques affleurements et à plusieurs sondages électriques, nous avons pu confirmer cette coupe et établir le profil schématisé de la figure 38 .

La partie superficielle de la terrasse est constituée par des alluvions fluvioglaciaires grossières, dont les éléments peuvent atteindre 20cm de diamètre: Aff. 63 Chez Bosson X = 907,70 Y = 137,10 et Aff. 191 LA BERGUE X = 906,02 Y = 138,58 .

A environ 6m sous la surface, ces alluvions sont cimentées

en conglomérat, sur une épaisseur d'environ 2m, ce qui indique une ancienne zone de battement de la nappe : Aff. 6I La coule X = 907,3 Y = 136,7 , Aff. 56 BONNE X = 907,15 Y = 137,30 et Aff. 215 BORLY X = 905,20 Y = 138,95 .

Au dessous, on retrouve des alluvions fluvioglaciaires qui reposent, soit directement sur la molasse (sondage électrique 8 - 2 X = 907,30 Y = 137,16) soit sur les argiles à blocs (sondage électrique 8 - 3 X = 906,95 Y = 137,13).

L'épaisseur des alluvions de la terrasse semble être maximale au sondage électrique 8 - 2 : 11m.

Les argiles à blocs sous-jacentes sont en tout points semblables à celles rencontrées dans l'axe de la vallée de l'Arve ; elles contiennent fréquemment des lentilles sablo-graveleuses aquifères, responsables de très nombreux glissements de terrain.

REMARQUE : Lithologie de la terrasse de Verchille. 475-490m.

Les sondages électriques 5 - 1 (X= 905,45 Y = 138,15), 8 - 6 (X = 907,25 Y = 137,40) et 7 - 3 (X = 906,85 Y = 137,70) montrent que l'on a la coupe indiquée dans la figure 40 ci-dessous.

Ep.	Figuré	LITHOLOGIE	RESISTIVITE
0.5 à 0.6		TERRE VEGETALE	70 à 240 ohm.m
2.5 à 5.5m		ALLUVIONS FLUVIOGLACIAIRES	340 à 960 ohm.m
0.5 à 2.4m		ARGILE A BLOCAUX	36 à 49 ohm.m
		SUBSTRATUM MOLASSIQUE	32 ohm.m
TERRASSE DE VERCHILLE . COUPE D'APRES LES S.E. 5-1, 8-6, 7-3			Fig. 40

5) LA TERRASSE D'ANNEMASSE. 420 - 435m.

a - Morphologie. (voir figure 41).

La terrasse d'ANNEMASSE s'étend essentiellement en rive droite de l'Arve, au débouché de cette rivière dans la dépression lémanique.

En amont, elle se prolonge dans les vallées de l'Arve et de la Menoge, où l'on trouve des fragments de dimensions réduites jusqu'à la hauteur du Pont Neuf et du Pont de La Forge.

b - Lithologie.

Actuellement, en raison de l'urbanisation, il n'existe plus de bonne coupe naturelle de cette terrasse.

Dans un rapport d'expertise de 1947, L.MORET donnait la

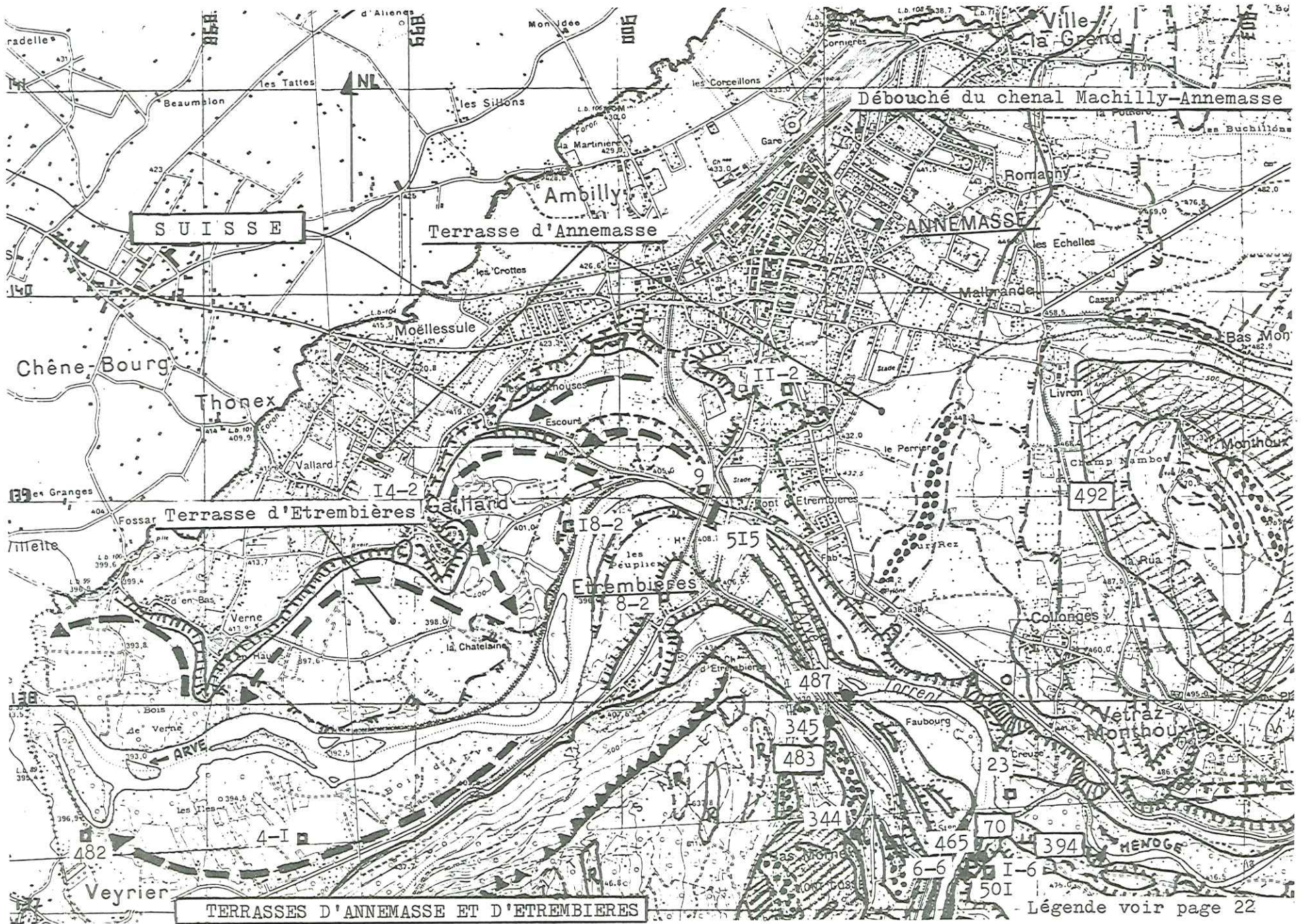
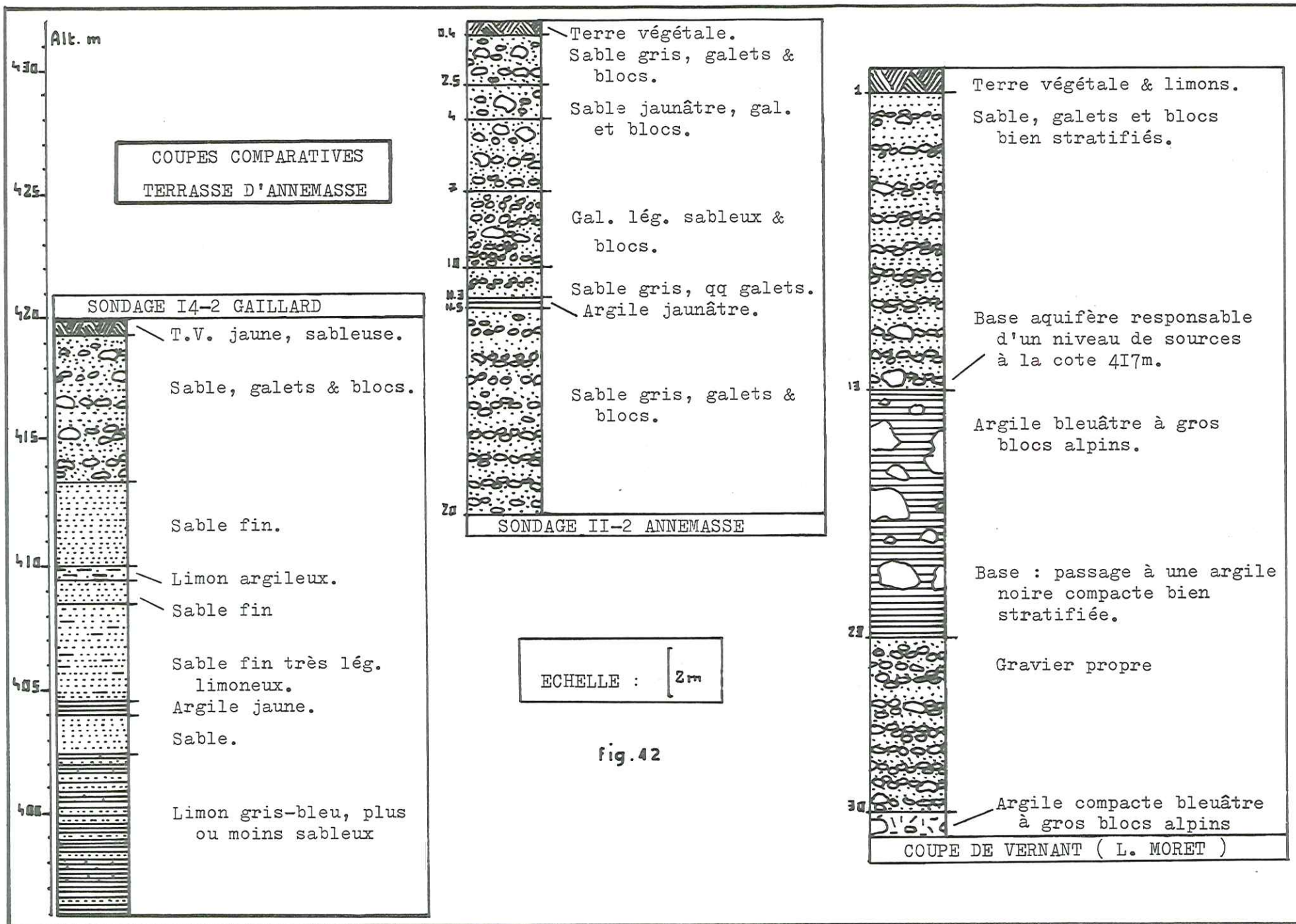


fig. 41



coupe suivante, relevée en rive droite de l'Arve, 1km en amont du pont d'Etrembières. Dans la figure 42 nous indiquons aussi la coupe des sondages II-2 ANNEMASSE (X = 900,83 Y = 139,53) et I4-2 GAILLARD (X = 899,05 Y = 139,00).

On constate que, sur une puissance de 20m environ, la partie supérieure de la terrasse d'ANNEMASSE est constituée par une série sablo-graveleuse de type fluvioglaciaire.

Au dessous de la cote 400m environ, on rencontre des formations argileuses qui peuvent être soit des limons glacio-lacustres, soit directement les argiles à blocs compactes, gris-bleu ou grises, correspondant à la moraine de fond.

6) LA TERRASSE D'ETREMBIERES. 390 - 410m.

a - Morphologie. (voir figure 41).

Elle se développe principalement en aval d'ETREMBIERES, où elle présente une remarquable morphologie d'anciens méandres.

Le niveau de cette terrasse est à 4m au dessus de la cote actuelle de l'Arve.

b - Lithologie.

En amont du Pont d'ETREMBIERES, un sondage exécuté en 1932 a donné la coupe suivante :

Ep.	Figuré	LITHOLOGIE
0,5		— Terre végétale et limons.
2,5		— Sable et petits galets (ø 2,5cm).
2		— Formation graveleuse grossière
		— Argile à blocs avec éléments cristallins, passant peu à peu à des argiles noires.
		TERR. D'ETREMBIERES. COUPE RELEVÉE PAR L.MORET EN 1932 fig 43

Grâce à de nombreux sondages, la coupe de la terrasse à l'aval d'ETREMBIERES est bien connue : les alluvions fluvioglaciaires superficielles ont une épaisseur maximale de 8m. Elles reposent sur une couche d'argile à blocs dont la puissance moyenne est 6 à 7m, mais peut atteindre 13m comme c'est le cas au forage 8-2 (X = 900,2 Y = 138,5 Z = 404,3m).

A proximité immédiate du lit de l'Arve, ces argiles sont ravinées par les alluvions actuelles de la rivière et peuvent même disparaître comme au forage I8-2 (X = 899,72 Y = 138,83).

Les formations situées sous ces argiles appartiennent au remplissage du sillon de surcreusement glaciaire de l'Arve, et seront décrites dans le paragraphe suivant.

7) LES SILLONS DE SURCREUSEMENT GLACIAIRE IMPRIMES DANS LE SUBSTRATUM.

a - Morphologie.

La morphologie des sillons de l'Arve et de la Menoge a été décrite dans le chapitre "ETUDE GEOPHYSIQUE" pages 31 à 35 .

b - Lithologie.

Sur le terrain étudié, le remplissage des sillons glaciaires n'est connu que par les coupes, souvent incomplètes, de quelques sondages, et les indications globales de la géophysique.

En particulier, le manque d'observations visuelles sur carottes ou en affleurement est très gênant pour la détermination précise du milieu de dépôt des différents faciès rencontrés.

- Sillon de l'Arve.

Sous une première masse d'argiles à blocs, parfois rubannées, on rencontre une formation graveleuse et sableuse compacte, dont la puissance varie de 10 à plus de 20m. Elle est parfois scindée en deux niveaux par une couche argileuse de quelques mètres, comme c'est fréquemment le cas en aval d'ETREMBIERES (forages 482 VEYRIER, 4-1 Les Iles, et 8-2 Les Peupliers).

Dans l'étude hydrogéologique, nous verrons que cette formation semble continue d'amont en aval, mais que son extension latérale est très variable : elle se réduit par exemple à un chenal étroit au niveau d'ETREMBIERES.

Si la base de cette formation graveleuse est irrégulière, son toit, par contre, a un profil longitudinal d'une grande régularité, avec une pente de 0,4% sur plus de 10km. (voir figure 44).

Cette disposition montre qu'il s'agit, non d'une formation morainique, comme le pensait A.JAYET, mais d'un épisode de comblement alluvial fluvioglaciaire. Celui-ci a sans doute été d'allure torrentielle car la pente longitudinale du dépôt est nettement supérieure à celle de l'Arve (0,25%).

Au dessous de cette couche graveleuse, on rencontre une masse d'argiles à blocs très compactes dans laquelle se sont

REPLISSAGE DU SILLON GLACIAIRE AXE SUR L'ARVE
 COUPES DES FORAGES I86, 98, 23, 8, 4, 482

fig.44

SCIENTRIER I86

SW

NE NW

SE

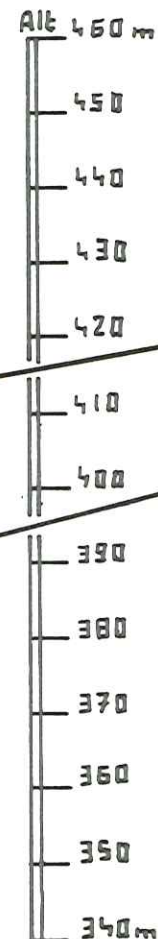
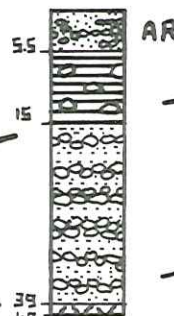
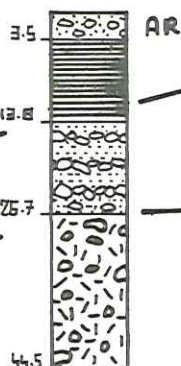
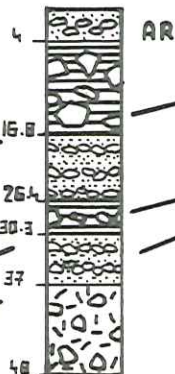
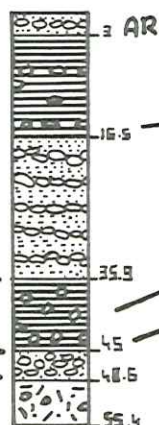
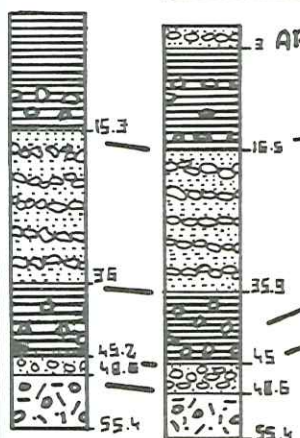
VEYRIER 482

LES ILES 4-I

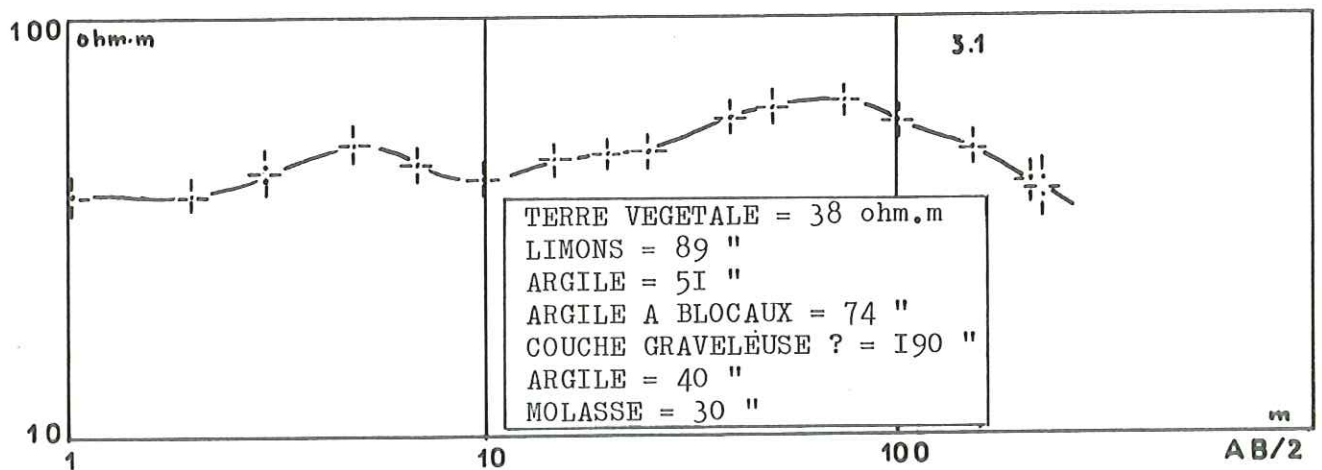
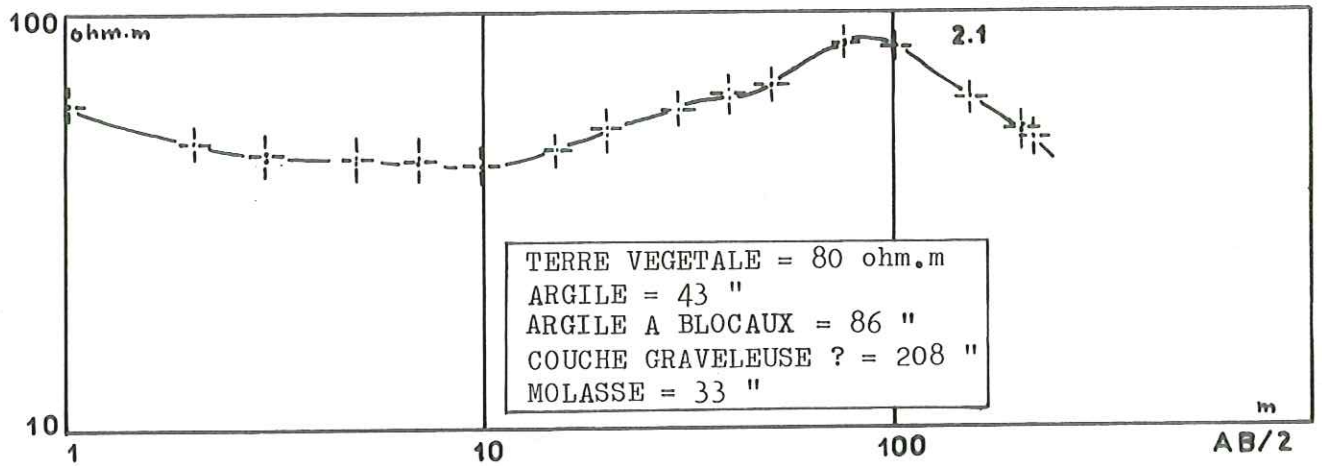
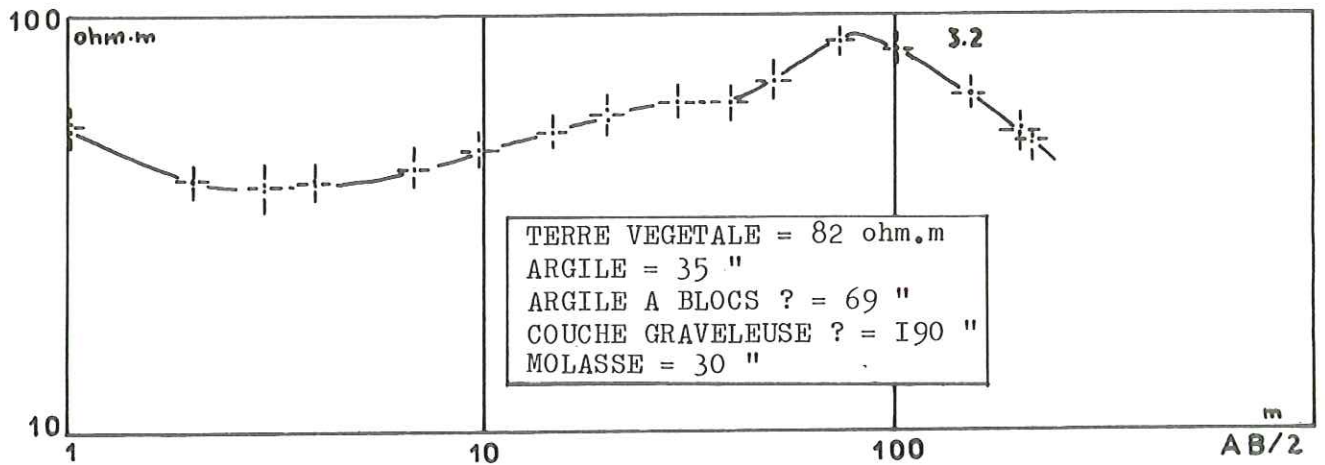
ETREMBIERES 8-2

CREUZE 23

NANT 98

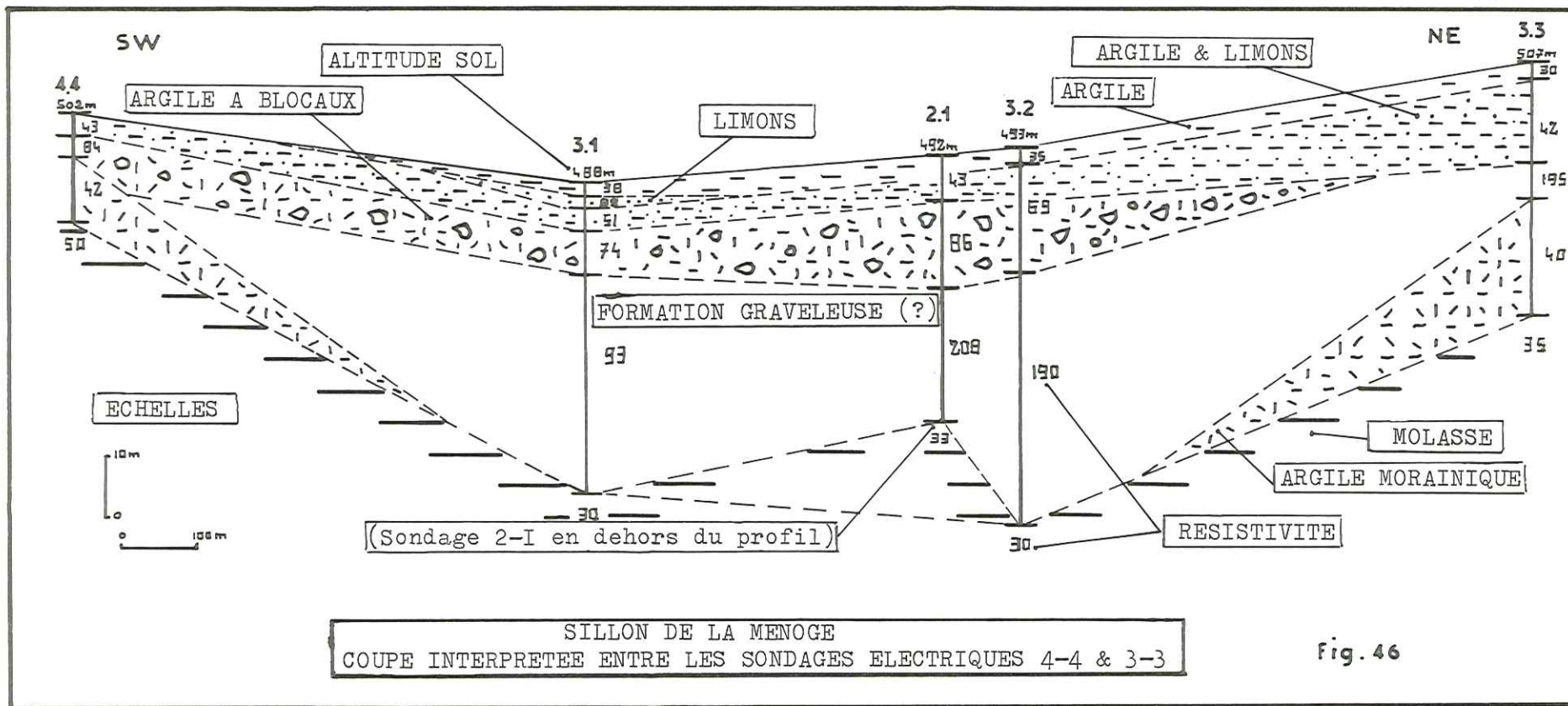


L E G E N D E	
	Limons
	Sable, galets & blocs.
	Argile glaciaire, souvent avec galets.
	Argiles à blocs grises, compactes.
AR	Alluvions récentes.
ECHELLE HORIZONTALE : 1km	



REPLISSAGE DU SILLON DE LA MENOGE ENTRE CRANVES-SALES ET MONTHOUX

fig.45



arrêtés la plupart des forages. Comme le pensent plusieurs auteurs, cette formation, qui est au contact du substratum, correspond à la moraine de fond du glacier rissien.

- Sillon de la Menoge.

Le remplissage du sillon de la Menoge n'est connu par aucune coupe de forage, c'est pourquoi nous avons utilisé les données de la prospection géophysique pour essayer de déterminer les formations quaternaires présentes dans le sillon.

Les courbes des sondages électriques 3 - 2 (X = 904,3 Y = 139,4) , 2 - I (X = 903,9 Y = 139,8) et 3 - I (X = 903,9 Y = 138,95) sont reproduites dans la figure 45 .

Leur interprétation, ainsi que celle des sondages électriques 3 - 3 (X = 904,6 Y = 140) et 4 - I (X = 904,1 Y = 138,2) conduit à la coupe de la figure 46 .

On constate qu'il existe, au contact de la molasse, une couche de résistivité relativement élevée (100 à 200 ohm.m) dont l'épaisseur pourrait dépasser 30m dans l'axe du sillon.

Cette formation est isolée de la surface par plus de 10m d'argiles à blocs et de limons ; elle constitue sans doute le prolongement latéral de la formation graveleuse puissante de 15m rencontrée par le forage de ROSSES 25-2 (X = 904,78 Y = 140,83) au contact de la molasse (voir coupe de la figure 47).

- C - C O N C L U S I O N

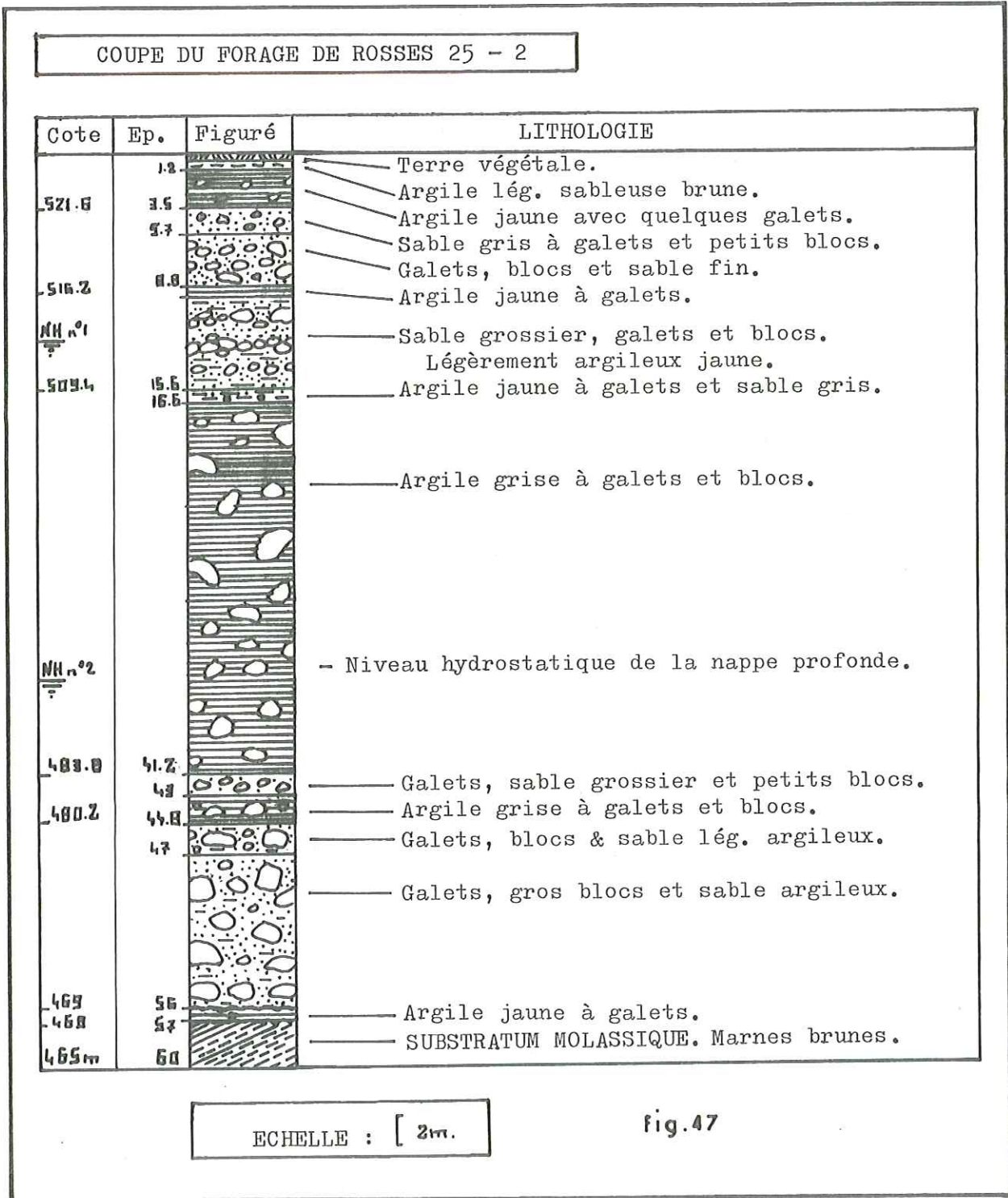
Les études morphologique et lithologique des ensembles quaternaires a mis en relief l'abondance et la diversité des formations liées au retrait glaciaire dans la basse vallée de l'Arve.

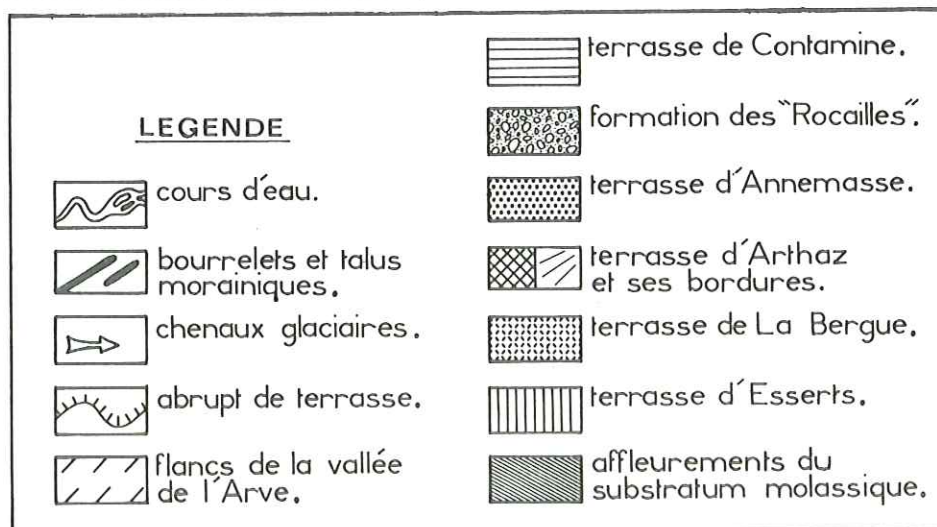
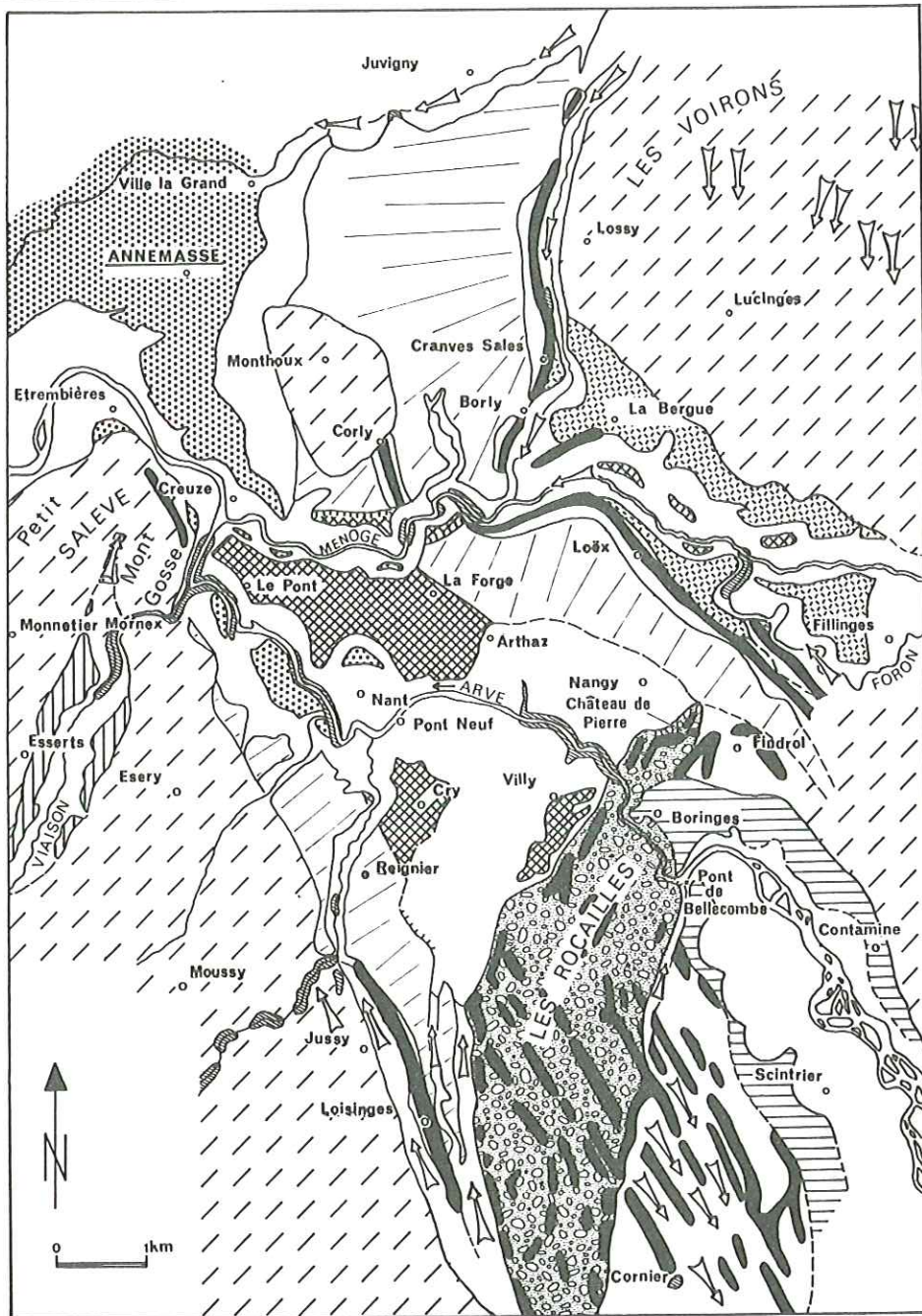
- Sur le plan MORPHOLOGIQUE, il est apparu que le dispositif dominant était la terrasse glacio-lacustre, comportant souvent un épisode final fluvioglaciaire, édifiée en arrière d'un barrage constitué soit par le glacier lui même, soit par un de ses cordons morainiques latéraux.

- Sur le plan LITHOLOGIQUE, nous avons pu remarquer la nette prédominance des faciès argileux sur les faciès sablo-graveleux.

Le mode précis de mise en place des argiles à blocs est délicat à déterminer. Dans la partie médiane de la vallée, trois types de formations argileuses coexistent : les moraines de fond sensu stricto, en placages au contact du substratum ; les "lames morainiques intraglacières" au sens de A.JAYET, for-

-mant la partie inférieure des terrasses ; les argiles glacio-lacustres, recou-
vrant la topographie morainique de retrait, surmontées par des limons et sables
à litage incliné.





CARTE RECAPITULATIVE DES PRINCIPALES FORMATIONS QUATERNAIRES

fig. 48

CHAPITRE III

ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE

C H A P I T R E I I I

E T U D E S E D I M E N T O L O G I Q U E

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

Cette étude est destinée à compléter le chapitre LITHOMORPHOLOGIE en précisant, par des données chiffrées, les caractéristiques sédimentologiques des formations quaternaires.

Nous examinerons successivement la PETROGRAPHIE , puis la MORPHOMETRIE des galets ; la GRANULOMETRIE, et enfin la CARBONATIMETRIE des différents sédiments rencontrés dans la basse vallée de l'Arve.

I I - C O M P T A G E P E T R O G R A P H I Q U E

1) BUT RECHERCHE.

Le terrain qui nous intéresse étant situé au confluent des glaciers du Rhône et de l'Arve, il m'a paru intéressant d'essayer de déterminer à quel glacier était imputable tel ou tel dépôt, afin de vérifier certains renseignements tirés de l'analyse morphologique.

2) METHODE EMPLOYEE

a - Une vingtaine de comptages ont été effectués sur les fractions graveleuses des formations quaternaires.

A chaque fois, un échantillon en vrac de 25 kg environ a été recueilli dans un sac ; puis 300 galets ont été prélevés un par un au hasard dans le sac.

Pour des raisons pratiques d'échantillonnage et d'identification, seuls les galets dont la longueur était comprise entre 20 et 120 mm ont été pris en considération. Cette gamme de tailles est justifiée car elle encadre la valeur 50 mm qui a été la plus fréquemment rencontrée lors des mesu-

-res de longueur des galets.

Si les graviers étaient cimentés en conglomérat, comme c'était le cas dans plusieurs formations fluvioglaciales, une cordelette de 5 m était tendue sur l'affleurement, et c'est la nature pétrographique des galets intersectés par la cordelette qui était notée.

Après plusieurs essais, six catégories pétrographiques ont été définies :

Symbole	Nature pétrographique
Cc	Calcaires clairs (généralement beiges)
Cf	Calcaires foncés (généralement gris sombre ou gris-bleu).
M	Molasse (grise ou brune)
G	Grès (généralement gris ou beige)
Q	Quartzites (couleur variable)
Rc	Roches cristallines (gneiss, schistes, granites etc.)
Rv	Roches vertes.
D	Divers, correspondant à la différence de pourcentage avec 100 : conglomérats, brèche du Chablais etc.

Chaque comptage demandait environ 15 mn, ce qui m'a permis d'en réaliser suffisamment pour obtenir des résultats significatifs.

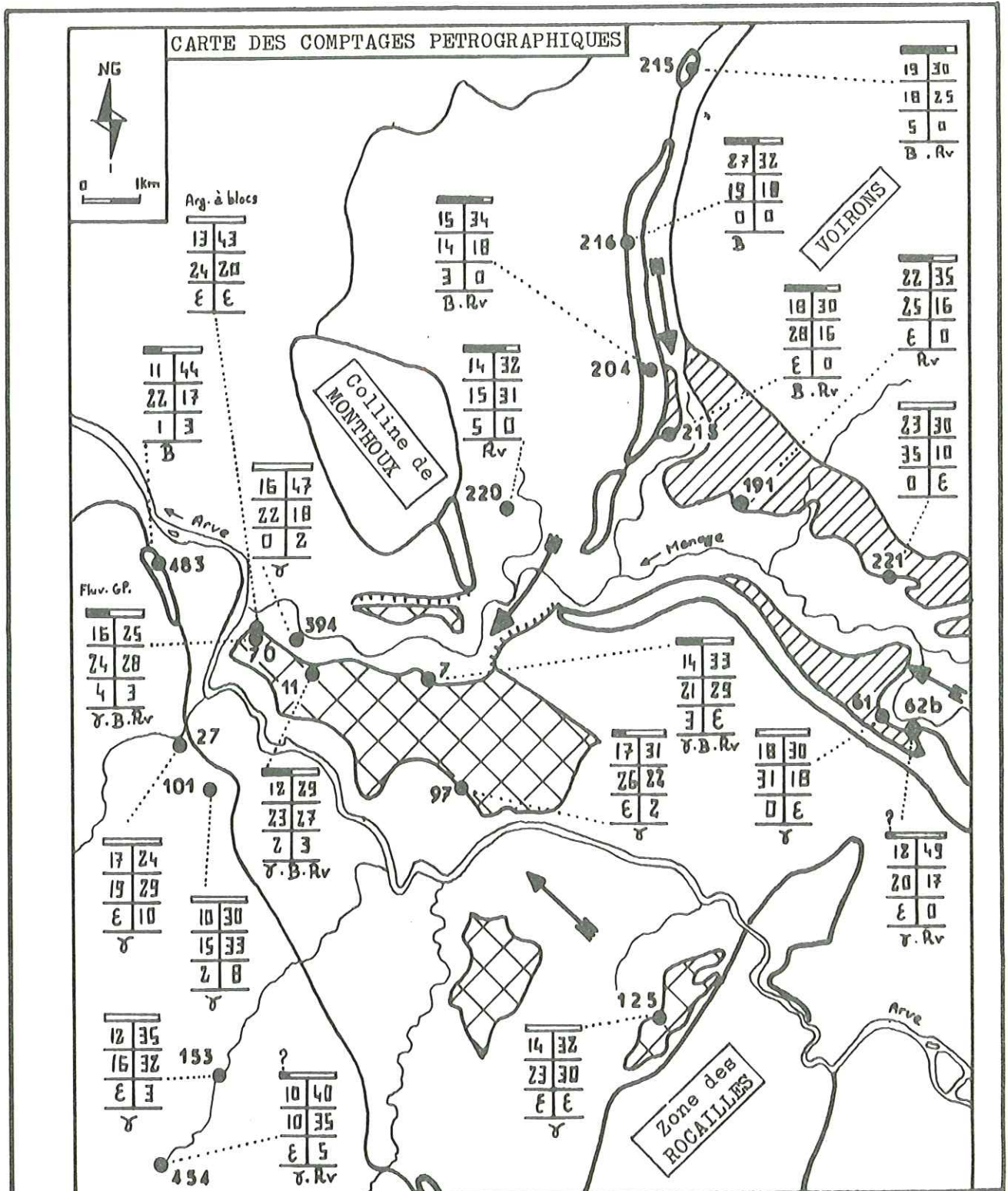
b - Pour caractériser initialement les deux domaines "arvien" et "rhodanien", je me suis basé sur les comptages de R.ACHARD ET A.JAYET (1967) qui ont donné les résultats simplifiés suivants :

Domaine rhodanien à l'amont de GENEVE Comptage sur 5000 éléments (en %)		Domaine arvien à l'amont du Salève Comptage sur 4600 éléments (en %)	
Cc	10		15
Cs	26		26
G	9		20
Rc	41		36
	(dont 3 de schistes et 8 de Rv)		(dont 13 de schistes et 1 de Rv)
Q	10		rare
Divers	4		3

On voit que la distinction entre les deux domaines a pu se fonder sur:

- Le pourcentage de grès.
- Le pourcentage de schistes (en fait, la distinction gneiss - schistes étant délicate, ce critère s'est révélé inutilisable)
- La présence nette de roches vertes.
- La présences de quartzites en quantité appréciable.

De plus, deux faciès pétrographiques spécifiques ont été



DIRECTION D'APPORT
 TERRASSE DE LA BERGUE
 TERRASSE D'ARTHAZ
 ARC MORAINIQUE
 POINT DE COMPTAGE ET N° D'AFFLEUREMENT

DETAIL DU COMPTAGE PETROGRAPHIQUE

Rhône	Arve		
Cc	Cs	Estimation de l'influence respective des bassins versants.	
G	Rc		Pourcentages. Différence de la somme des pourcentages avec 100 = DIVERS.
Q	M		

E = moins de 1%.
 γ = GRANITE DU MONT BLANC

Cc = CALCAIRES CLAIRS
 Cs = CALCAIRES FONCES
 G = GRES
 Rc = ROCHES CRISTALLINES
 Q = QUARTZITES
 M = MOLASSE
 B = BRECHE DU CHABLAIS
 Rv = ROCHES VERTES

fig. 49

systématiquement recherchés en cas d'incertitude :

- Le granite du Mont Blanc, spécifique du domaine arvien.

- Les brèches du Chablais, presque exclusivement du domaine rhodanien (rive gauche en particulier).

3) RESULTATS

a - Appartenance au domaine rhodanien des cordons morainiques de CRANVES-SALES et de CORLY.

La carte de la figure 49 reproduit les comptages effectués sur les affleurements suivants :

N°	Coordonnées		Mode d'affleurement	Facies
	X	Y		
525	905,4	142,3	Talus	Moraine latérale lavée
216	904,9	140,7	Fondations	" " "
204	905,3	139,7	Talus de route	" " "
220	904,2	138,5	Travaux de lotissement	Fluvioglaciale argileux

L'appartenance au domaine rhodanien est très nette par la présence de roches vertes et de nombreux galets de brèches du Chablais.

Cependant, on note la forte proportion de grès (influence du versant des Voirons) et la relativement faible quantité de roches cristallines.

On peut remarquer d'ailleurs que dans tous les comptages effectués, nous n'avons jamais atteint la proportion de 40% environ de roches cristallines indiquée par R. ACHARD et A. JAYET (pour des comptages, il est vrai, réalisés légèrement plus en amont).

b - Influence des apports rhodaniens dans les terrasses d'ARTHAZ et de LA BERGUE.

La carte de la figure 49 donne les résultats des comptages sur les affleurements suivants :

N°	Coordonnées		Mode d'affleurement	Facies
	X	Y		
215	905,2	139	Banc affleurant	Fluvioglaciale cimenté
191	906,1	138,6	Talus de route	Fluvioglaciale
221	907,4	137,9	"	Fluvioglaciale argileux
61	907,3	136,7	"	Fluvioglaciale cimenté
61b	907,5	136,7	"	Argiles à blocs

TERRASSE DE LA BERGUE

N°	Coordonnées		Mode d'affleurement	Facies
	X	Y		
7	903,4	I36,9	Talus	Fluvioglaciale
II	902,5	I37	Gravière	Fluvioglaciale et moraine
70	902	I37,2	"	Fluvioglaciale
394	902,3	I37,2	Glissement	Argiles à blocs
97	903,7	I36,I	Fondations	Fluvioglaciale
I25	905,5	I34,I	Gravière	"
483	90I,I	I37,8	"	Moraine lavée.
TERRASSE D'ARTHAZ				

L'hypothèse émise lors de l'étude morphologique, d'une participation de matériel rhodanien dans l'édification des terrasses de LA BERGUE et d'ARTHAZ, se trouve vérifiée :

On voit que les affleurements fluvioglaciaux situés dans la partie Ouest des terrasses de LA BERGUE et d'ARTHAZ contiennent du matériel rhodanien apporté lors des phases de retrait par les chenaux latéraux en rive droite du glacier du Rhône.

C'est avec les faciès "accessoires" (brèches du Chablais, roches vertes, quartzites, granite du Mont Blanc) que la distinction entre les deux domaines est la plus facile. En effet, dans les affleurements ayant subi un double apport, les pourcentages en faciès "majeurs" ne sont pas très caractéristiques, en particulier à cause de l'influence des grès des Voirons.

Les argiles à blocs sous-jacentes ont une composition beaucoup plus homogène, et sont apparemment entièrement originaires du bassin versant de l'Arve. Leur pourcentage en éléments cristallins est semblable à celui des formations fluvioglaciales.

c - Variations de composition des moraines étagées en rive gauche de l'Arve.

La carte de la figure 49 donne les résultats des comptages sur les affleurements suivants :

N°	Coordonnées			Mode d'affleurement	Facies
	X	Y	Z		
27	904,4	I36,3	430m	Glissement	Argile à blocs
IOI	90I,5	I35,9	5IOm	Talus	Moraine latérale
I53	90I,8	I33,5	570m	Ruisseau	" "
454	90I,3	I32,6	640m	Talus	" "

Les moraines latérales du glacier de l'Arve sont plus riches en éléments cristallins que les formations du fond de la vallée.

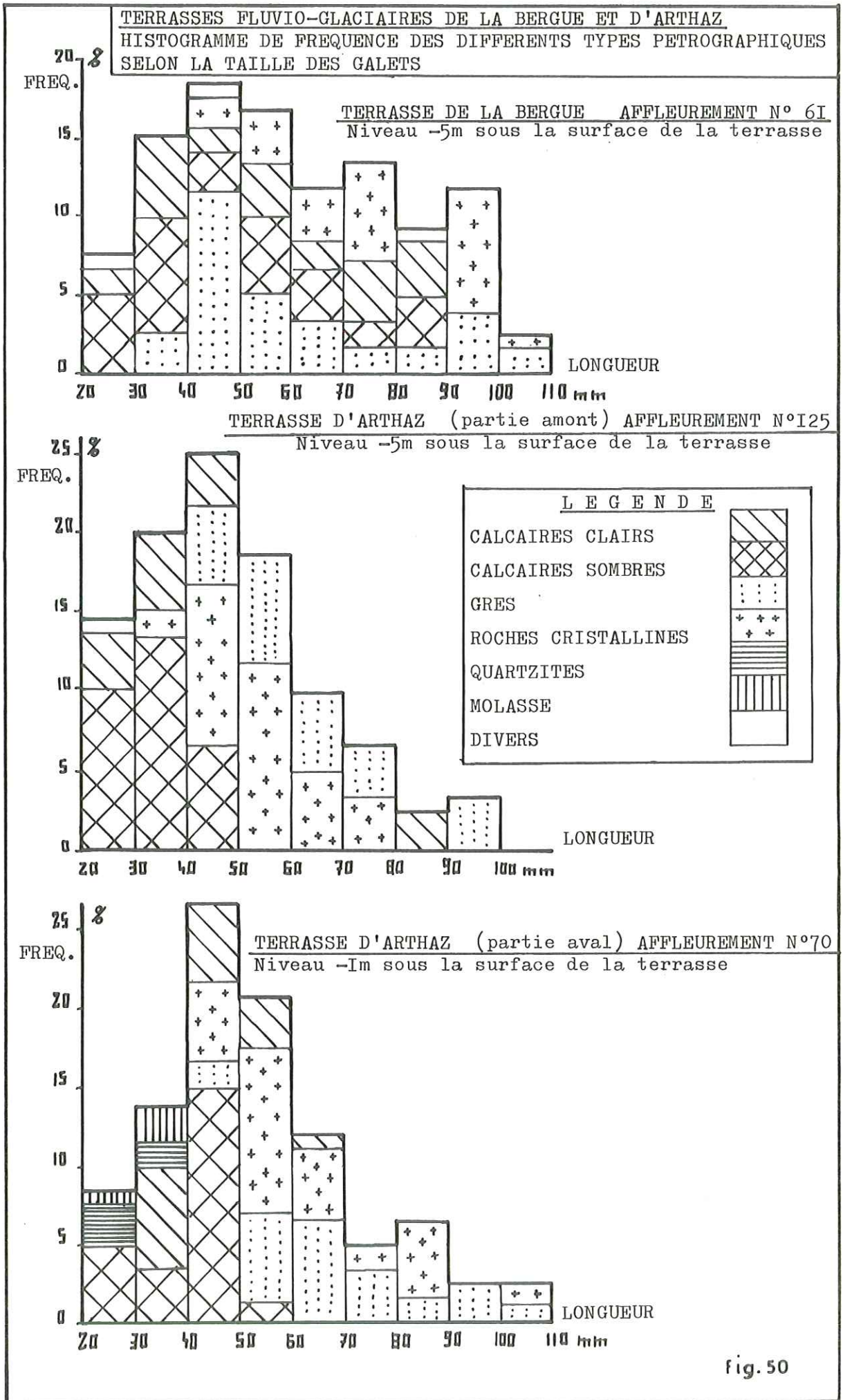


fig. 50

Sur les quatre échantillons examinés, le pourcentage de roches cristallines et de calcaires sombres augmente avec l'altitude, au détriment des grès et des calcaires clairs.

Nous verrons plus loin que ce phénomène s'accompagne d'une baisse de la teneur en Ca CO_3 de la matrice "argileuse".

d - Relation taille - nature pétrographique.

Lors des comptages pétrographiques les plus caractéristiques, la longueur des éléments a systématiquement été notée, afin de déterminer la taille dominante pour chaque type pétrographique.

Les histogrammes de la figure 50 donnent les résultats des mesures effectuées sur les affleurements N° 61 (terrasse de LA BERGUE), N° 125 et N° 70 (terrasse d'ARTHAZ), dont les coordonnées ont déjà été indiquées précédemment.

- Longueur.

Dans la gamme des longueurs considérées, 20 à 120 mm, c'est la classe 40-50mm qui domine dans les trois affleurements. Le phénomène est toutefois moins net dans la terrasse de LA BERGUE, où les éléments sont moins bien classés.

- Longueur - Nature pétrographique.

Dans la terrasse d'ARTHAZ, les galets inférieurs à 50 mm sont le plus souvent calcaires (sombre ou clair). Les éléments gréseux ou cristallins ont généralement une taille supérieure.

Dans la terrasse de LA BERGUE, la relation longueur - nature pétrographique n'est pas nette. On remarque simplement une dominante de calcaires dans les galets inférieurs à 40 mm.

I I I - M O R P H O M E T R I E D E S G A L E T S

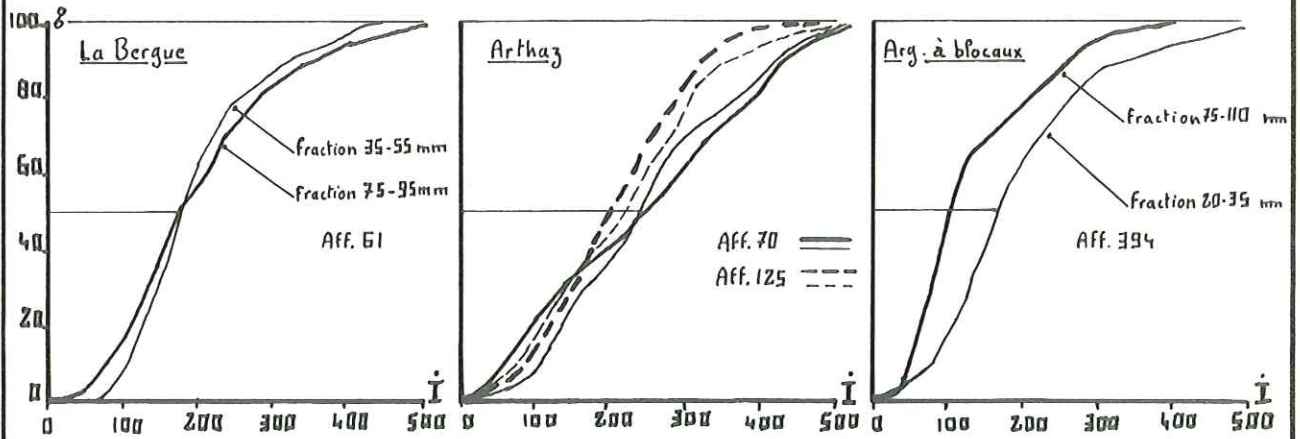
1) BUT RECHERCHE

Nous avons voulu, par cette étude, confirmer les déterminations opérées sur le terrain, et préciser par des données chiffrées, les caractéristiques morphométriques et l'agent de dépôt des différents faciès rencontrés.

L'étude a été faite sur les galets des terrasses de LA BERGUE (affl. 61), ARTHAZ (affl. 125) et (affl. 70) ; et les galets des argiles à blocs de l'affleurement 394.

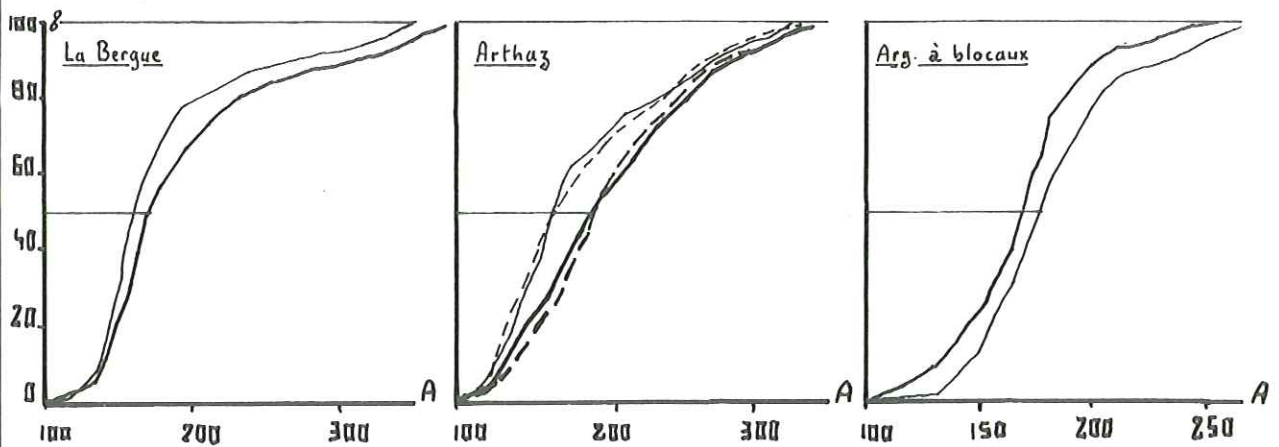
INDICE D'EMOUSSE

COURBES DES FREQUENCES CUMULEES



INDICE D'APLATISSEMENT

COURBES DES FREQUENCES CUMULEES



REPORT DES MEDIANES SUR LE DIAGRAMME DE TRICART

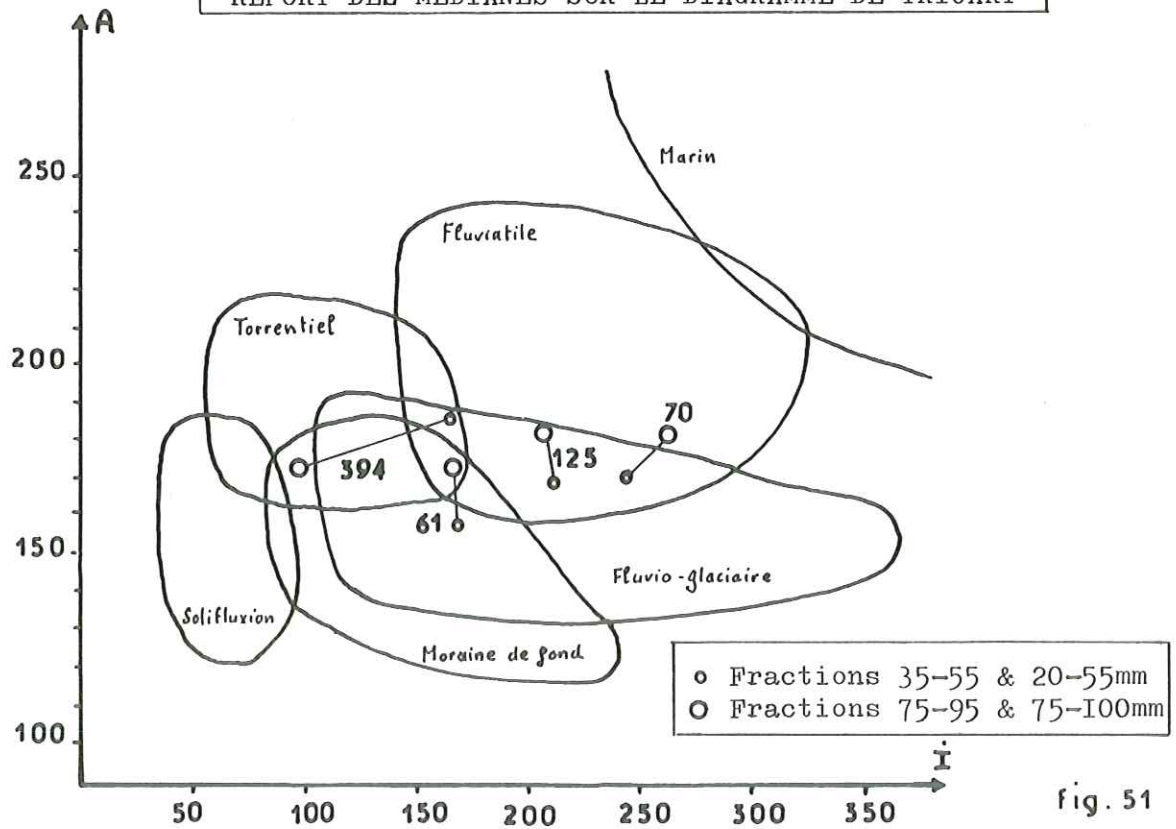


fig. 51

2) METHODE EMPLOYEE.

Les lots d'échantillonnage ont comporté 100 galets, appartenant aux classes de taille suivantes :

- . Terrasses fluvioglaciales : 35 - 55 mm et 75 - 95 mm
- . Argiles à blocs : 20 - 55 et 75 - 110 mm

Les INDICES D'EMOUSSE I et d' APLATISSEMENT A ont été calculés grâce aux abaques de BERTHOIS.

$$\text{INDICE D'EMOUSSE : } I = (2r/L) \cdot 1000$$

r = rayon de la plus petite courbure.

L = longueur du galet.

$$\text{INDICE D'APLATISSEMENT : } A = (L+I/2 E) \cdot 100$$

E = épaisseur du galet, perpendiculairement à sa plus grande largeur.

3) RESULTATS

Affleurement	Médiane de l'indice d'éroussé		Médiane de l'indice d'aplatissement	
	Fraction 35-55mm	Fr. 75-95mm	Fraction 35-55mm	Fr. 75-95mm
LA BERGUE 61	175	175	155	170
ARTHAZ 125	230	205	180	160
ARTHAZ 70	250	265	180	160
AFFL. 394	Fr. 20-35mm 160	Fr. 75-110mm 95	185	175

Les graphiques de la figure 5I traduisent les résultats de l'étude sous forme de courbes de fréquence cumulée des deux indices I et A .

On constate qu'il y a une certaine différence entre les courbes des deux fractions granulométriques.

a - Indice d'éroussé

Dans les matériaux fluvioglaciales, la fraction la plus grossière, 75-95mm, a un indice I en général supérieur à celui de la fraction 35-55mm, ce qui montre que l'usure des gros éléments est plus rapide.

Par contre, dans les argiles à blocs de l'affleurement N° 394 , les gros éléments, 75-110mm, ont un indice I très inférieur à celui des galets de la fraction 20-35mm. Cela confirme une observation de terrain : à l'affleurement, les gros éléments sont les plus anguleux.

b - Indice d'aplatissement.

Dans les formations fluvioglaciales, les gros éléments

ont un indice A supérieur à celui de la fraction 35-55mm.

Dans les argiles à blocs, on note le phénomène inverse : les petits galets (20-55mm) ont un indice A supérieur.

c - Report des médianes sur le diagramme de TRICART.

(voir figure 5I)

- Formations fluvioglaciaires.

Il y a confirmation du caractère fluvioglaciaire des matériaux étudiés.

La fraction grossière de l'affleurement 70 se place dans le domaine fluviatile, ce qui peut s'expliquer car cet affleurement est le plus en aval des sites étudiés. Par contre, les matériaux de la terrasse de LA BERGUE (affl. 6I) sont plus proches du caractère torrentiel ou morainique remanié.

- Argiles à blocs.

La fraction la plus grossière se place dans le domaine commun aux moraines de fond et aux galets torrentiels.

La fraction plus fine est nettement séparée, elle se place dans le domaine torrentiel - fluviatile - fluvioglaciaire.

I V - A N A L Y S E G R A N U L O M E T R I Q U E

1) BUT RECHERCHE

Par ces analyses nous avons voulu préciser le classement granulométrique et confirmer l'agent de dépôt des différents types de formations quaternaires rencontrées.

2) METHODE EMPLOYEE.

Cinq analyses granulométriques ont été faites sur le terrain, par la méthode linéaire, qui consiste à mesurer les longueurs d'éléments et de matrice interceptées par une cordelette tendue sur l'affleurement.

La fraction granulométrique étudiée s'est étendue de 10 à 200 mm.

L'analyse n'est donc pas complète, néanmoins, elle représente bien le sédiment car, sauf dans le cas des argiles à blocs, elle prend en compte plus de 80% des éléments.

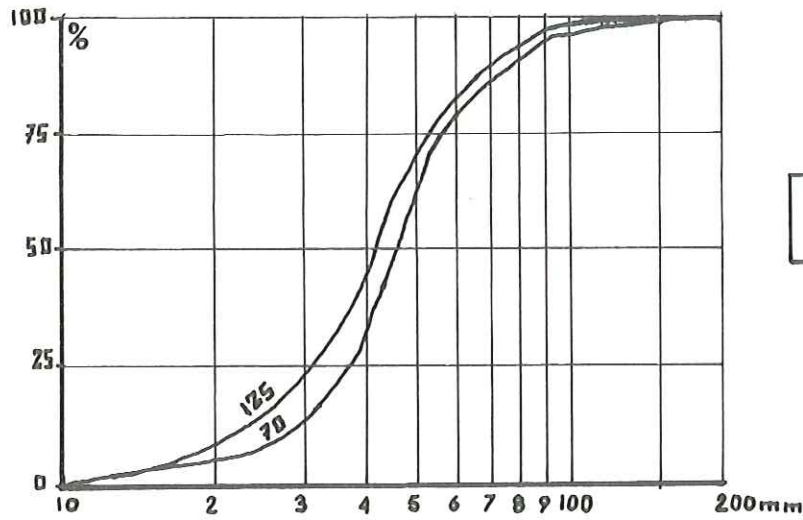
Nous avons utilisé les indices suivants :

SORTING INDEX DE TRASK
ou coefficient de mauvais triage.

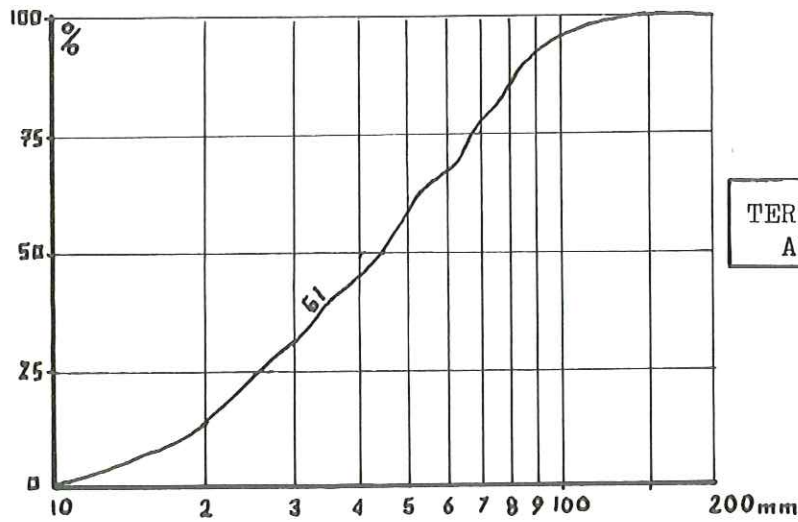
$$So = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

ANALYSE GRANULOMETRIQUE
FRACTION DE 10 à 200mm

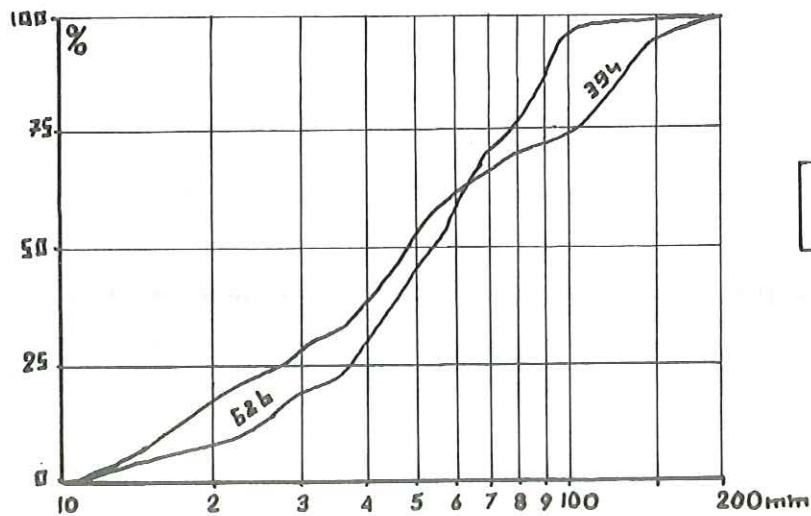
COURBES DE FREQUENCE CUMULEE



TERRASSE D'ARTHAZ
AFFL. 125 & 70



TERRASSE DE LA BERGUE
AFFLEUREMENT 61



ARGILES A BLOCAUX
AFFL. 394 & 62b

fig. 52

SKEWNESS
ou indice d'assymétrie

$$S = \frac{Q_1 \cdot Q_3}{(Q_2)^2}$$

INDICE D'HETEROMETRIE DE CAILLEUX

He

Mesuré sur un intervalle de 25%
de la courbe des fréquences cumulées.
On a $0 < He < I$

3) RESULTATS.

a - TABLEAU DES RESULTATS :

Affl.	Nat. Pétrographique	% inf. à 10mm	Quartile Q _I 25%	Médiane Q ₂ 50%	quartile Q ₃ 75%	So	S	He
I25	Fluvioglaciale	20	31	42	53	I,3	0,93	0,3
70	"	17	37	46	55	I,2	0,96	0,25
6I	"	12	25	45	65	I,6	0,80	0,7
394	Argile à blocaux	46	27	47	110	-	I,34	0,55
62b	"	41	37	55	78	-	I,25	0,6

REMARQUE : Pour les argiles à blocaux, le sorting index n'est pas représentatif car la fraction granulométrique analysée ne comprend pas les fines.

b - Courbes de fréquence cumulée.

La figure 52 donne les courbes des cinq analyses granulométriques.

c - Caractérisation des sédiments.

- Terrasse d'ARTHAZ.

La valeur du So indique un sédiment bien classé.

L'indice S proche de I montre que la granulométrie est centrée sur la valeur de la médiane (42 à 46mm).

La valeur faible de He indique une courbe très redressée, donc un sédiment bien classé, particulièrement dans l'affleurement N° 70.

Tous ces caractères confirment la nature fluvioglaciale du dépôt.

- Terrasse de LA BERGUE.

La valeur du So correspond à un sédiment assez bien classé.

L'indice S inférieur à I indique un classement maximum du côté des éléments grossiers (dépôt en milieu agité).

La forte valeur de He traduit la faible

penne de la courbe granulométrique, ce qui correspond à un mauvais classement.

Ces caractères montrent la nature fluvio-glaciaire à tendance torrentielle du dépôt.

- Argiles à blocaux.

Pour la fraction granulométrique considérée, (10 à 200mm), la courbe des fréquences cumulées est irrégulière, montrant une grande hétérogénéité.

L'indice S nettement supérieur à I indique un classement maximum du côté des éléments fins.

La forte valeur de He traduit le mauvais classement global du sédiment.

L'hétérométrie et le classement centré sur les éléments fins confirment l'origine morainique des composants du dépôt.

V - E T U D E C A L C I M E T R I Q U E

1) BUT RECHERCHE.

L'étude calcimétrique nous a paru une méthode bien adaptée pour opérer des distinctions entre les nombreuses formations à dominante argileuse telles que : Les argiles glacio-lacustres, les argiles à blocaux, et les moraines latérales.

Par ailleurs, quelques mesures ont été faites sur les fractions sableuses et limoneuses des terrasses fluvioglaciaires.

2) METHODE EMPLOYEE.

Vingt-deux calcimétries ont été faites à l'aide d'un mano-calcimètre GEOSERVICES utilisant 6cc d'acide chlorhydrique 6 N et une prise d'échantillon de 1g.

Une dizaine de calcimétries ont en outre été réalisées avec un volum-calcimètre BERNARD, lorsque l'absence de dolomite était certaine.

3) RESULTATS.

a - Argiles à blocaux et argiles glacio-lacustres du fond de la vallée.

Les résultats des analyses carbonatimétriques sont consignés dans le tableau suivant :

AFFLEUREMENT		FRACTION "ARGILEUSE"			FRACTION "SABLEUSE"		
N°	X Y Z	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂	Insol.	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂	Insol.
394	902,3 I37,2 435m	33	7	60	40	3	57
62b	907,5 I36,7 500m	35	4	61	45	2	53
2	903,6 I37,3 460m	35	0	65	42	2	56
99	903,9 I35,7 435m	31	3	66	39	4	57
8	903,7 I37,0 440m	39	0	61	42	0	58
37	905,8 I38,1 480m	37	3	60	40	2	58

- Fraction argileuse.

Elle a été extraite par lavage, puis sêchage du sédiment.

On constate que la teneur en carbonate de calcium des argiles à blocaux est très homogène : 35 à 38%.

Il existe souvent une proportion de dolomite pouvant atteindre 7%.

L'argile à blocaux contient donc, outre une proportion d'argiles véritables (illite en particulier) une part importante de roches broyées, calcaires ou non, formant une véritable "farine de roche".

- Fraction sableuse.

Elle a été recueillie après lavage du sédiment.

La fraction insoluble est essentiellement constituée de grains siliceux. Les teneurs en carbonate de calcium sont très homogènes : 40 à 45%.

On note aussi la présence de dolomite en faible proportion : 2 à 4%.

REMARQUE : L'existence de cette fraction dolomitique est intéressante, car il n'y a que les argiles à blocs du fond de la vallée qui en contiennent.

Cela fournit sans doute l'explication des fortes teneurs en magnésium et des échanges d'ions observés dans les nappes captives au contact de ces argiles.

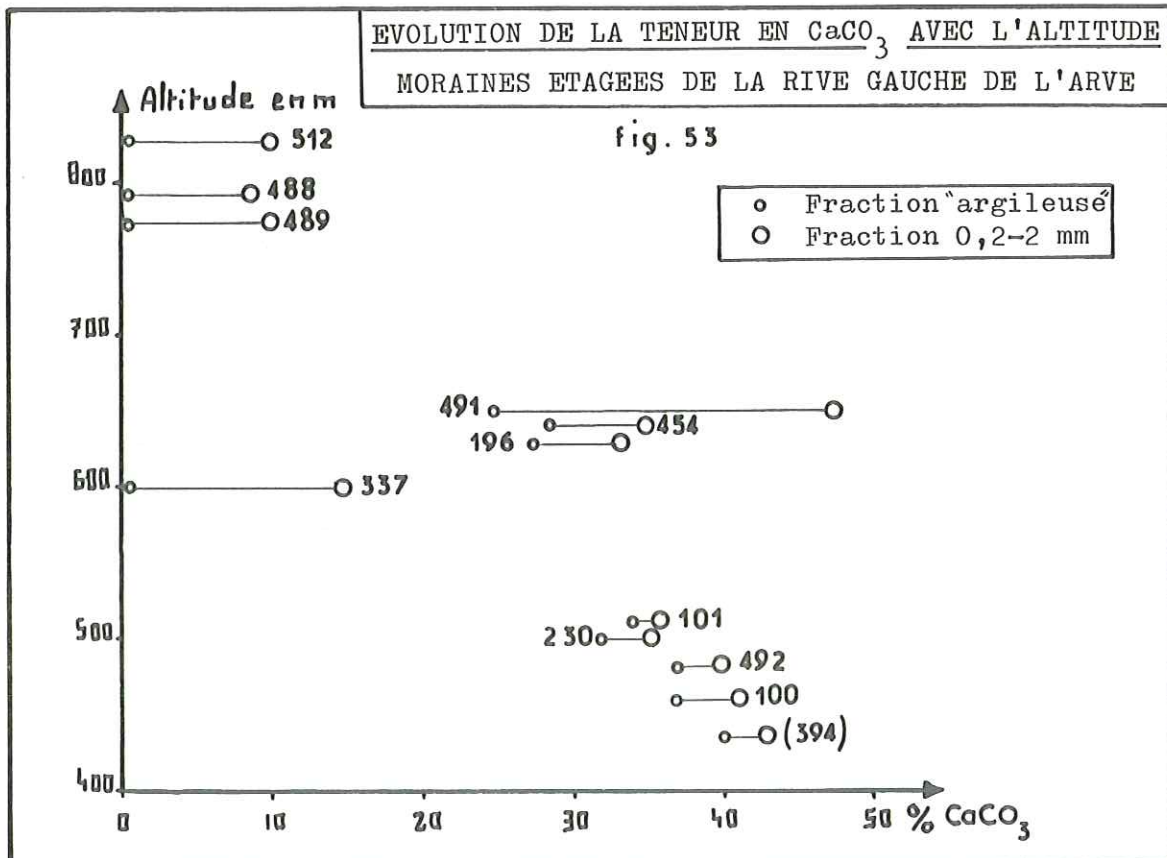
b - Moraines latérales étagées.

Une dizaine de prélèvements ont été faits à altitude croissante en rive gauche de l'Arve :

N° AFFL.	COORDONNEES LAMBERT			FRACTION SABLEUSE	FRACTION ARGILEUSE
	X	Y	Z		
100	901,6	136,4	460m	41	37
492	902,3	138,9	480m	40	37
230	900,5	136,4	500m	35	32
101	901,5	135,9	510m	36	34
337	900,1	133,9	600m	15	0
196	902,3	131,5	630m	33	27
454	901,3	132,6	640m	34	27
491	903,6	130,2	650m	47	25
489	901,4	129,2	780m	10	0
488	901,2	128,7	790m	8	0
512	900,0	128,7	830m	10	0

Les teneurs en $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ sont toutes nulles.

La figure ci-dessous montre l'évolution de la teneur en CaCO_3 avec l'altitude.



On constate tout d'abord que les fractions grossières sont toujours plus riches en carbonates que les fractions "argileuses".

D'autre part, il apparaît une certaine diminution, avec l'altitude, de la teneur des moraines en carbonates. Dans les trois échantillons proches de 800m, la fraction "argileuse" a une teneur nulle en CaCO_3 , et la fraction "sableuse" ne contient qu'environ 10% de carbonates.

Deux causes peuvent être envisagées :

- Les moraines les plus hautes sont exposées depuis plus longtemps au lessivage et à l'altération, ce qui peut avoir entraîné une décalcification. En effet, les moraines élevées contiennent des blocs de roches cristallines totalement arénisés, ce qui montre l'intensité de l'altération.

- Les moraines supérieures auraient une composition différente due au fait que lorsqu'elles se sont déposées, une plus grande part des massifs calcaires étaient recouverts par les glaces. En effet, ces moraines ont une forte proportion d'éléments cristallins.

Un échantillonnage plus serré, accompagné de comptages pétrographiques permettrait sans doute de faire la part des deux phénomènes et de déterminer s'il existe un changement brutal entre les moraines inférieures et supérieures qui les ferait rattacher à deux épisodes différents de mise en place.

REMARQUE : Nous n'avons pas pu prélever d'échantillons entre 500 et 600m d'altitude, ni de 650 à 750m par manque d'affleurements propices.

En effet, pour nous affranchir au maximum des phénomènes d'altération superficielle, tous les échantillons n'ont été prélevés qu'à au moins 50 cm de profondeur, à la faveur d'occasions telles que : rectifications de talus pour l'élargissement des routes, pose de canalisations en tranchée etc.

c - Terrasses fluvioglaciales.

Cinq prélèvements ont été effectués sur les fractions sableuses et limoneuses des terrasses fluvioglaciales :

TABLEAU DES RESULTATS

	AFFL.	X	Y	% CaCO_3	% $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
TERRASSE DE LA BERGUE	6I	907,3	136,7	59	0
(fraction sableuse uniqu.)	2I5	905,2	139	55	0

	AFFL.	X	Y	% CaCO ₃	% CaMg(CO ₃) ₂
TERRASSE D'ARTHAZ (fraction sableuse)	I25	905,5	I34,I	5I	0
	70	902	I37,2	54	0
TERRASSE D'ARTHAZ (fraction limoneuse)	I25			47	0
	70			46	0
TERR. DE CONTAMINE (fraction sableuse)	I8I	907,0	I32,8	4I	0
	I8I			37	0

- Terrasses d'ARTHAZ et de LA BERGUE.

Les valeurs de calcimétrie sont homogènes; de 50 à 60% pour la fraction sableuse, et 46 à 47% pour la fraction limoneuse.

On peut rapprocher ces valeurs de celles trouvées dans les terrasses de THONON par B.BLAVOUX et M.DRAY : 36 à 58%, avec une moyenne centrée sur 5I%.

- Terrasse de CONTAMINE.

Les valeurs sont plus faibles, proches de 40%.

Cette différence de IO% est peut être à rattacher au fait que la terrasse de CONTAMINE est beaucoup plus récente que les deux autres, et de ce fait correspond à une alimentation différente en matériaux détritiques.

A titre de comparaison, les limons récents de l'Arve ont une teneur en CaCO₃ d'environ 30%.

VI - CONCLUSION DE

L'ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE

L'étude sédimentologique a complété les résultats de l'étude lithomorphologique en apportant les renseignements suivants :

1) LES COMPTAGES PETROGRAPHIQUES.

Ils ont permis de prouver l'existence d'apports rhodaniens dans les terrasses de LA BERGUE et d'ARTHAZ.

D'autre part, dans les moraines étagées, ils ont décelé une augmentation de la proportion en éléments cristallins avec l'altitude.

2) LES ETUDES GRANULOMETRIQUES ET MORPHOMETRIQUES.

Elles ont confirmé et précisé par des données chiffrées le caractère fluvioglaciaire des terrasses de LA BERGUE et d'ARTHAZ, ainsi que l'origine

morainique des galets rencontrés dans les argiles à blocaux.

3) LA CARBONATIMETRIE.

Elle a montré qu'il existait une certaine proportion de dolomite dans les argiles à blocaux du fond de la vallée de l'Arve.

Par ailleurs, cette méthode a mis en évidence une diminution de la teneur en CaCO_3 dans les moraines élevées ; avec même une teneur nulle pour la fraction "argileuse" à 800m d'altitude.

Dans les terrasses fluvioglaciaires, la proportion de CaCO_3 est d'environ 50 à 60%, elle est inférieure dans la terrasse de CONTAMINE, ce qui pourrait refléter un changement dans la nature des apports détritiques.

CHAPITRE IV

ETUDE DES

STADES DE RETRAIT GLACIAIRE

CHAPITRE IV

ETUDE DES STADES DE RETRAIT GLACIAIRE

- A - INTRODUCTION

L'étude des formations quaternaires, complétée par les études sédimentologiques et géophysiques, nous a permis d'identifier les principales unités lithomorphologiques présentes dans la basse vallée de l'Arve, et de déterminer la forme du substratum qu'elles recouvraient.

Ce chapitre sera consacré à l'établissement de la chronologie relative de mise en place des différentes formations.

Un corrélation avec les unités observées dans la dépression lémanique sera proposée, chaque fois que la continuité des éléments morphologiques le permettra.

Une subdivision en "stades" sera adoptée ; nous entendrons par "stade" non pas un retrait prolongé du glacier accompagné d'un changement climatique important, mais un stationnement suffisamment long pour permettre la mise en place d'unités morphologiques aisément repérables telles que : terrasses, cordons morainiques, chenaux de circulation des eaux de fonte.

Chaque nouveau stade est séparé du précédent par une phase d'érosion correspondant à une fonte plus rapide du glacier. Cette phase entraîne en particulier l'abandon du cordon morainique, avec formation d'un talus d'érosion, et l'encaissement des chenaux de circulation des eaux de fonte dans les terrasses fluvioglaciaires.

- B - LES PREMIERS STADES DE RETRAIT

OBSERVABLES

I - GRAND SALEVE

Lors du maximum glaciaire würmien, le Salève, qui culmine à 1375m au Grand Piton, a été entièrement recouvert par les glaciers.

En effet, on retrouve de nombreux blocs erratiques disséminés sur tout le flanc Est du chaînon, même dans les parties les plus élevées.

CORRELATION ENTRE LES REPLATS DE LA RIVE DROITE ET DE LA RIVE GAUCHE
DE LA VALLEE DE L'ARVE

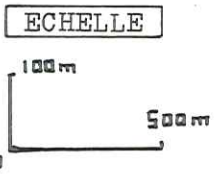
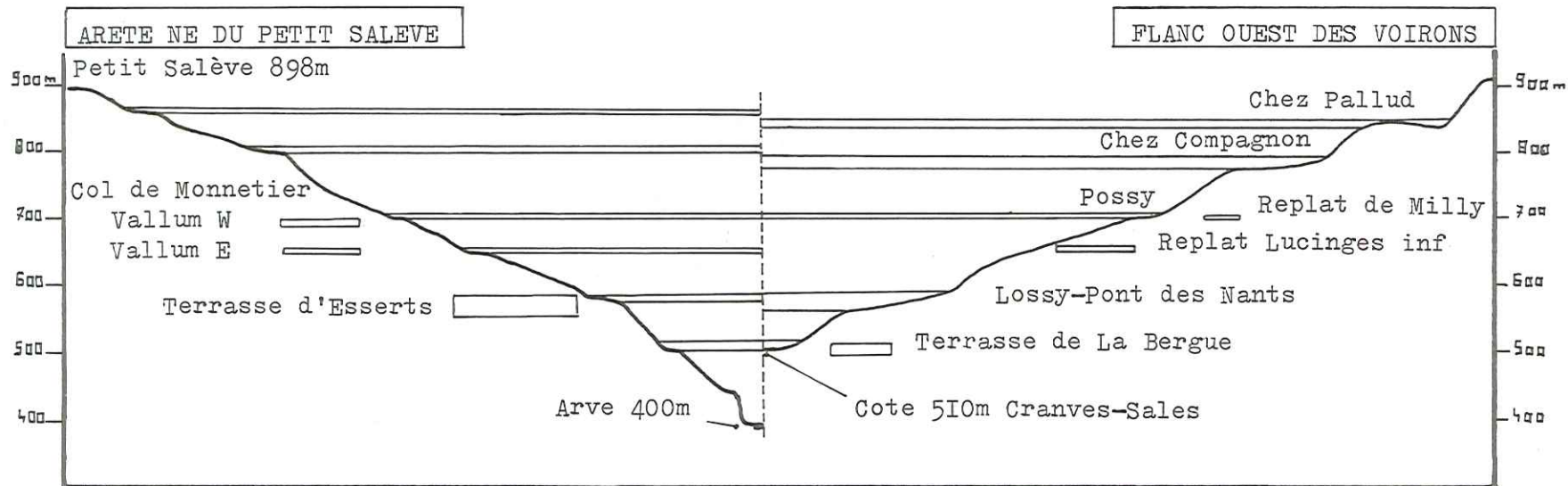
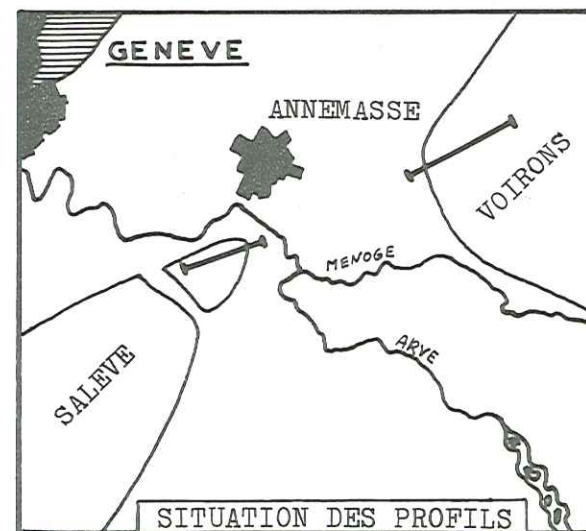


fig. 54



Les falaises du flanc Nord-Ouest, par contre, n'ont retenu aucun dépôt.

Les comptages pétrographiques effectués par R.A. ACHARD et A. JAYET montrent qu'il s'agit essentiellement de matériel morainique issu du bassin versant du glacier de l'Arve ; ce qui tend à prouver que, même lors des maxima glaciaires, le chaînon du Salève a constitué une frontière séparant le domaine d'influence du glacier du Rhône de celui du glacier de l'Arve.

II - VOIRONS ET PETIT SALEVE

1) PENTES DES VOIRONS.

Sur les pentes Ouest les plus élevées des Voirons, on note la présence de replats étagés, et parfois même de contre-pentes délimitant plusieurs niveaux de chenaux glaciaires marginaux à 1100m, 1060m, 1020m, 1000m, et 950m d'altitude.

Certains de ces dispositifs sont établis au niveau de discontinuités tectoniques ou stratigraphiques correspondant à des zones plus facilement érodables.

2) PENTES DES VOIRONS ET DU SALEVE AU DESSOUS DE 900m.

Sur les pentes au dessous de 900m un essai de corrélation a été réalisé en reportant face à face les profils de l'arête Nord-Est du Petit Salève, et du flanc Ouest des Voirons, au débouché de la vallée de l'Arve dans la dépression lémanique. (voir figure 54)

On ne peut manquer de noter les correspondances d'altitude entre les replats et les terrasses des deux profils.

Les calcaires massifs du petit Salève ont conservé des entailles nettes, mais d'extension réduite. Elles sont bordées par des amoncèlements impressionnants de blocs erratiques, d'une taille atteignant 12m. L'abondance exceptionnelle de ces blocs erratiques est liée, d'une part à la situation de cette arête faisant saillie au confluent de deux glaciers importants, d'autre part au substratum calcaire affleurant interdisant l'enfoncement des blocs erratiques sous leur propre poids dans les argiles morainiques.

Les formations plus tendres du flanc Ouest des Voirons présentent des replats de contours flous mais de dimensions importantes, encadrés par des talus d'érosion empâtés d'argiles morainiques plus ou moins glissées.

Le petit nombre de blocs erratiques en surface pourrait être dû à

leur enfoncement , sous leur propre poids, dans les argiles sous-jacentes. Cela aboutit fréquemment au "pavage" de blocs erratiques au contact du substratum ob-servé par plusieurs auteurs.(R.A. ACHARD en particulier).

I I I - C O L D E M O N N E T I E R

Parmi les premiers stades de retrait visibles, le col de MONNETIER-MORNEX , 690m, occupe une place particulière : il s'agit d'une entaille de plus de 200m de profondeur et d'un kilomètre de large, recoupant le chaînon du Salève dans sa partie septentrionale.

L'origine de ce col est toujours discutée, certains y voyant même un ancien lieu de passage de l'Arve.

Il nous semble plus logique d'en faire une zone de faiblesse tectonique considérablement élargie par l'érosion glaciaire.

En effet, la morphologie de ce col, ses profils longitudinaux et trans-versaux prouvent qu'il a livré passage à une transfluence de sens Est - Ouest à partir du glacier de l'Arve.

En outre, les altitudes des cordons morainiques de ses extrêmités Est et Ouest coïncident avec celles de stades de retrait visibles sur l'arête NE du Petit Salève et sur le flanc Ouest des Voirons.

- C - L E S S T A D E S I N F E R I E U R S D U R E T R A I T G L A C I A I R E

I - E N R E G I S T R E M E N T P A R L E S V A R I A T I O N S D U N I V E A U D E B A S E D E S T O R R E N T S

Les flancs de la vallée de l'Arve, découverts par le retrait des gla-ciers, ont été entaillés par des torrents qui sont actuellement encaissés dans de profondes gorges de raccordement.

On peut s'attendre à retrouver, dans le profil en long de ces cours d'eau, les abaissements successifs du niveau de base lié aux différents stades de retrait glaciaire.

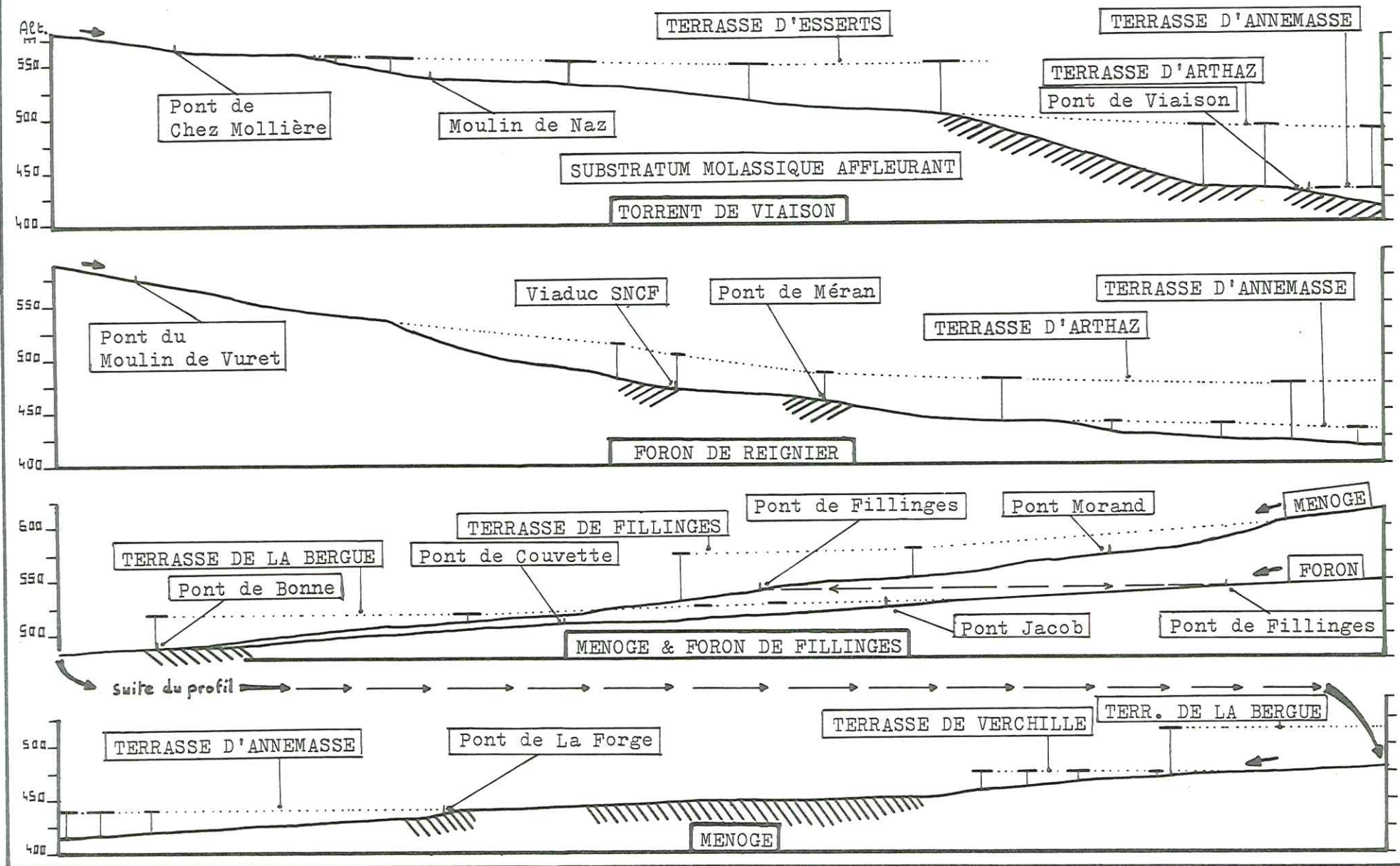
Les profils en long de quatre torrents ont été examinés :

Viaison
Foron de Reignier
Menoge
Foron de Fillinges. (voir figure 55).

Fig. 55

PROFIL EN LONG DES PRINCIPAUX COURS D'EAU
RACCORDEMENT AVEC LE PROFIL DES DIFFERENTES TERRASSES

ECHELLE : 0 500m



Les irrégularités que l'on peut constater montrent que ces cours d'eau n'ont pas atteint leur profil d'équilibre.

En projetant le profil transversal des terrasses étagées sur celui des torrents, on s'aperçoit qu'il existe une correspondance entre certaines parties des profils et les différents niveaux de base matérialisés par les terrasses successives.

Chaque "tronçon témoin" du profil se raccorde à une terrasse donc à un stade de retrait particulier.

II - ANALYSE MORPHOLOGIQUE DES STADES DE
RETRAIT GLACIAIRE

Pour plus de clarté, la nomenclature des différents stades sera uniquement basée sur les éléments morphologiques observés dans la vallée de l'Arve.

I) STADE D'ESSERTS - SALEVE.

a - Vallée de l'Arve.

- Rive gauche : édification de la terrasse d'ESSERTS-SALEVE. (voir figure 56)

L'édification de cette terrasse correspond à une stagnation du glacier de l'Arve au débouché de la vallée du Viaisson.

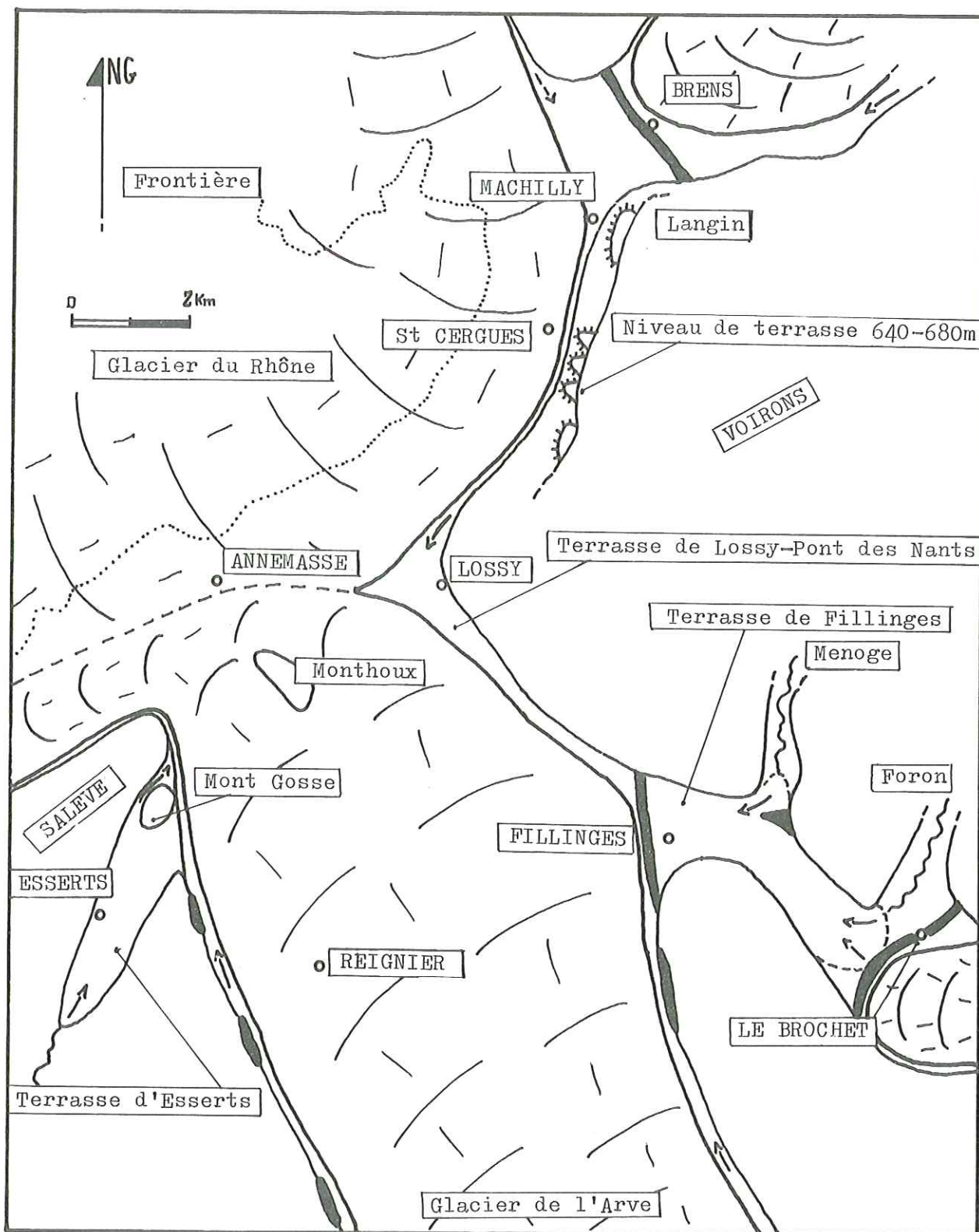
Le barrage ainsi formé à une altitude d'environ 550m a amené l'accumulation de matériaux à dominante argileuse issus de l'érosion des moraines laissées sur les flancs de la vallée.

Le trop-plein de ce dispositif glacio-lacustre se déversait par le col, à morphologie de chenal glaciaire, qui sépare le Mont Gosse du Petit Salève.

L'abaissement ultérieur du glacier, et donc du niveau de base, a amené l'encaissement progressif du Viaisson dans les argiles glaciaires de la terrasse tout d'abord, puis dans le substratum molassique, jusqu'à sa cote actuelle. Le cours récent du Viaisson est probablement épigénique dans sa partie inférieure. L'ancien cours pourrait se situer à l'Est, recoupant le coude que fait le Viaisson en direction de MORNEX ; mais les conditions d'affleurement font que l'ancien tracé est délicat à déterminer avec certitude.

- Rive droite, Terrasse de LOSSY-PONT DES NANTS.

La terrasse de LOSSY - PONT DES NANTS (550m-600m), maintenant fortement érodée, s'est édifiée à proximité de la confluence



EDIFICATION DES TERRASSES D'ESSERTS, FILLINGES, LOSSY, LANGIN

fig. 56

avec le glacier du Rhône. Elle était alimentée en matériaux détritiques par les chenaux latéraux des deux glaciers.

En amont, étant donné son bassin d'alimentation réduit, le glacier débouchant de la vallée de la Menoge et du Foron de Fillinges s'était retiré.

Ce glacier, issu d'une transfluence venant de St JEOIRE en FAUCIGNY, stagnait au niveau de BROCHET (X = 914 Y = 135) où on note un vallum fronto-latéral très net à 605m d'altitude.

C'est alors que s'est édifiée la terrasse glacio-lacustre de FILLINGES, alimentée principalement par la Menoge, comme le montre le profil en long de ce torrent.

b - Vallée du Rhône.

A ce stade, il n'existe pas de continuité entre les dépôts qui permettrait de corréler les épisodes de retrait observés au Nord des Voirons avec ceux de la basse vallée de l'Arve. Cela est dû à la raideur des pentes des Voirons et à l'action d'érosion des chenaux latéraux du glacier du Rhône.

Par similitude d'altitude, on peut cependant considérer que les terrasses d'ESSERTS et de FILLINGES ont équivalent en amont la Terrasse de PERRIGNIER - BONS - LANGIN (570 - 580m).

Le léger bombement observable entre BONS et LANGIN correspond à une ancienne moraine qui séparait le glacier du Rhône proprement dit de sa langue glaciaire contournant le Mont de Boisy.

2) STADE DE LA BERGUE.

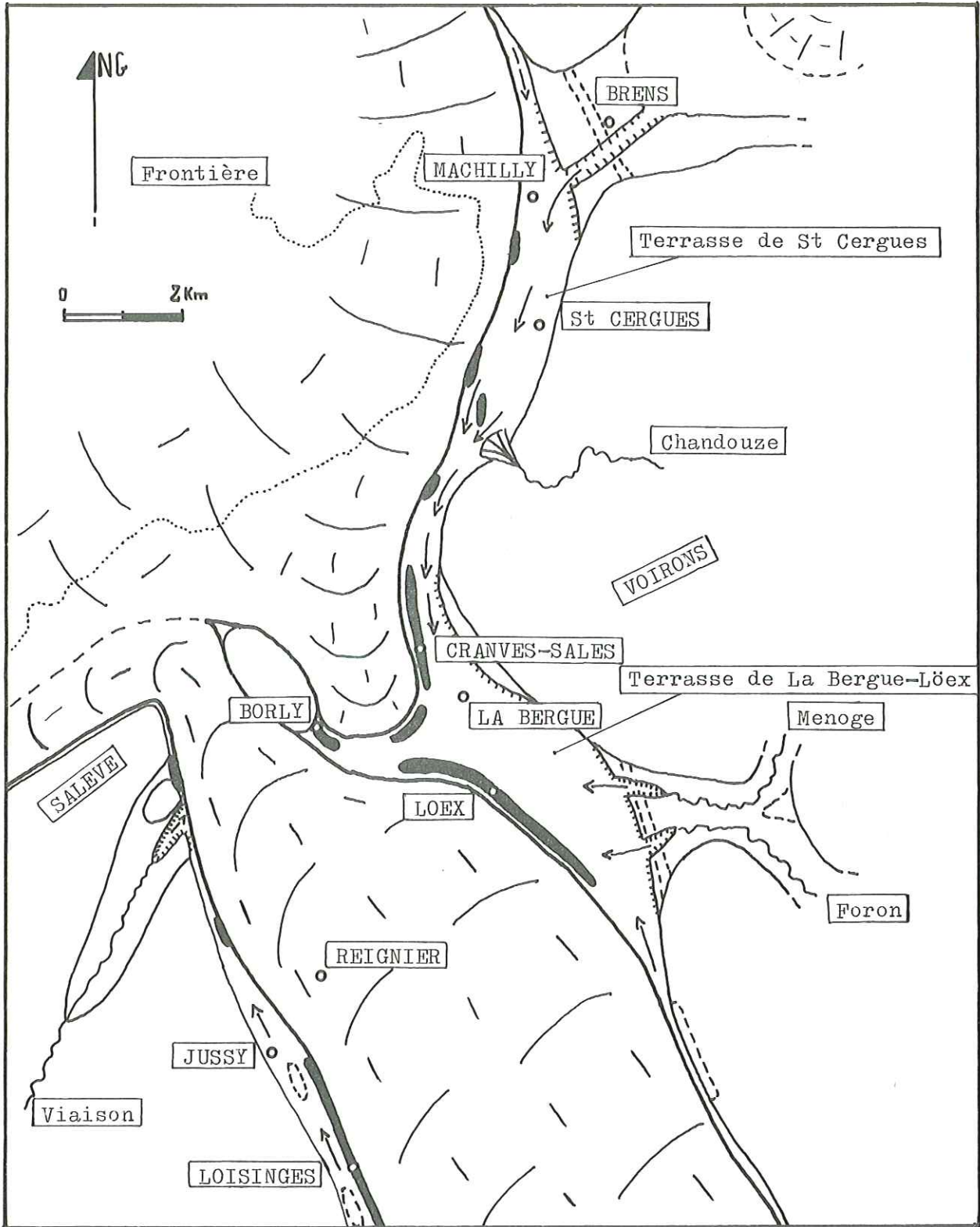
a - Vallée de l'Arve : Edification de la terrasse de LA BERGUE (520 - 550m) voir figure 57

Le glacier de l'Arve dépose d'importants cordons morainiques à des altitudes comprises entre 520 et 550m : LOEX, LOISINGES, par exemple.

En rive gauche du glacier se met en place un niveau de terrasses (JUSSY) d'extension réduite, alimentées par le chenal latéral du glacier.

En rive droite du glacier de l'Arve, et à proximité du confluent avec le glacier du Rhône, il y a sédimentation deltaïque glacio-lacustre de la terrasse de LA BERGUE - LOEX 520 - 550m.

Celle-ci est alimentée par les flancs des Voirons et les chenaux latéraux des deux glaciers. Le chenal de St CERGUES - CRANVES-SALES est particulièrement important car il reçoit les eaux du torrent de Chandouze et de tout le flanc Nord-Ouest des Voirons. La Menoge et le Foron de Fillinges participent, eux aussi, à l'alimentation.



EDIFICATION DE LA TERRASSE DE LA BERGUE-LOEX ET DE CELLE DE St CERGUES

fig. 57

b - Vallée du Rhône.

Le glacier du Rhône occupe la dépression lémanique et longe le pied des Voirons, à une cote proche de 520m.

Une langue de ce glacier s'avance entre Monthoux et les Voirons, à la rencontre du glacier de l'Arve.

La continuité des éléments morphologiques : cordons morainiques, terrasse, chenal, permet de déterminer les équivalents des témoins du retrait glaciaire observés dans la basse vallée de l'Arve :

Le cordon morainique de CRANVES-SALES, équivalent de celui de LOEX, se poursuit, au Nord, en se dédoublant parfois : LE BOURGEAU 535m, CHATEAU DE NEYDENS 530m, Les Tattes 535m. Il est fréquemment interrompu par l'érosion, en particulier au passage de la vallée, plus récente, du Foron de MACHILLY.

En bordure du glacier du Rhône s'est édifiée la terrasse de St CERGUES 525 - 550m, sensiblement contemporaine de celle de LA BERGUE.

Son alimentation en matériel fluvioglaciaire s'est faite par le chenal traversant le cordon fronto-latéral de BONS - LANGIN et qui se poursuit jusqu'au niveau de CRANVES - SALES où il participe à l'alimentation de la terrasse de LA BERGUE. (fig. 37 page 67).

Ce chenal, et les nombreux torrents descendant des Voirons ont ensuite en grande partie détruit la terrasse de St CERGUES.

En amont, la langue de glace qui stagnait au Sud du Mont de Boisi se retire vers le Nord-Est (vallum de Chez Moachon 550m). Elle fait place à une sédimentation glacio-lacustre argileuse (briqueteries de La Tuilière, au Nord de BRENS).

3) STADE D'ARTHAZ.

a - Vallée de l'Arve : Edification de la terrasse d'ARTHAZ - LE PONT 470 - 490m. (voir figure 58).

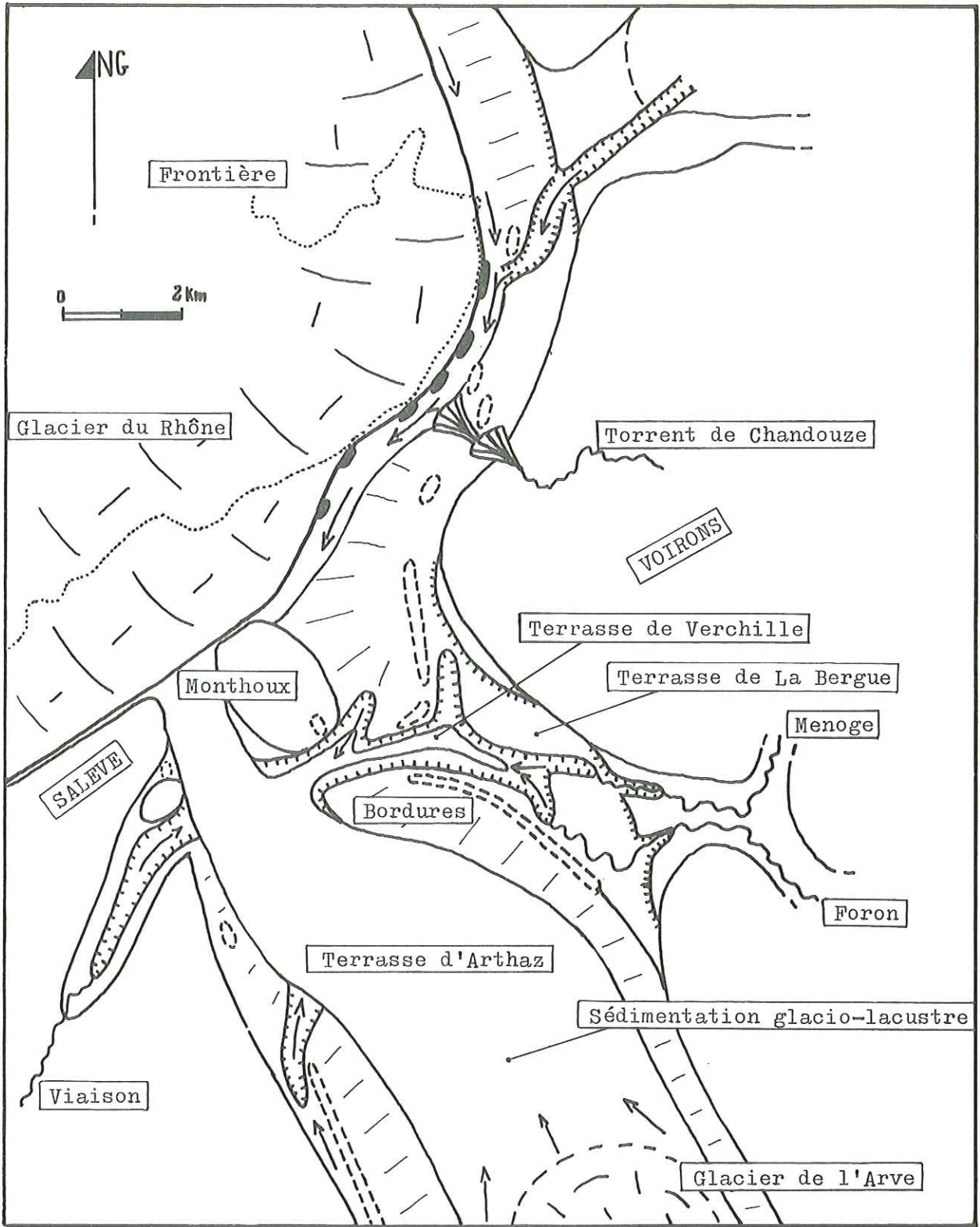
Le glacier de l'Arve se retire nettement.

Au débouché dans la dépression lémanique, le glacier du Rhône se retire lui aussi, et sa bordure longe la colline de Monthoux et le Petit Salève en formant barrage à une cote proche de 480m.

Dans la partie médiane de la vallée, une sédimentation glacio-lacustre s'installe sur la topographie de retrait du glacier de l'Arve.

Elle est alimentée par de vastes surfaces marginales traversées par les chenaux, en voie de surcreusement, du stade précédent.

La terrasse de LA BERGUE est entaillée par l'érosion régressive. Un niveau de terrasse s'installe dans la vallée de la Menoge : terrasse de Verchille. 475 - 490m.



EDIFICATION DE LA TERRASSE D'ARTHAZ

fig. 58

La langue du glacier du Rhône qui s'avancait à l'Est de la colline de Monthoux disparaît après avoir alimenté un chenal qui a ébrèché la moraine frontale de CORLY - BORLY.

En rive gauche, la terrasse d'ESSERTS est entaillée par l'érosion régressive.

Le torrent de Viaison et le Foron de Reignier se raccordent à la terrasse d'ARTHAZ par un profil d'équilibre.

b - Vallée du Rhône.

Un alignement de cordons morainiques s'édifie en bordure du glacier du Rhône, à une cote comprise entre 490 et 515m : FORAND, GENEVERAY, MONIA.

Le chenal MACHILLY - St CERGUES - CRANVES-SALES franchit, dans sa partie amont, le cordon morainique du stade précédent, et se confond avec le nouveau chenal marginal.

Un niveau de terrasse étroit s'établit en bordure externe du cordon morainique. Il est actuellement presque entièrement détruit par l'érosion. Seuls quelques témoins subsistent : Les Curtines (500m).

Le cône de déjection du torrent de Chandouze franchit, lui aussi, le cordon morainique du stade précédent et rejoint le nouveau chenal marginal, ce qui fait cesser l'activité du chenal St CERGUES - CRANVES-SALES.

4) STADE D'ANNEMASSE.

a - Vallée de l'Arve: Edification de la terrasse d'ANNEMASSE 420 - 435m. (voir figure 59).

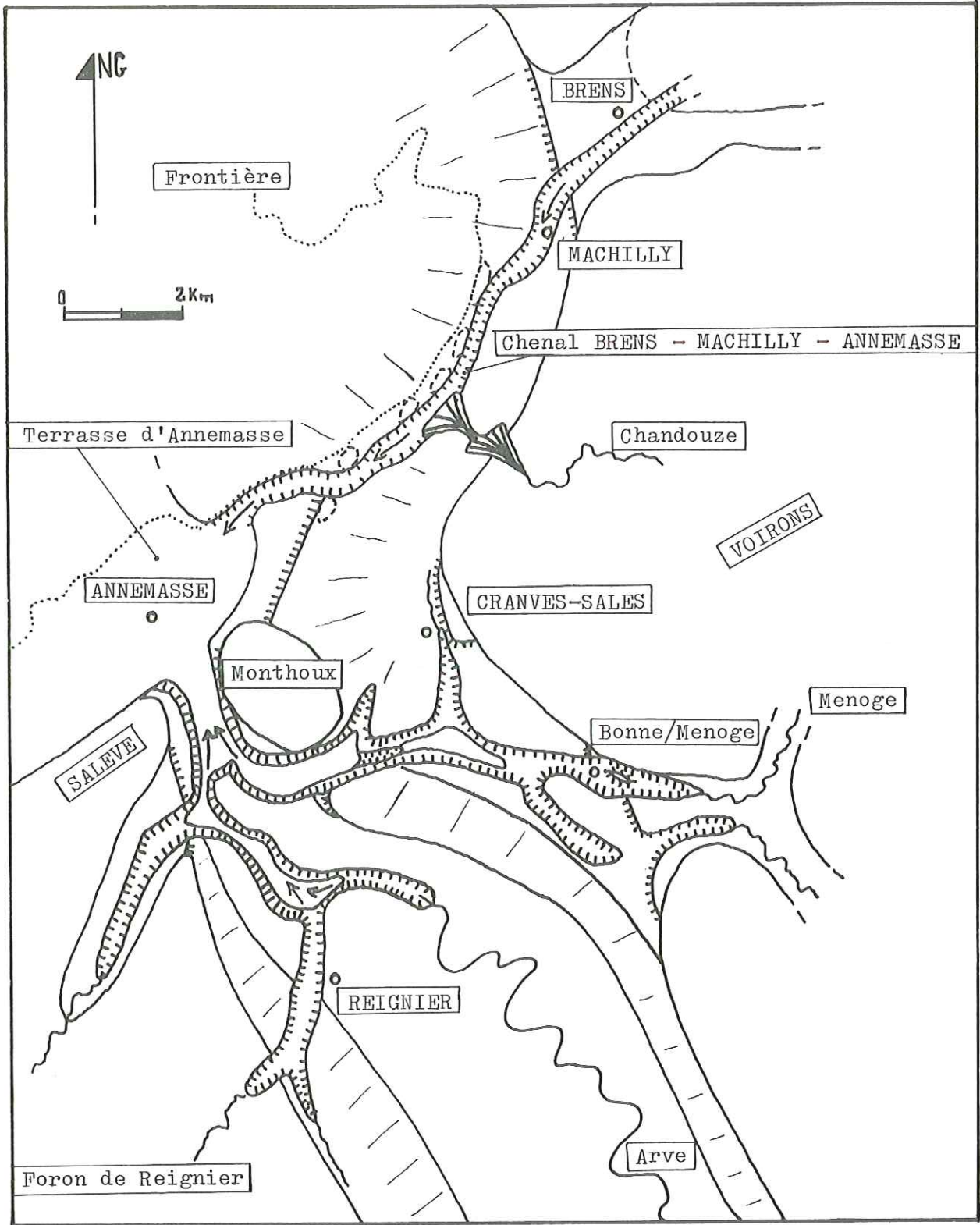
Le glacier du Rhône, ou un de ses vallums morainiques, maintient un niveau de base à 430m environ.

La terrasse d'ARTHAZ est progressivement entaillée jusqu'à cette cote par érosion régressive. Il se forme alors une terrasse à 420 - 430m, qui se prolonge dans les vallées de l'Arve et de la Menoge.

Ces cours d'eau, ainsi que le Foron de Reignier et le torrent de Viaison, alimentent la terrasse d'ANNEMASSE en matériaux, et se raccordent à elle par un profil d'équilibre.

b - Vallée du Rhône.

Au niveau de FORAND (X = 903,5 Y = 142), le chenal MACHILLY - JUVIGNY recoupe le cordon morainique du stade précédent ; il s'encaisse ensuite jusqu'à la cote 440m et contribue pour une grande part à l'alimentation de la terrasse d'ANNEMASSE en matériaux détritiques.



EDIFICATION DE LA TERRASSE D'ANNEMASSE

fig. 59

Le chenal latéral qui prend naissance dans les marais de CHILLY, au Sud de DOUVAINE, et passe en territoire suisse, a lui aussi participé à l'alimentation de la terrasse.

5) STADE D'ETREMBIERES : EDIFICATION DE LA TERRASSE D'ETREMBIERES
390 - 410m.

Dans la partie occidentale de la dépression lémanique, le niveau de base s'abaisse à 400m environ.

La terrasse d'ETREMBIERES s'édifie au débouché des vallées de l'Arve et de la Menoge. Elle est alimentée presque exclusivement par ces deux torrents, le chenal glaciaire de MACHILLY-JUVIGNY ayant cessé de fonctionner.

6) RECURRENCE GLACIAIRE DES ROCAILLES. (voir figure 60)

A la faveur d'une dernière période de refroidissement, le glacier de l'Arve s'avance sur la terrasse d'ARTHAZ jusqu'à NANGY, en véhiculant l'écrasement des Rocailles, issu du massif des Bornes.

La cote la plus basse atteinte par cette récurrence est de 480m environ.

Les chenaux latéraux du glacier édifient un cône de déjection au niveau de MAGNY et érodent, en aval, la terrasse d'ARTHAZ et les surfaces faiblement inclinées de son dispositif d'alimentation.

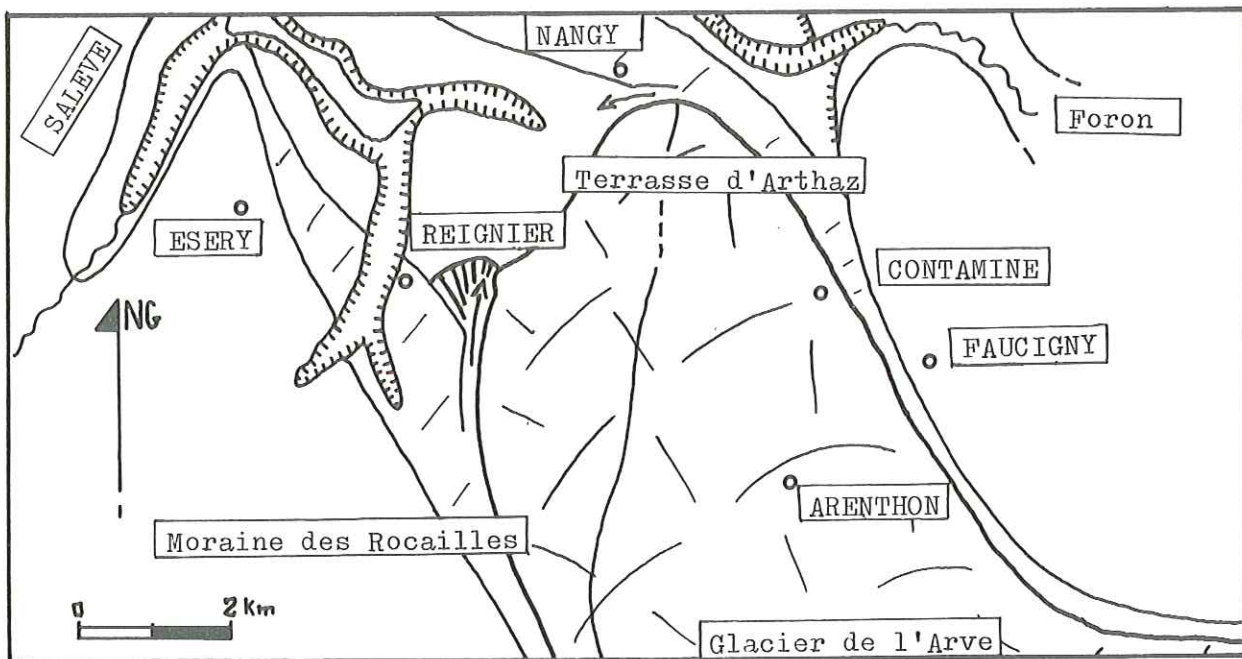
7) EDIFICATION DE LA TERRASSE DE CONTAMINE sur ARVE. 440 - 470m.
(voir figure 61).

Le glacier de l'Arve se retire définitivement de sa basse vallée, abandonnant la moraine des Rocailles. Celle-ci forme barrage, probablement grâce à un socle de glace morte qui ne fondra que tardivement en raison de l'intense couverture morainique.

En amont de ce seuil, une sédimentation glacio-lacustre puis fluvio-glaciaire a lieu, formant la terrasse de CONTAMINE sur ARVE.

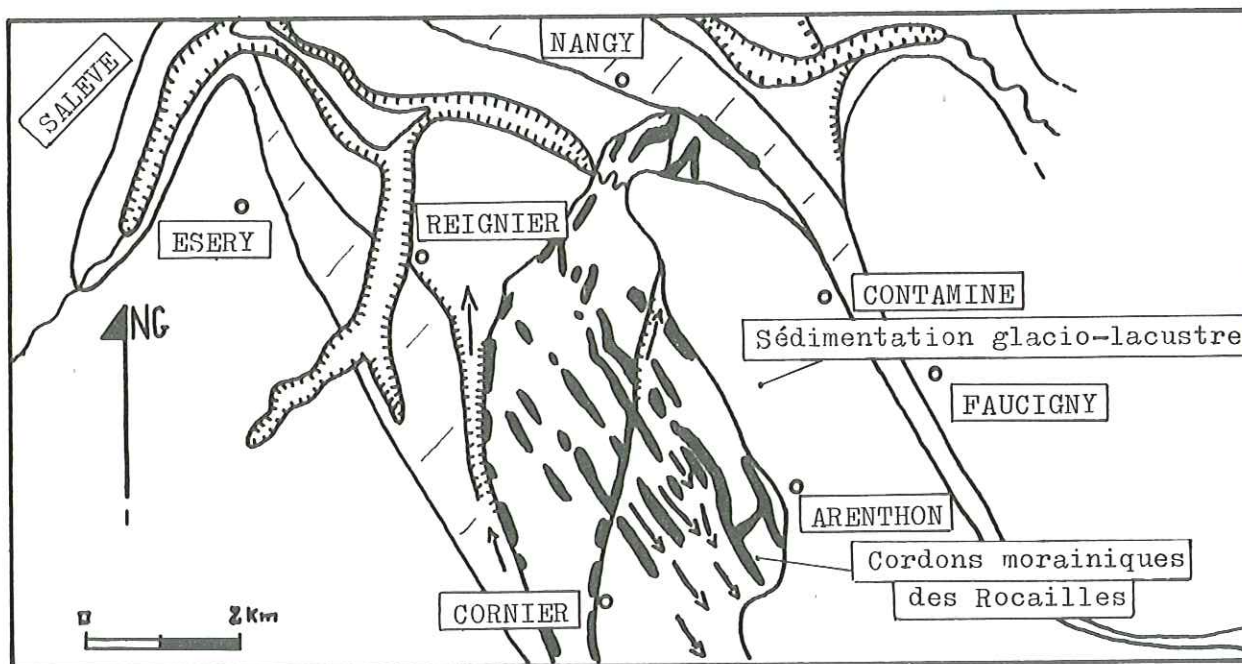
Durant cette phase, la zone des Rocailles se trouve en relief par rapport à la partie amont, si bien que les chenaux de la bordure Est des Rocailles (LE CHATELET, PUBLET, PORTE D'EN HAUT) montrent un écoulement du NW au SE, inverse de la pente générale de la vallée de l'Arve.

Ultérieurement, l'érosion du barrage morainique amène un abaissement progressif du seuil de déversement, ce qui entraîne un encaissement des méandres de l'Arve jusqu'à la cote actuelle : 425m.



RECURRENCE GLACIAIRE DES ROCAILLES

fig.60



EDIFICATION DE LA TERRASSE DE CONTAMINE

fig.61

- D - C O N C L U S I O N

L'étude des phases du retrait glaciaire dans la basse vallée de l'Arve nous a montré que la décrue des glaciers a comporté de nombreux paliers ou "stades" successifs.

Le passage d'un stade à l'autre s'est fait par un enchaînement qui est toujours le même : abaissement du niveau du glacier, érosion des formations déposées au stade précédent, édification d'un nouveau cordon morainique, avec, en arrière de celui-ci, sédimentation glacio-lacustre deltaïque formant une terrasse.

Entre deux paliers successifs, la différence d'altitude est relativement constante ; pour l'ensemble des stades étudiés, elle est d'environ 40m.

**I - E S S A I D E C O R R E L A T I O N A V E C L E S S T A D E S
O B S E R V E S D A N S L A R E G I O N D E T H O N O N .**

Le tableau de la page I24 propose une corrélation entre certains stades de retrait observés par R.VIAL dans la région de THONON - DOUVAINNE et ceux que nous avons distingués dans la basse vallée de l'Arve et sur le flanc Ouest des Voirons.

I I - E S S A I D E C H R O N O L O G I E A B S O L U E

L'analyse de la morphologie tant actuelle que fossile, et l'examen de la lithologie nous montre que les formations quaternaires de la basse vallée de l'Arve sont attribuables à trois épisodes glaciaires différents.

En l'absence de datations par méthode paléontologique ou radio-isotopique, il serait présomptueux d'avancer des âges absolus pour les différents stades de retrait que nous avons observés.

Néanmoins, nous proposons dans le tableau ci-dessous la chronologie que nous pensons être la plus probable, en précisant que les datations avancées sont avant tout des hypothèses de travail et que beaucoup d'incertitudes demeurent quant à l'attribution des dépôts à telle ou telle phase glaciaire.

. Edification de la terrasse de CONTAMINE

Retrait de la dernière
phase glaciaire du Würm.
(Würm 3 ?)

. Récurrence glaciaire des Rocailles

Dernière phase glaciaire
du Würm (Würm 3 ?)

Il n'existe probablement aucun élément attribuable à l'interstade ayant précédé la dernière phase glaciaire (interstade Würm 2-3 ?) car l'Arve et la Menoge ont continué à s'encaisser dans les dépôts laissés par les stades de retrait ayant suivi le maximum glaciaire. (Würm 2).

- . Edification de la terrasse d'ETREMBIERES
- . Edification de la terrasse d'ANNEMASSE
- . Edification de la terrasse d'ARTHAZ
- . Edification de la terrasse de LA BERGUE
- . Edification de la terrasse d'ESSERTS
- . Moraines élevées du Salève et des Voirons et partie supérieure du remplissage des sillons glaciaires.

Retrait de la phase glaciaire maximale du Würm (Würm 2 ?)

Premières phases glaciaires du Würm : aucun dépôts identifiables avec certitude.

- . Episode fluvioglaciaire profond du remplissage des sillons glaciaires. Phases de retrait du Riss ou Interglaciaire Riss - Würm.
- . Creusement des sillons glaciaires et dépôt des argiles à blocs au contact de la molasse. Phases glaciaires du Riss.

Ainsi qu'on peut l'observer dans les bassins de l'Isère et du Drac, à proximité de CHAMBERY et du Lac du Bourget, les traces des anciennes glaciations (Mindel, Guntz ...) ont été détruites par le passage des glaciers du Riss et du Würm. (J.C.FOURNEAUX).

Comme dans les régions évoquées, le maximum de surcreusement est imputable aux glaciers du Riss, et c'est probablement le cas pour l'ensemble de la cuvette lémanique.

CORRELATION ENTRE CERTAINS STADES DE RETRAIT OBSERVES

DANS LA REGION DE THONON - DOUVAINE ET CEUX DE LA BASSE VALLEE DE L'ARVE ET DU FLANC OUEST DES VOIRONS

REGION DE THONON - DOUVAINE		FLANC OUEST DES VOIRONS				VALLEE DE L'ARVE			
ELEMENTS MORPHOLOGIQUES	ALTITUDE	MORAINES	ALTITUDE	TERRASSES	ALTITUDE	MORAINES	ALTITUDE	TERRASSES	ALTITUDE
Terr. de Chez Jordan	700m			Chapelle de Chermont - Le Chamenard	640-680m	Monnetier - Mornex	640-690m		
Terr. Perrignier - Bons - Langin (14.000 ans B.P.)	570-600m	Brens	570-580m	Bons - Langin	570-590m	Lossiège Pers-Jussy Crêtet Arculinge Esery	560m 600m 580-600m 570-590m 560-590m	Fillinges Lossy Essert-Salève	570-580m 550-600m 550-590m
Vallum Moachon - Perrignier Terr. St Didier - Brenthonne	550-570m 550-560m	Le Bourgeau Château de Neydens Les Tattes	535m 530m 530m	St Cergues	525-550m	Loëx Cranves-Sales Corly Loisinges	520-530m 510-530m 510m 520-550m	La Bergue - Loëx Jussy	520-550m 510-550m
		Monia Géneveray Forand	515m 515m 490m	Les Curtines	500m			Arthaz - Le Pont Verchille	470-490m 475-490m
Vallum Chilly - Ferme de Genevray	475m							Annemasse Les Gdes Iles Turnier	430-440m 430m 430-440m
Terr. de Douvaine	420-430m							Etrembières	390-410m
Récurrance sur le Chablais. (11.000 ans B.P.)						Récurrance des Rocailles	480-540m		
								Contamine	440-470m

Tab. 1

DEUXIEME PARTIE

HYDROGEOLOGIE

CHAPITRE I

ETUDE CLIMATOLOGIQUE

CHAPITRE I

ETUDE CLIMATOLOGIQUE

I - INTRODUCTION

La période étudiée s'est étendue de Juillet 1976 à Septembre 1977, soit une durée de 15 mois.

Dans ce chapitre, nous envisagerons successivement, l'étude des vents dominants, de l'hygrométrie et des températures, puis celle des précipitations, et finalement de l'évapotranspiration, que nous calculerons par différentes formules afin de comparer les résultats entre eux.

II - VENTS DOMINANTS

La station d'enregistrement la plus proche est celle de l'aéroport de GENEVE - COINTRIN, située à 8 km à l'Ouest d'ANNEMASSE.

En première approximation, on peut considérer que les vents à cette station sont semblables à ceux de la zone étudiée.

L'extrait de carte de la figure 62 résume les statistiques sur une période de cinq ans à la station de GENEVE - COINTRIN.

Seul les vents dominants sont indiqués, avec le pourcentage de ce qu'ils représentent par rapport à l'ensemble des vents observés. Les périodes de calmes, environ 20%, ne sont pas prises en compte dans ces résultats.

On constate que l'alignement SW-NE des reliefs a pour effet de canaliser les vents dominants entre le Jura, au Nord, le Salève et les Voirons, au Sud. Plus de 60% des vents soufflent dans cette direction, la moitié provenant du secteur S W (vents humides), l'autre moitié du secteur N E (vents secs et froids).

Dans la zone étudiée, les conditions sont similaires, les vents étant canalisés entre le Salève et les Voirons, au Nord, les Bornes et le Faucigny formant la bordure Sud.

Cependant, le débouché de la vallée de l'Arve à ANNEMASSE augmente la

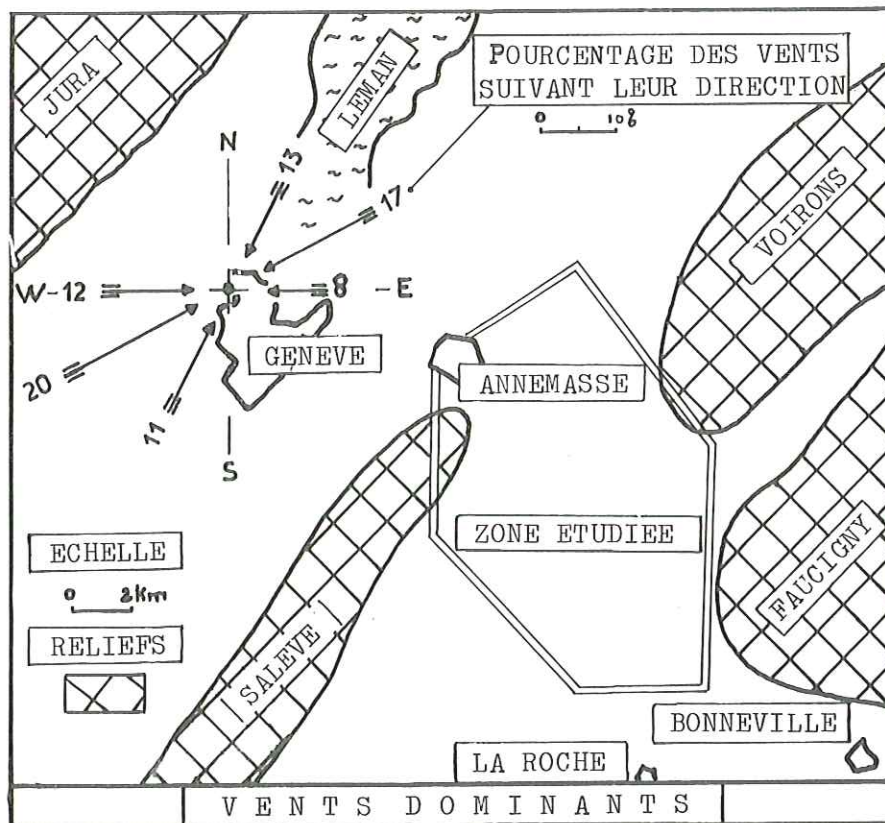


fig. 62

proportion des vents du secteur N.NE au détriment des vents d'Ouest, déviés par le Salève.

I I I - H Y G R O M E T R I E

Nous ne disposons pas d'hygromètre sur le terrain ; cependant, les valeurs moyennes d'humidité relative trouvées autour du Léman sont homogènes et peuvent être étendues à la région d'ANNEMASSE.

- . GENEVE et THONON : 76%
- . LAUSANNE : 78%

I V - T E M P E R A T U R E S

Les températures journalières sont mesurées dans deux stations de la METEOROLOGIE NATIONALE : ANNEMASSE et CONTAMINE.

Bien qu'étant à la même altitude, 450m, la situation des deux stations n'est pas identique : contrairement à celle d'ANNEMASSE, la station de CONTAMINE ne subit pas l'influence du Lac de GENEVE, car elle est en partie isolée de la dépression lémanique par les chainons du SALEVE et des VOIRONS.

A l'échelle annuelle, l'amplitude thermique à CONTAMINE est supérieure de plus de 1°C à celle d'ANNEMASSE. La différence est encore plus nette à l'échelle mensuelle durant l'été.

1) MOYENNES ANNUELLES DES TEMPERATURES.

ANNEE	STATION	ALT.	MOY.des T° MAX.	MOY.des T° MIN.	MOY. ANNUELLE
1976	ANNEMASSE	450m	15°2	5°4	10°3
	CONTAMINE	"	15°1	4°3	9°7
1977	ANNEMASSE	"	14°7	6°1	10°4
	CONTAMINE	"	15°0	5°0	10°0

- . TEMPERATURE MOYENNE A CONTAMINE POUR LA PERIODE D'ETUDE : 9°5 (1.7.76-30.6.77)
- . TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLE SUR 10 ANNEES A CONTAMINE : 9°6

2) MOYENNES MENSUELLES DES TEMPERATURES.

Nous avons choisi de prendre en compte les relevés de la station de

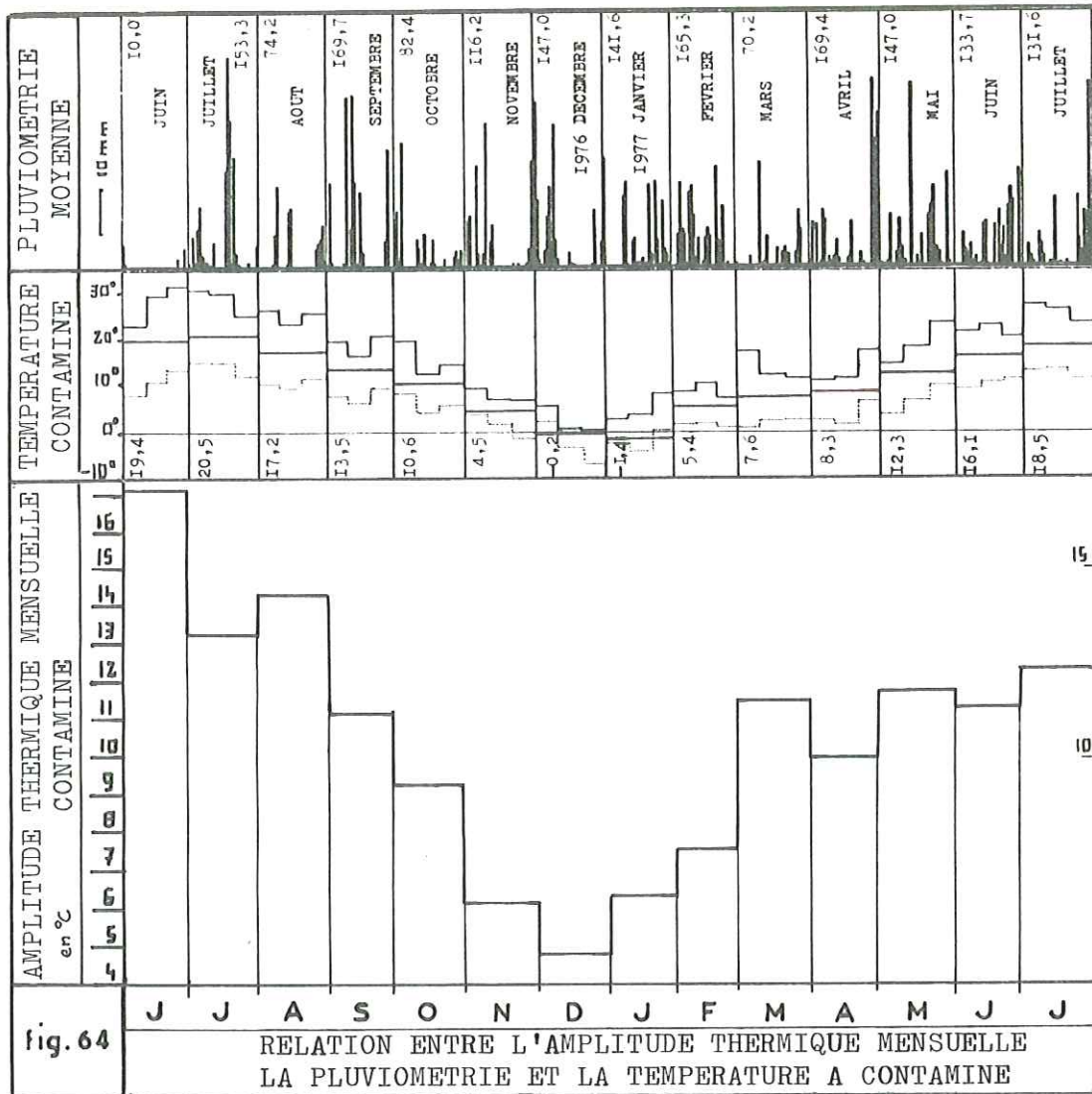


fig. 64

RELATION ENTRE L'AMPLITUDE THERMIQUE MENSUELLE
LA PLUVIOMETRIE ET LA TEMPERATURE A CONTAMINE

V - ETUDE DES PRECIPITATIONS

1) RESEAU D'OBSERVATION.

a - Stations de la Météorologie Nationale.

Trois stations sont sur le terrain étudié :

STATION	ALTITUDE	EQUIPEMENT
ANNEMASSE	450m	Pluviomètre type
CONTAMINE	450m	"association"
PERS-JUSSY	580m	de 400cm ²
		"

b - Matériel supplémentaire mis en place.

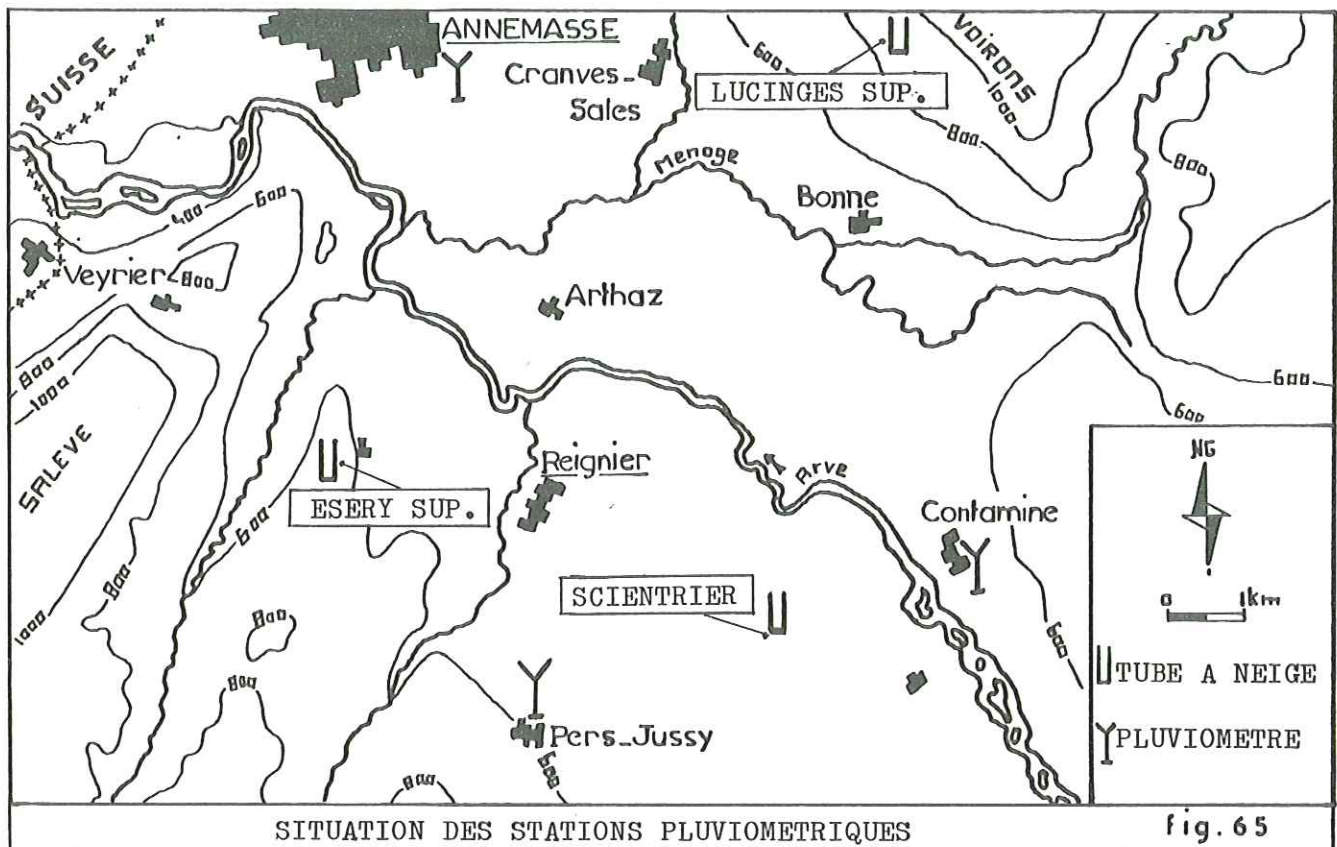
Pour améliorer la répartition des postes pluviométriques et accroître la gamme d'altitude des mesures, trois tubes totalisateurs ont été mis en place :

- à la fin du mois de Juin au dessus de LUCINGES et d'ESERY.
- à la fin du mois d'Août sur le champ de captage de SCIENTRIER.

Ce dernier tube totalisateur était placé, en vue de son étalonnage, à côté d'un pluviographe appartenant à la DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE. Malheureusement, les mesures du pluviographe ne nous ont pas été communiquées, et l'étalonnage du tube n'a pu avoir lieu.

REMARQUE : Les pluviomètres totalisateurs sont des tubes verticaux en plastique rigide (P.V.C), de 3m de long et de 220 cm² d'ouverture environ.

Ils sont munis d'une réglette transparente pour permettre la lecture mensuelle des hauteurs d'eau cumulées. Ils contiennent un antigel et un peu d'huile pour éviter l'évaporation.



REPERAGE DES PLUVIOMETRES TOTALISATEURS INSTALLEES				
NOM	X	Y	Z	OUVERTURE
ESERY SUP.	901,1	134,1	650m	220 cm ²
LUCINGES SUP.	908,3	139,6	830m	235 cm ²
SCIENTRIER	907,0	132,3	465m	225 cm ²

c - Comparaison Pluviomètre - Tube totalisateur.

La comparaison entre la pluviométrie déterminée par un tube totalisateur et celle enregistrée par un pluviomètre de 400 cm² est délicate.

Tous les auteurs s'accordent sur le fait que le tube est déficitaire par rapport au pluviomètre. En effet, divers facteurs interviennent : surface d'ouverture plus réduite, évaporation le long des parois du tube en été, formation d'un bouchon de neige en hiver, hauteur différente par rapport au sol.

L'étalonnage n'ayant pu se faire, nous admettrons, après avoir consulté les travaux de M.LEPILLER (1976) et G.NICOUD (1973), qu'il faut ajouter 10% à la pluviométrie donnée par le tube pour la rendre comparable à celle d'un pluviomètre classique.

2) PLUVIOMETRIE OBSERVEE DU 1-7-76 au 30-6-77.

La période d'étude a coïncidé avec la fin de la sêcheresse du printemps et du début de l'été 1976.

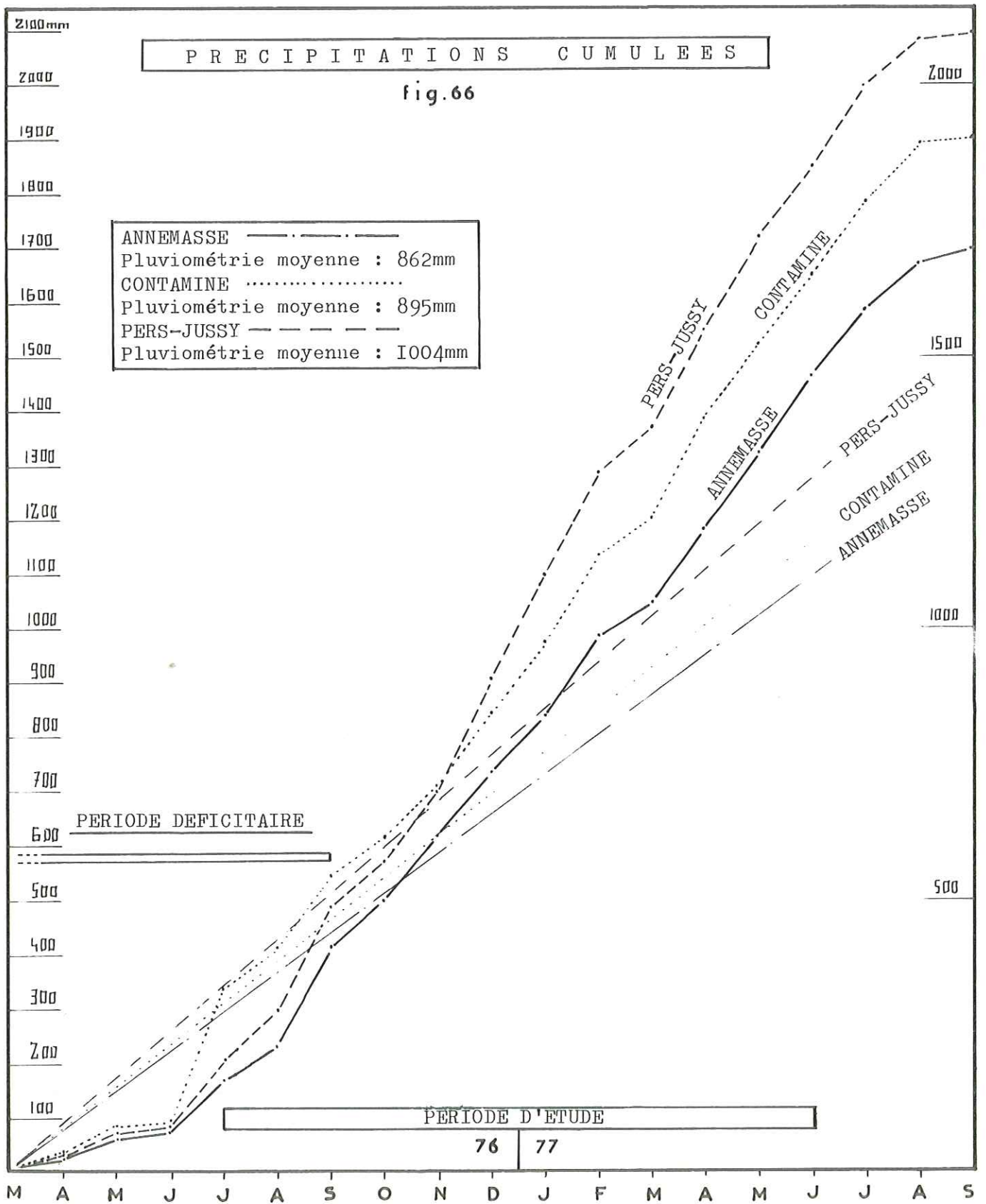
Le graphique de la figure 66 fait apparaître que dès l'automne 1976 le déficit dû à la sêcheresse était résorbé et que la période d'étude a été largement excédentaire par rapport à la moyenne.

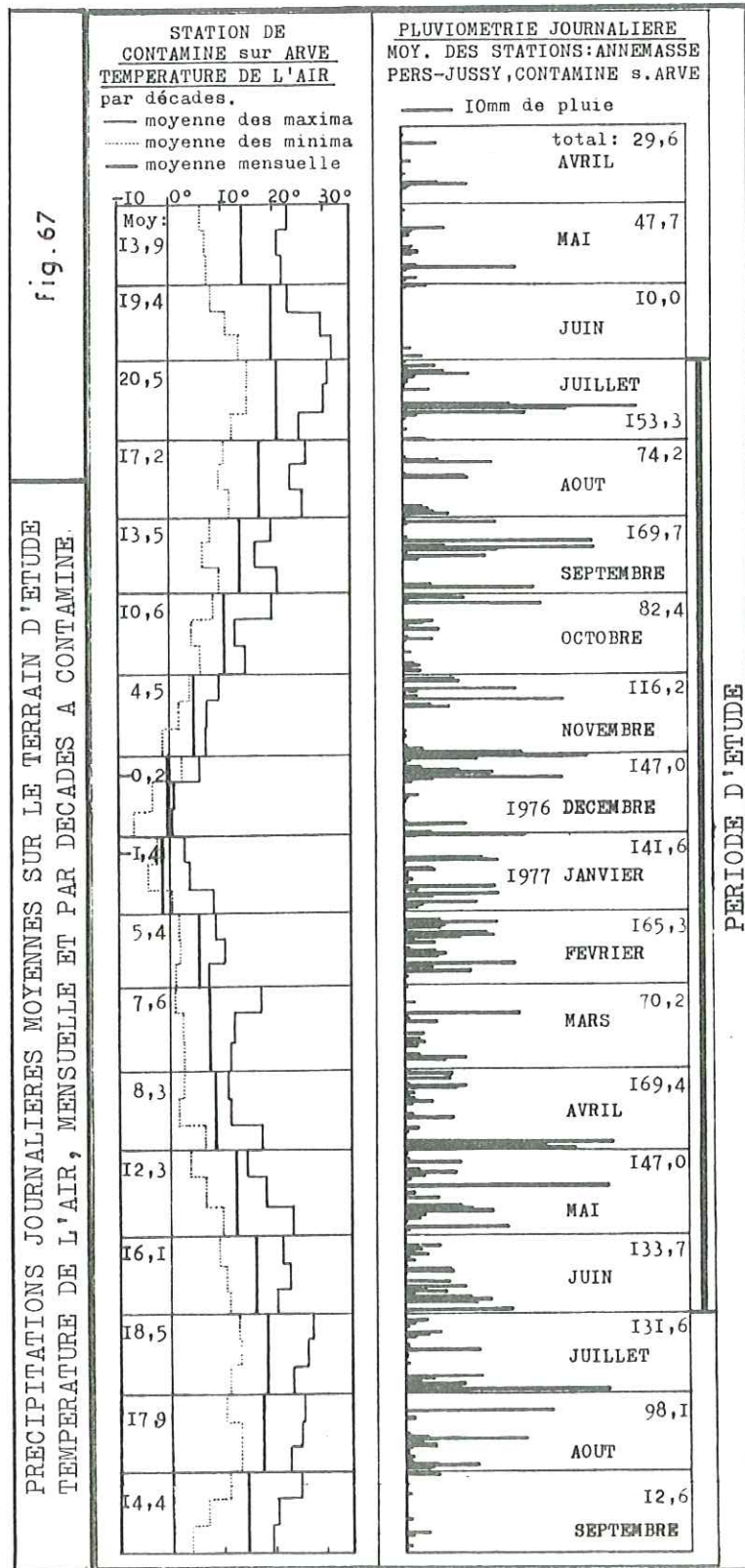
Ce n'est qu'à partir du mois d'Août 1977 que l'on constate un début de retour à une pluviosité normale.

a - Pluviométrie journalière.

Elle a été enregistrée aux stations d'ANNEMASSE, CONTAMINE et PERS-JUSSY.

Dans le diagramme de la figure 67 nous avons reporté la moyenne journalière des pluies observées dans ces trois stations, afin de mieux représenter les hauteurs d'eau effectivement reçues par le terrain étudié.





b - Pluviométries mensuelles et annuelles aux différentes stations du réseau.

Elles sont consignées dans le tableau suivant :

TABLEAU DES PLUVIOMETRIES MENSUELLES ET ANNUELLES													
STATION	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	TOTAL ANNUEL
ANNEMASSE	97	58	184	86	116	113,116,140	62	147	130	139			1388mm
CONTAMINE	236	77	141	69	92	131,125,165	69	180	141	130			1556
PERS-JUSSY	127	88	183	92	141	197,185,190	83,181,170	133					1770
TUBE SCIENTRIER	-	-	148	98	105	142,132,171	69,165	155	142				1640
TUBE ESERY SUP.	150	62	204	123	142,250,102,226	85,184,195	163						1886
T. LUCINGES SUP.	91	52	186	121	132,180,145,237	94,195,212	156						1801mm

145... signifie qu'une partie des précipitations est tombée sous forme de neige.

TABLEAU DES PLUVIOMETRIES MOYENNES COMPAREES AUX PLUVIOMETRIES DU 1.7.76 au 31.6.77			
STATION	PLUVIOMETRIE ANNUELLE MOYENNE	(MOY. SUR :)	PERIODE DU 1.7.76 - 31.6.77
ANNEMASSE	862mm	20 ans	1388 mm
CONTAMINE	895mm	6 ans	1556 mm
PERS-JUSSY	1004mm	6 ans	1770 mm
THONON-RIVES	890mm	20 ans	1307 mm

Pour la station de THONON, de pluviométrie moyenne supérieure à celle d'ANNEMASSE, l'année centenaire humide est de 1400mm.

Il est donc probable que la période d'observation du 1.7.76 au 30.6.77 correspond sensiblement à une année centenaire humide à la station d'ANNEMASSE.

c - Indicatifs saisonniers.

Pour la période d'étude, les indicatifs des différentes stations sont :

ANNEMASSE	A H P E	assez peu marqué.
CONTAMINE	E H P A	
PERS-JUSSY	H P A E	
ESERY SUP.	H A P E	peu marqué
LUCINGES SUP.	H P A E	

On constate que les indicatifs saisonniers sont très disparates.

L'indicatif E A P H , fréquent dans la région, n'est pas

représenté ; cela est probablement dû à la sécheresse de l'été 1976, ainsi qu'à un hiver 1976 - 1977 exceptionnellement humide.

d - Gradient altimétrique des précipitations.

Il y a très généralement augmentation des précipitations avec l'altitude (gradient altimétrique positif).

Cependant, l'exposition des versants joue un très grand rôle et nous séparerons, dans le calcul, les versants Nord Est et Sud Ouest :

- Rive gauche de l'Arve. Flanc NE.

STATION	ALT.	DIFFERENCE D'ALT.	GRADIENT ANNUEL
ESERY SUP.	650m	70m	166mm/100m
PERS-JUSSY	580m		
SCIENTRIER	465m	115m	113mm/100m

} 133mm/100m

- Rive droite de l'Arve. Flanc SW.

STATION	ALT.	DIFFERENCE D'ALT.	GRADIENT ANNUEL
LUCINGES SUP.	830m	380m	64mm/100m
CONTAMINE	450m		
ANNEMASSE	450m	380m	109mm/100m

On constate que les gradients observés sont très supérieurs à la moyenne régionale (60mm/100m), et qu'il y a une très grande dispersion des valeurs.

Le versant orienté au NE a un gradient supérieur à celui du versant SW. Cela peut s'expliquer par un régime de précipitations relativement homogènes sur les flancs directement exposés aux vents humides du Sud Ouest. Par contre, sur les flancs NE, apparaît un phénomène d'ombre, qui entraîne des précipitations beaucoup plus fortes sur les reliefs que dans la vallée, d'où un gradient pluviométrique élevé.

REMARQUE : Evolution mensuelle du gradient entre les stations ESERY SUP. et LUCINGES SUP.

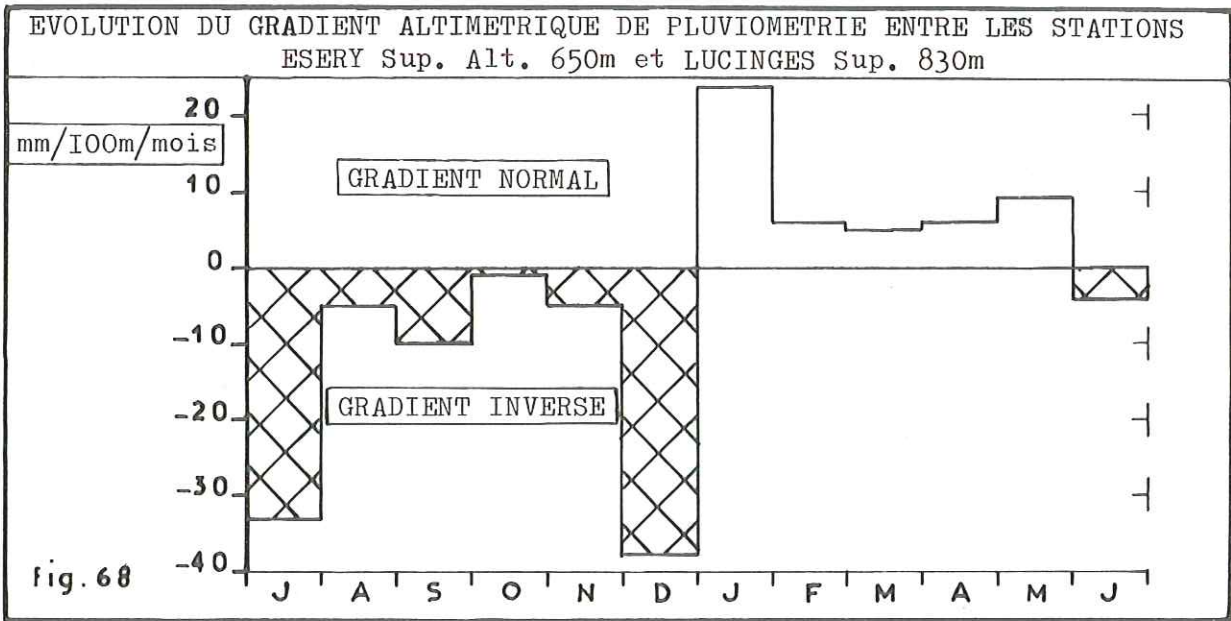
La "dissymétrie" de la pluviométrie entre les deux versants est telle, qu'elle entraîne une inversion saisonnière du gradient entre ces deux stations.

Le graphique de la figure 68 montre que, pendant la période d'observation, le gradient a été inversé durant l'été, l'automne et le début de l'hiver ; et normal durant la fin de l'hiver et le printemps.

Cette inversion temporaire du gradient est peut être à relier

avec les variations saisonnières des vents dominants, et avec la plus grande abondance des orages, en été, et en automne sur les collines du flanc SE de la vallée de l'Arve.

Cet exemple montre que la notion de gradient altimétrique des précipitations doit être appliquée à un versant d'orientation homogène.



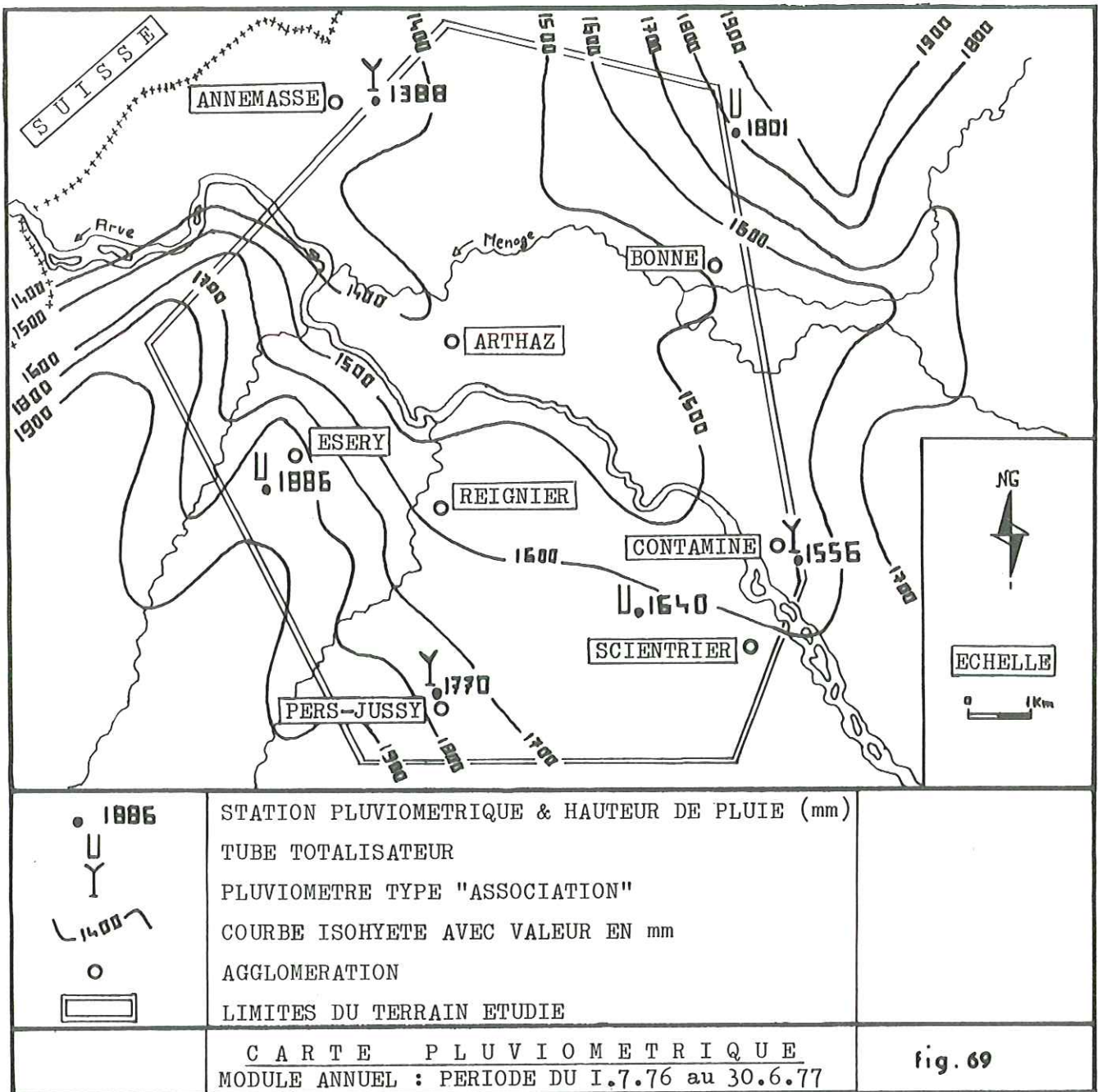
e - Carte des courbes isohyètes pour la période
1.7.76 à 30.6.77.

Pour le tracé de la carte en isohyètes de la figure 69 , les gradients altimétriques suivants ont été pris en compte :

- . Rive droite de la vallée de l'Arve : 90mm/100m
- . Rive gauche de la vallée de l'Arve : 130mm/100m

Par planimètrage des courbes isohyètes, on obtient la PLUVIOMETRIE ANNUELLE sur le secteur étudié.

PLUVIOMETRIE ANNUELLE POUR LA PERIODE DU 1.7.76 au 30.6.77 : 1572 mm.



VI - ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION

C'est la somme de deux phénomènes :

- . L'évaporation, qui se produit sur les surfaces d'eau libre, le sol et la végétation.
- . La transpiration, qui est spécifique à la végétation et représente l'évaporation de l'eau puisée dans le sol par les plantes.

En l'absence d'appareils de mesure, plusieurs formules

classiques sont utilisées pour estimer l'évapotranspiration.

Nous avons sélectionné celles de TURC et de COUTAGNE;

1) EVAPORATION REELLE CALCULEE PAR LA FORMULE DE TURC.

Elle prend en compte la température moyenne et la valeur annuelle des précipitations.

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

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

E = Evaporation en mm/an

P = Pluviométrie du 1.7.76 au 30.6.77 = 1572 mm.

T = Température moyenne du 1.7.76 au 30.6.77 = 9°5.

EVAPORATION REELLE : E = 548 mm/an = 35% des précipitations.

2) EVAPOTRANSPIRATION SELON COUTAGNE (ET).

a - Première formule, ne prenant en compte que la température.

$$D = 210 + 30 T$$

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

T = température moyenne sur un an = 9°5

EVAPOTRANSPIRATION : D = 495 mm/an = 31% des précipitations.

b - Deuxième formule, prenant en compte les précipitations et la température.

$$D = P - \lambda P^2 \quad \text{avec } \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T}$$

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

P = précipitations sur un an, en m/an = 1,572 m

T = température moyenne sur un an = 9°5

REMARQUE :

La formule est valable si $P \leq \frac{1}{2\lambda}$. Si $P > \frac{1}{2\lambda}$, comme c'est le cas ici, D est supposé constant et égal à :

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

EVAPOTRANSPIRATION : D = 530 mm/an = 34% des précipitations.

3) EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP) FORMULE DE SERRA.

L'évapotranspiration potentielle est supérieure ou égale à l'évapo-
-transpiration ; elle est égale à l'évapotranspiration réelle quand les réserves
en eau du sol sont suffisantes pour l'assurer entièrement.

Si $ETP > ET$, il y a dessêchement du sol.

La formule de SERRA correspond à la formule de THORNTHWAITE simplifiée:

$$e = 16 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a, \text{ avec } a = \frac{1,6}{100} I + 0,5$$

e = Evapotranspiration potentielle en mm.

I = Indice de chaleur. I = somme de I à I2 des i.

$$i = \text{indice mensuel} = 0,09 T^{3/2}.$$

T = Température moyenne mensuelle.

RESULTATS A LA STATION DE CONTAMINE :

Cette station est bien représentative des conditions moyennes
règnant sur le terrain étudié.

	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	
e =	103	85	65	50	19	0,6	5	23	34	38	59	79	e en mm

EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE ANNUELLE : 560 mm = 36% des précipitations.

REMARQUE : Les indices des mois d'hiver sont sujets à caution car il y a inf-
-luence de sublimation de la neige à température négative.

4) EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP) FORMULE DE
THORNTHWAITE .

$$ETP = 1,6 \left(\frac{10 \cdot T}{I} \right)^a$$

T = température mensuelle.

I = indice somme de I à I2 de $i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$.

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

Les valeurs mensuelles doivent être corrigées par un coefficient qui
est fonction de la latitude.

RESULTATS A LA STATION DE CONTAMINE :

	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
	118	95	72	44	17	1	4	19	33	40	65	89

EVAPOTRANSPIRATION ANNUELLE POTENTIELLE SELON THORNTHWAITE : 597 mm.

5) TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS.

	METHODE	VALEUR	POURCENTAGE des PRECIPITATIONS
EVAPOTRANSPIRATION	TURC	548 mm	35%
	COUTAGNE I	495 mm	31%
	COUTAGNE 2	530 mm	34%
EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (CONTAMINE)	SERRA	560 mm	36%
	THORNTHWAITE	597 mm	38%

Malgré la marge d'incertitude de l'ordre de 20% qui existe sur l'évaluation de l'évapotranspiration, on constate une bonne homogénéité des résultats.

La valeur la plus basse, celle de COUTAGNE I correspond à une méthode relativement grossière, ne prenant en compte que la température moyenne annuelle.

V I I - C O N C L U S I O N D E L ' E T U D E C L I M A T O L O G I Q U E

La région étudiée subit l'influence de vents dominants canalisés par les reliefs : vents humides du secteur Sud-Ouest, et vents plus secs du secteur Nord-Est.

La moyenne annuelle des températures est de l'ordre de 10°C.

L'amplitude thermique augmente quand on s'éloigne de la dépression lémanique. Ses variations saisonnières montrent qu'elle est maximale en été et par temps sec (17°C en Juillet 1976) et minimale en hiver (5°C en Décembre).

La période d'étude a coïncidé avec la fin de la sécheresse du printemps 1976 ; elle a été particulièrement pluvieuse : 1572 mm, ce qui est proche de l'année centenaire humide.

Le gradient altimétrique annuel des précipitations a été supérieur à 100mm/100m, ce qui est nettement plus que le gradient généralement observé dans la région : 60 mm/100m. Ce gradient dépend étroitement de l'orientation des versants.

L'évapotranspiration (ET) a été estimée par diverses formules, les résultats se groupent autour d'une valeur mensuelle de 540 mm, ce qui représente

environ 35% des précipitations.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) a une valeur légèrement supérieure, 560 à 600 mm, mais très proche de la valeur de l'évapotranspiration simple. Cela montre que la réserve en eau du sol a presque toujours été suffisante pour que l'on ait $ETP = ET$. La différence est probablement due à la période très sèche du 20 Juillet à la fin Août 1976.

Cette valeur d'évapotranspiration, représentant 35% des précipitations est très inférieure aux valeurs régionales habituelles, qui sont de plus de 50%. Elle serait à rapprocher des valeurs trouvées par J.P. VINTER dans le Vercors : (AUTRANS : TURC = 35%, COUTAGNE 2 = 33%, THORNTHWAITE = 41%) ; ou par M.MICHEL dans le massif de Belledonne : (THEYS : THORNTHWAITE = 35%).

CHAPITRE II

ETUDE DES COURS D'EAU

CHAPITRE II

ETUDE DES COURS D'EAU

I - INTRODUCTION

Mis à part quelques ruisseaux locaux, les cours d'eau qui intéressent la région étudiée ont la majeure partie de leur bassin versant à l'extérieur de notre terrain. Aussi, la distinction classique en bassins versants ne pourra être faite et l'étude des cours d'eau consistera à déterminer les variations annuelles de leur débit et de leur type d'alimentation au cours de l'année, afin d'examiner leurs rapports avec les nappes aquifères superficielles de la région.

Cette étude a comporté des mesures mensuelles de résistivité et de température, des estimations de débit, et des prélèvements d'échantillons d'eau.

Le réseau des points d'observation est indiqué dans la figure 70 ci-dessous.

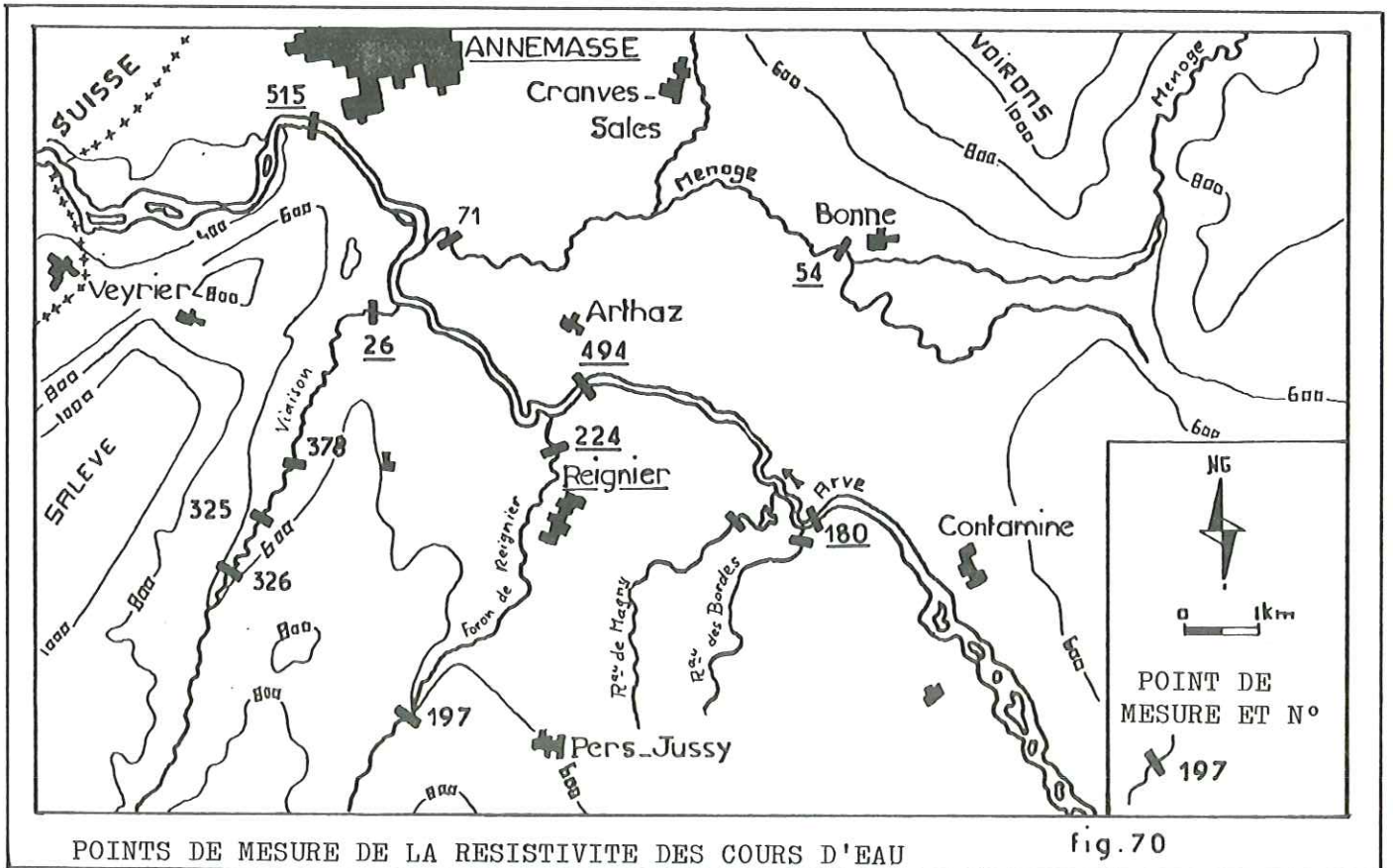
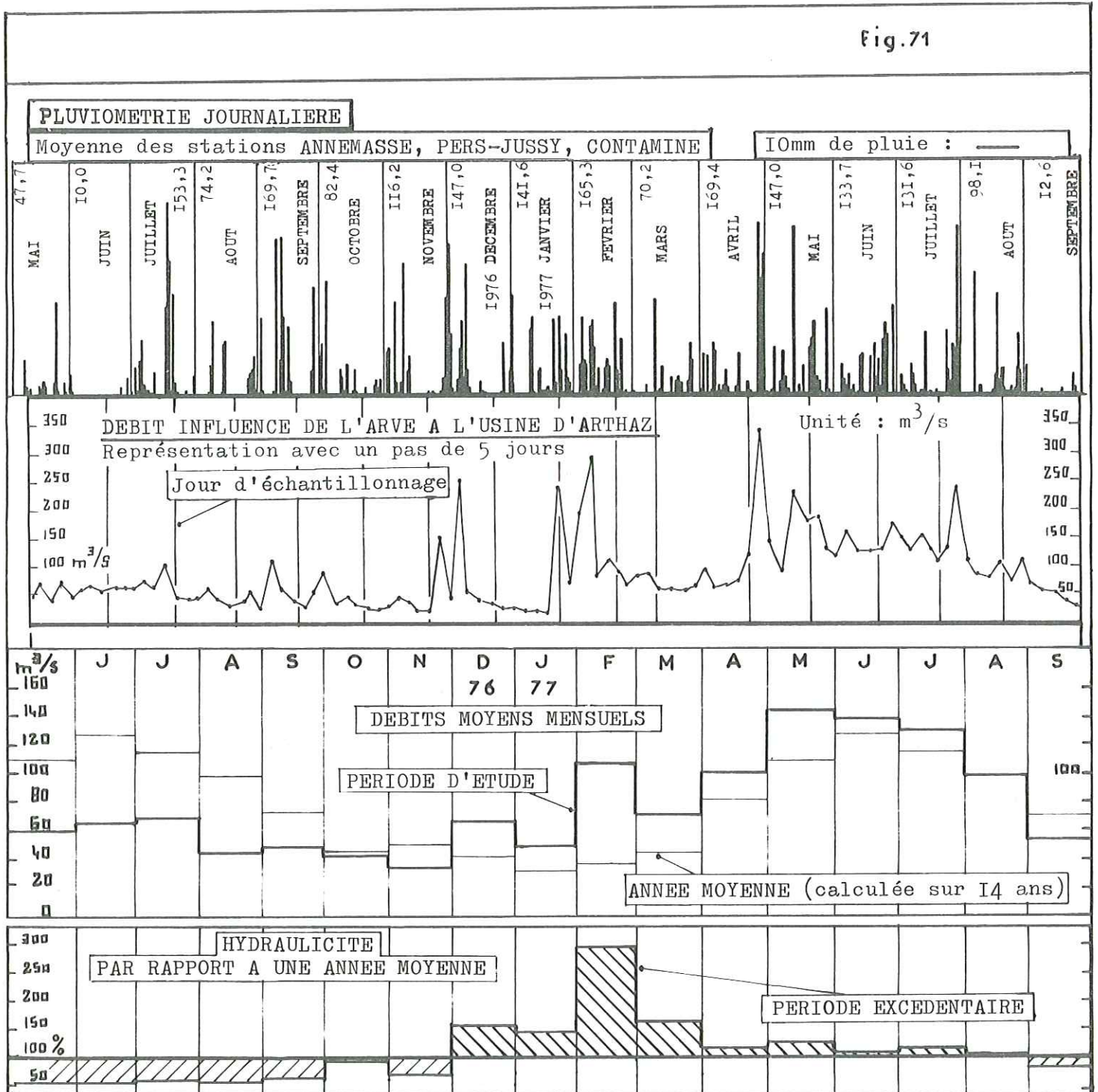


Fig.71



La zone que nous avons étudiée est traversée par deux types de cours d'eau : l'Arve, d'une part, et les "cours d'eau locaux", d'autre part.

Ces deux catégories se distinguent ou même s'opposent sur plusieurs plans : dimensions, évolution mensuelle des débits, évolution mensuelle de la résistivité.

I I - DIMENSIONS

1) L'ARVE.

C'est une rivière torrentielle d'environ 100 km de long, dont le bassin versant est de 1665 km² à l'usine d'ARTHAZ.

Son débit moyen annuel est de 71,5 m³/s (sur la période 1961 - 1975).

2) LES COURS D'EAU LOCAUX.

Ils se placent à une échelle très inférieure :

- Le plus important d'entre eux, la Menoge, a une longueur inférieure à 30 km. Son bassin versant est d'environ 90 km² et son débit moyen annuel est de l'ordre de 3 m³/s.

- Les autres cours d'eau locaux ne sont que des ruisseaux de moins de 10 km de long.

I I I - EVOLUTION MENSUELLE DES DEBITS

1) L'ARVE.

Nous avons pu disposer des données de l'usine hydro-électrique d'ARTHAZ, équipée d'un limnigraphe et d'un seuil déversant de 2,7m de haut.

Le diagramme de la figure 7I montre l'évolution annuelle des débits de l'Arve avec un pas de 5 jours, ainsi que les différents débits mensuels observés et moyens (moyenne sur la période 1961 - 1975). Le coefficient d'hydraulicité indiqué est le rapport du débit mensuel observé sur le débit mensuel d'une année moyenne (calculé sur la période 1961 - 1975). La pluviométrie locale est aussi indiquée.

On voit qu'il y a une bonne corrélation entre les pluies observées sur le terrain étudié et le débit de l'Arve. On remarque aussi que les crues de cette rivière sont très "pointues", ce qui souligne son caractère torrentiel.

Par rapport aux données d'une année moyenne, les débits de l'Arve sont déficitaires de près de 50% jusqu'au mois de Novembre 1976 où se produit l'étiage.

Du mois de Décembre 1976 au mois d'Août 1977, les débits mensuels

sont excédentaires, et le coefficient d'hydraulicité est supérieur à 100%. Il atteint 280% au mois de Février, doux et très pluvieux.

Les débits maxima sont observés dès le mois de Mai, où l'on note plusieurs crues importantes dues aux très fortes pluies associées à la fonte des neiges en montagne.

Ces pointes de débit sont particulièrement intéressantes à repérer, car nous verrons qu'elles entraînent une alimentation de la nappe profonde du sillon de l'Arve.

2) LES COURS D'EAU LOCAUX.

Comme nous ne disposons pas de relevés limnigraphiques, les débits des cours d'eau locaux ont été estimés en relevant chaque mois le niveau d'eau par rapport à un repère fixe.

Ces niveaux ont été convertis en débits par une loi hauteur - débit établie par la "méthode du flotteur", après mesure approximative de la section d'écoulement.

Cette méthode grossière était cependant suffisante pour atteindre le but recherché : déterminer l'époque et l'ordre de grandeur des plus forts débits des cours d'eau locaux.

Le diagramme de la figure 72 montre l'évolution mensuelle des débits estimés pour les cours d'eau suivants : Menoge, Foron de REIGNIER, Viaison, Ruisseau des Bordes, Ruisseau de MAGNY.

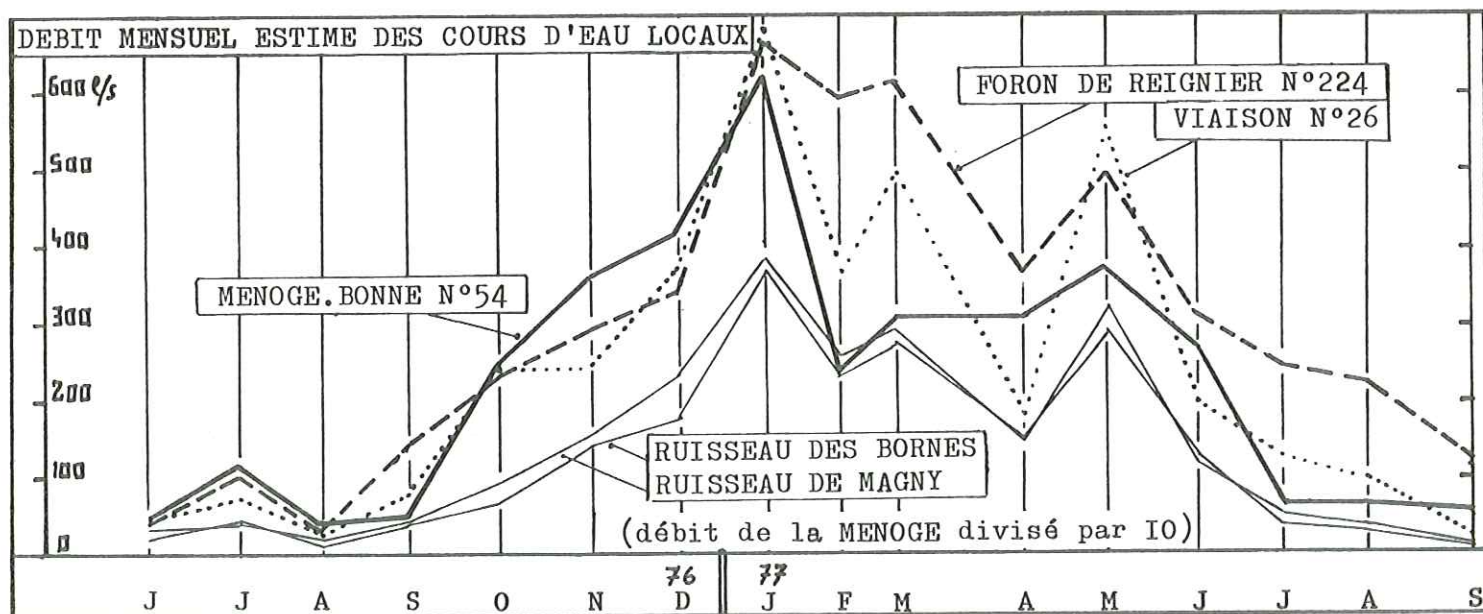
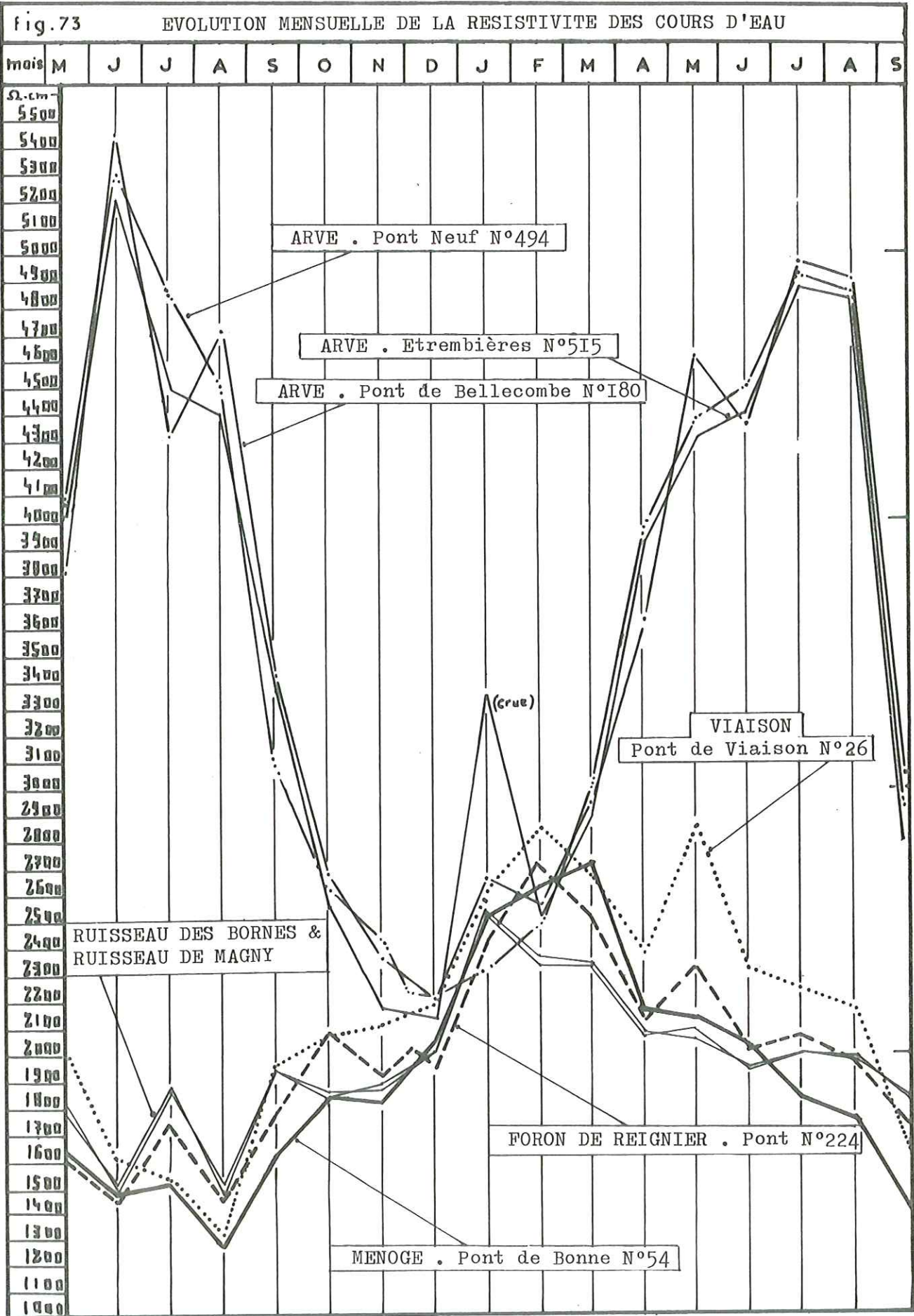


fig. 72

On constate que l'étiage s'est produit dès les mois de Juin et Août 1976 alors qu'il ne s'est produit qu'en Septembre en 1977 à cause de l'été très pluvieux.

Les débits maxima sont observés fin Janvier et en Mars, au moment



du redoux qui a entraîné la fonte des neiges locales.

I V - E V O L U T I O N M E N S U E L L E D E L A R E S I S T I V I T E

La résistivité permet de caractériser rapidement la minéralisation globale d'un cours d'eau.

En associant ces mesures avec des analyses chimiques, on dispose d'indications sur la provenance des eaux, leur degré de pollution etc.

1) L'ARVE.

Le diagramme de la figure 73 montre l'évolution mensuelle de la résistivité de l'Arve en trois points d'observation : Pont de Bellecombe, Pont Neuf, Pont d'Etrembières.

On constate une très grande variabilité de la résistivité : près de 3400 ohm.cm, ce qui dénote d'importants changements saisonniers dans l'alimentation du cours d'eau.

Le maximum est atteint en Juin. Il correspond à une proportion maximale d'eau de fonte des neiges et glaces issue de la partie haute du bassin versant.

L'automne amène une chute spectaculaire de la résistivité, qui rejoint celle des cours d'eau locaux. Cela correspond à l'arrêt de l'alimentation par fonte des neiges.

Le minimum, 2100 ohm.cm, est atteint en Décembre.

Jusqu'au mois de Mars, l'Arve suit l'évolution des cours d'eau locaux. A partir d'Avril, alors que la résistivité de ces derniers diminue sous l'effet de l'évaporation, la résistivité de l'Arve, elle, augmente considérablement sous l'influence de la fonte des neiges.

2) LES COURS D'EAU LOCAUX.

Le diagramme de la figure 73 montre l'évolution mensuelle de la résistivité de cinq cours d'eau locaux : La Menoge, le Foron de Reignier, le Vi-aison, le Ruisseau des Bornes et le ruisseau de Magny.

Tous les cours d'eau locaux suivent une évolution semblable.

L'amplitude annuelle de variation de la résistivité est de 1500 ohm.cm ce qui représente moins de la moitié de celle de l'Arve.

Le minimum de résistivité est observé au mois d'Août 1976. Il coïncide avec le minimum des débits, et correspond à une forte concentration en ions

causée par le manque de pluies et l'évaporation intense à la fin de la période chaude et sèche.

Les fortes précipitations de l'automne 1976 amènent une augmentation de résistivité. Celle-ci passe par un maximum durant les mois de Février et Mars 1977, où les débits sont élevés. Les crues du mois de Mai se traduisent aussi par un pic de résistivité.

Malgré une forte pluviosité, la résistivité baisse avec l'arrivée des périodes chaudes de l'été. Le minimum se produit avec l'étiage de la fin du mois de Septembre 1977, très sec.

V - R E L A T I O N R E S I S T I V I T E - D E B I T D E S
C O U R S D ' E A U

1) L'ARVE.

Le diagramme de la figure 74 montre que la relation résistivité-débit n'est pas nette : aux fortes résistivités peuvent correspondre des débits extrêmement variables. Cela confirme l'existence de différentes sources d'alimentation de la rivière.

En été, la fonte des neiges et des glaces soutient le débit de l'Arve en apportant une eau à très forte résistivité. En cette saison, les crues dues aux orages amènent une baisse de résistivité.

En hiver, par contre, le débit est surtout influencé par les cours d'eau locaux, et les crues amènent une augmentation de résistivité.

Le diagramme résistivité - débit met aussi en relief le contraste entre les années 1976 et 1977 : les débits beaucoup plus forts de l'année 1977 "étirent" considérablement le polygone décrit par le point résistivité - débit.

2) LES COURS D'EAU LOCAUX.

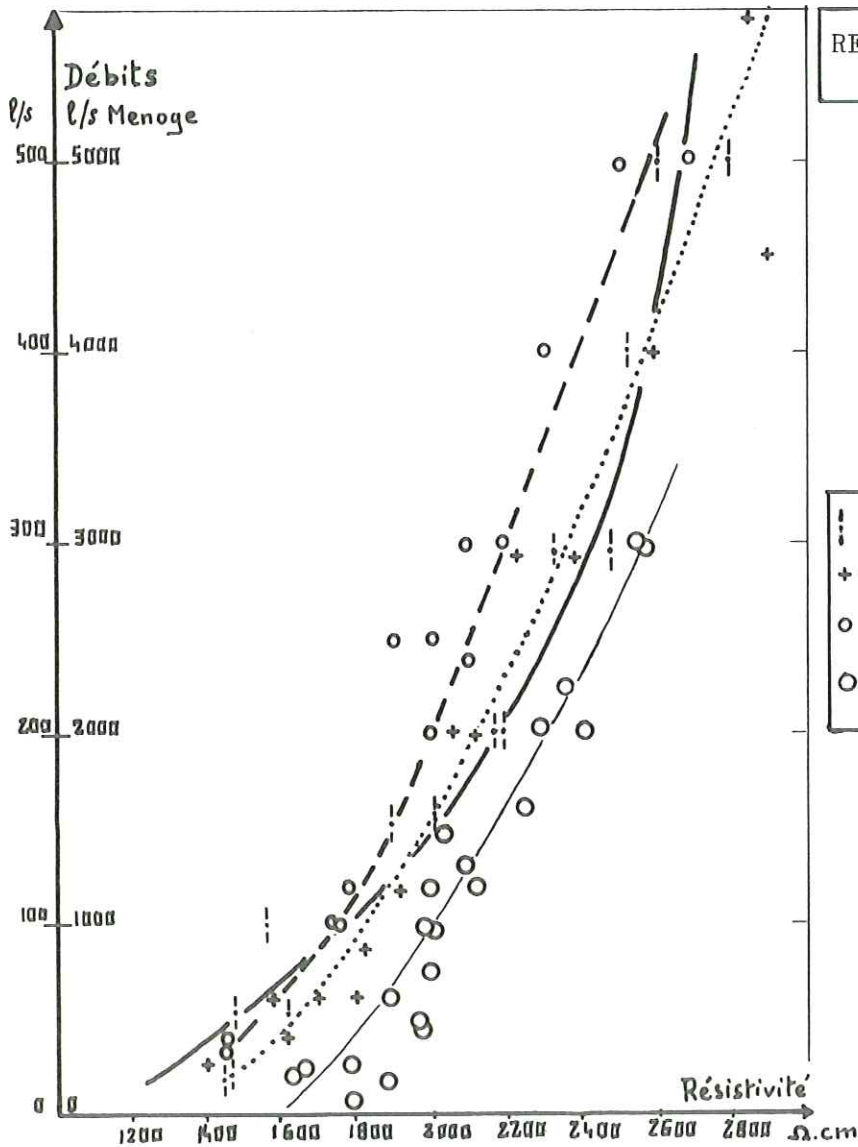
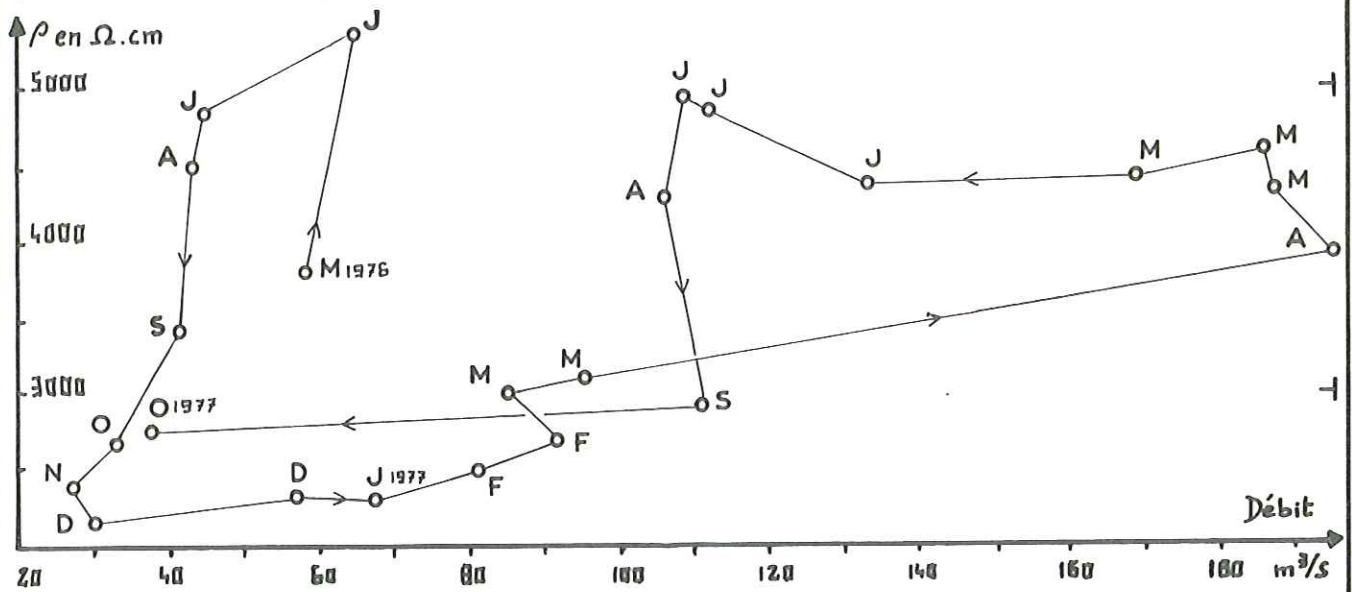
Le diagramme de la figure 74 montre qu'il existe une relation très nette entre la résistivité et le débit de chacun des cours d'eau locaux ; et cela malgré la grande imprécision des mesures de débit.

Nous avons donc confirmation que, durant toute l'année, nous avons le schéma suivant :

- Une alimentation "de base", régulière, à faible résistivité, qui est bien observable en temps de sécheresse et correspond à l'apport des eaux souterraines.

- Une alimentation très variable, à forte résistivité,

EVOLUTION MENSUELLE DE LA RELATION RESISTIVITE-DEBIT : CAS DE L'ARVE



RELATION RESISTIVITE-DEBIT COURS D'EAU LOCAUX

- MENOGE A BONNE
- +..... VIAISSON
- - - - FORON DE REIGNIER
- — RUISSEAUX DE BORDES ET DE MAGNY

fig. 74

agissant comme une dilution, et qui correspond à la part du débit directement liée aux précipitations.

VI - RELATION ENTRE LA RESISTIVITE DES COURS
D'EAU ET CELLE DES NAPPES.

1) BUT DE L'ETUDE DE CETTE RELATION.

Pour un bassin versant donné, les résistivités mensuelles des ruisseaux exutoires et des nappes superficielles suivent une évolution semblable.

En utilisant le réseau très dense de points de mesure que nous avons mis en place dans la plaine de REIGNIER, nous avons voulu établir quelle forme prenait, durant l'année, la relation entre la résistivité des nappes et celle des cours d'eau.

2) METHODE EMPLOYEE.

a - Principe.

Pendant un mois donné, les nappes superficielles qui alimentent les cours d'eau délivrent une eau dont la résistivité moyenne est déterminable par le relevé mensuel d'un grand nombre de points d'observation.

Si la résistivité mensuelle des ruisseaux est supérieure à celle des nappes, c'est qu'il y a dilution par un apport d'eau plus résistante provenant des précipitations.

b - Calcul de la minéralisation moyenne des nappes (Mn), et de celle des ruisseaux (Mr).

La connaissance mensuelle de la minéralisation des nappes nécessiterait de nombreuses analyses chimiques ; aussi nous n'avons mesuré que la résistivité des eaux, mais en de nombreux points, puis utilisé la relation résistivité - minéralisation établie à l'aide d'environ 200 analyses chimiques effectuées dans le cadre de l'étude hydrochimique. (voir figure 75)

3) MISE EN OEUVRE.

a - Cours d'eau.

Nous nous sommes intéressés aux ruisseaux des Bordes et de Magny, dont les bassins versants ont une superficie totale de 9 km² environ.

Les résistivités mensuelles de ces cours d'eau sont semblables et suivent une évolution parallèle.

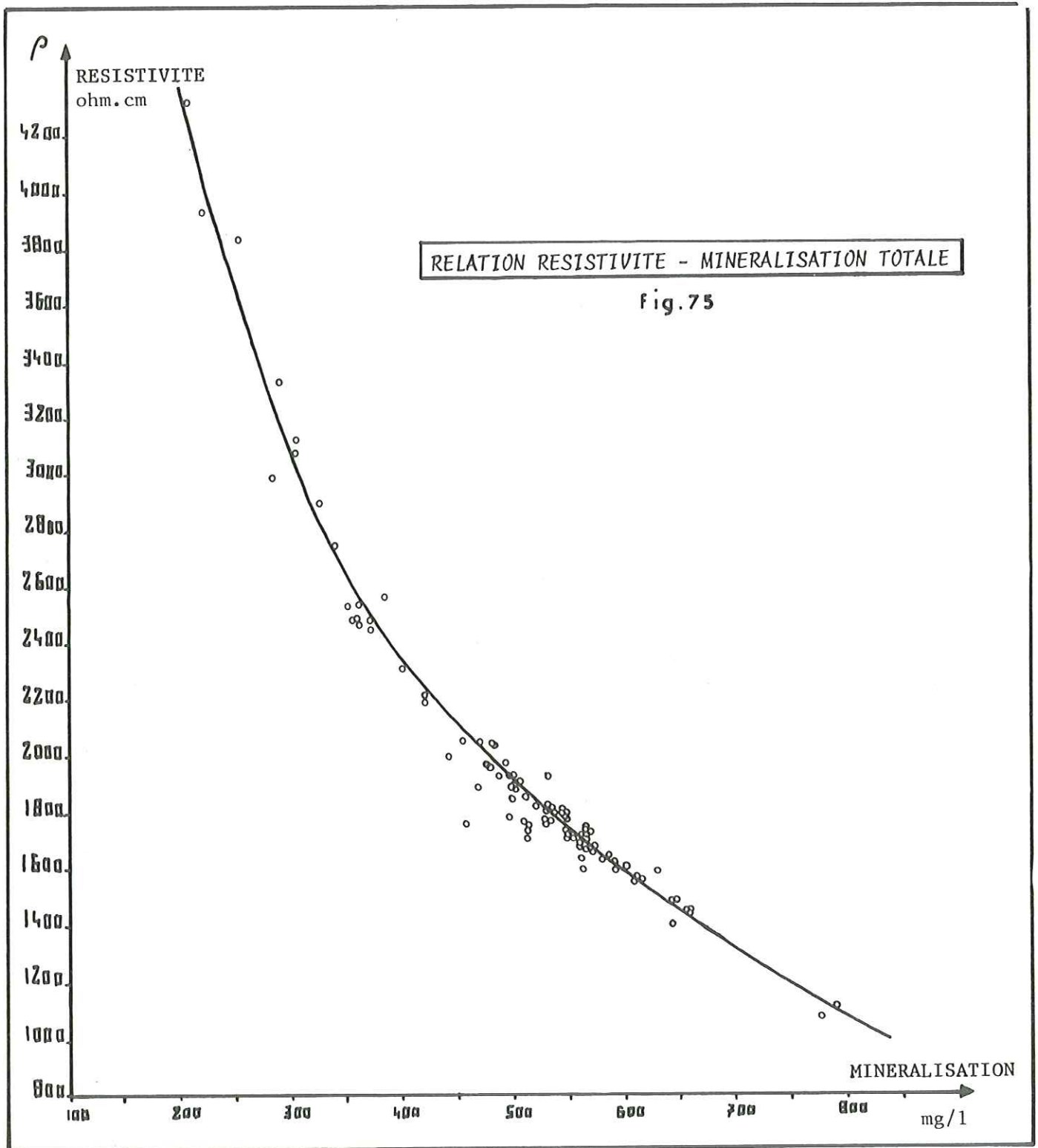
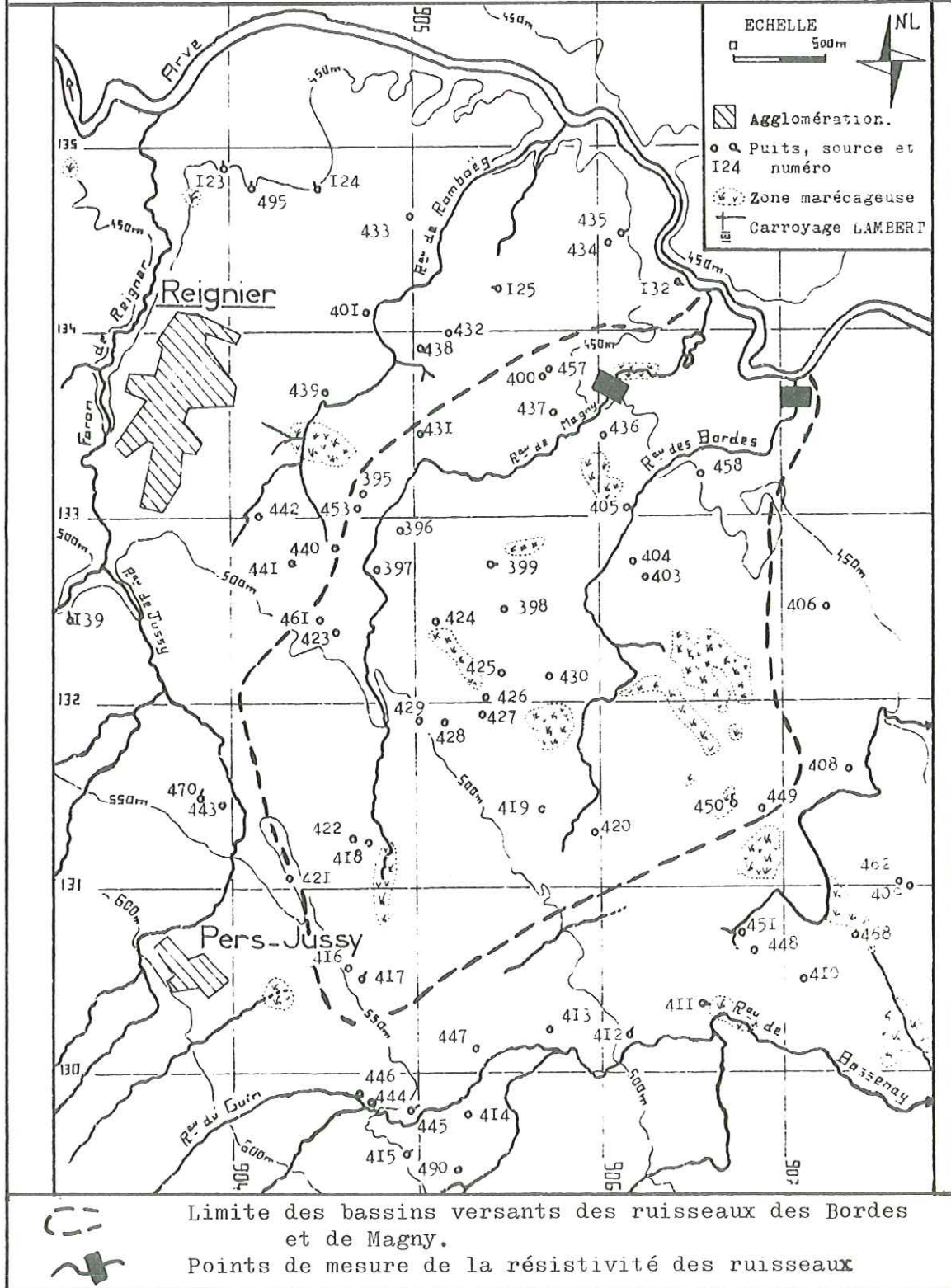


fig. 76

REGION DE REIGNIER - RESEAU DES POINTS D'OBSERVATION



b - Evaluation de la minéralisation mensuelle moyenne des nappes : Mn.

Elle a été faite en mesurant la résistivité dans 30 points d'eau , sources et puits, situés dans le bassin versant des deux ruisseaux. Ce réseau d'observation est indiqué sur la figure 76 . La valeur de Mn prise en compte est la moyenne de ces 30 mesures.

c - Evaluation de la minéralisation mensuelle des ruisseaux : Mr.

La résistivité a été mesurée chaque mois aux points suivants :

- Ruisseau des Bordes X=907,1 Y=133,7
- Ruisseau de Magny X=906,0 Y=133,5

La moyenne de ces deux mesures a été prise comme valeur mensuelle.

REMARQUE : Les observations ont été faites en dehors des jours de pluie, et en fin de tournée des points d'eau des deux bassins versants.

4) RESULTATS.

Ils sont consignés dans le tableau de la page I66 .

- On constate que durant les mois de Juin et Août de l'été 1976, la résistivité des cours d'eau est tombée au niveau de celle des nappes.

Pendant cette période particulièrement sèche, on peut donc vérifier que la totalité du débit des ruisseaux était fourni par les nappes aquifères superficielles. Au mois d'Août, la résistivité des cours d'eau était même légèrement inférieure à celle des nappes, ce qui confirme une évaporation intense.

- Pendant les mois où la pluviosité a été suffisante, en Juillet 1976 et de Septembre à Décembre de la même année, on remarque que la différence de minéralisation entre les nappes superficielles et les cours d'eau est très constante : 7 à 8%.

- En Janvier, Février et Mars 1977, en raison de la fonte des neiges, la différence entre Mn et Mr augmente brutalement et atteint 11 à 15%.

- Au mois d'Avril et jusqu'en été 1977, la situation redevient normale, avec une différence d'environ 7% entre la minéralisation des nappes et celle des cours d'eau. Seul, le mois de Septembre 1977, très sec, voit une baisse de cette différence à moins de 6%.

	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
RESISTIVITE MOY. DES NAPPES SUPERFICIELLES.	1499	1615	1525	1715	1578	1648	1702	1924	1834	1777	1776	1789	1706	1780	1700	1662
MINERALISATION MOY. DES NAPPES Mn	625	580	620	545	590	575	545	485	510	530	530	525	545	530	550	565
RESISTIVITE MENSUELLE DES COURS D'EAU	1500	1875	1500	1950	1850	1890	2000	2540	2350	2350	2072	2081	1946	2017	2000	1850
MINERALISATION DES COURS D'EAU Mr	625	500	625	475	510	495	465	390	390	390	450	445	480	465	465	505
DIFFERENCE ENTRE Mn et Mr	0%	7,4%	-0,4%	6,9%	7,3%	7,5%	7,9%	10,9%	13,3%	15,2%	8,2%	8,2%	6,3%	6,5%	8,4%	5,6%

V I I - A L I M E N T A T I O N D E L ' A R V E A P A R T I R D E S
C A L C A I R E S D U S A L È V E

- L'Arve, à proximité d'ETREMBIERES, effleure les calcaires crétacés du Salève à l'endroit où ils s'annoient sous la molasse.

Etant donnée la karstification importante qui affecte l'anticlinal du Salève, et le plongement axial de la structure vers le Nord-Est, il pouvait exister des venues d'eau à travers les alluvions récentes des berges de l'Arve.

De telles venues pouvaient être détectées, si elles étaient abondantes, par un profil de résistivité effectué le long des berges.

Il fallait, en outre, un contraste important entre les résistivités de la rivière et de la venue d'eau.

- Deux profils de 500m de long ont été faits, entre les points :

X = 901,2 Y = 138,0 et X = 900,8 Y = 138,5.

Le premier à l'étiage d'été, le 23 Juillet 1976, trois jours après de gros orages susceptibles d'avoir suralimenté le karst ; le second à l'étiage d'hiver, le 20 Décembre 1976.

. La résistivité n'a pas varié le long des deux profils, et aucune venue d'eau n'a pu être mise en évidence.

- En fait, l'Arve coule sur des argiles glaciaires qui sont périodiquement ramenées au jour par la drague installée à cet endroit. Si des venues d'eau existent, elles doivent alimenter la nappe captive profonde située sous les argiles et reconnue par plusieurs sondages. (voir chapitre suivant).

V I I I - C O N C L U S I O N A L ' E T U D E D E S C O U R S D ' E A U

1) TYPES DE COURS D'EAU.

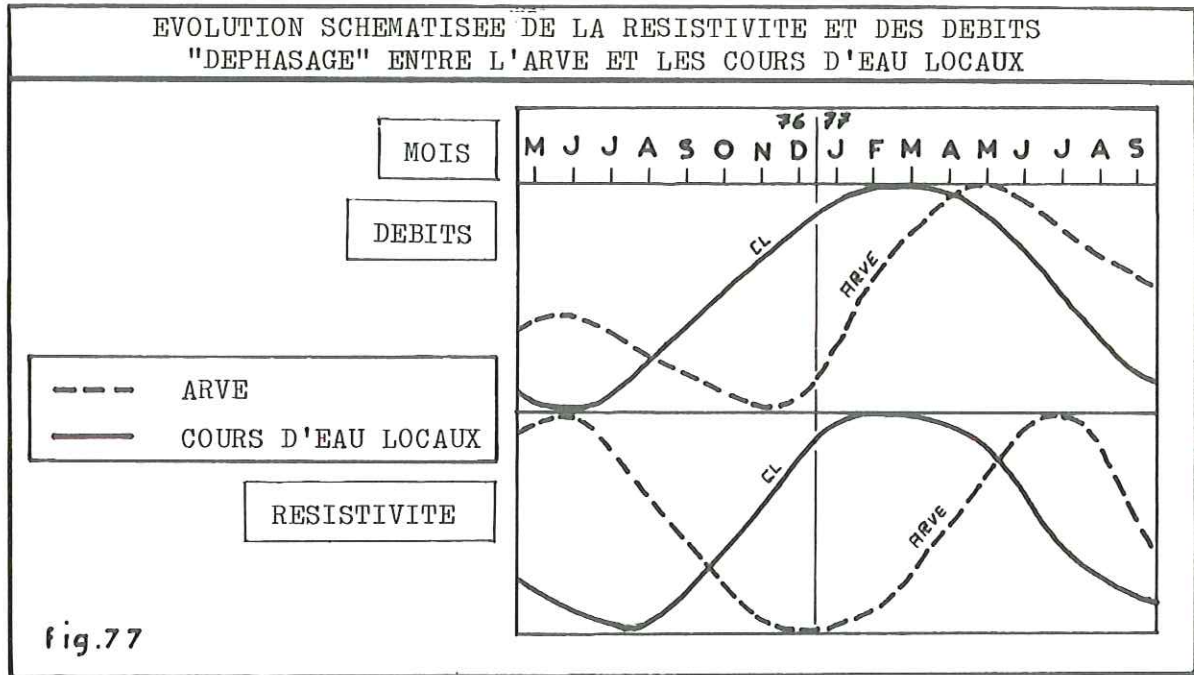
La basse vallée de l'Arve comporte deux types de cours d'eau : l'Arve et les "cours d'eau locaux", dont le comportement est souvent opposé.

La figure ci-dessous résume, pour la période étudiée, l'évolution des résistivités et des débits mensuels. (voir figure page 168).

2) RELATION RESISTIVITE - DEBIT.

Pour l'Arve nous avons constaté que la relation résistivité-débit variait constamment au cours de l'année, ce qui implique plusieurs sources d'alimentation.

Par contre, les cours d'eau locaux ont une relation résistivité-débit fixe, ce qui montre que leur mode d'alimentation ne varie pas au cours de l'année.



3) RELATION RESISTIVITE DES NAPPES - RESISTIVITE DES COURS D'EAU.

En étudiant les résistivités respectives des nappes de deux bassins versants et des ruisseaux exutoires, nous avons déterminé que pendant les mois à pluviosité normale (printemps, automne), la différence entre la minéralisation des nappes superficielles et celle des cours d'eau était très constante et proche de 7%. Pendant les mois très secs, cette différence diminue, et peut même s'annuler en temps de sécheresse prononcée. Au contraire, pendant les mois où la fonte des neiges se produit, cette différence augmente brusquement jusqu'à 11 ou 15%.

Pour expliquer ce phénomène, il faut admettre la présence de deux types d'alimentation des cours d'eau :

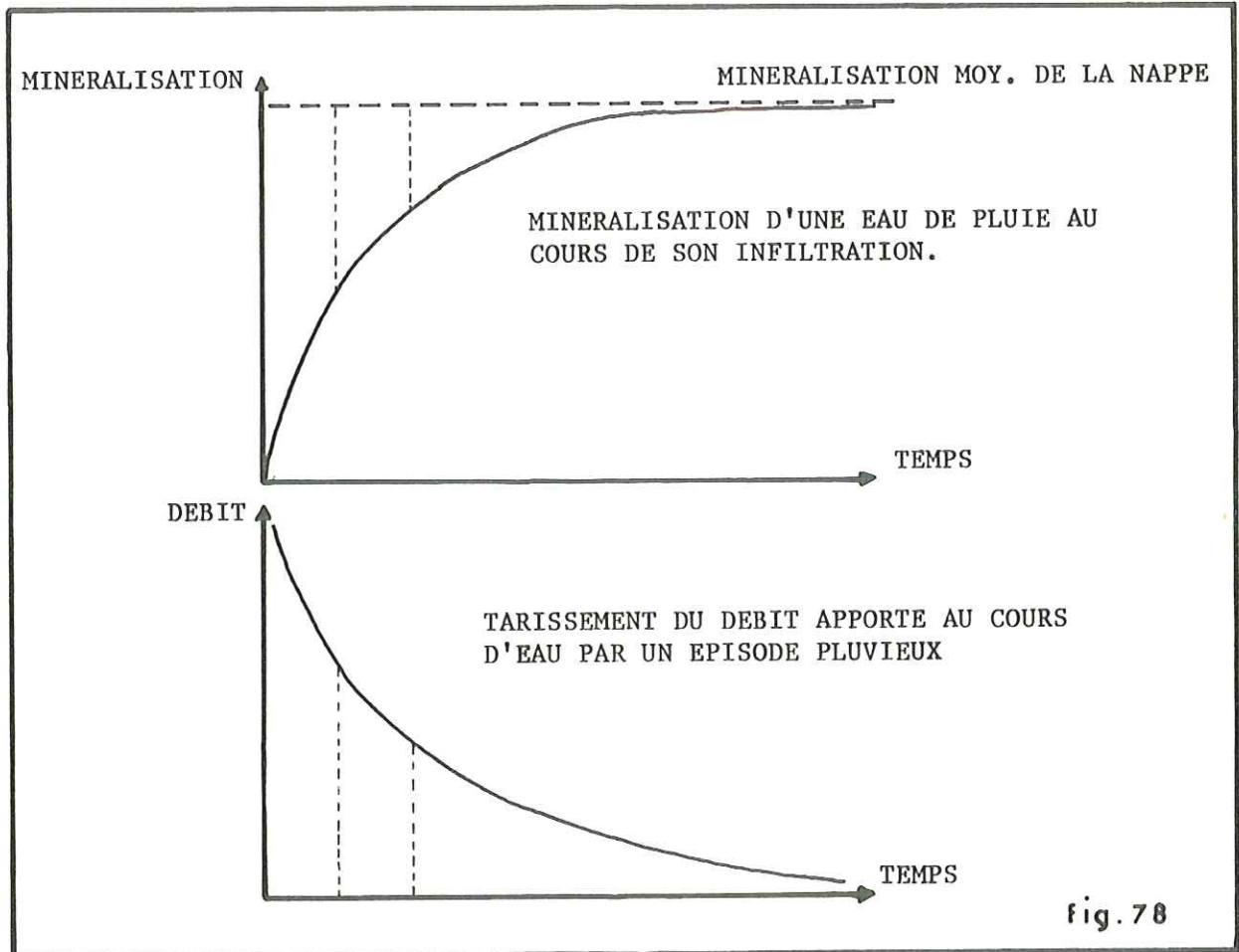
- Une alimentation régulière, de faible résistivité, issue des aquifères superficiels. C'est la seule qui subsiste en temps de sécheresse.
- Une alimentation moins régulière, liée plus directement aux précipitations, et correspondant à une eau ayant transité dans les couches très superficielles du sol.

Nous pensons, avec B.DELAQUAIZE, que cette seconde alimentation est caractérisée par une grande constance de la loi reliant :

- . la minéralisation rapide, dans le sol, de l'eau provenant des précipitations.
- . le tarissement progressif du débit qui est apporté au ruisseau par les couches très superficielles du sol, après un épisode pluvieux.

Ces deux phénomènes sont figurés dans le schéma ci-dessous.(figure 78)

Au début du printemps, la fonte des neiges perturbe sensiblement ce schéma, ce qui expliquerait le plus grand écart constaté pendant cette période entre les minéralisations des nappes superficielles et celle des ruisseaux.



CHAPITRE III

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

CHAPITRE III

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

- A - INTRODUCTION

I - METHODE UTILISEE

. Après avoir examiné l'évolution annuelle du régime des eaux superficielles, nous allons envisager l'étude des eaux souterraines, c'est à dire des différentes catégories de nappes aquifères présentes dans la basse vallée de l'Arve.

. Nous utiliserons une méthode semblable à celle du chapitre précédent puisque nous caractériserons chaque type de nappe par la manière dont évoluent mensuellement : la résistivité, le débit ou le niveau, et la température.

. Ce dernier paramètre prendra un peu plus d'importance que pour les eaux superficielles où les variations intéressantes étaient masquées par l'influence prépondérante de la température de l'air.

II - ROLE DE LA MOLASSE OLIGOCENE

. La molasse forme le substratum de toute la basse vallée de l'Arve.

. Du point de vue hydrogéologique, elle constitue un soubassement imperméable. En effet, seuls quelques suintements sont observés dans les affleurements molassiques, même les plus gréseux. A titre d'exemple, lors du percement de 4km de galeries techniques dans la molasse sous la ville de GENEVE, les venues d'eau se sont résumées à 0,3 l/s par kilomètre de galerie, malgré la présence de grès grossiers très diaclasés (G.AMBERGER 1976). De même, le forage réalisé par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières à NANT (X=903,65 Y=135,30) a traversé plus de 80m de molasse sans rencontrer de ressources exploitables.

. Cependant, bien qu'elle ne soit pas aquifère, nous verrons que la molasse exerce une influence sur la chimie des nappes qui la surmontent : les niveaux gypseux qu'elle contient induisent de fortes teneurs en sulfates dans les eaux qui circulent à son contact.

- B - ETUDE GÉNÉRALE DES NAPPES DE LA
BASSE VALLÉE DE L'ARVE.

I - NAPPES SUPERFICIELLES CONTENUES DANS
LES PLACAGES MORAINIQUES

. Sur les flancs de la vallée de l'Arve, le substratum est recouvert par des placages morainiques d'épaisseur irrégulière, fréquemment affectés de glissements plus ou moins actifs.

. Lorsqu'ils sont visibles en coupe, on peut constater que ces plaquages sont très hétérogènes : malgré une forte dominante d'argiles morainiques, on note souvent plusieurs niveaux lenticulaires sableux ou graveleux qui peuvent constituer l'aquifère de nappes superficielles. C'est le cas de nombreuses petites sources des flancs de la vallée de l'Arve.

. Une dizaine de sources ont été repérées, mais les paramètres résistivité, température et débit n'ont été relevés mensuellement que pour quatre d'entre elles :

	X	Y	Z
S100 VIAISON	901,5	136,4	460m
S493 CORLY	903,4	138,5	510m
S479 CHAMENOUD	908,3	141,2	970m
S455 YVRE	901,2	133,0	650m

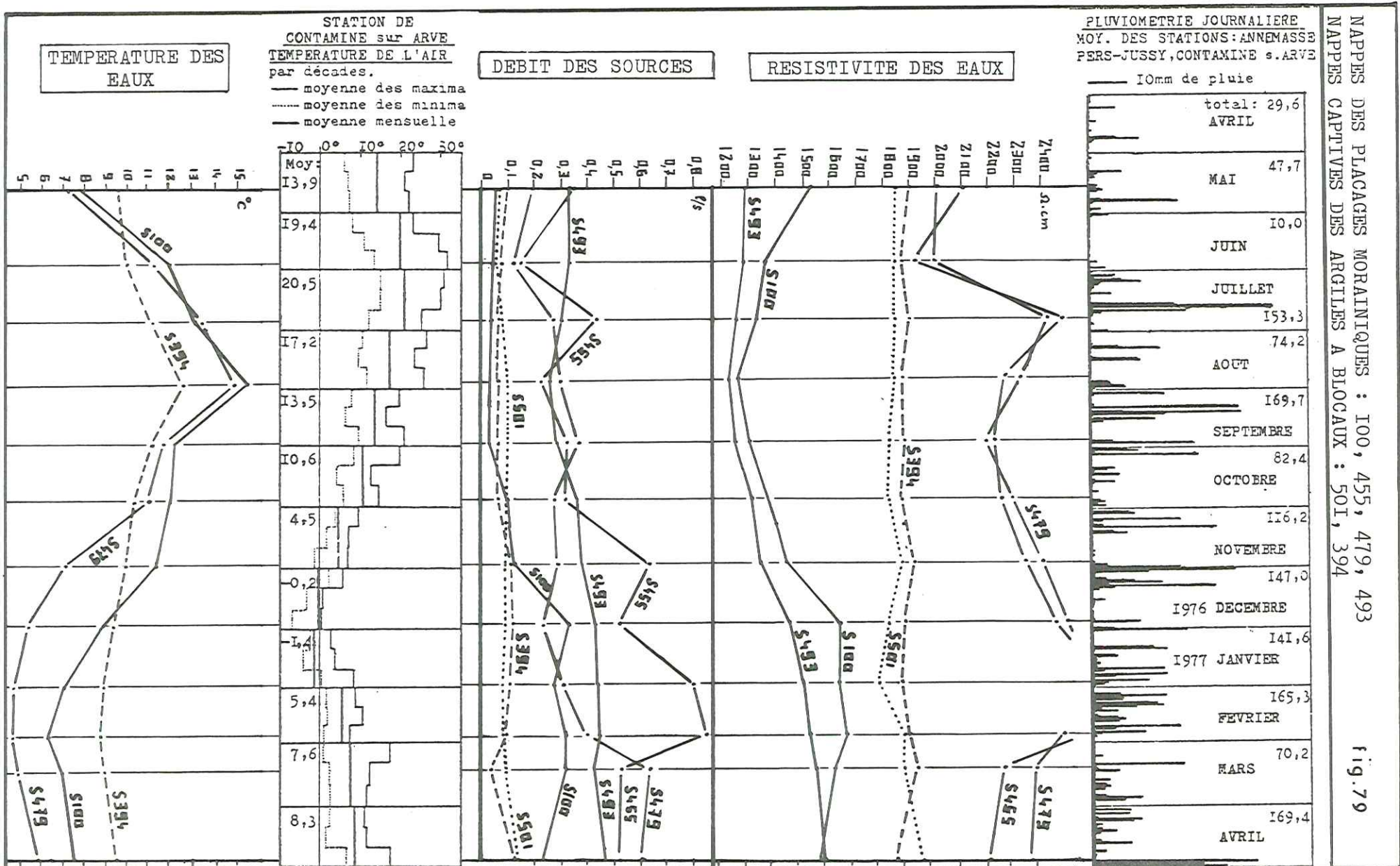
1) RESISTIVITE. (voir figure 79)

Les sources 455 et 479, dont l'altitude est la plus élevée, ont des résistivités fortes et très variables, ce qui montre que les aquifères sont très superficiels.

Les sources 100 et 493 ont une résistivité plus faible, régularisée par la présence de couches d'argile surmontant l'aquifère. La fonte des neiges, par exemple, ne se traduit pas par une augmentation brutale de la résistivité. On peut donc considérer ce type de source comme l'exutoire d'une nappe captive d'extension réduite.

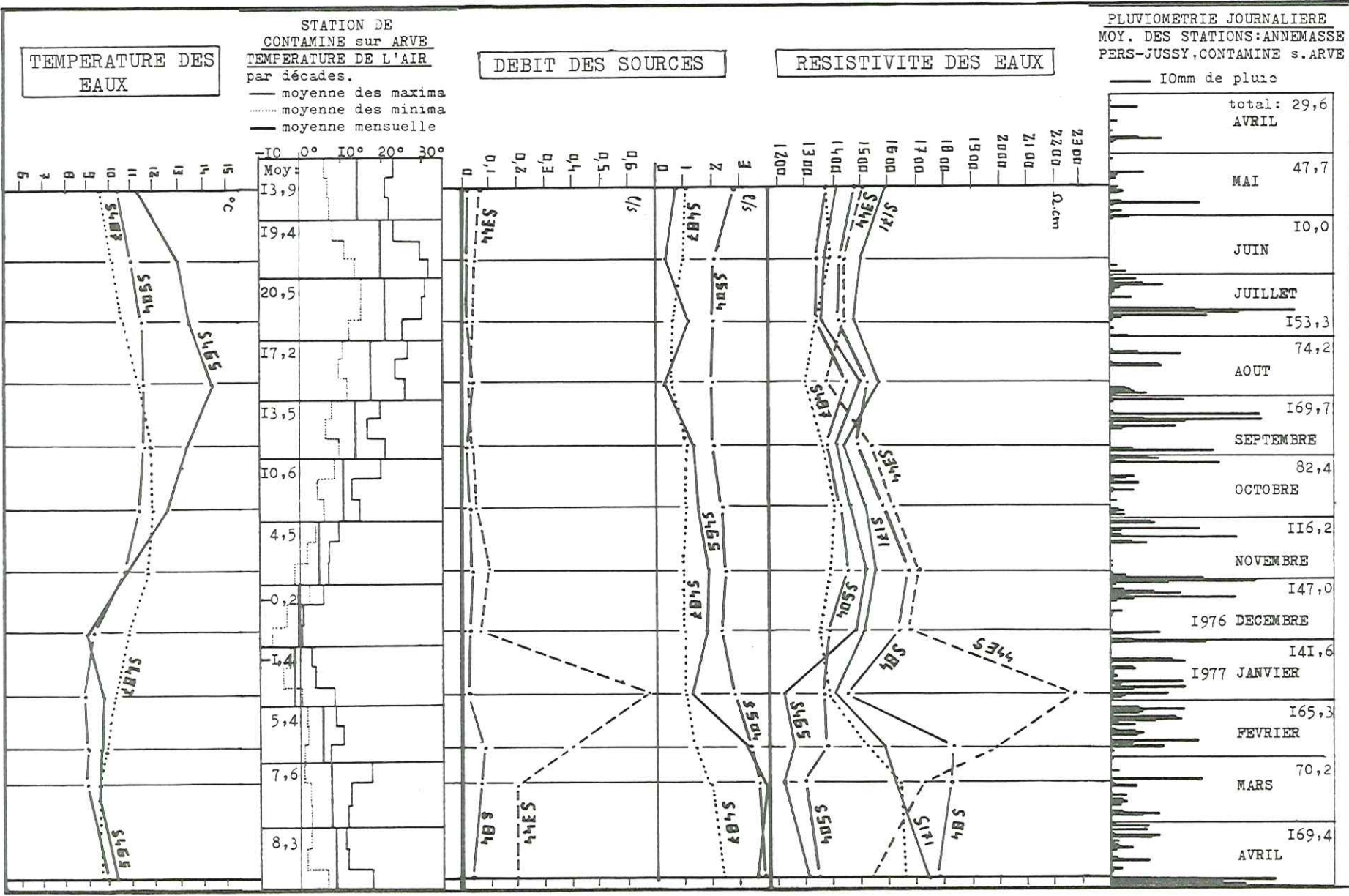
2) DEBIT.

Les débits sont modestes, inférieurs au litre par seconde, et présentent une grande variabilité (d'un facteur 5 à 8), ce qui traduit la faiblesse des réserves de ces aquifères et les limite à des usages agricoles comme l'abreuvement des animaux.



NAPPES DES PLACAGES MORAINIQUES : 100, 455, 479, 493
 NAPPES CAPTIVES DES ARGILLES A BLOCAUX : 501, 394

Fig. 79



TERRASSE D'ARTHAZ : 504, 465
 SOURCES LIEES AU SUBSTRATUM : 487, 344
 TERRASSE DE LA BERGUE : 171
 TERRASSE DE TUNIER : 84

Fig. 80

Seule la source 493, plus régulière (variabilité 2), correspond à un aquifère utilisable.

3) TEMPERATURE.

Même lorsqu'elles ont pu être relevées au griffon de la source (100 et 479), les températures sont très variables et reflètent les changements de température de l'air avec un faible amortissement. Cela confirme le caractère très superficiel de ces aquifères.

I I - P E T I T E S N A P P E S C A P T I V E S D A N S L E S A R G I L E S A B L O C A U X

. D'importantes masses d'argiles à blocs constituent la partie inférieure des terrasses fluvioglaciales. Ces argiles affleurent dans les profondes entailles creusées par les cours d'eau dans ces formations.

. Quelques horizons lenticulaires sableux, limoneux ou graveleux contiennent de petites nappes captives donnant des sources de débit très faible, inexploitable, mais responsables de nombreux glissements de terrain.

. Cinq sources de ce type ont été répertoriées, mais seulement deux ont été suivies mensuellement :

	X	Y	Z
S394 MENOGE	902,3	137,3	420m
S501 ARTHAZ AUTOROUTE	901,7	137,2	455m

1) RESISTIVITE. (voir figure 79)

Elle est généralement assez élevée pour des sources de ce type : 1800 à 1900 ohm.cm, et remarquablement constante dans l'année.

Ces aquifères paraissent être entièrement isolés des variations pluviométriques.

2) DEBIT.

Il est régulier et faible: 0,05 à 0,1 l/s. Certains écarts de débit paraissent dûs aux changements des conditions d'émergence selon l'état du glissement de terrain fréquemment associé à la source. En particulier, le griffon de la source 394 a changé plusieurs fois de place durant l'année.

L'alimentation de ces aquifères se fait certainement par lente infiltration à partir des eaux de surface ou des aquifères qui surmontent les argiles à blocs.

3) TEMPERATURE.

Les températures sont assez constantes dans l'année. Les variations sont dûes au très faible débit de ces sources : la température de l'eau est alors aisément influencée par la température de l'air et des terrains à proximité de l'émergence.

III - NAPPES DES TERRASSES FLUVIOGLACIAIRES

. Les formations sablo-graveleuses des terrasses fluvio-glaciaires les plus importantes contiennent des nappes libres qui sont souvent exploitables :

- Terrasse de LOEX 520m
- Terrasse d'ARTHAZ 480m
- Terrasse de TURNIER 430m

. Le mur imperméable est constitué par les argiles à blocs sous-jacentes. Les exutoires de ces nappes sont des sources de débordement apparaissant en bordure de ces terrasses, au contact avec les argiles.

. Cinq sources ont été repérées, et quatre d'entre elles ont été suivies mensuellement :

	X	Y	Z	TERRASSE
SI7I EOLIENNE	907,0	137,3	510m	LOEX
S465 PONT AUTOROUTE	901,7	137,3	460m	ARTHAZ
S504 ABREUVOIR ARTHAZ	903,6	136,1	450m	ARTHAZ
S84 TURNIER	902,9	135,4	425m	TURNIER

1) NAPPE DE LA TERRASSE DE LOEX.

L'aquifère de cette nappe perchée s'étend de part et d'autre de la Menoge, dans les sables, graviers et conglomérats de la terrasse de 520m. Seule la partie située à proximité de LOEX contient des ressources exploitables.

Avant d'être entaillée par la Menoge, la nappe était beaucoup plus importante. En effet, à 6m environ sous la surface de la terrasse, on rencontre un épais niveau d'alluvions cimentées en conglomérat. Il correspond à une ancienne zone de battement de la nappe. Actuellement, à proximité de LOEX, la nappe n'a qu'une épaisseur d'un mètre, et son exutoire, la source I7I ne délivre qu'un litre par seconde. Cette source est captée par un puits suivi d'une galerie drainante.

a - Résistivité. (voir figure 80)

Elle varie d'une manière progressive le long de l'année, en suivant les précipitations. L'alimentation se fait par infiltration directe. Elle a surtout lieu à la fonte des neiges et durant le printemps.

La sécheresse de l'été 1976 s'est traduite par une baisse sensible de résistivité, interrompue au mois d'Août par l'effet retardé des pluies de Juillet.

b - Débit et température.

Ces paramètres ne sont pas mesurables, en raison des pompages fréquents et de l'impossibilité d'accès au griffon.

2) NAPPE DE LA TERRASSE D'ARTHAZ - LE PONT.

Cette nappe, de 2,5 km² de superficie, est limitée de trois côtés par les vallées, profondément entaillées, de l'Arve et de la Menoge.

Le mur imperméable est formé par les argiles à blocs qui affleurent dans les ravins bordant la terrasse, et dans la région de LA FORGE où elles forment un vaste plan incliné où les eaux ruissellent avant de s'infiltrer dans la nappe. Cette alimentation latérale est faible, si bien que l'on peut considérer la nappe d'ARTHAZ comme une nappe libre perchée, alimentée essentiellement par infiltration directe.

La morphologie du mur imperméable est complexe, comme on peut s'en rendre compte au niveau des gravières de l'affleurement 70. Cependant, on peut déterminer un chenal orienté SE - NW suivant lequel l'épaisseur des graviers est maxima. A ce chenal correspondent deux directions de drainage : l'une, naturelle, est matérialisée par la source 504 ; l'autre, artificielle, est formée par la profonde tranchée de l'Autoroute Blanche, responsable de la source 465 à l'extrémité NW de la terrasse.

Le niveau de la nappe est sensiblement à 10m de profondeur. Au puits N° 471 (ARTHAZ), son épaisseur est de 1,5m.

a - Résistivité. (voir figure 80)

Les sources 465 et 504 ont des évolutions semblables. Les résistivités sont basses et varient assez peu, du moins à la source 504.

La source 465, par contre, est influencée par les déversements de sel sur l'autoroute, à partir du mois de Décembre.

Au mois de Février, l'épandage d'engrais annule les effets de la fonte des neiges, et fait même baisser la résistivité de la source 504.

La quantité importante d'engrais utilisée dans cette zone

très maraichère maintient une résistivité faible, jusqu'au mois de Juillet , à partir duquel une remontée s'amorce.

b - Débit.

Les sources 465 et 504 ont une évolution comparable.

Les débits varient peu, surtout au niveau de la source 504 qui n'est pas influencée par les drainages de l'autoroute et présente un coefficient de variabilité inférieur à 2. Mais, durant la sécheresse de l'été 1976; les pompages destinés à l'irrigation ont accentué la baisse de débit.

c - Température.

Le griffon de la S465 est inaccessible et les mesures, effectuées dans un tuyau d'évacuation sont peu précises et montrent des variations exagérées.

Au griffon de la source 504, par contre, l'amplitude annuelle de variation n'est que de 2,5°C, ce qui, associé à la constance du débit, indique un temps de séjour assez long, de bonnes réserves et une alimentation régulière.

I V - S O U R C E S L I E E S A U C O N T A C T C A L C A I R E S D U
S A L È V E - M O L A S S E .

. Trois sources ont été repérées à proximité de la terminaison Nord-Est du Salève :

	X	Y	Z
S344 BAS-MORNEX	901,2	137,3	490m
S345 FAUBOURG SUP.	901,0	137,9	450m
S487 FAUBOURG	901,1	138,1	410m

. Les sources 344 et 345 sont captées . Le griffon véritable de la source 487 n'est pas accessible car l'émergence se fait à travers le remblai de l'Auto-route Blanche.

. Seules les sources 344 et 487 ont été suivies mensuellement. La source 345, qui émerge 40m au dessus de la source 487, a même origine qu'elle.

. C'est principalement par leur chimisme que ces sources se distinguent. Elles sont bicarbonatées calciques , assez fortement sulfatées, et incrustantes. Elles sont liées au contact entre le calcaire urgonien du Petit Salève et la molasse qui le recouvre en transgression. Ce contact se fait par l'intermédiaire du "poudingue de MORNEX", d'âge probable Rupélien, dont l'épaisseur atteint 30m. Cette formation est aquifère, elle se compose de galets de calcaire crétacé supérieur et de silex ; le ciment est calcaire, très grossier.

. A BAS-MORNEX, la molasse qui surmonte ce conglomérat est imperméable,

mais les niveaux gypseux associés aux couches marneuses contaminent les eaux de l'aquifère conglomératique et donnent un caractère sulfaté aux eaux des sources.

. Cet ensemble de terrains est faillé, notamment par le petit accident du château d'ETREMBIERES, bien visible sur photographies aériennes, et qui est probablement responsable des sources 487 et 345. La source 344 est liée à un accident plus méridional, sensiblement parallèle.

. Des formations quaternaires complexes recouvrent ce substratum; elles comprennent un lambeau de terrasse fluvioglaciale à 480m et des fragments de moraines latérales plus ou moins argileuses.

1) SOURCE 344 BAS-MORNEX.

a - Résistivité. (voir figure 80).

Durant l'été et l'automne 1976, la résistivité augmente modérément. Les variations pluviométriques sont très amorties.

Au mois de Décembre, une légère baisse de résistivité a lieu, due à une alimentation plus faible.

A la fin du mois de Janvier, la résistivité présente un pic très important lié à la fonte de la couverture neigeuse. A proximité de la source, les terrains quaternaires, ordinairement secs deviennent aquifères. Leur influence sur la résistivité de la source se fait sentir jusqu'au mois d'Avril.

Durant le mois de Mai, de très fortes pluies ont lieu, entraînant un nouveau pic de résistivité ; et dès le mois de Juin on constate un retour à une résistivité "de base", sensiblement constante.

b - Débits.

Ils reflètent fidèlement les variations de résistivité.

En temps normal, ils sont compris entre 0,04 et 0,2 l/s, soit une variabilité de 5.

Le débit minimum est enregistré en Octobre, après la sécheresse de 1976. Une légère diminution a lieu en Décembre, sans doute à cause d'une réduction de l'infiltration (sol gelé).

La fonte des neiges et les pluies du mois de Mai se traduisent par deux pics importants, avec un rapide retour au débit de base.

c - Températures.

Le véritable griffon de la source n'étant pas accessible, les variations de température sont anormalement fortes.

2) SOURCE 487. FAUBOURG.

a - Résistivité. (voir figure 80).

Durant l'été et l'automne, elle suit une évolution sensiblement identique à celle de la source 344. Par contre, la fonte des neiges de la fin Janvier ne se fait sentir que très progressivement, mais son influence persiste jusqu'à la fin de l'été. Il est probable que la fonte des neiges et les fortes précipitations du printemps rechargent une nappe contenue dans les terrains de recouvrement. Cet aquifère alimente en partie la source, et influence sa résistivité jusqu'à la fin de l'été.

b - Débits.

Ils présentent une très faible variabilité (inférieure à 2), ce qui dénote un aquifère étendu, alimenté régulièrement.

L'accroissement de la résistivité au printemps se traduit par une augmentation de débit qui demeure sensible jusqu'en Juillet.

c - Températures

Il n'a pas été possible de mesurer la température au griffon même de la source, mais au bout d'une canalisation de 15m de long.

Malgré cela, les températures sont remarquablement constantes (amplitude 2,6°C), avec des valeurs extrêmes retardées de deux à trois mois par rapport à l'air ambiant.

V - LA N A P P E C A P T I V E D U S I L L O N D E L ' A R V E

1) HISTORIQUE DES RECHERCHES.

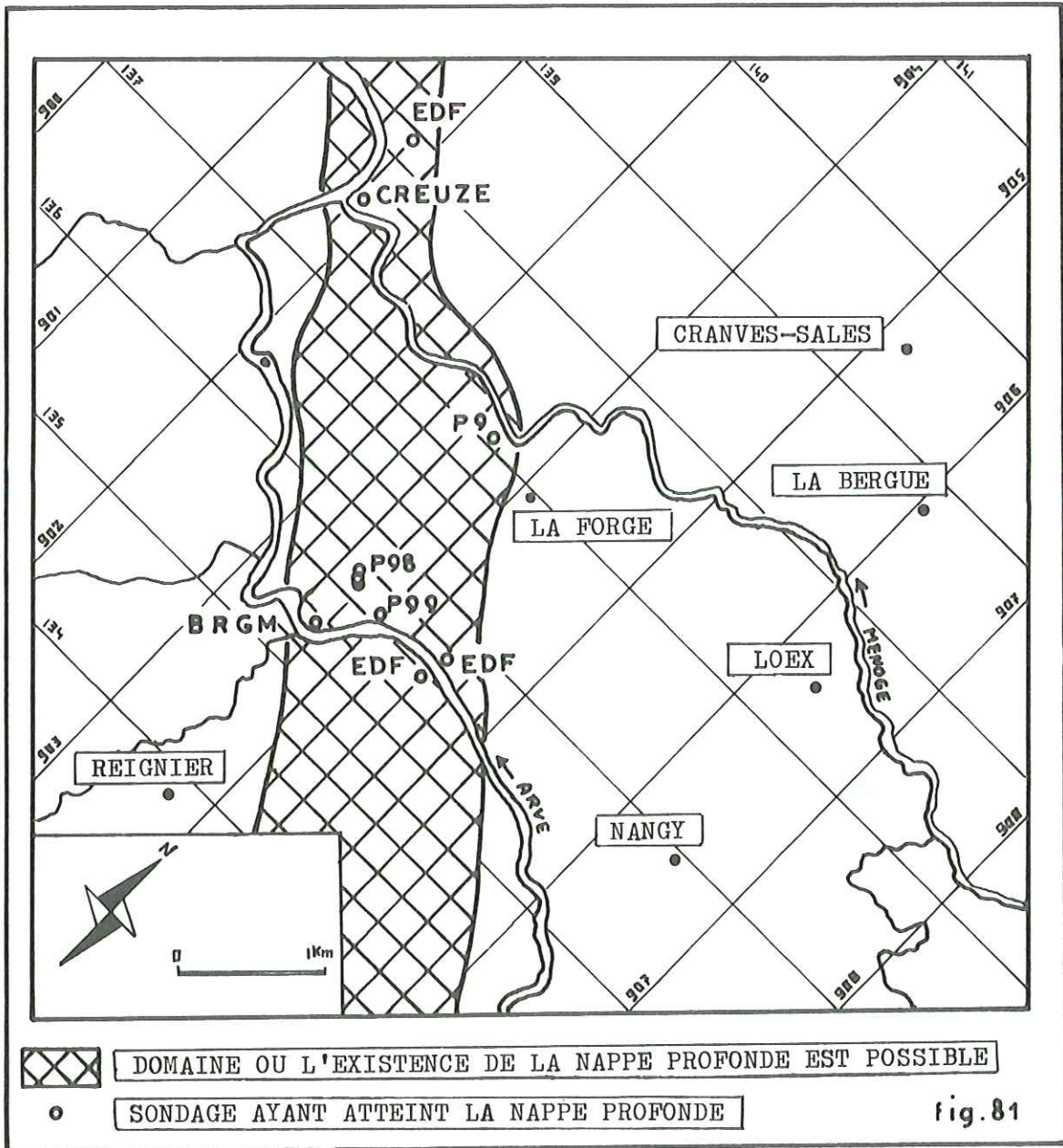
C'est principalement depuis une dizaine d'années que le sillon de surcreusement glaciaire axé sur l'Arve fait l'objet de reconnaissances par géophysique électrique et forages.

Ces investigations avaient pour but l'exploitation de la nappe captive rencontrée dans les premiers sondages (P98 NANT 1968), c'est pour cela qu'elles se sont limitées aux endroits où le sillon était le plus accessible : fond de la vallée de l'Arve et de la Menoge.

Plusieurs études, réalisées pour le compte de la Direction Départementale de l'Agriculture demeurent strictement confidentielles, et les résultats d'étude géophysique, les coupes de forages et les essais de débit ne sont en aucun

cas communiqués.

Pour préciser la forme du substratum molassique, nous avons réalisé une prospection par géophysique électrique, qui a permis de délimiter la zone où l'existence d'une nappe captive profonde était possible. (voir figure ci dessous)



2) AQUIFERE.

L'aquifère est constitué par une formation grossière dont l'origine est très discutée (voir chapitre "étude des formations quaternaires").

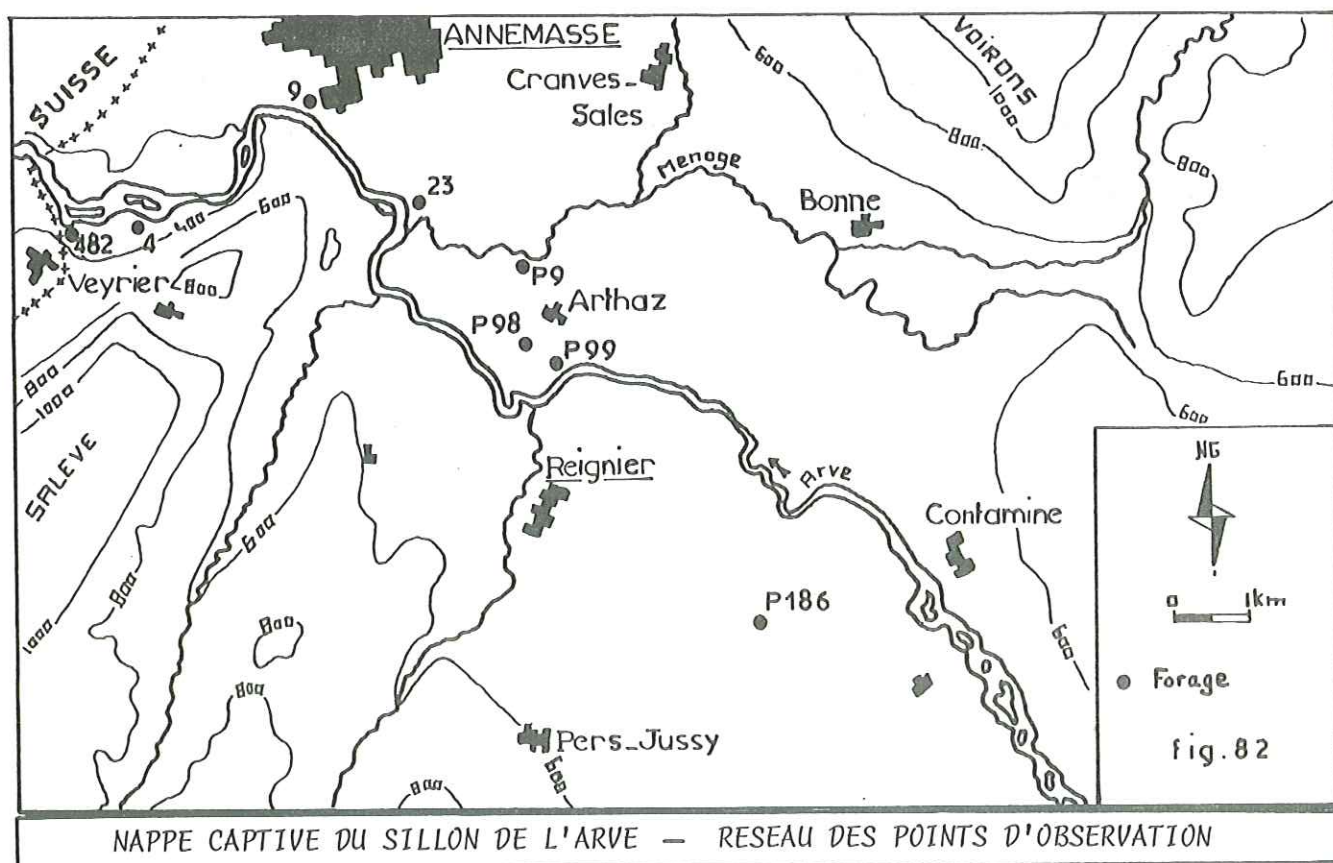
Elle comprend des sables, des galets et des blocs; sa puissance varie de 10 à 20m, elle semble maximale au niveau d'ETREMBIERES. A cet endroit, et à proximité de GAILLARD la formation graveleuse se réduit à un chenal très étroit puisqu'en 1946 un forage de 60m, réalisé en rive droite de l'Arve, n'a rencontré que des argiles glaciaires, si l'on omet un mince niveau sableux aquifère de 0,5m de puissance, équivalent latéral des graviers.

3) RESEAU D'OBSERVATION

Il a comporté les points d'eau suivants :

	X	Y
PI86 SCIENTRIER	907,0	132,3
P99 PONT NEUF DDA	903,9	135,7
P98 NANT CAPTAGES	903,6	135,8
P9 LA FORGE DDA	903,6	137,1
P482 VEYRIER	897,4	137,4

Les autres forages implantés dans le sillon de l'Arve ne sont pas accessibles.

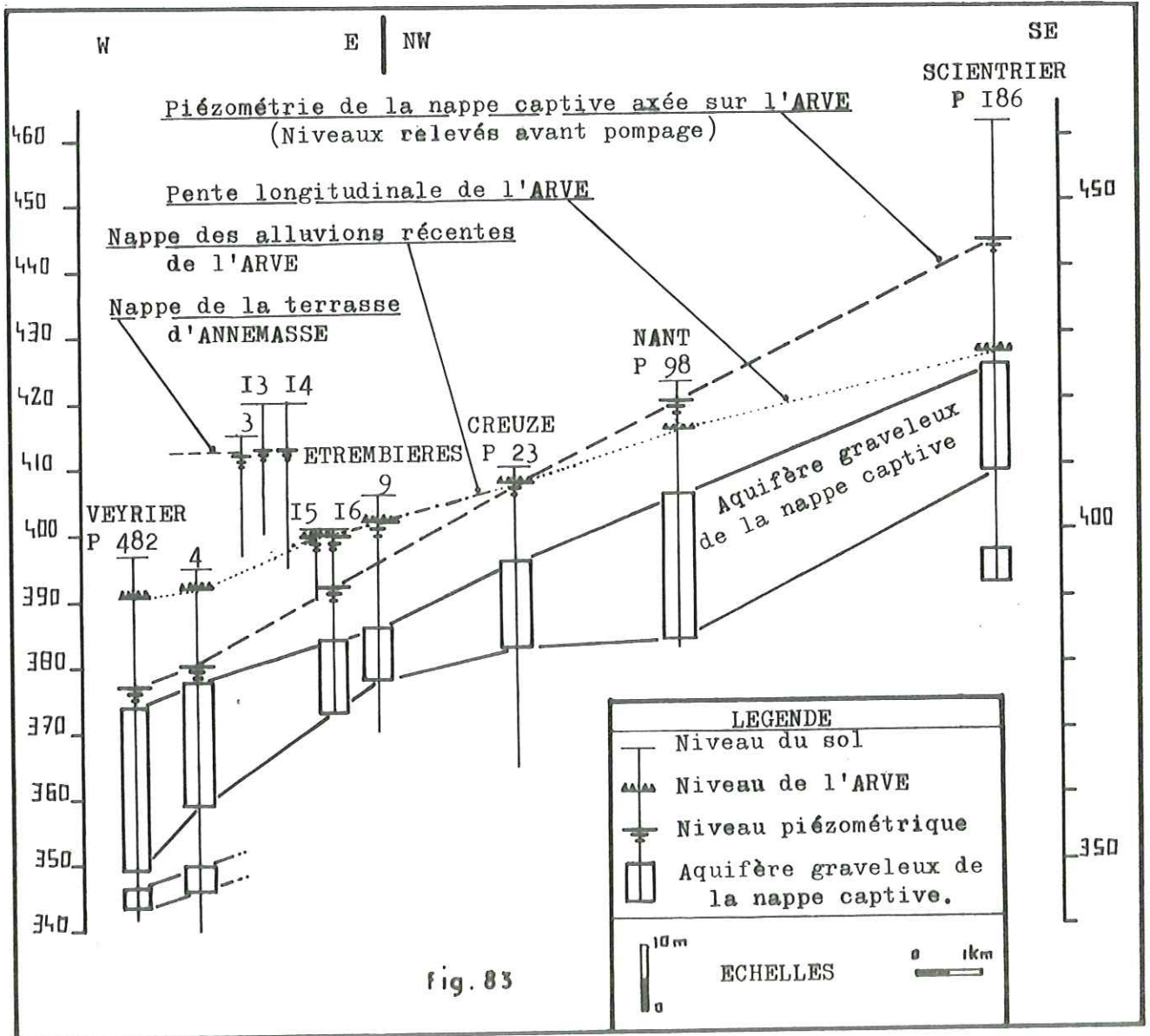


4) CARACTERISTIQUES DE LA NAPPE.

a - Gradient.

Dans l'axe du sillon de surcreusement glaciaire de l'Arve, sur le trajet PI86 - P98 - P9 - P4 - P482, qui représente plus de 13km, la continuité de l'aquifère graveleux semble assurée, malgré les variations de facies constatées en de nombreux points.

En effet, nous avons représenté sur un profil longitudinal : les coupes des forages implantés dans le sillon, et leur niveau piézométrique avant tout pompage. (figure ci-dessous).



On est frappé par l'extrême constance du gradient de la nappe captive : 0,52% , et par la régularité du toit de l'aquifère graveleux, dont la pente est de 0,4% sur tout le trajet.

Le mur des graviers, par contre, a une pente irrégulière, qui s'annule presque au niveau de CREUZE , à l'amont du verrou Salève Monthoux .

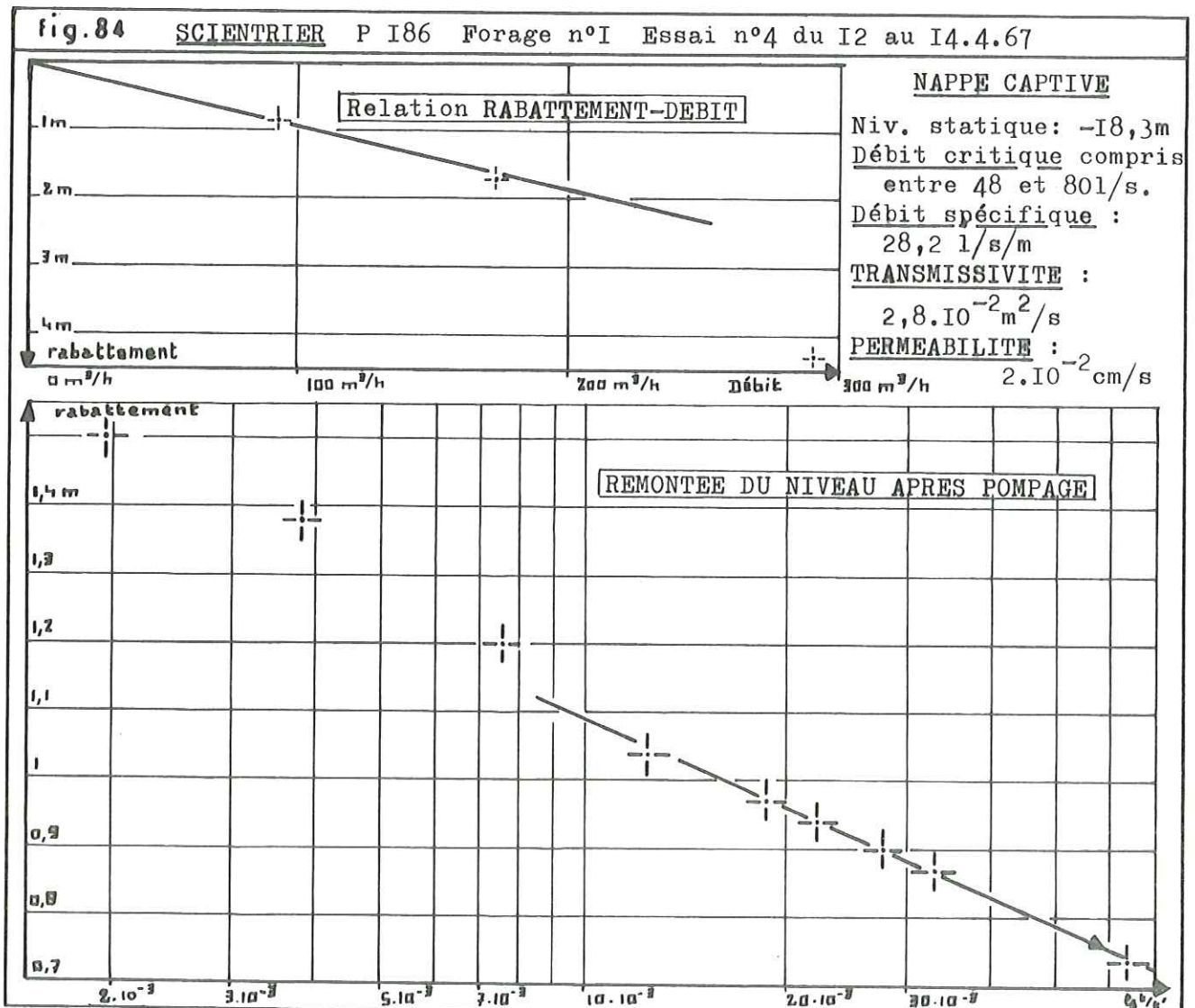
Cette disposition montre qu'il s'agit probablement d'un épisode de comblement alluvial fluvioglaciaire, d'allure torrentielle car la pente longitudinale est supérieure à celle de l'Arve actuelle: 0,25%.

En aval de CREUZE, les alluvions récentes de la rivière , sables et limons, contiennent une nappe d'accompagnement, en équilibre avec le cours d'eau.

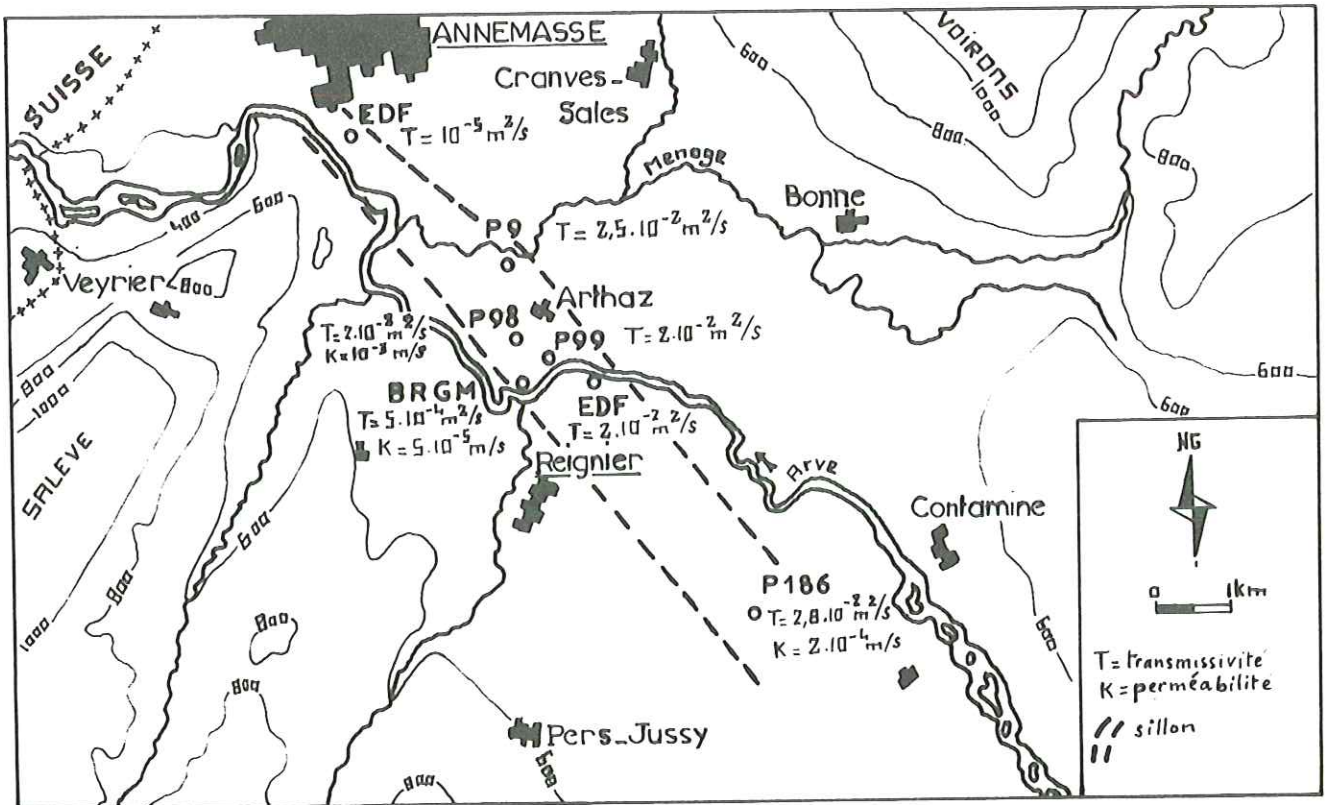
b - Transmissivité.

De nombreux essais ont été effectués lors de la mise en exploitation des forages.

La figure 84 ci-dessous donne l'exemple d'un test sur le champ de captage de SCIENTRIER (PI86). Il s'agit d'un pompage suivant 3 paliers 25, 48, 80 l/s suivis d'une observation de la remontée du niveau d'eau.



Le détail des autres essais, réalisés sous la responsabilité de la Direction Départementale de l'Agriculture, demeure malheureusement confidentiel, mais des résultats peuvent être avancés concernant les valeurs de la transmissivité en plusieurs points de la nappe captive. (voir figure 85 ci-dessous)



CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE LA NAPPE CAPTIVE

fig.85

Les coefficients d'emmagasinement seraient proches de 7%.
On constate que les transmissivités et les perméabilités sont bonnes dans l'axe du sillon mais chutent très rapidement quand on s'en éloigne.

c - Débits extraits.

En certains endroits, au cours des essais, le débit maximum de pompage a pu atteindre 300 l/s, pour 4m de rabattement ; soit un débit spécifique de 83 l/s/m de rabattement.

A la station de NANT, plus de 150 l/s sont prélevés dans la nappe, d'une manière quasi continue, par trois et bientôt quatre puits ; au prix, il est vrai, d'importantes venues de sable.

Or nous savons que la nappe captive du sillon de l'Arve

est isolée de la surface par plus de 10m d'argiles, et que la section transversale de l'aquifère est limitée.

Avec de tels débits extraits, le problème de la surexploitation de la nappe se pose :

Au niveau de NANT, un rapide calcul du débit disponible au front de la nappe nous donne :

avec Section S de l'aquifère $1000.20 = 20.000 \text{ m}^2$

Perméabilité $K = 10^{-3} \text{ m/s}$.

Gradient $i = 5.10^{-3}$

on a $Q = K.S.i = 100 \text{ l/s}$.

Cette estimation, optimiste, montre qu'il devrait y avoir surexploitation de la nappe. Or il n'en est rien puisqu'après quatre années d'essais une station de pompage définitive est en construction à NANT et qu'un puits supplémentaire est en projet.

La nappe captive possède donc une importante alimentation latérale qui complète le débit pouvant transiter selon l'axe du sillon.

d - Situation en aval d'ANNEMASSE.

En aval d'ANNEMASSE, la situation est tout à fait différente : les pompages intensifs (maraichage, alimentation en eau potable) ont atteint 12,5 millions de m^3/an , soit 400 l/s en 1971, ce qui est supérieur de plus de 20% aux possibilités de la nappe (G.AMBERGER 1976).

Il s'est alors produit une baisse spectaculaire du niveau de la nappe, avec inversion du gradient naturel, (voir figure 86), ce qui a contraint les différents utilisateurs, français et suisses, à s'entendre pour limiter les débits extraits.

C'est ainsi qu'un accord a été signé le 9 Juin 1978 à ANNECY pour une période de trente ans limitant à 5 millions de m^3/an les prélèvements dans la partie française.

Par ailleurs, une station de réalimentation artificielle de la nappe est en cours de réalisation en Suisse, à VESSY, avec une participation des communes françaises frontalières.

Elle est basée sur le principe des tranchées absorbantes (5000 mètres linéaires), alimentées en eau de l'Arve, préalablement traitée par microfloculation sur filtre multicouche.

Elle devrait être capable d'injecter 500 l/s environ dans la nappe profonde, à un endroit où celle-ci est accessible.

EXTENSION DE LA NAPPE PROFONDE DE L'ARVE EN TERRITOIRE SUISSE

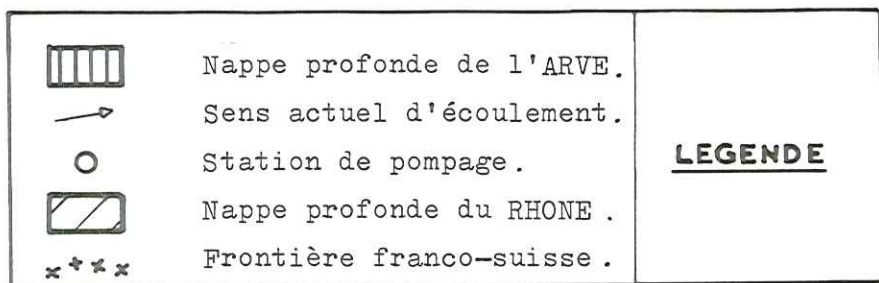
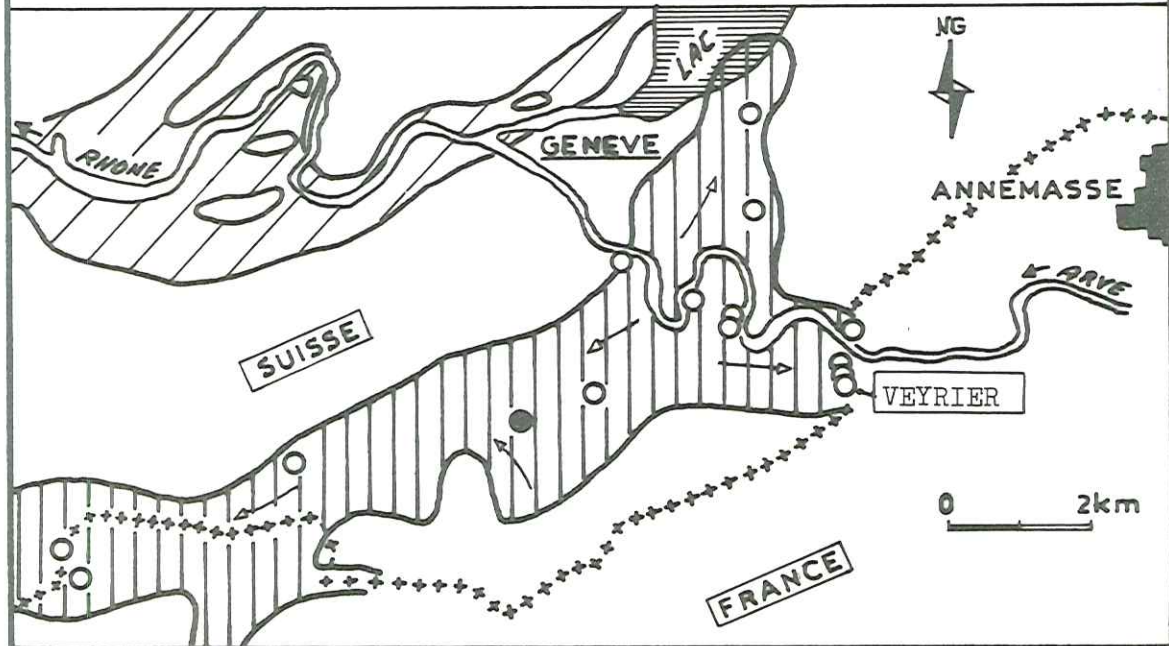
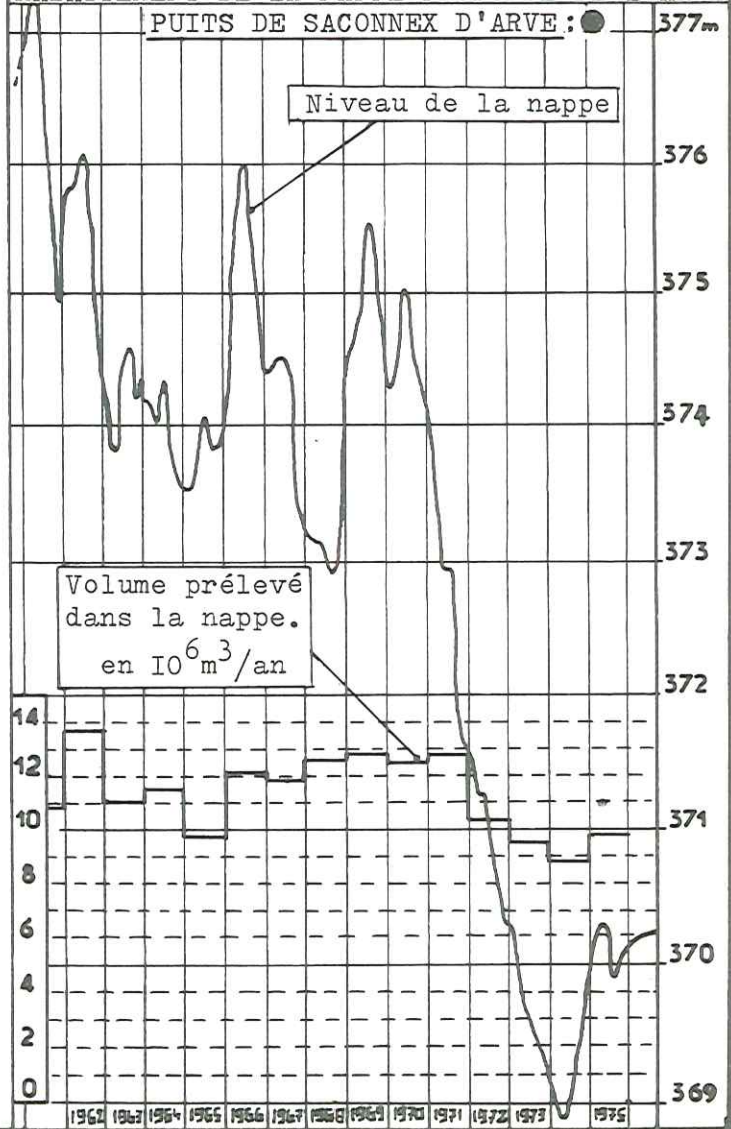


fig.86

D'après G.AMBERGER 1974 inédit



RABATTEMENT DE LA NAPPE PROFONDE DE L'ARVE



5) VARIATIONS DES TENEURS EN TRITIUM ET DE LA RESISTIVITE.

a - Variations de la teneur en Tritium.

Trois mesures de teneur en Tritium ont été effectuées au Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble sur les échantillons suivants du puits I86 SCIENTRIER :

ECHANTILLON	TENEUR (en unités Tritium)
27 Décembre 1976	82 UT
27 Mai 1977	77 UT
27 Septembre 1977	85 UT

Dans le même temps, des mesures ont été faites sur les eaux superficielles, celles de l'Arve en l'occurrence, afin d'apprécier leur teneur en Tritium :

ECHANTILLON	TENEUR (en unités Tritium)
27 Décembre 1976	100 UT
24 Mai 1977	71 UT
27 Septembre 1977	82 UT

- Arve.

Les eaux de cette rivière présentent des variations importantes liées aux changements dans la nature de l'alimentation du cours d'eau :

. En hiver, la fonte des neiges et des glaces est arrêtée; par ailleurs, les précipitations se font presque exclusivement sous forme de neige, et la proportion d'eaux météoriques est faible dans le débit de l'Arve à l'étiage hivernal.

L'échantillon de Décembre 1976, 100 UT, est donc surtout représentatif des eaux des nappes superficielles qui alimentent le cours d'eau.

La teneur en Tritium des précipitations est d'ailleurs très différente ; en effet, des valeurs exceptionnellement basses ont été observées à la fin de l'année 1976 à THONON C.R.G :

Octobre 1976	47 UT
Novembre 1976	39 UT
Décembre 1976	32 UT

. A la fin du printemps, une grande partie du débit de l'Arve est dû à la fonte accélérée des neiges et des glaces plus ou moins anciennes de la partie haute de son bassin versant.

C'est probablement en raison de la décroissance naturelle de l'élément en fonction du temps (période 12 ans) que l'on observe une teneur de 71 UT, plus faible qu'en hiver.

. L'échantillon du mois de Septembre représente un cas intermédiaire illustrant le mélange entre des eaux de fonte des glaces, anciennes, des eaux d'âges divers, issues des aquifères superficiels alimentant l'Arve, et une faible proportion d'eaux provenant des précipitations après le pic estival des teneurs en Tritium de Juillet - Août.

- Forage I86 SCIENTRIER.

Compte tenu de la précision sur les mesures de Tritium (5% environ), on constate que la teneur en Tritium des eaux du forage I86 reste sensiblement constante durant l'année, proche de 81 UT.

Cette régularité implique une alimentation régulière et un bon mélange des eaux.

Nous avons vu que les débits importants pompés dans la nappe profonde montraient qu'il devait exister une alimentation latérale.

Les teneurs moyennes en Tritium observées résultent donc du mélange, sensiblement homogène à l'échelle du mois, entre des eaux anciennes, circulant selon l'axe du sillon glaciaire, et des eaux plus récentes infiltrées au pied des collines molassiques de la rive gauche de la vallée.

Au niveau du P I86, l'alimentation "axiale" provient sans doute pour une large part des infiltrations à partir des cônes de déjection du torrent du Borne à St PIERRE DE RUMILLY et du Foron de La Roche à AMANCY, c'est à dire à 7km environ en amont du captage de SCIENTRIER. En effet, si on admet que la pente très régulière de l'aquifère graveleux (0,4%) se prolonge vers l'amont, celui-ci doit être affleurant au niveau des cônes de déjection de ces deux torrents. En amont de BONNEVILLE, l'aquifère de la nappe profonde a disparu car l'érosion de l'Arve a mis à nu les calcaires du massif des Bornes.

La valeur de 80 UT pour les eaux de la nappe captive peut correspondre à de nombreuses combinaisons entre :

- . La teneur initiale des précipitations.
- . Le temps de transit entre la surface et la nappe profonde, durant lequel intervient la décroissance naturelle de l'élément.

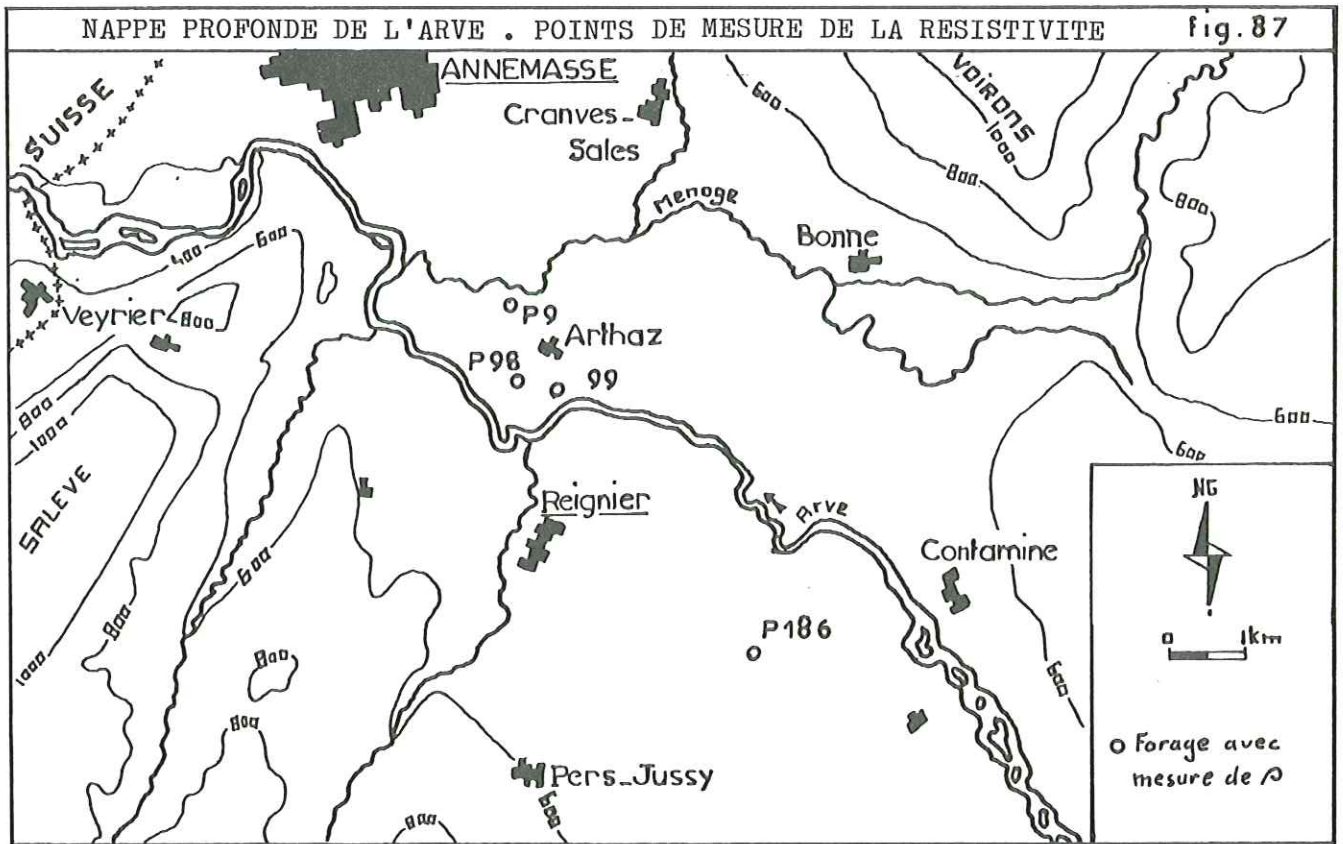
- . Le taux de mélange entre les deux types d'alimentation : axiale et latérale de la nappe.

Pour aboutir à une estimation de l'âge des

eaux, il faudrait disposer d'un grand nombre d'analyses permettant de tracer une courbe de variation des teneurs en Tritium sur plusieurs années. Connaissant la forme des variations de teneur en Tritium dans les précipitations, le décalage entre les deux courbes, si leur forme est semblable, pourrait donner une estimation de l'âge moyen des eaux de la nappe.

b - Evolution de la résistivité.

Trois points d'eau ont été suivis mensuellement : P9, P98, P186. Leur position est indiquée dans la figure 87 ci-dessous :



Le forage P99 n'est pas utilisable car sa résistivité est influencée par des infiltrations directes à partir de la surface, le long du tubage.

La résistivité de l'Arve au Pont Neuf, et de la Menoge à BONNE a aussi été suivie.

Ces paramètres, ainsi que la pluviométrie moyenne sur la région et les débits de l'Arve à l'usine d'ARTHAZ ont été reportés sur le diagramme de la figure 88 .

La station de pompage de SCIENTRIER ne peut être influencée

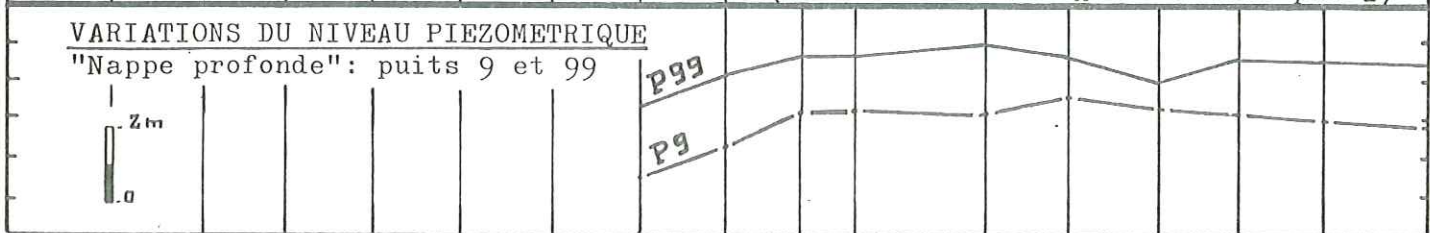
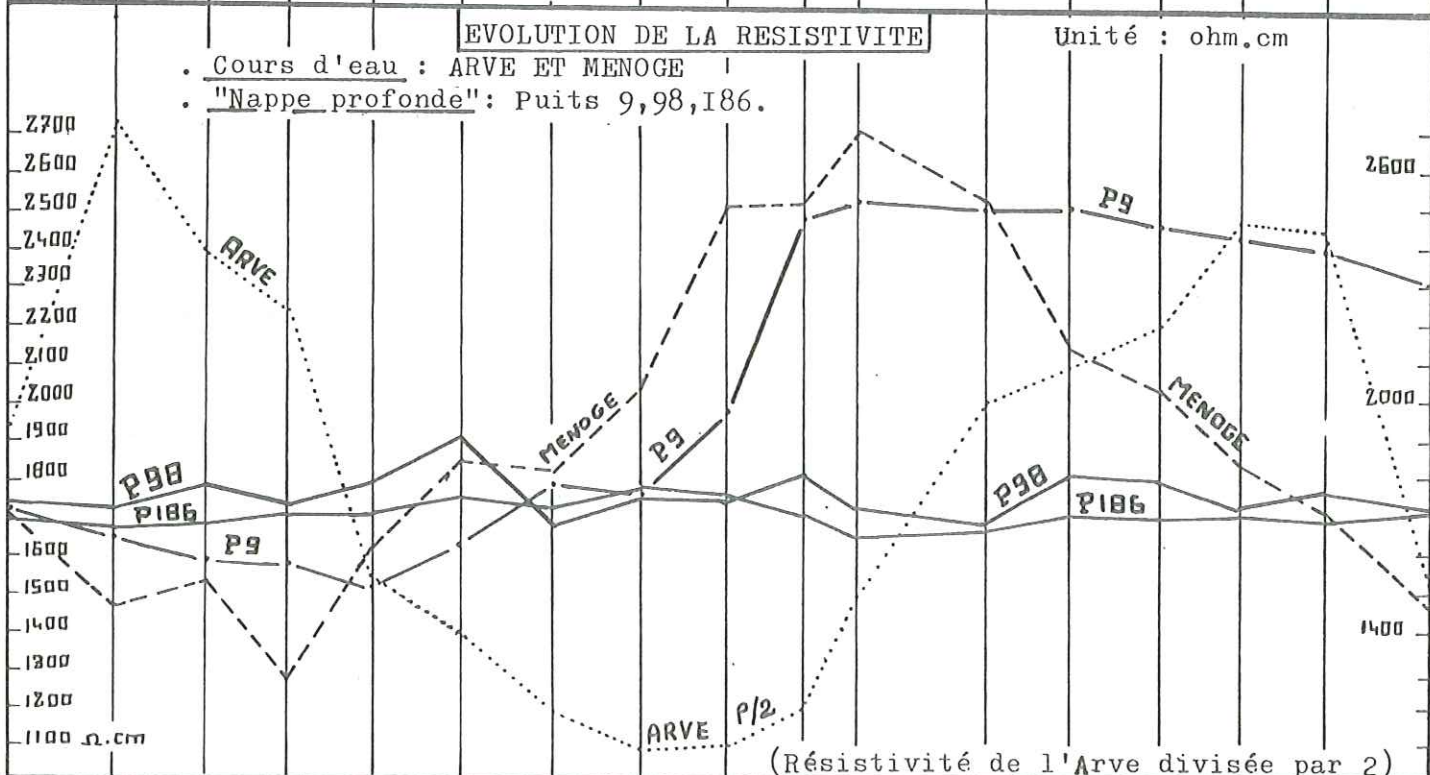
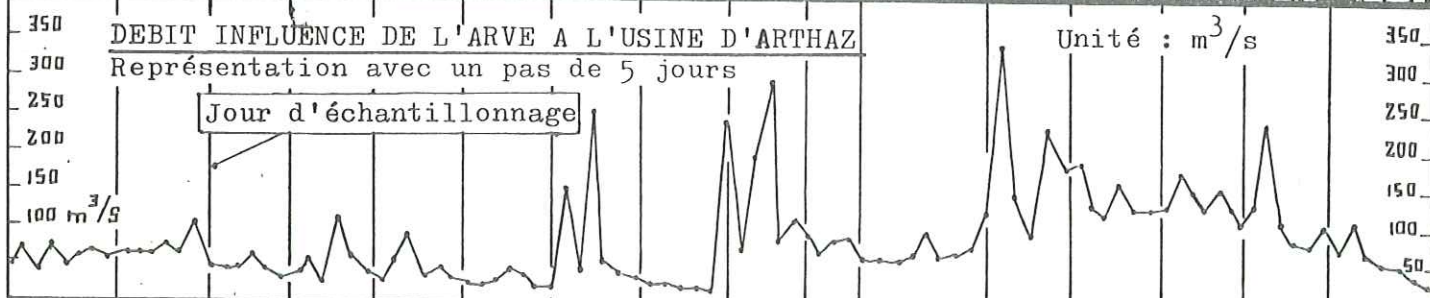
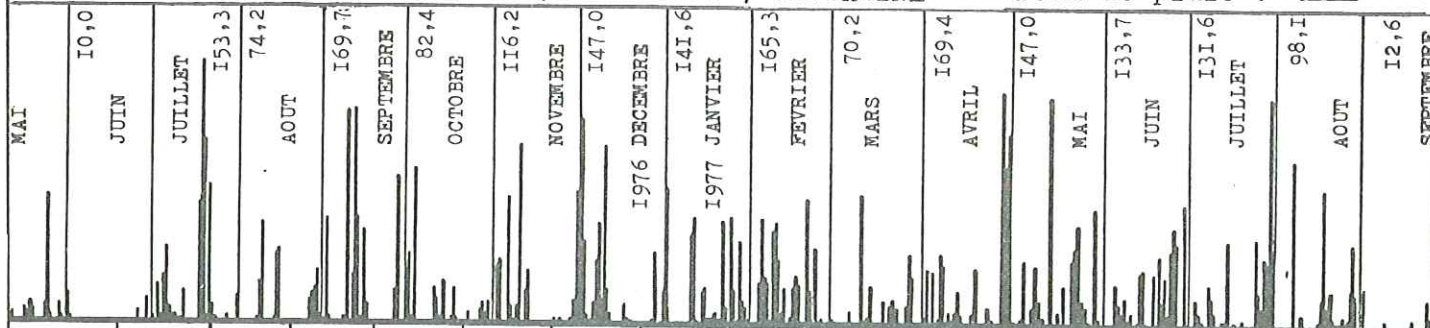
fig. 88

PLUVIOMETRIE, DEBIT DE L'ARVE, RESISTIVITE DES COURS D'EAU ET DE LA NAPPE PROFONDE

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE

Moyenne des stations ANNEMASSE, PERS-JUSSY, CONTAMINE

10mm de pluie : —



directement par aucun cours d'eau : l'Arve, qui est le plus proche, est à une cote inférieure de plus de 20m à celle du niveau statique de la nappe captive. Par ailleurs, 30m d'argiles isolent l'aquifère de la surface.

- Au forage I86 SCIENTRIER,

La résistivité ne subit que de très faibles variations, de 150 ohm.cm environ, ce qui confirme les conclusions de l'étude des variations de la teneur en Tritium qui indiquait une alimentation régulière et un bon mélange.

Le minimum de résistivité s'est produit au mois de Mars, après une décroissance régulière depuis le mois de Décembre.

Le graphique de la figure 89 ci-dessous montre l'évolution comparée de la résistivité des eaux superficielles et de celle de la nappe profonde.

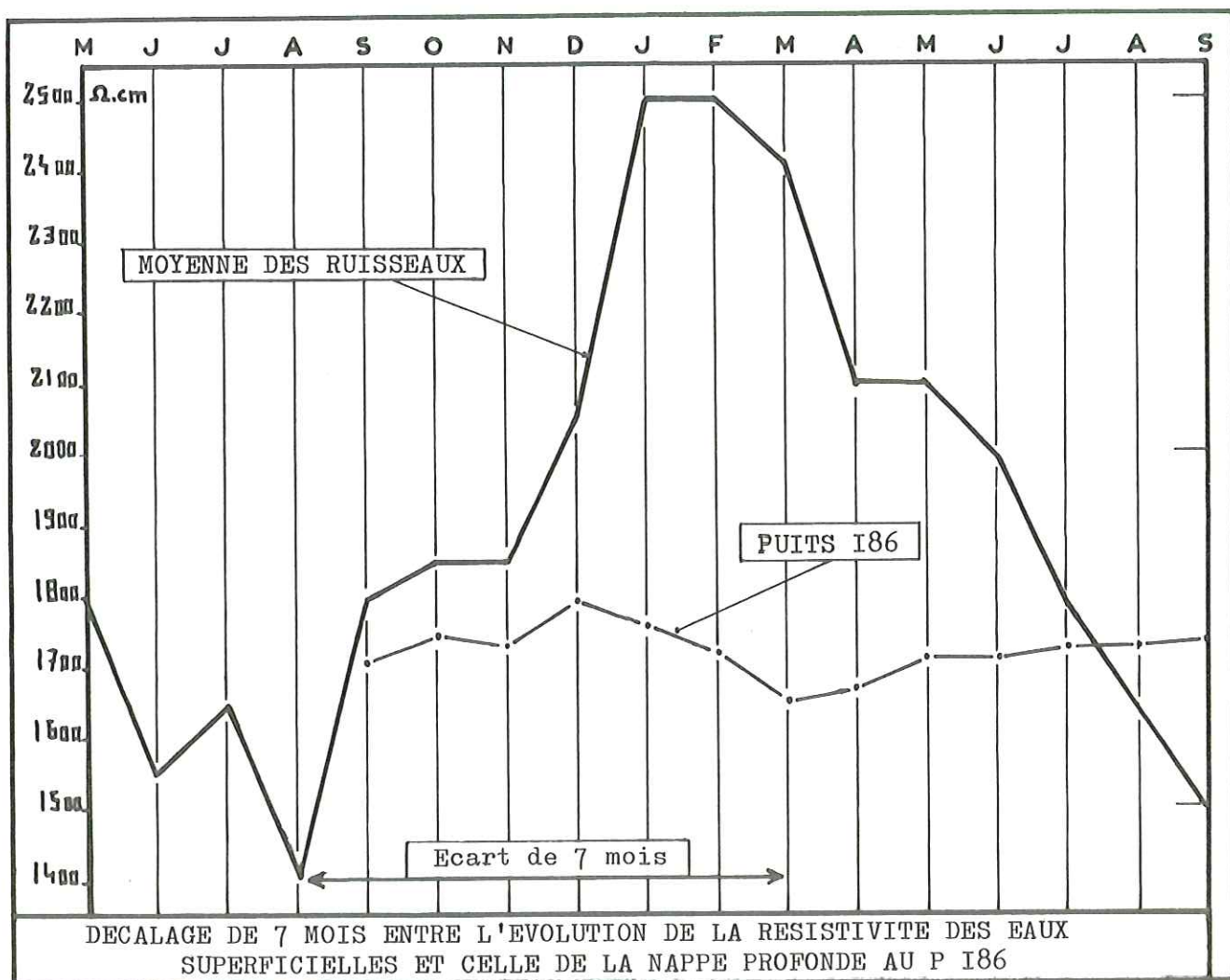


fig. 89

On constate un retard de 7 mois du minimum de résistivité de la nappe profonde par rapport à celui des eaux superficielles.

Ce décalage montre seulement que les variations de résistivité à l'échelle mensuelle au niveau des eaux infiltrées se retrouvent dans la nappe profonde. Mais ce retard n'est pas significatif du temps de transit réel des eaux de l'alimentation latérale entre la surface et la nappe profonde: en effet, en admettant une perméabilité constante de $2 \cdot 10^{-4}$ m/s, une porosité de 30%, un gradient de 100/3000, il faudrait environ 5 ans pour que l'eau infiltrée au pied des collines molassiques atteigne le forage I86.

Cet ordre de grandeur du temps de transit n'est pas contredit par les mesures de teneur en Tritium examinées au paragraphe précédent.

REMARQUE : Compte tenu de l'épaisseur de la couverture argileuse, une infiltration suivant la verticale serait encore plus longue.

- Au forage 98 NANT.

Dans ce puits de captage, situé à 500m de l'Arve, la résistivité est moins constante. Les variations sont de l'ordre de 300 ohm.cm et on constate qu'après chaque crue de l'Arve apparaît un pic de résistivité. Cependant, les très grandes variations de résistivité de l'Arve ne se retrouvent pas dans le captage.

Cela montre que le P98 n'est en relation avec la rivière que lorsque le niveau de celle-ci est nettement supérieur à la normale.

Etant donnée l'importante charge solide qu'elle transporte, l'Arve a un lit en grande partie colmaté. Ce n'est qu'à la faveur des crues qu'un épendage a lieu sur le lit majeur sablo-graveleux, et qu'une infiltration atteint la nappe.

Le faible délai d'infiltration, quelques jours, prouve qu'à certains endroits la couverture argileuse est beaucoup plus mince qu'au puits 98 où elle atteint 20m.

Les deux crues hivernales ne se traduisent que par une petite augmentation de résistivité dans le captage. Cela est dû à la faible différence de résistivité entre l'Arve, qui est à son minimum (2200 ohm.cm) et les eaux de la nappe. En effet, la réaction observée dans l'aquifère est proportionnelle à l'intensité de la crue, mais aussi au contraste de résistivité entre les eaux de la rivière et de la nappe.

REMARQUE : En temps normal, le niveau statique de la nappe profonde est 2 à 3m plus élevé que le niveau moyen de l'Arve, mais les pompes permanents entraînent un rabattement qui inverse la situation.

- Au P 9 LA FORGE.

A cet endroit, les conditions sont différentes : le puits est situé en bordure Est du sillon de l'Arve, à proximité immédiate de la Menoge . Le sondage électrique 5-2 montre que les facies graveleux sont abondants dans la coupe.

Les variations de résistivité de l'eau atteignent 1000 ohm.cm; elles suivent grossièrement celles de la Menoge avec un décalage inférieur à un mois.

Au cours de l'été 1976 la résistivité au P9 s'est maintenue au niveau du reste de la nappe captive, mais à partir de Janvier elle a suivi l'augmentation de celle de la Menoge.

Pendant l'été 1977, elle a décliné plus lentement que celle du torrent, car, le niveau de la nappe étant élevé, les échanges avec le cours d'eau se sont réduits.

Contrairement à celui de l'Arve, le lit de la Menoge n'est pas colmaté, et il y a en permanence des échanges entre la nappe profonde et le torrent.

6) LA TEMPERATURE.

Dans les forages 98 et I86 le pompage quasi permanent réchauffe les eaux, et les mesures de température ne sont pas significatives.

Seuls les points P9 et P99 ont été retenus. (voir figure 90).

a - Au P99.

La température de la nappe captive est remarquablement constante puisque l'amplitude annuelle n'est que de 1°C, avec un minimum en Mars , soit un retard de trois mois par rapport aux températures de l'air et des cours d'eau.

b - Au P9.

Le niveau d'eau est pourtant plus profond par rapport à la surface du sol, mais l'amplitude annuelle atteint 8°C, avec un minimum en Mars. Cela traduit l'influence de la Menoge : en effet, l'élévation de température dans le P9 ne commence qu'au mois d'Avril, lorsque la température de la Menoge devient supérieure à celle de la nappe, et inversement en Automne.

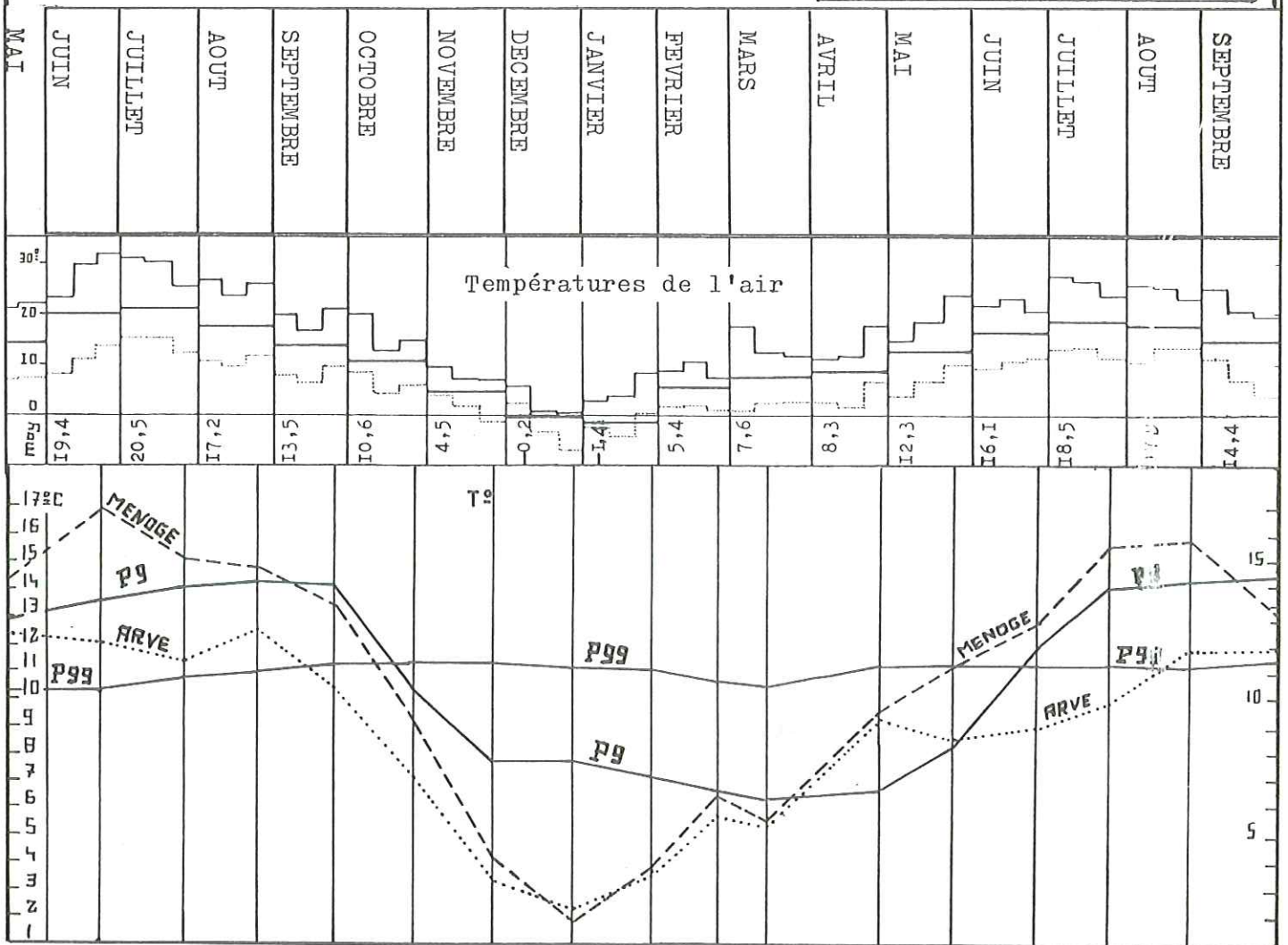
TEMPERATURES DE L'AIR : par décades à la station de
CONTAMINE sur ARVE

Moy. des maxima : ———
Moy. des minima :
Moy. mensuelle : ———

fig. 90

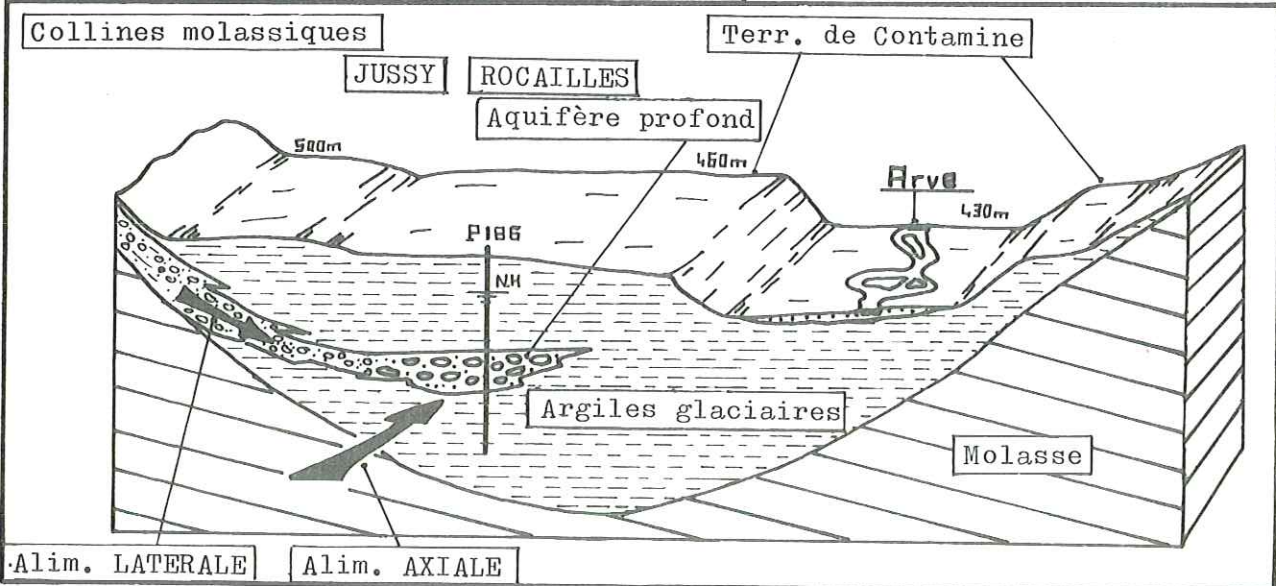
COMPARAISON ENTRE LES
TEMPERATURES

- DE L'AIR
- DES EAUX SUPERFICIELLES
- DE LA NAPPE PROFONDE



SCHEMA D'ALIMENTATION DE LA NAPPE PROFONDE

fig. 91



V I - C A S D U S I L L O N D E L A M E N O G E

L'étude géophysique a montré qu'il existait un sillon de surcreusement glaciaire axé sur le cours de la Menoge, entre BONNE et LA BERGUE, et se poursuivant en aval à l'Est de la colline de Monthoux.

1) AQUIFERE.

Sous une vingtaine de mètres de recouvrement argileux, la prospection électrique a mis en évidence une couche plus résistante (100 à 200 ohm.m), de 30m de puissance environ, qui pourrait constituer l'aquifère d'une nappe profonde captive. (voir figure 46).

Les forages de Rosses et Terrailon, situés à plus de 1500m de l'axe du sillon, ont rencontré une formation graveleuse puissante de 15m, au contact de la molasse. Il pourrait s'agir du prolongement latéral de la couche résistante identifiée par géophysique. Dans cette hypothèse, le sillon de la Menoge contiendrait une nappe captive profonde.

2) NAPPE CAPTIVE RENCONTREE PAR LES FORAGES DE ROSSES ET TERRAILLON.

L'horizon graveleux rencontré par ces forages contient une nappe captive légèrement en charge (6m).

Des essais sommaires montrent que le débit spécifique est proche de 11/s/m de rabattement, et que le débit extractible est de 8 l/s environ par forage.

L'alimentation de cette nappe est sans doute assez restreinte, elle se fait probablement suivant son axe, par la Menoge, et latéralement, par les pentes de Monthoux et des Voirons.

V I I - C O N C L U S I O N D E L ' E T U D E D E L A N A P P E
P R O F O N D E

.Dans le remplissage du sillon de surcreusement axé sur l'Arve, l'épisodes graveleux fluvioglaciaire qui surmonte la moraine de fond rissienne contient une nappe captive.

.L'observation du gradient naturel de cette nappe montre que la continuité longitudinale de l'aquifère est assurée, malgré les grandes variations locales de facies.

.Le débit axial de la nappe, estimé à l'aide des paramètres hydrodynamiques, est très inférieur au débit actuellement extrait par les nombreux pompages.

Il existe donc une alimentation "latérale", qui se fait sous plusieurs formes : (voir figure ci-dessous 92).

- De façon continue :

. Par les anciens cônes de déjection qui se raccordent à l'épisode fluvioglaciaire.

. A partir de la nappe superficielle des alluvions modernes, par percolation à travers les argiles du toit, lorsque celles-ci sont minces ou présentent des lacunes (cas de la vallée de la Menoge).

- De façon discontinue :

. A la faveur des crues de l'Arve, qui suralimentent la nappe superficielle et provoquent une arrivée d'eau à forte résistivité dans la nappe profonde.

Comme l'a montré l'étude géophysique, le sillon de la Menoge pourrait contenir une nappe captive profonde. L'aquifère correspondrait à une formation graveleuse située au contact du substratum molassique.

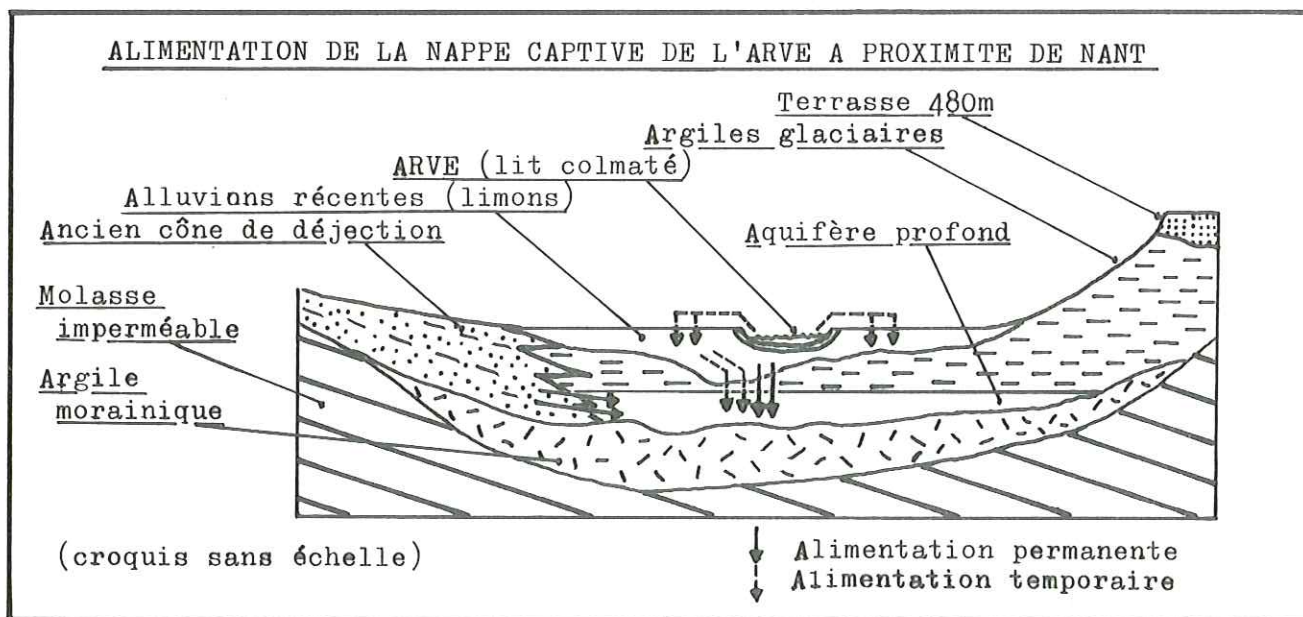
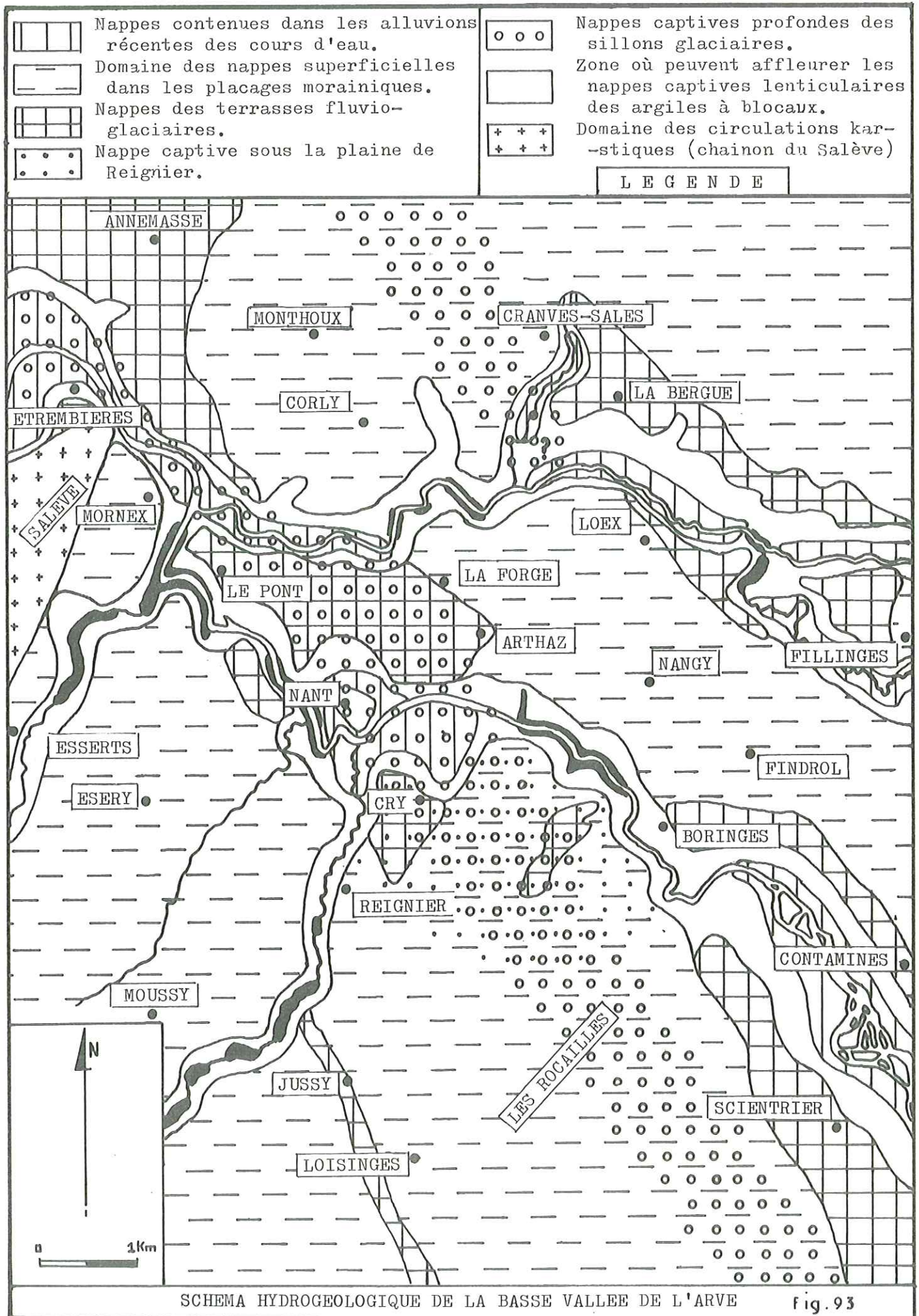


fig.92



**- C - ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION
COMPRISE ENTRE REIGNIER ET LA RN203A**

. L'étude d'ensemble des différents aquifères présents dans la basse vallée de l'Arve nous a permis de définir plusieurs types de nappes, sur des critères tels que l'évolution mensuelle de la résistivité, de la température, du niveau des puits et du débit des sources.

. L'exceptionnelle densité des points d'eau dans la plaine de REIGNIER nous a incité à étudier qualitativement avec plus de détail les nappes superficielles contenues dans les formations glaciaires et fluvioglaciaires de cette région.

. La zone d'étude est limitée au Nord par l'Arve, au Sud par le ruisseau de Bossenay, à l'Est par la route nationale 203A, et à l'Ouest par le Foron de Reignier. Sa surface est d'environ 20 km². (voir figure 94).

I - BUT DE L'ETUDE

Grâce à un réseau d'une soixantaine de points d'observation, puits et sources, nous avons cherché à identifier les différents aquifères en présence et à préciser les conditions d'infiltration et de circulation des eaux dans les diverses formations quaternaires occupant cette zone.

II - METHODE EMPLOYEE

I) MESURES.

Les observations sur les points du réseau ont été faites chaque mois, du début Mai 1976 à la fin Juillet 1977 (Septembre 1977 pour certains points).

a - La résistivité.

Dans le cas des puits, seuls les ouvrages couverts, avec pompage intermittent, ont été pris en considération.

En effet, nous avons pu constater à de nombreuses reprises la très forte influence de la pluie et de la neige sur la résistivité des eaux de puits découverts ou mal protégés du ruissellement.

b - La température.

Elle a été prise au dixième de degré, au griffon des sources quand celui-ci était accessible, et dans les puits couverts, en l'absence de pompage.

c - Niveaux piézométriques.

Ils ont été relevés à l'aide d'une sonde, avec une précision de quelques centimètres pour les ouvrages les plus profonds.

d - Débits.

Ils ont été mesurés à l'aide d'une capacité jaugée de 15 l.

2) UTILISATION DES MESURES.

L'examen des variations des paramètres résistivité, température, niveau et débit ; amène à regrouper les points d'eau qui présentent des réactions semblables aux changements saisonniers de température et de pluviosité.

Après avoir confirmé ces regroupements à l'aide des renseignements tirés de l'étude des formations quaternaires, on parvient à distinguer un certain nombre de nappes aquifères caractérisées par les formations qu'elles occupent et par un mode de réaction aux variations météorologiques.

La réalité des divisions choisies s'est vérifiée au long des observations.

REMARQUE : Utilisation des mesures de niveau .

En reportant sur carte les mesures absolues de niveau d'eau, on constate que la piézométrie de l'ensemble des nappes superficielles suit la surface topographique.

En fait, ce sont les variations de niveau qui sont les plus intéressantes car elles traduisent mieux les changements saisonniers dans l'alimentation des nappes.

Une étude plus précise de la piézométrie aurait pu fournir des renseignements supplémentaires ; mais elle aurait demandé le repérage précis des cotes absolues du niveau d'eau dans les soixante points du réseau, ce qui aurait nécessité un travail topographique hors de proportions avec les résultats escomptés.

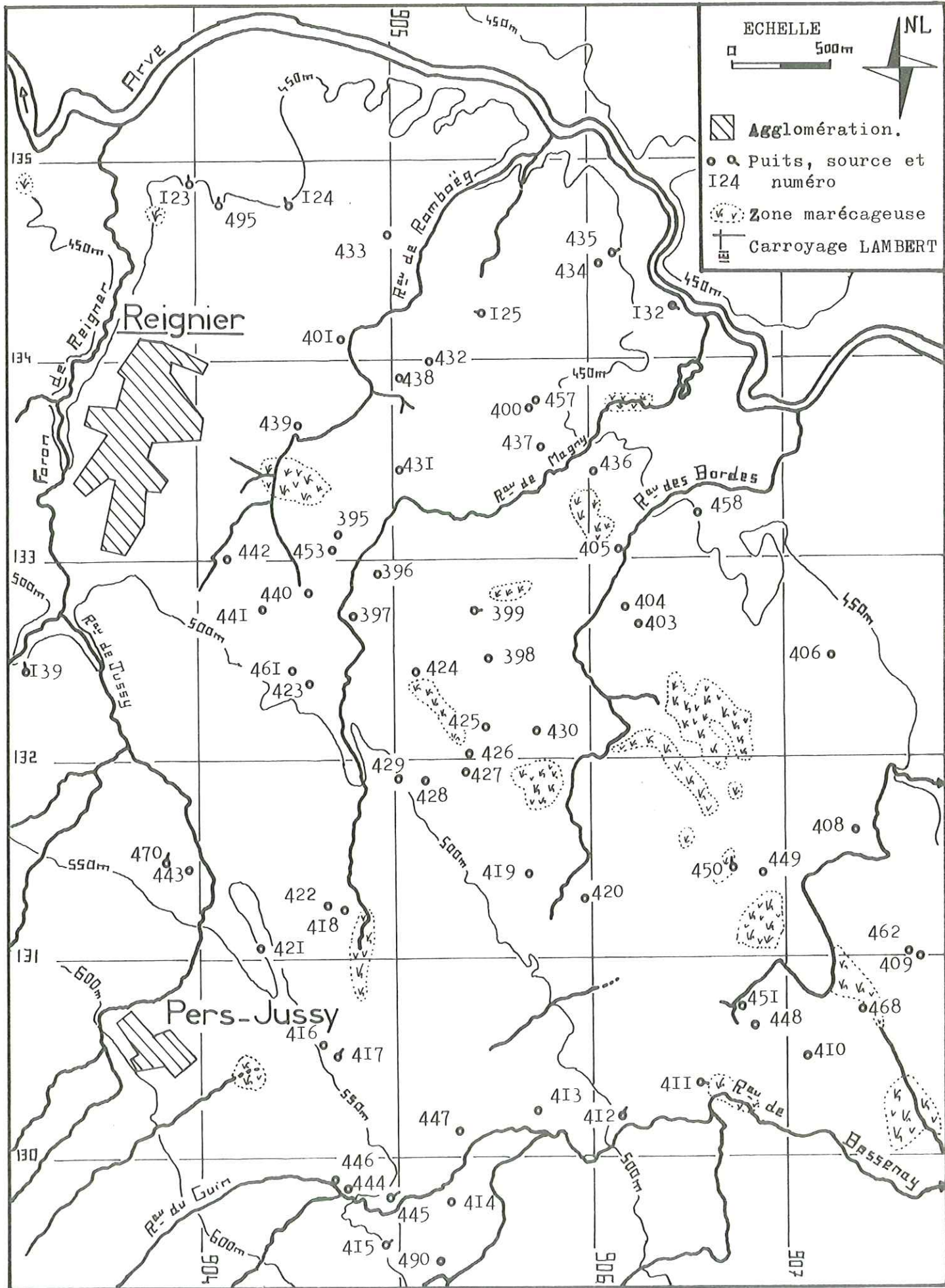
III - R E S U L T A T S : I D E N T I F I C A T I O N D E S
D I F F E R E N T S A Q U I F E R E S

Sur le plan de l'hydrogéologie, nous avons été amenés à distinguer trois zones :

- La partie située à l'Ouest des Rocailles.
- La zone des Rocailles proprement dite.
- La partie située à l'Est des Rocailles.

- REGION DE REIGNIER. RESEAU DES POINTS D'OBSERVATION -

fig.94



1) LA PARTIE SITUÉE A L'OUEST DES ROCAILLES.

Un réseau de trente points d'observation, dont six sources, a permis d'établir la présence de trois nappes principales :

- Nappe libre de la terrasse fluvioglacière de JUSSY.
- Nappe libre des bordures de la plaine de REIGNIER.
- Nappe captive sous les argiles de la plaine de REIGNIER.

La figure ci-dessous schématise les relations entre les différentes nappes présentes dans cette zone :

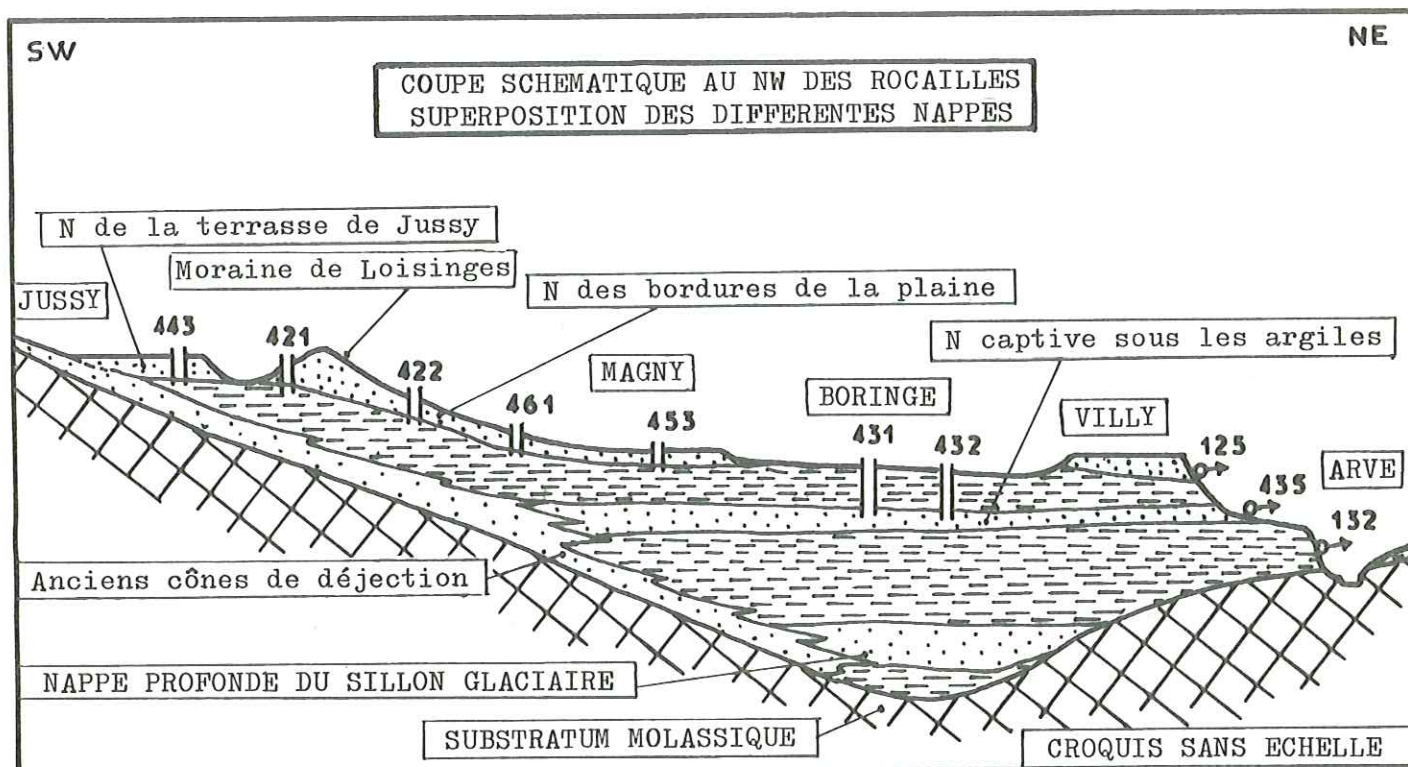


fig.95

a - Nappe de la terrasse de JUSSY.

- Aquifère.

C'est une nappe libre contenue dans les formations sablo-graveleuses de la terrasse fluvioglacière de JUSSY-LES BEGAUDS et de ses environs : chenal latéral de la Charmille, partie Sud du cordon morainique de LOISINGES.

- Mur.

Il est formé par les argiles à blocs tapissant les flancs de la vallée de l'Arve.

- Alimentation.

Elle se fait par infiltration directe des précipitations, et à partir des anciens cônes de déjection visibles au pied des collines molassiques.

- Exutoires.

Ils sont de trois types : les sources captées S445 CHEVRIER, S417 LES VUARDES et S470 JUSSY apparaissant en bordure de la terrasse et la source SI39 Le Châtelard, temporaire, dans l'axe du chenal de Charmille.

Le drainage par les ruisseaux lorsqu'ils quittent la terrasse.

Le déversement de la nappe, par l'intermédiaire des formations superficielles perméables, dans les aquifères situés en aval (zone des Rocailles).

b - Nappe des bordures de la plaine de REIGNIER.

- Aquifère et mur.

Elle occupe les formations sableuses et limoneuses peu épaisses de la bordure Sud de la plaine de REIGNIER.

Entre MAGNY et St ANGE, le chenal latéral bordant les Rocailles a érodé ces formations, mais il a amené des matériaux qui forment en aval un cône de déjection aplati.

Dans un rapport d'expertise de 1948, P.GIDON donne la coupe suivante, pour un puits situé 200m au Sud de la gare de REIGNIER :

0,5m	Terre végétale.
0,3m	Ancien sol noir organique.
"quelques mètres"	Blocs de roches cristallines et de calcaires mêlés d'argile. Aquifère.
-	Argiles à blocs gris-bleu.

- Exutoires.

Ce sont : le ruisseau de Romboëg, coulant sur les argiles de la plaine de REIGNIER ; et le ruisseau de Magny.

Ce dernier, dans sa partie amont, contribue à l'alimentation de la moraine des rocailles.

c - Nappe captive sous la plaine de REIGNIER.

- Aquifère.

Elle occupe la formation sablo-graveleuse puissante de 5 à 10m située sous les argiles glacio-lacustres de la plaine de REIGNIER.

Ces argiles, épaisses de 10m environ, font que la nappe est captive, ascendante, avec parfois un léger artésianisme en période de fortes pluies (P431 Les Mômes, et P432 Boringe).

A l'Est, l'aquifère s'enneie sous la moraine des Rocailles, au Nord, il est limité par le cours de l'Arve, fortement encaissé dans les formations glaciaires.

- Mur.

Il est formé par les argiles à blocs très épaisses que l'on rencontre systématiquement au dessous de 450m.

- Alimentation.

Elle se fait par sa bordure Sud, sans doute à la faveur d'anciens cônes de déjection issus du pied des collines molassiques.

Il est possible qu'une partie de l'alimentation se fasse par drainance à partir de la nappe des bordures de la plaine de REIGNIER.

- Exutoires.

Ils sont situés à une cote proche de 450m.

On note deux sources bien localisées :

SOURCE	X	Y	Z
S495 La Motte	904,1	134,8	450m (limite NW de l'aquifère)
S435 Villy	906,1	134,5	455m (limite NE de l'aquifère)

La source 495 a un débit important, 10 l/s en moyenne ; elle est partiellement captée.

La source 124 est de même type, mais son débit est très faible ; elle est associée à de nombreuses zones humides à l'altitude de 450m. Ce groupe d'émergences correspond à un axe de drainage visible sur les cartes d'iso-résistivité.

REMARQUE : A VILLY, l'érosion a respecté un morceau de 0,5 km² de terrasse à 480m d'altitude, qui est le prolongement de la terrasse d'ARTHAZ.

Les sables et graviers deltaïques contiennent une petite nappe libre dont l'exutoire était constitué par une source : SI25 (X = 905,45 Y = 134,225).

L'exploitation des sablières de VILLY a en grande partie drainé cette nappe.

2) LA ZONE DES ROCAILLES.

Le réseau d'observation a comporté 27 points d'eau dont 5 sources.

a - Aquifère.

Les amas irréguliers de blocs écroulés, les gradins et les bourrelets d'origine glaciaire constituent des aquifères très superficiels, hétérogènes et morcelés, se déversant les uns dans les autres.

Ces amas reposent sur une couche d'argile morainique discontinue qui est responsable en partie des zones marécageuses des Rocailles.

Au dessous des argiles on rencontre en général une couche graveleuse fluvioglaciaire aquifère qui peut atteindre 5m d'épaisseur, et constitue le lien hydrogéologique entre les différents amas morainiques.

De plus, en certains endroits, les eaux de fonte glaciaire ont accumulé suffisamment d'alluvions pour que des aquifères supplémentaires puissent se constituer, protégés souvent de la surface par un recouvrement d'argiles imperméables. Une bonne régulation de la résistivité et du débit des sources peut alors avoir lieu ; c'est le cas des sources 411 Le Châtelet et 412 Loslenaz d'en Bas, qui sont des exemples d'exutoires de ces nappes captives superficielles. Les puits 413 Loslenaz d'en Haut et 447 situé 300m à l'Ouest du précédent, sont implantés dans les mêmes nappes.

La figure 96 ci-dessous résume les différents types d'aquifères rencontrés dans la zone des Rocailles.

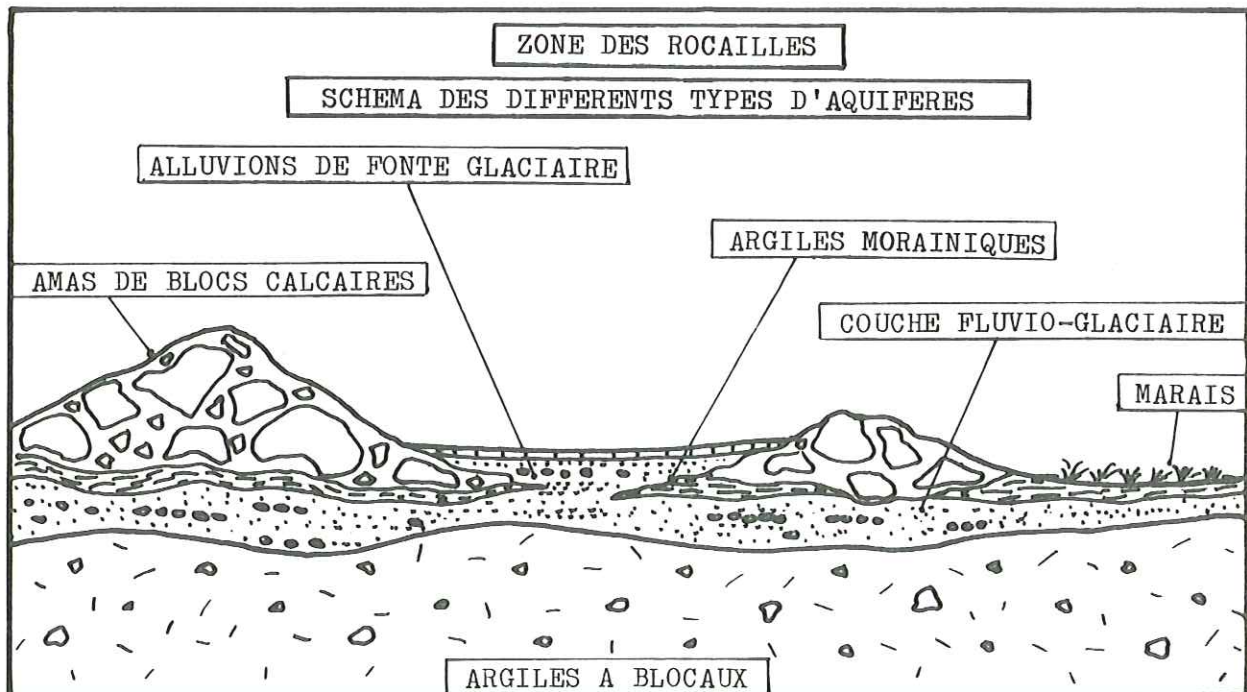


fig.96

b - Mur.

Le mur imperméable de toute cette zone est formé par les argiles à blocs compactes, gris-bleu.

c - Alimentation.

L'alimentation de ces nappes se fait par infiltration directe des précipitations sur les amas de blocs écroulés.

L'évolution des résistivités de certains points d'eau montre que, dans le cas des amas d'alluvions de fonte, l'infiltration est généralement retardée par des niveaux superficiels d'argiles glacio-lacustres.

D'autre part, il existe une alimentation latérale, d'amont en aval, par déversement des aquifères élémentaires les uns dans les autres.

d - Exutoires.

Les sources apparaissent au contact des argiles, en aval des amas morainiques les plus importants (source 399 Rocailles), ou au pied des gradins, soulignés de bourrelets, qui matérialisent les stades élémentaires de retrait.

L'ensemble des aquifères est drainé par les ruisseaux de Bossenay, de Magny et des Bordes.

Les cartes d'iso-résistivité examinées plus loin montrent que les nappes de la zone des Rocailles alimentent celles qui sont situées en aval, en particulier au Sud-Est, entre Le Châtelet et les captages de SCIENTRIER (PI86).

3) PARTIE SITUÉE A L'EST DES ROCAILLES.

Le réseau d'observation a comporté 9 points d'eau, dont une source.

a - Aquifère.

Les limons et sables de la terrasse de CONTAMINE contiennent une nappe d'importance réduite, où sont implantés les puits 406 La Croix et 408 Porte d'en Bas.

Les autres points d'eau intéressent des nappes annexes qui se déversent dans la nappe principale.

La source 450 Porte d'en Haut, de débit insignifiant, est directement alimentée par le bourrelet morainique de Porte d'en Haut, qui atteint 18m d'épaisseur.

Il s'agit donc d'un ensemble d'aquifères très superficiels dans des terrains essentiellement sableux.

b - Mur.

Il est formé par des argiles glacio-lacustres brunes, molles, très différentes des argiles à blocs de la zone des Rocailles.

c - Alimentation.

Elle est étroitement dépendante de la pluviométrie.

Le petit nombre de points d'eau reflète les possibilités très limitées d'exploitation.

Dans cette zone, les variations brutales de résistivité que l'on note sont dûes à des facteurs climatiques, mais aussi à diverses pollutions ; engrais, sel routier ; qui masquent les variations naturelles.

d - Exutoires.

Malgré la présence des cordons morainiques, et de ruisseaux orientés NW - SE, le drainage général de la nappe se fait vers le Nord-Est, en direction de l'Arve.

IV - EVOLUTION DE LA RESISTIVITE DES EAUX
DANS LES AQUIFERES SUPERFICIELS DE
LA REGION DE REIGNIER

REMARQUE : Les cartes d'iso-résistivité sont réalisées à partir de points d'observation situés dans des aquifères différents, bien qu'interdépendants.

La représentation en courbes a cependant été adoptée car elle figure mieux l'évolution des zones à faible ou forte résistivité.

Elle permet aussi de déterminer dans une certaine mesure le sens des circulations d'eau à partir des zones d'alimentation des nappes superficielles.

1) PERIODE DE MAI A SEPTEMBRE 1976.

Cette période encadre la sécheresse de l'été 1976 ; elle est particulièrement intéressante car elle schématise le comportement de chaque aquifère en exagérant les différences entre les nappes libres, réagissant rapidement aux variations pluviométriques, et les nappes captives ou semi-captives, de caractéristiques plus constantes.

a - Mai à Juin 1976. (voir figures 97,98).

C'est une période de sécheresse intense, accompagnée de températures élevées.

- Nappes superficielles.

Il y a une baisse généralisée de la résistivité due à une forte évaporation.

Ce phénomène est particulièrement sensible

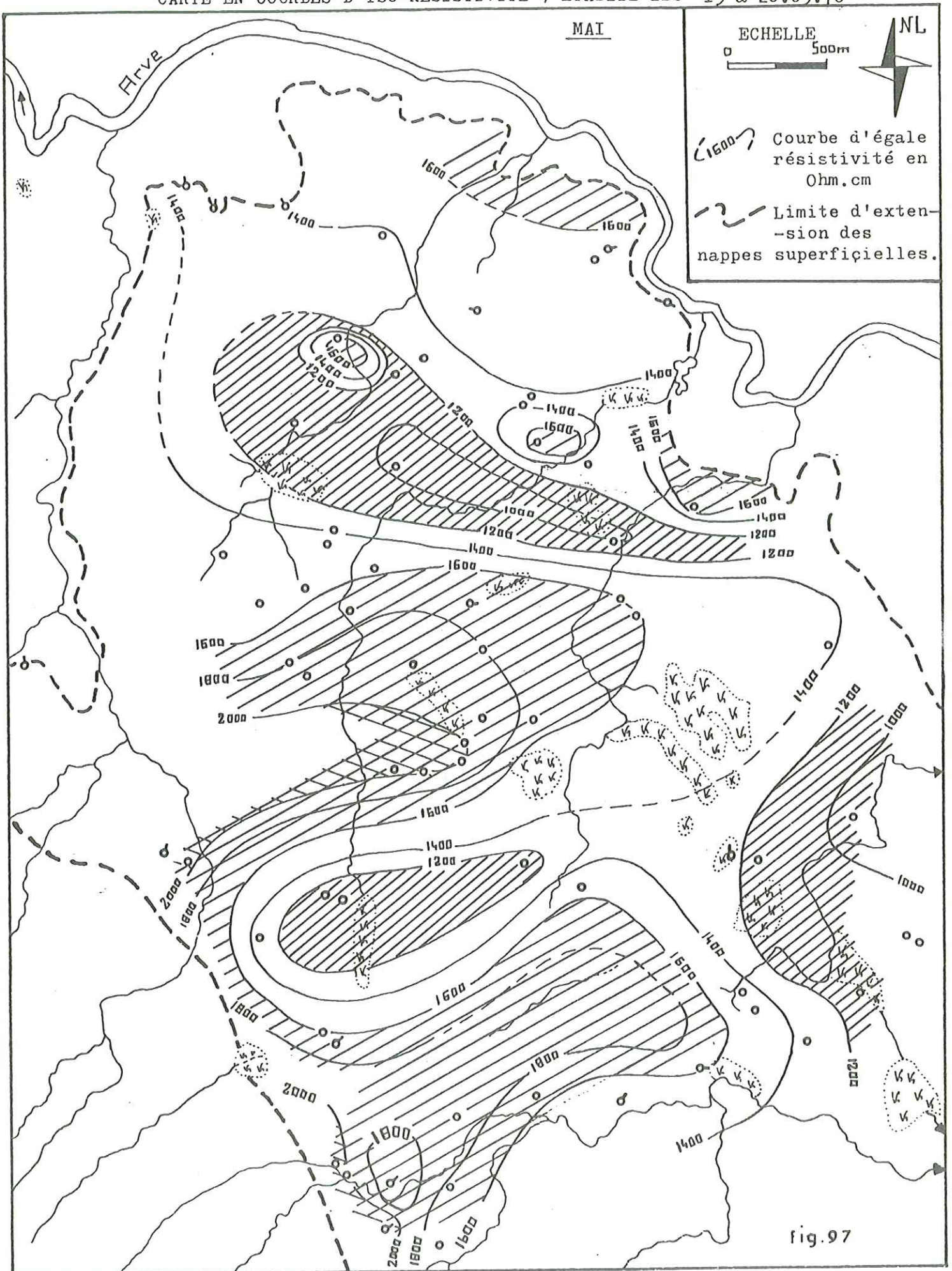


fig.97

dans la partie Nord de la plaine de REIGNIER, où il y a disparition des zones résistantes centrées sur les puits 401 Romboëg et 437 L'Ecule.

L'augmentation de résistivité constatée dans les puits 418, 419, et 422 La Muselière et Loisinges, est une exception qui peut s'expliquer par un temps d'infiltration plus long des pluies orageuses de la fin Mai.

- Nappes captives superficielles.

Les sources 411 Le Châtelet, 412 Loslenaz et 417 Les Vuardes voient leur débit baisser dans de fortes proportions ; mais leur résistivité reste inchangée, ou même augmente.

- Nappes captives.

Les caractéristiques de la nappe captive sous la plaine de REIGNIER restent inchangées.

b - Juin à Juillet 1976. (voir figures 98 & 99).

La fin du mois de Juillet est caractérisée par de très fortes pluies orageuses, dont l'infiltration est facilitée par le sol sec et craquelé.

- Nappes superficielles.

Elles réagissent immédiatement et on note une augmentation importante de la résistivité dans les puits 401 Romboëg, 437 L'Ecule et 439 (nappe superficielle locale de la plaine de REIGNIER).

Les puits 443 Jussy, 453 St Ange et 397 Magny (nappe des bordures de la plaine de REIGNIER) ont le même comportement.

- Nappes captives superficielles.

Dans la partie centrale et Sud des Rocailles les résistivités restent pratiquement inchangées ; ce qui s'explique par une couche argileuse superficielle observée en plusieurs endroits (puits 413 Loslena d'en Haut, 425 Chez Ragat).

La résistivité des sources 411 Le Châtelet, 412 Loslena d'en Bas et 417 Les Vuardes varie peu, de même que leur débit, qui reste constant ou augmente légèrement.

- Nappe captive.

Elle ne réagit pas, et on constate même une baisse de niveau et de résistivité dans les puits qui l'exploitent (432 et 438 à Boringe et 431 aux Môles par exemple).

c - Juillet à Août 1976. (voir figures 99 & 100).

La première quinzaine d'Août comporte plusieurs épisodes

CARTE EN COURBES D'ISO-RESISTIVITE , ETABLIE LES 23 & 24.08.76

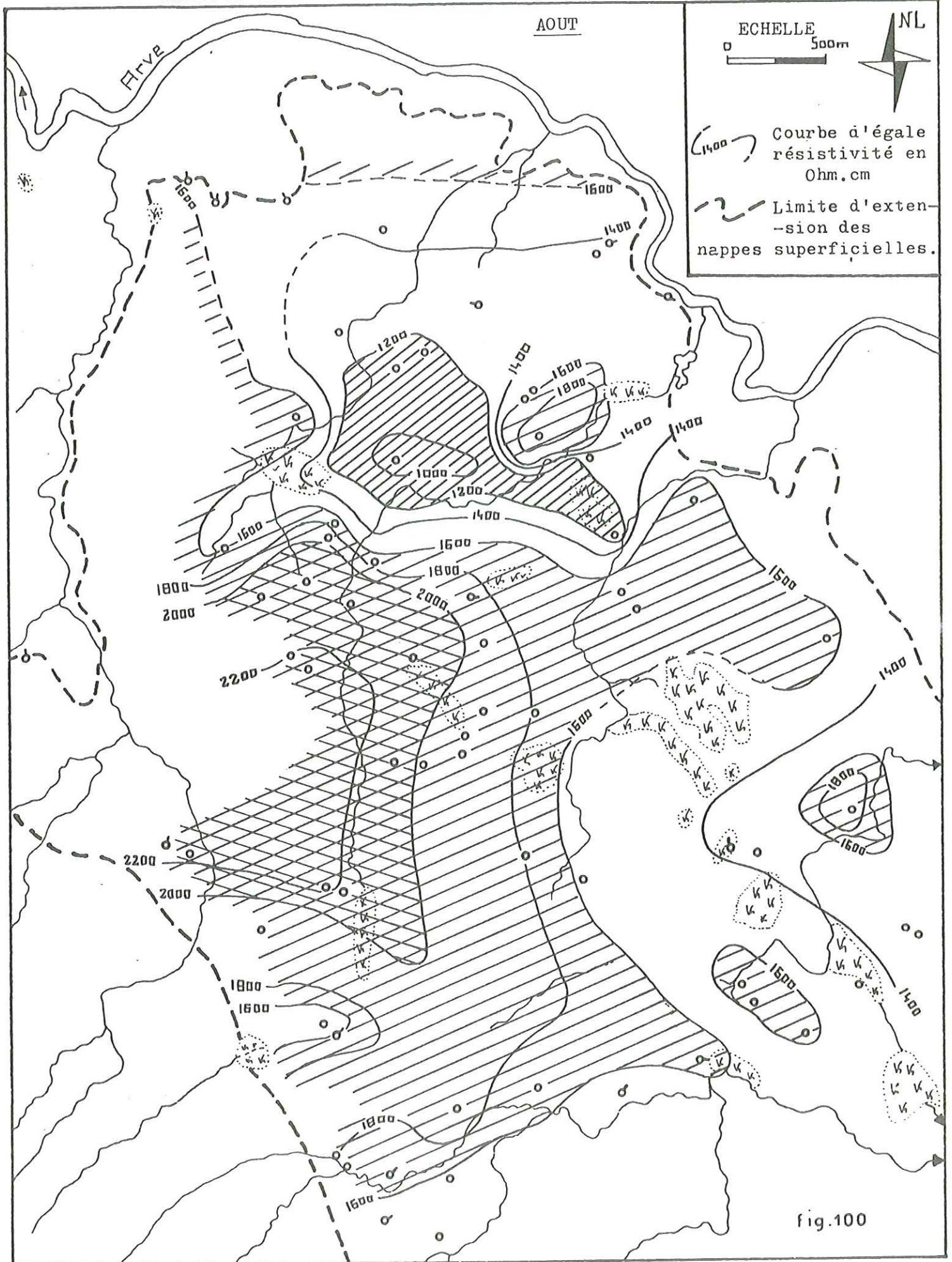
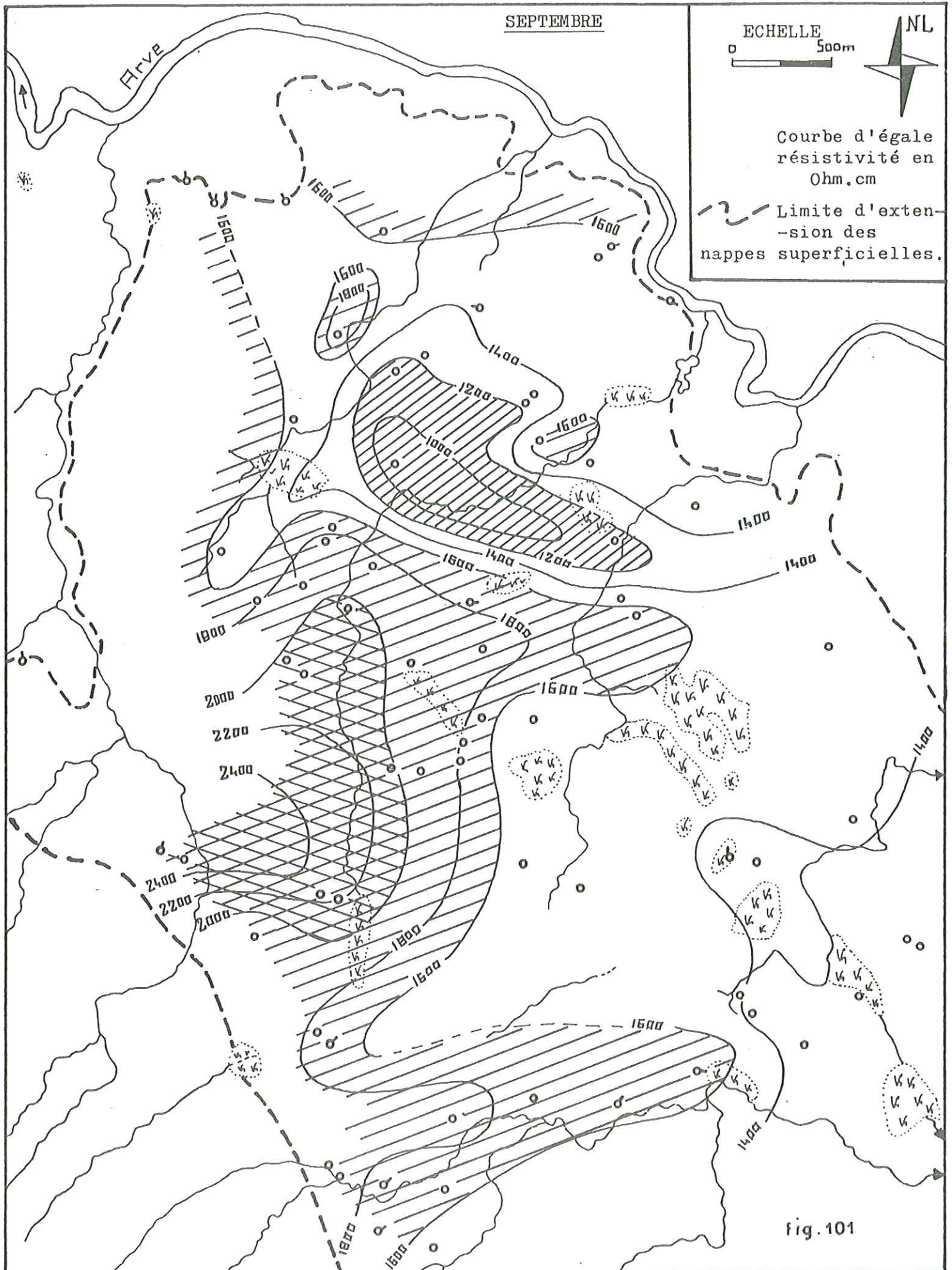


fig.100

CARTE EN COURBES D'ISO-RESISTIVITE , ETABLIE LES 25 & 26.09.76



pluvieux, mais les températures moyennes restent élevées.

- Nappes superficielles.

La résistivité des eaux continue à augmenter dans les aquifères les plus élevés qui constituent les zones d'alimentation : terrasse de JUSSY, partie amont du ruisseau de MAGNY au débouché du chenal glacière de LOISINGES.

Le puits 442 Bersa ne bénéficie pas de cette alimentation car il est situé en dehors du cône de déjection.

- Nappes captives superficielles.

Dans la partie Sud, les puits 413 et 447 Loslena d'en Haut, réagissent, mais les sources 411 Le Châtelet, 412 Loslena d'en Bas, 417 Les Vuardes et 445 Chevrier gardent une résistivité constante, malgré une augmentation de débit. Cela tend à confirmer que leur aquifères sont isolés de la surface par une couche imperméable. Leurs variations de débit reflètent alors une variation de charge et n'entraînent pas immédiatement un changement de résistivité.

- Nappe captive.

Elle en réagit pas. Seule la source 495 La Motte voit sa résistivité légèrement augmenter.

d - Août à Septembre 1976. (voir figures 100 & 101).

Le mois de Septembre est exceptionnellement pluvieux (170mm) et les températures moyennes chutent de plusieurs degrés.

- Aquifères superficiels.

Malgré les fortes pluies, on assiste à une stabilisation des résistivités. Seules les parties où l'infiltration est très facile (terrasse de JUSSY), ou les aquifères très superficiels (puits 401 Romboëg) réagissent nettement.

- Nappes captives superficielles.

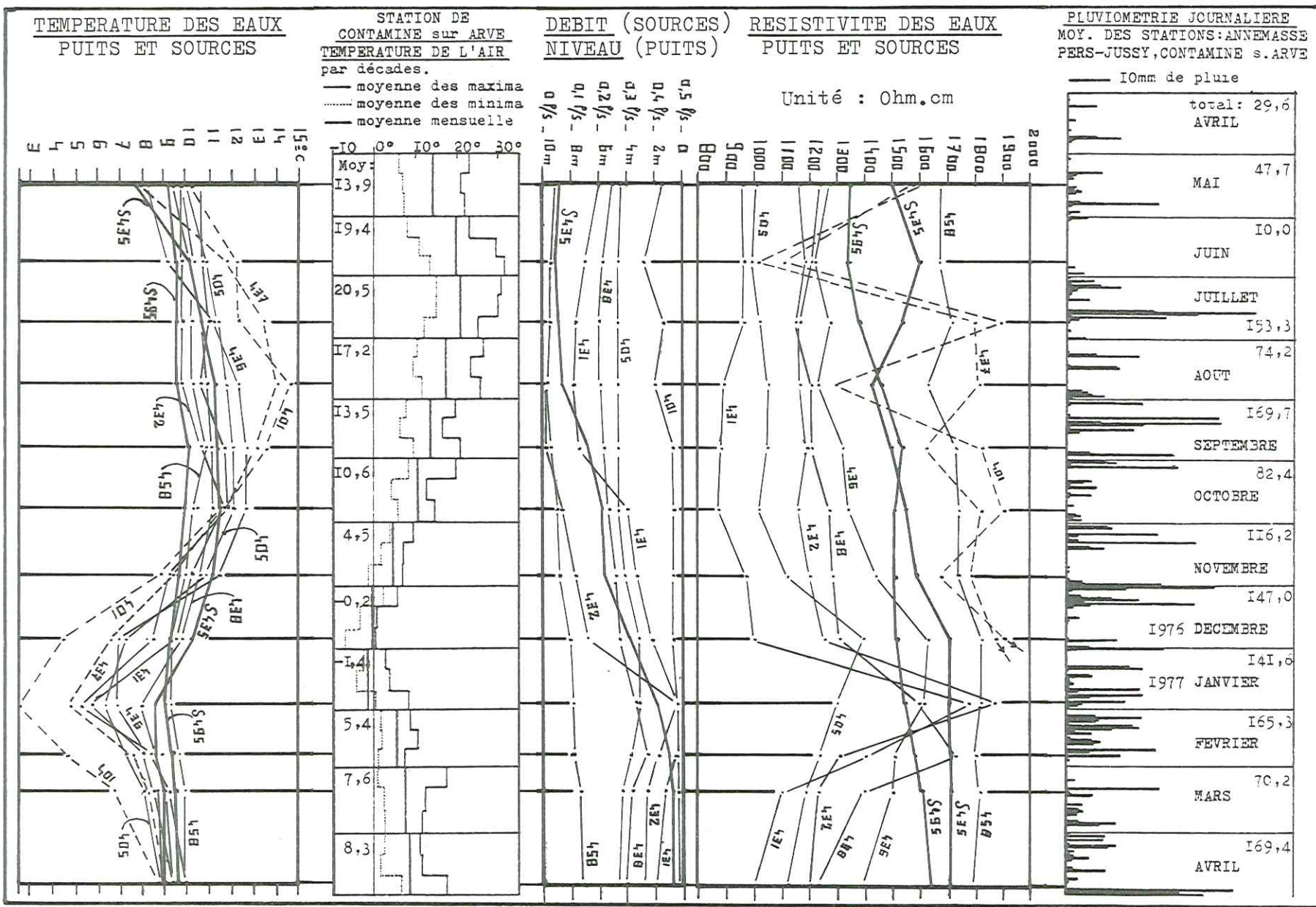
Les sources 412 Loslena d'en Bas, 417 Les Vuardes et 445 Chevrier voient leur résistivité augmenter légèrement.

- Nappe captive.

Elle ne réagit pas, mais on note une légère augmentation de débit et de résistivité de la source 435 Villy.

NAPPES LIBRES SUPERFICIELLES : 401, 437
 NAPPE CAPTIVE SOUS LA PLAINE DE REIGNIER : 405, 431, 435, 432, 436, 438
 458, 495.

fig. 102



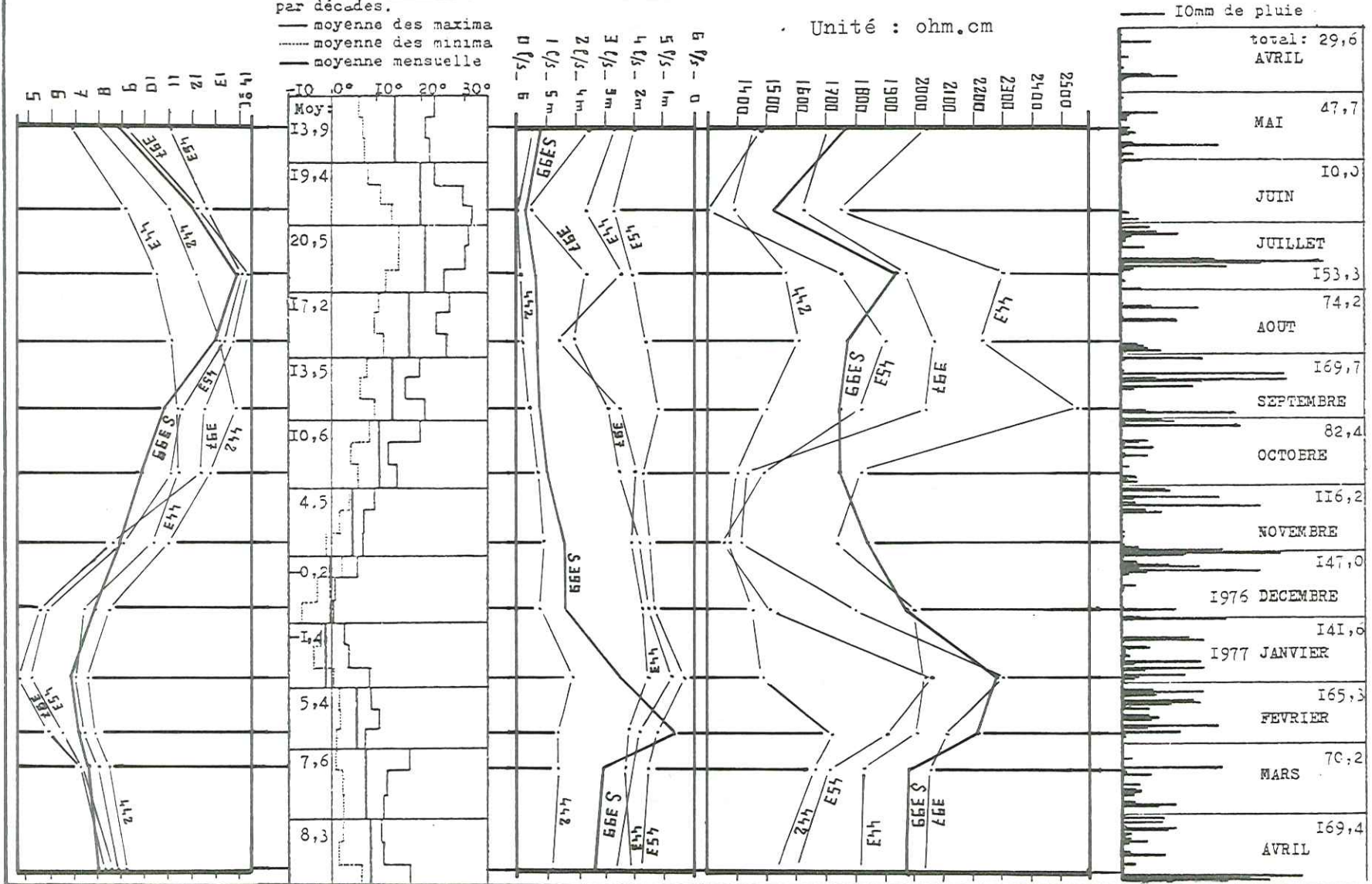
**TEMPERATURE DES EAUX
PUITS ET SOURCES**

**STATION DE
CONTAMINE SUR ARVE
TEMPERATURE DE L'AIR**
par décades,
— moyenne des maxima
- - - - - moyenne des minima
— moyenne mensuelle

**DEBIT (SOURCES)
NIVEAU (PUITS)**

**RESISTIVITE DES EAUX
PUITS ET SOURCES**

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE
MOY. DES STATIONS: ANNEMASSE
PERS-JUSSY, CONTAMINE s. ARVE



NAPPE DE LA TERRASSE DE JUSSY : 443.
NAPPE DES BORDURES DE LA PLAINE DE REIGNIER : 442, 443, 397, 399, 453.

MOIS	total (mm)
AVRIL	29,6
MAI	47,7
JUIN	10,0
JUILLET	153,3
AOUT	74,2
SEPTEMBRE	169,7
OCTOBRE	82,4
NOVEMBRE	116,2
1976 DECEMBRE	147,0
1977 JANVIER	141,6
FEBVRIER	165,3
MARS	70,2
AVRIL	169,4

Fig. 103

TEMPERATURE DES EAUX
PUITS ET SOURCES

STATION DE
CONTAMINE sur ARVE
TEMPERATURE DE L'AIR
par décades.
— moyenne des maxima
- - - - - moyenne des minima
— moyenne mensuelle

DEBIT (SOURCES)
NIVEAU (PUITS)

0,9 l/s - 1,5 m
0,8 l/s - 2 m
0,7 l/s - 2,5 m
0,6 l/s - 3 m
0,5 l/s - 3,5 m
0,4 l/s - 4 m
0,3 l/s - 4,5 m
0,2 l/s - 5 m

RESISTIVITE DES EAUX
PUITS ET SOURCES

Unité : Ohm.cm

PLUVIOMETRIE JOURNALIERE
MOY. DES STATIONS: ANNEMASSE
PERS-JUSSY, CONTAMINE S, ARVE

10mm de pluie

total: 29,6
AVRIL

MAI 47,7

JUIN 10,0

JUILLET 153,3

AOUT 74,2

SEPTEMBRE 169,7

OCTOBRE 82,4

NOVEMBRE 116,2

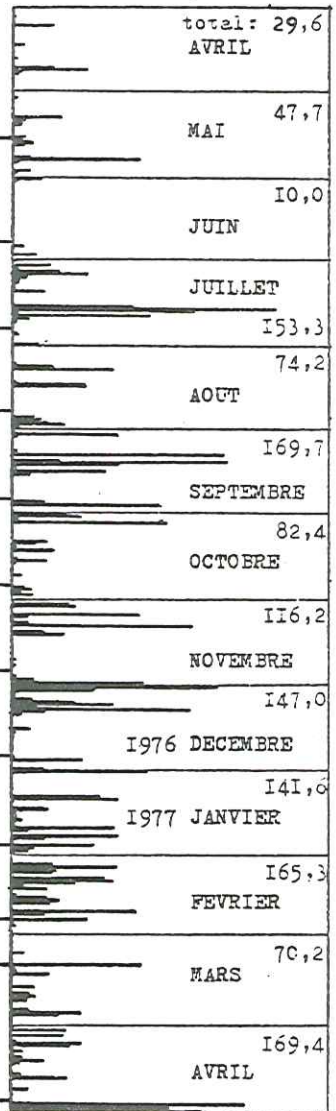
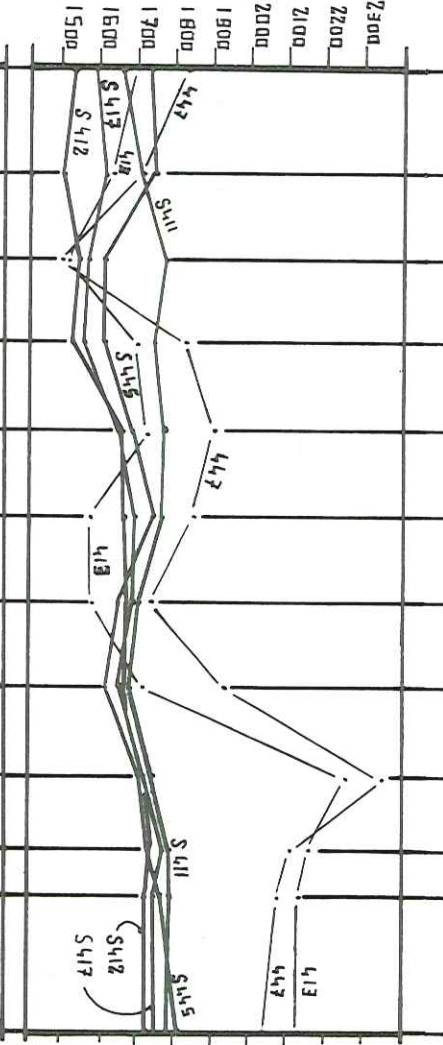
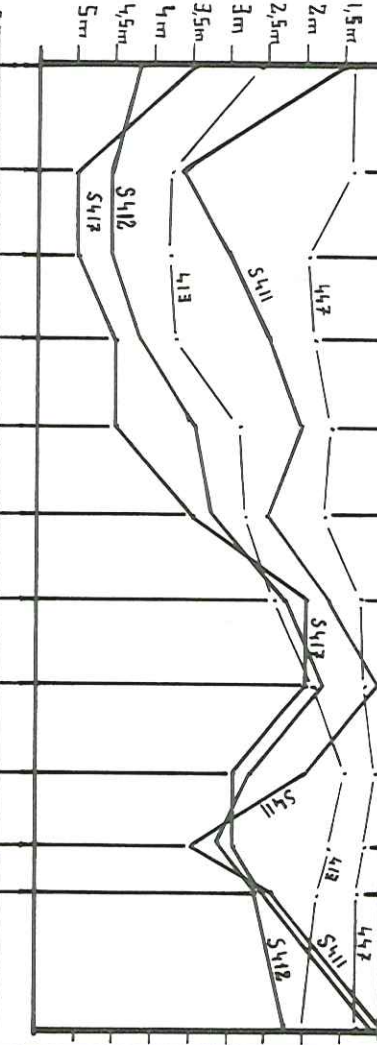
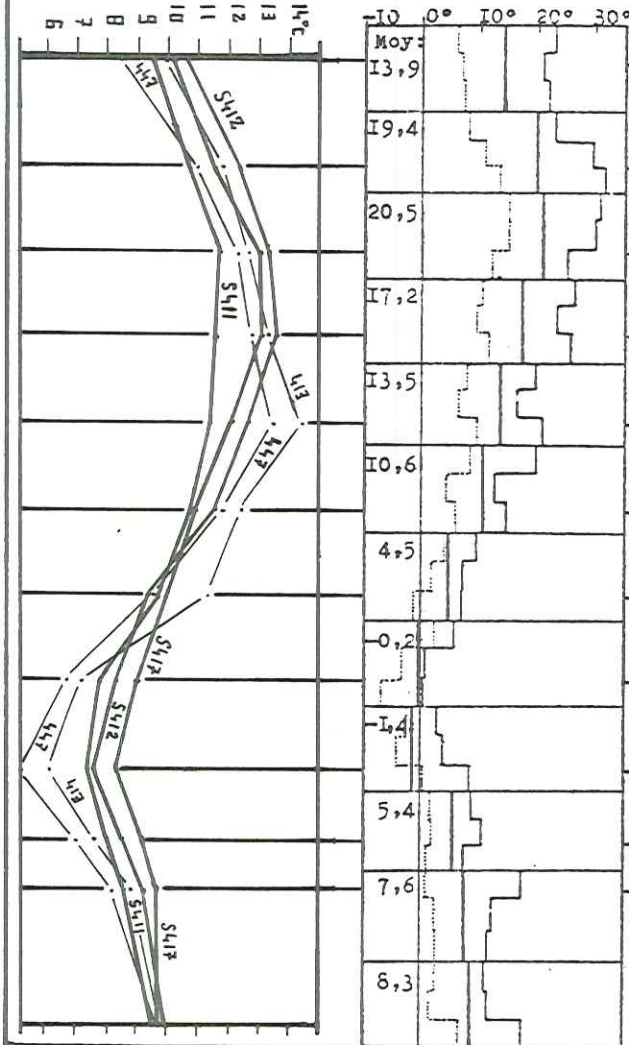
1976 DECEMBRE 147,0

1977 JANVIER 141,6

FEBVIER 165,3

MARS 70,2

AVRIL 169,4



NAPPES CAPTIVES SUPERFICIELLES

Fig. 104

2) EVOLUTION JUSQU'EN AVRIL 1977.

a - Aquifères superficiels. (voir figures I02 et I03).

Le mois d'Octobre amène une chute brutale de résistivité en de nombreux points des aquifères superficiels ; sans baisse de niveau dans les puits. Cela est dû à un épandage d'engrais dans les zones les plus cultivées (397 Magny, 443 Jussy, 453 St Ange).

Cette chute de résistivité reste sensible jusqu'à la fonte des neiges, fin Janvier, qui amène une nouvelle augmentation de résistivité.

A partir de cette date, elle décroît de nouveau, en particulier jusqu'au 15 Mars, à cause de l'épandage massif de scories potassiques.

Ces engrais sont entraînés par les abondantes précipitations du mois de Février dans les nappes superficielles où il est possible de les détecter par analyse hydrochimique.

L'influence de cette pollution ne s'atténuera qu'après les fortes pluies de la fin Avril et du mois de Mai.

b - Nappes captives superficielles. (voir figure I04).

La résistivité des sources 411 Le Châtelet, 412 Loslena d'en Bas, 417 Les Vuardes et 445 Chevrier, reste remarquablement uniforme, avec une légère tendance à l'augmentation (I650 à I750 ohm.cm).

Les débits ont une évolution générale qui reflète la pluviosité moyenne, mais les fluctuations de détail sont difficilement explicables si ce n'est par des variations de charge.

Ce fait, associé à la constance des caractéristiques physicochimiques, tend à prouver que ces sources sont les exutoires de nappes qui sont captives, bien qu'étant superficielles.

c - Nappe captive sous la plaine de REIGNIER.
(voir figure I02).

Au niveau de son exutoire principal, la source 495 La Motte, la résistivité est très uniforme, avec une légère augmentation de I550 à I650 ohm.cm. Des variations un peu plus marquées sont décelables au niveau des autres points d'observation.

Dans les puits 431 Les Mômes, 432 et 438 Boringe, la très forte augmentation de résistivité au mois de Janvier est due à l'inondation entraînée par la fonte des neiges. Celle-ci a submergé les alentours de ces puits, amenant un mélange d'eaux à très forte résistivité avec les eaux de la nappe captive. Cette perturbation est restée sensible jusqu'à la mi-Mars.

Les variations plus amorties observées dans les puits 436 L'Ecule , et 405 Les Bordes, ont une origine semblable.

V - E V O L U T I O N M E N S U E L L E D E S T E M P E R A T U R E S

1) CAUSES D'IMPRECISION.

L'observation des températures dans les points d'eau n'apporte pas de résultats aussi intéressants que celle de la résistivité.

En effet, il y a intervention de facteurs indépendants de l'aquifère tels que : l'exposition du point d'eau par rapport au soleil, le fait qu'il soit couvert ou non, le niveau dans le puits par rapport au sol, et la présence d'électro-pompes amenant un réchauffement de l'eau qui se prolonge même après le retour au niveau statique.

2) RESULTATS.

a - Comparaison sources - puits.

Les sources ont une variabilité de température plus faible que celle des puits. Elle est d'autant plus réduite que l'aquifère délivre un débit régulier, avec une résistivité constante, donc sans mélange avec des eaux infiltrées rapidement.

b - Aquifères profonds.

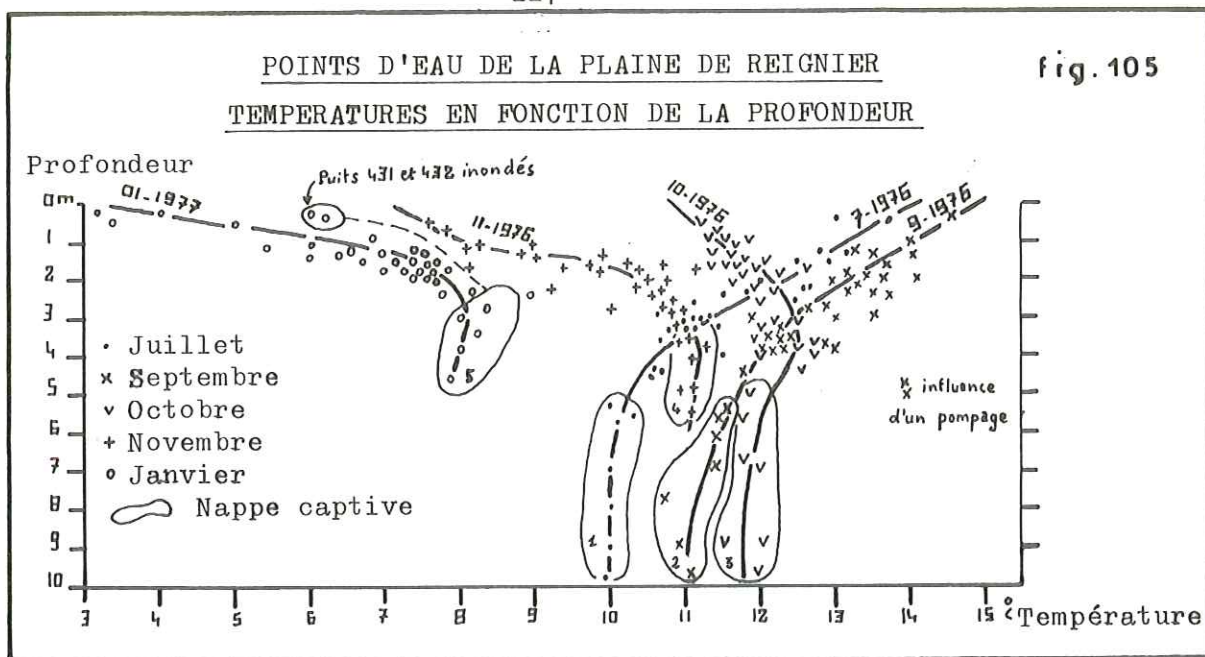
Pour les puits et les aquifères les plus profonds, le maximum de température des eaux peut être retardé de près de quatre mois par rapport au maximum de température de l'air.

Par contre, les minima ne sont décalés que d'un mois environ.

c - Relation profondeur - température. (voir figure 105).

Pour les nappes superficielles, le gradient de température est très fort. Il s'inverse entre l'été et l'hiver à la fin du mois de Septembre.

Par contre, pour les points d'eau qui intéressent la nappe captive sous la plaine de REIGNIER, la température varie très peu avec la profondeur. La figure 105 illustre l'évolution mensuelle du gradient de température.



VI - CONCLUSION DE L'ETUDE DE LA REGION
DE REIGNIER

Dans la région s'étendant à l'Est de REIGNIER, le relevé mensuel, sur une période d'un an, des résistivités, températures, piézométrie et débits dans un réseau de soixante points d'eau, a conduit à la mise en évidence de trois types d'aquifères, dans les formations du retrait glaciaire.

Leur identification s'est faite essentiellement en observant leur mode de réaction aux variations météorologiques.

1) LES NAPPES LIBRES SUPERFICIELLES.

Elles sont localisées dans les placages morainiques, les formations de pente et les limons couronnant les gradins de retrait glaciaire.

Elles sont caractérisées par une forte variabilité des résistivités, débits et températures ; une réaction rapide aux changements météorologiques (inférieure à un mois) et une sensibilité à l'évaporation et aux pollutions.

Ces aquifères sont fréquemment discontinus et se déversent les uns dans les autres par l'intermédiaire de zones marécageuses.

La piézométrie suit la surface topographique, ce qui implique souvent de forts gradients.

2) LES NAPPES CAPTIVES SUPERFICIELLES.

Leurs aquifères sont constitués par des couches relativement continues, qui correspondent à des épisodes fluvioglaciaires situés sous les Rocail-

-les ou entre les amas de blocs calcaires écroulés.

Les exutoires sont des sources situées au pied des ruptures de pente au contact avec le substratum argileux.

Ces aquifères sont isolés des variations pluviométriques par des niveaux superficiels imperméables, ce qui leur donne des caractères de nappes captives : peu de sensibilité de la résistivité des eaux aux changements pluviométriques de courte durée (temps de réaction de 1 à 3 mois), variations de débit se faisant sous l'influence de variations de charge, sans changement immédiat de résistivité.

3) NAPPE CAPTIVE.

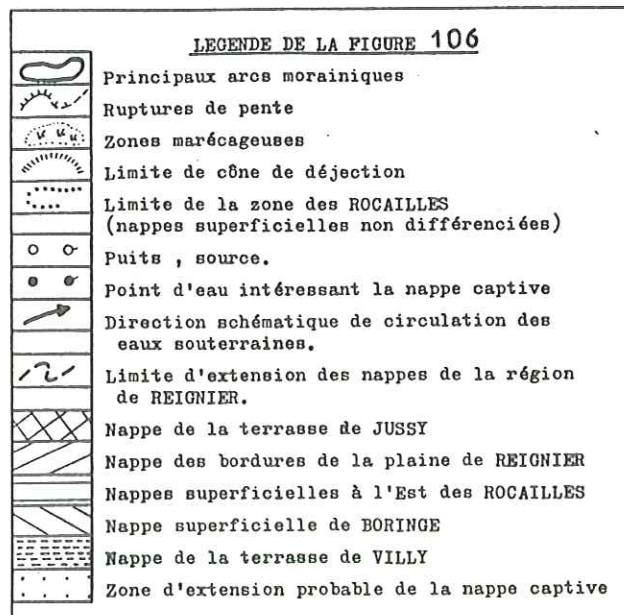
Une nappe captive existe sous la plaine de REIGNIER, isolée par 5 à 10m de formations argileuses.

Elle comporte plusieurs exutoires qui forment une ligne de sources à l'altitude 450m.

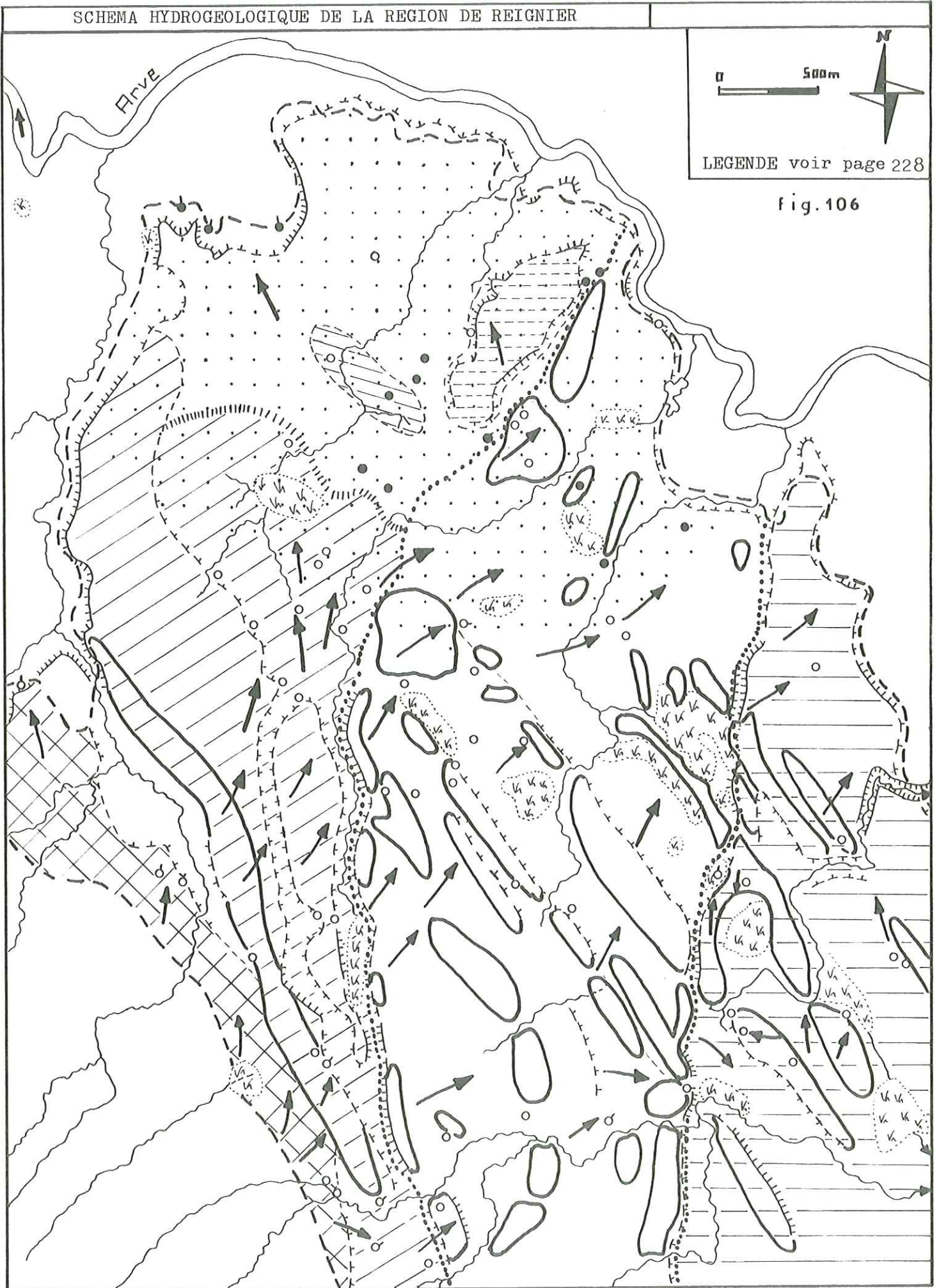
La résistivité des eaux ne varie qu'à l'échelle de l'année, sauf en cas de mélange accidentel avec des eaux superficielles (puits 431, 432, et 438 à la fonte des neiges).

Au centre de la plaine, à Boringe, les variations piézométriques annuelles peuvent atteindre 8 à 10m; elles reflètent les variations de l'alimentation de la nappe, qui doit se faire à partir du pied des collines molassiques grâce à d'anciens cônes de déjection.

La figure 106 résume l'ensemble des renseignements tirés de l'étude hydrogéologique de la région de REIGNIER.



SCHEMA HYDROGEOLOGIQUE DE LA REGION DE REIGNIER



LEGENDE voir page 228

fig. 106

CHAPITRE IV

ETUDE HYDROCHIMIQUE

C H A P I T R E I V

E T U D E H Y D R O C H I M I Q U E

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

L'étude hydrogéologique a permis de distinguer plusieurs types d'aquifères contenus dans les formations quaternaires de la basse vallée de l'Arve.

Dans ce chapitre, nous allons chercher à déterminer si ces distinctions se retrouvent sur le plan des propriétés physicochimiques des eaux.

L'étude hydrochimique comprendra quatre parties :

- La détermination des paramètres physicochimiques, où seront indiquées les différentes méthodes d'analyse utilisées .
- La présentation du programme informatique qui a facilité le traitement des données d'analyse chimique.
- L'hydrochimie des apports atmosphériques, qui s'intéressera au contenu des eaux de pluie et de fonte des neiges.
- L'étude hydrochimique des aquifères et des cours d'eau qui examinera la chimie et l'évolution mensuelle des nappes et des cours d'eau de la basse vallée de l'Arve.

- A - DETERMINATION DES PARAMETRES
PHYSICOCHIMIQUES

I - PARAMETRES PHYSIQUES

Remarque sur le mode de prélèvement : Les analyses ont été faites sur des échantillons recueillis dans des flacons de polyéthylène d'un litre, hermétiquement bouchés, et conservés ensuite à basse température pour éviter toute modification de leurs caractéristiques.

1) LA TEMPERATURE.

Elle a été prise au point même de prélèvement, à 0,1°C près, avec un thermomètre à mercure.

Lors des mesures dans les puits, le récipient de prélèvement avait une capacité de 500 cm³, suffisante pour rendre négligeable la variation de température de l'eau au cours de la remontée jusqu'en surface.

2) LE pH.

C'est le cologarithme de la concentration en ions H⁺.

Il a été pris à 0,1 unité près à l'aide d'un pH-mètre PROLABO PI à électrode combinée verre-calomel TACUSSEL.

L'étalonnage s'est fait à l'aide de solution potassique de pH connu.

Les résultats sont exprimés en unité de pH à la température de 20°C.

3) LA RESISTIVITE.

C'est la résistance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux plaques-électrodes parallèles.

a - Au laboratoire.

Les mesures ont été faites avec un résistivimètre PHILIPS GM 4249-OI fonctionnant comme un Pont de Wheatstone, en courant alternatif 1000Hz pour éviter la polarisation des électrodes. L'équilibrage du pont était réalisé par un oeil magique. La cellule de mesure était de marque TACUSSEL, type CM à

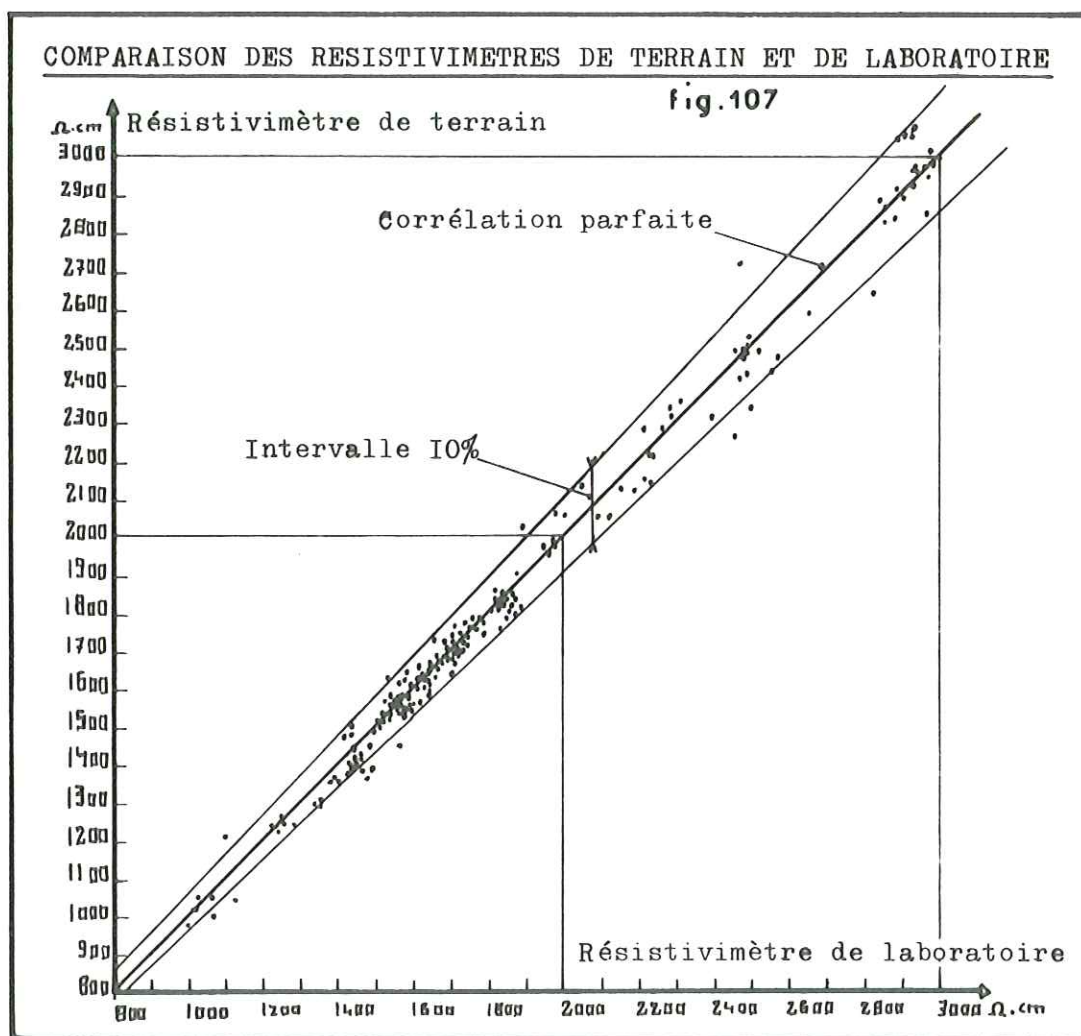
électrodes de 25mm^2 au noir de platine. Le coefficient de cellule était proche de 0,81 et l'incertitude relative variait de 1,5% au centre à 5% aux extrêmités de l'échelle de mesure.

b - Sur le terrain.

Les mesures ont été faites lors de l'échantillonnage avec un résistivimètre portatif fonctionnant en courant alternatif. Le dispositif de zéro était constitué par des diodes électroluminescentes. La cellule avait un coefficient de 3,3.

c - Graphique de corrélation entre les deux appareils.

Il a permis d'établir que les mesures de terrain et les mesures de laboratoire étaient corrélées à 10% près, sur la gamme des résistivités les plus fréquentes : 1000 à 3000 ohm.cm.



Remarque: Sur l'appareil de terrain, des variations de 3% étaient décelables.

Comme la résistivité d'une eau est fonction de sa minéralisation globale, elle a permis d'évaluer rapidement la charge en éléments dissous, sans qu'une analyse chimique soit nécessaire.

I I - P A R A M E T R E S C H I M I Q U E S .

J'ai réalisé environ 220 analyses chimiques au laboratoire d'hydrogéologie.

Les ions qui ont été dosés sont : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{--} et accessoirement les nitrites, le fer et la silice dissoute.

Quatre méthodes d'analyse ont été utilisées :

- TITRIMETRIE
- COLORIMETRIE
- TURBIDIMETRIE
- SPECTROPHOTOMETRIE DE FLAMME

1) TITRIMETRIE.

Sous sa forme complexométrie, elle a permis de déterminer la dureté totale (THT), la dureté calcique (THCa), et la teneur en chlorures.

a - Détermination des duretés totale et calcique.

- Principe du dosage complexométrique.

En présence d'acide éthylène diamine-tétracétique (EDTA), les ions alcalino-terreux forment un complexe de type chélate.

Dans les aquifères étudiés, les alcalino-terreux dominants sont le Calcium et le magnésium. La part des métaux lourds, dans le dosage complexométrique, peut donc être considérée comme négligeable.

- Dureté totale (THT) : Dosage de Ca^{++} + Mg^{++} par complexométrie.

On amène le pH de l'échantillon à 10 ± 0,1 par addition d'une solution tampon, et on complexe Ca^{++} et Mg^{++} par l'EDTA.

L'indicateur utilisé est le noir d'ériochrome T qui vire lorsque tous les ions sont complexés.

- Dureté calcique (THCa) : Dosage de Ca^{++} seul par complexométrie.

Le pH est porté à plus de 12 par addition de soude, les ions Mg^{++} sont éliminés de la solution par précipitation sous forme d'hydroxyde. On complex ensuite avec l'EDTA.

L'indicateur utilisé, le Murexide, vire lorsque tous les ions Ca^{++} sont complexés.

La teneur en ion Mg^{++} est obtenue par différence des duretés calcique et totale.

REMARQUES : . Les duretés sont indiquées en degrés français.

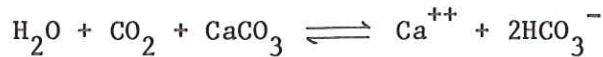
. Si le THT est inférieur à 5°f, la méthode complexométrique est trop peu précise, surtout pour Mg^{++} , et les dosages doivent être effectués par

spectrophotométrie. Pour une dureté d'environ 20°f, la précision a été estimée à environ 1% pour le calcium, et 3% pour le magnésium.

b - Titres alcalimétriques TA et TAC : dosage des carbonates et des bicarbonates.

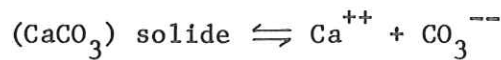
- Généralités.

La présence des carbonates et des bicarbonates découle de l'action du gaz carbonique sur la fraction calcaire des roches:

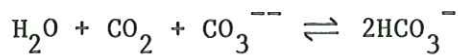


Cet équilibre est en fait la somme de deux phénomènes :

- . Dissolution faible du carbonate de calcium, peu soluble.



- . Action du CO_2 sur l'ion CO_3^{--} avec formation de bicarbonate de calcium, beaucoup plus soluble.



Pour un pH donné, les teneurs de ces diverses formes de carbone minéral sont dans des rapports définis. Au pH de toutes les eaux normales (pH inférieur à 8,3), l'ion bicarbonate est dominant à 99% et se dose par le seul titre alcalimétrique complet (TAC).

Si le pH avait été supérieur à 8,3, le dosage des carbonates par le titre alcalimétrique (TA) aurait été nécessaire avant de déterminer le TAC.

- Dosage des carbonates : Titre alcalimétrique (TA).

On neutralise les ions CO_3^{--} par une solution d'acide sulfurique jusqu'à pH 8,3. L'indicateur est la phénolphthaléine.

- Dosage des bicarbonates : Titre alcalimétrique complet (TAC) par acidimétrie.

On neutralise les ions bicarbonate par une solution titrée d'acide sulfurique, jusqu'au pH du point d'équivalence, où le réactif (méthylorange) vire au rose orangé.

Le pH du point d'équivalence dépend de la concentration en ions HCO_3^- (TAC) et du pH naturel de l'échantillon :

pH naturel	TAC en degrés français				
	5	10	15	20	30
7	4,70	4,55	4,46	4,40	4,32
7,4	4,73	4,58	4,49	4,43	4,33
7,7	4,74	4,59	4,50	4,44	4,35
8	4,74	4,60	4,51	4,45	4,35
	pH du point d'équivalence				

REMARQUE : Le virage de l'indicateur est progressif, et ne se fait qu'à partir de pH 4,4 . Le point d'équivalence doit donc être déterminé à l'aide d'un pH-mètre par la relation pH - volume d'acide ajouté.

La précision de la détermination est indispensable car la valeur du TAC doit être multipliée par un facteur 12,2 pour obtenir la teneur en ions HCO_3^- en mg/l. En opérant de cette façon, la précision est d'environ 1%.

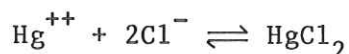
- Dosage des chlorures.

Sauf cas particulier de pollution ou de présence d'éva-porites, la teneur en chlorures des eaux souterraines est faible.

J'ai utilisé la méthode de CLARKE, au nitrate mercurique, qui est bien adaptée aux teneurs inférieures à 10 mg/l de Cl^- .

- Principe de la méthode:

L'ion mercurique Hg^{++} forme avec Cl^- un complexe soluble et peu dissocié ; suivant la relation :



Pour doser Cl^- on ajoute donc Hg^{++} à l'échantillon. Au point équivalent, les ions mercuriques en excès sont détectés par du bleu de bromophénol - diphénylcarbazone, qui donne avec eux un complexe violet en milieu acide (HNO_3).

La précision est meilleure que 10% pour des teneurs supérieures à 5mg/l de Cl^- .

Au dessous de 1mg/l (eaux de pluie), il faut opérer sur un volume double ou triple d'échantillon.

2) COLORIMETRIE .

a - Généralités.

Sont susceptibles de dosages colorimétriques, les substances donnant avec des réactifs une coloration dont la densité optique est fonction de leur concentration.

J'ai utilisé un photomètre HACH DC.DR muni d'échelles interchangeables graduées en concentration. La longueur d'onde incidente était ajustée au moyen de filtres.

Les dosages suivants ont été faits par cette méthode : Nitrates, Silice soluble, et accessoirement Nitrites, Ammonium et Fer total.

Le détail des méthodes de dosage ne sera pas développé, nous remarquerons simplement que le mode opératoire doit être constant car il influe sensiblement sur les résultats.

b - Dosage des Nitrates

Il est peu précis en valeur absolue ($\pm 10\%$), mais bien reproductible, ce qui permet de suivre des variations assez fines de teneur.

c - Dosage de la Silice soluble,

(méthode par réduction du complexe silico-molybdique par amino-acide et acide oxalique). La précision est de $\pm 5\%$, la reproductibilité est très bonne.

3) TURBIDIMETRIE.

a - Principe.

Il s'agit d'une forme de dosage colorimétrique. On mesure, dans ce cas, la densité optique d'un précipité maintenu en suspension.

b - Dosage des sulfates.

Il a été fait en mesurant l'absorption à 420 nm d'un précipité de sulfate de baryum obtenu en milieu acide.

Ce dosage est peu précis en valeur absolue ($\pm 15\%$), mais il est bien reproductible.

4) SPECTROPHOTOMETRIE DE FLAMME.

a - Absorption atomique. Dosage du Potassium, du Magnésium et du Calcium.

- Principe.

On mesure l'absorption d'un faisceau lumineux monochromatique traversant un nuage d'atomes. Chaque élément possède un spectre caractéristique.

L'excitation des atomes se fait par pulvérisation de l'échantillon dans une flamme de propane.

La densité optique du nuage est alors proportionnelle à la concentration en atomes libres, quand celle-ci est faible.

- Dosage du Potassium.

Gamme de 0 à 2ppm. Longueur d'onde : 766,3nm.

REMARQUE : Les solutions étalon contenaient, outre le potassium, 1ppm de sodium.

- Dosage du Magnésium.

Gamme de 0 à 0,5 ppm. Longueur d'onde : 285nm.

REMARQUE : Les solutions étalon contenaient, outre le Magnésium, 50ppm de Calcium, pour reproduire l'effet de matrice.

- Dosage du Calcium.

Gamme 0 à 1ppm. Ce dosage a seulement été réalisé sur les eaux provenant des précipitations.

b - Emission atomique.

- Principe.

Par pulvérisation d'une solution dans une flamme d'acétylène, on a vaporisation du solvant et dissociation atomique des sels contenus dans l'échantillon.

Les atomes libérés sont excités par l'énergie thermique de la flamme, et leur retour à l'état fondamental entraîne l'émission d'une radiation caractéristique dont l'intensité est fonction de la concentration de l'élément dans la solution.

- Dosage du Sodium.

Gammes de 0 à 1ppm et de 0 à 3ppm.

Longueur d'onde : 588,8 nm.

REMARQUE : Les solution étalon contiennent, outre le Sodium, 70ppm de Ca^{++} et 0,5ppm de K^+ pour éliminer l'effet de matrice dans les échantillons.

c - Précision et reproductibilité.

Les dosages par absorption et émission atomique ont une précision et une reproductibilité excellente ($\pm 0,5\%$).

Mais les étroites gammes de mesure imposent de nombreuses dilutions, cause d'imprécision.

- B - HYDROCHIMIE DES APPORTS ATMOSPHERIQUES

I - INTRODUCTION

L'atmosphère contient sous forme de poussières et d'aérosols de nombreux éléments chimiques étrangers, dont l'origine est à rechercher soit dans le milieu océanique (sodium et chlorures essentiellement), soit dans le milieu continental (calcium, magnésium, silice).

D'autres éléments sont en grande partie liés aux activités humaines et sont considérés comme des signes de pollution : les sulfates, dérivant d'émissions d'hydrogène sulfuré, ou provenant de l'oxydation du SO_2 dégagé par la combustion des hydrocarbures ; les nitrates, issus des engrais, de l'oxydation des gaz ammoniacés et de l'action bactérienne dans les sols.

Tous ces constituants se retrouvent plus ou moins mis en solution dans les précipitations.

II - MODE DE PRELEVEMENT

Les eaux de pluies et de fonte de neige ont été recueillies dans un bac totalisateur permettant d'intégrer les apports sur une période d'un mois.

III - RESULTATS

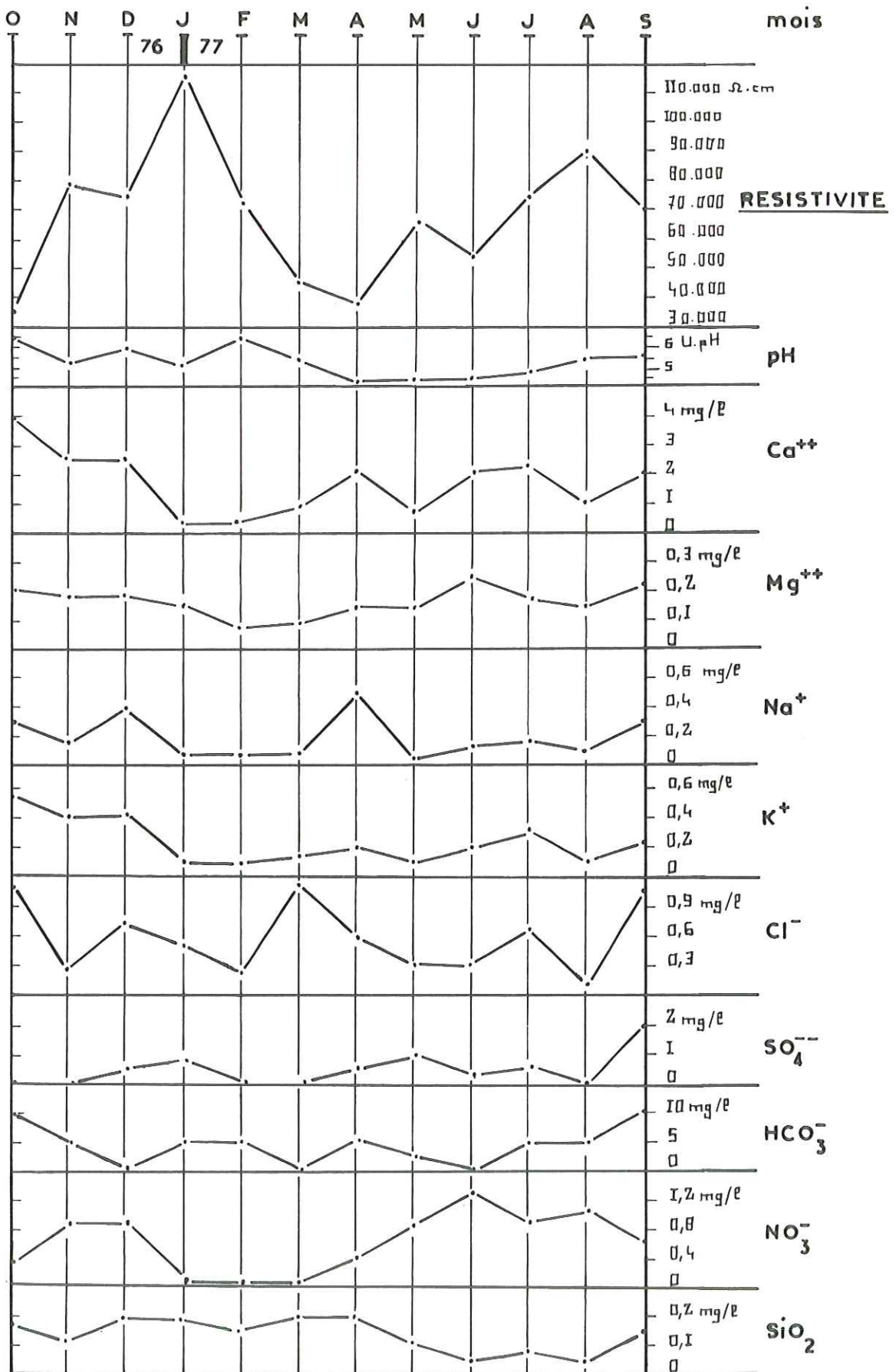
Le graphique de la figure I08 indique les variations mensuelles de composition chimique des eaux de pluie à ANNEMASSE.

Le tableau suivant donne les teneurs moyennes en différents ions pour la période Octobre 1976 à Septembre 1977.

Les valeurs sont à rapprocher de celles mesurées à la station de THONON C.R.G. d'altitude semblable. (concentrations en mg/l).

	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-	NO_3^-	SiO_2
ANNEMASSE 10.76 à 9.77	1,77	0,17	0,20	0,24	0,60	0,5	4,3	0,56	0,14
THONON 10.76 à 9.77	1,79	0,18	0,29	0,47	1,26	3,84	2,57	0,45	0,60
THONON sur II mois 10.76 à 8.77				0,28	0,91			0,49	0,08

EVOLUTION PHYSICOCHIMIQUE DES PLUIES . OCTOBRE 1976 à SEPTEMBRE 1977



Les teneurs en HCO₃⁻ figurées ne sont qu'indicatives, en raison du manque de précision du dosage pour les faibles concentrations.

fig.108

REMARQUE : A THONON C.R.G. les pluies de Septembre 1977 ont présenté des teneurs exceptionnelles en certains ions. Ces teneurs n'ont été observées que partiellement à ANNEMASSE, ce qui amène d'importantes distorsions entre les moyennes des deux stations. C'est pourquoi nous avons indiqué les moyennes sur 11 mois lorsqu'elles différaient trop de celles sur 12 mois.

Les teneurs à THONON et ANNEMASSE sont tout à fait comparables, en particulier pour les cations.

Par contre, la concentration en sulfates à ANNEMASSE est inférieure de près de 8 fois à celle observée à THONON.

Peut être qu'en raison du régime des vents sur le lac, cette dernière station est-elle plus directement exposée aux pollutions originaires de l'agglomération genevoise.

- C - HYDROCHIMIE DES NAPPES AQUIFERES ET
DES COURS D'EAU

I - UTILISATION DE L'INFORMATIQUE POUR LE
TRAITEMENT DES DONNEES D'ANALYSES

1) TRAITEMENT DES DONNEES.

Quand le nombre d'analyses est élevé, le temps passé en calculs hydrochimiques devient prohibitif ; c'est pourquoi j'ai réalisé un programme informatique en langage FORTRAN qui m'a effectué automatiquement les opérations suivantes :

a - Edition d'un tableau des analyses en milligrammes par litre.

b - Edition d'un tableau comprenant :

- Analyses converties en milliéquivalents.
- Balances ioniques calculées pour vérifier

chaque analyse.

- Rapports r_{Na}/r_{Ca} , r_{Mg}/r_{Ca} , r_{SO_4}/r_{Cl} , qui sont les plus utilisés pour différencier les aquifères entre eux.

c - Edition d'un tableau des pourcentages respectifs des différents ions.

Ce tableau est destiné à faciliter le report des analyses sur le diagramme triangulaire de PIPER.

d - Recherche de corrélations entre les différents paramètres physicochimiques.

- Report automatique des points d'analyse sur un graphique, après choix des variables à porter en abscisses et en ordonnées. L'allure du nuage de points permet déjà de constater s'il existe ou non une corrélation entre les paramètres choisis.

Notons que ce programme comporte une recherche des valeurs maximales en X et en Y afin d'ajuster au mieux les échelles suivant les deux axes.

Lors du report sur le graphique, une différenciation est faite suivant la nature du point d'eau : source, puits, cours d'eau.

- Régression linéaire entre les deux variables du graphique, avec calcul de la moyenne et de l'écart type suivant X et Y ; évaluation du coefficient de corrélation par la méthode des moindres carrés et indication de l'équation de la droite de régression.

REMARQUE : Pour un point d'eau donné, l'ensemble des coefficients de corrélation entre les différents ions pris deux à deux constitue la matrice de corrélation ; qui est utilisable pour déterminer les associations minérales qui sont à l'origine des ions observés.

2) SUPPORT D'ENTREE DES DONNEES.

Tous les paramètres physicochimiques de chaque échantillon ont été mis sur carte perforée.

La figure I09 indique le "format des données" choisi, c'est à dire l'espace réservé sur la carte à chaque donnée chiffrée.

3) DETAIL DES ANALYSES CHIMIQUES EFFECTUEES.

On trouvera en annexe le tableau complet des analyses chimiques en milligrammes par litre et en milliéquivalents par litre, ainsi que des exemples de report automatique sur graphique et de régressions linéaires entre divers paramètres.

I I - P L A N D E L ' E T U D E H Y D R O C H I M I Q U E

Au cours de cette étude, nous examinerons successivement les divers types d'aquifères, et pour chacun d'entre eux nous adopterons la démarche suivante :

1) La composition chimique moyenne en mg/l sera indiquée pour chaque point d'eau dans un tableau, avec mention des minima et des maxima observés pour les différents paramètres physicochimiques.

2) Ces données seront matérialisées sur Diagramme de SCHOELLER - BER-KALOFF par des lignes brisées joignant les teneurs maximales et les teneurs minimales atteintes par les ions.

De la forme de ce graphique, nous déduirons le faciès chimique des eaux, défini par l'anion le plus abondant associé au cation le plus abondant, les teneurs étant exprimées en milliéquivalents.

3) L'importance relative des différents ions sera traduite dans la Formule caractéristique de l'eau.

4) Nous indiquerons les valeurs moyennes des rapports r_{Na}/r_{Ca} , r_{Mg}/r_{Ca} , r_{SO_4}/r_{Cl} , qui ont été les plus utilisés pour différencier les aquifères.

5) L'évolution, au cours du temps, de la proportion entre les ions sera matérialisée sur diagramme triangulaire.

Nous avons utilisé un diagramme de PIPER que nous avons modifié car il est mal adapté à la représentation des eaux peu contrastées : nous n'avons considéré que les deux triangles du diagramme de PIPER qui correspondaient aux eaux à dominante bicarbonatée calcique.

Le "pointage" de chaque analyse ne s'en trouve pas modifiée, mais l'échelle est doublée, ce qui rend le diagramme beaucoup plus lisible.

Nous essaierons de justifier les variations de composition les plus significatives, en examinant notamment l'influence des phénomènes de pollution.

6) Les échanges ioniques entre les eaux et les terrains encaissants seront examinés en considérant l'Indice d'échange de bases (i.e.b) de SCHOELLER, qui permet de connaître dans quel sens se font les remplacements entre les ions :

$$i.e.b = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

. Si i.e.b est positif, les eaux échangent des ions sodium contre des ions calcium et magnésium.

. Si i.e.b est négatif, les eaux échangent des ions Ca^{++} et Mg^{++} contre des ions Na^+ . Dans ce cas, il est préférable de prendre pour valeur de i.e.b :

$$\text{i.e.b} = \frac{r\text{Cl}^- - r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r\text{SO}_4^{--} + r\text{HCO}_3^- + r\text{NO}_3^-}$$

7) L'origine probable des différents éléments en solution sera déduite, en particulier, de l'examen de la matrice des coefficients de corrélation entre les différents ions pris deux par deux, suivant une méthode mise au point par J.J.MISEREZ.

I I I - H Y D R O C H I M I E D E S N A P P E S S U P E R F I C I E L L E S

Nous regroupons sous ce terme les divers types d'aquifères superficiels distingués dans le chapitre hydrogéologie :

- Nappes des placages morainiques.
- Nappes des alluvions fluvioglaciales.
- Nappes libres et captives superficielles de la région de REIGNIER.

1) COMPOSITION CHIMIQUE EN mg/l.

Le tableau des pages 248,250 indique les valeurs minimales, maximales et moyennes de 14 paramètres physicochimiques dans 26 points des aquifères superficiels.

On remarque une très grande variabilité des teneurs (souvent d'un facteur 1 à 40), ce qui se traduira par une forte dispersion sur tout les diagrammes.

Nous avons pensé initialement pouvoir utiliser les paramètres caractérisant les roches silicatées (SiO_2 , K, Na) pour opérer une distinction entre les aquifères morainiques à dominante de roches cristallines, et ceux à dominante calcaire (Rocailles).

Nous avons dû y renoncer : les paramètres caractérisant les roches cristallines ne sont pas corrélables entre eux car il y a prédominance de sels plus solubles apportés artificiellement par la pollution chimique des aquifères.

Les teneurs en silice ne présentent pas de variations significatives en fonction du type d'aquifère ; elles sont de l'ordre de 10 mg/l.

HYDROCHIMIE DES NAPPES SUPERFICIELLES

POINT D'EAU N°		Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	TAC	THCa	THT	pH	RESIS	SiO ₂
LA BERGUE S 36		125,9	15,6	5,8	24,6	9,0	22	426	23,3	34,9	31,4	37,8	7,4	1404	
TURNIER S 84	min.	119,4	3,4	5,9	1,1	7,8	12	333	17,2	27,3	29,8	31,2	7,2	1753	
	max.	150,0	5,3	6,9	1,2	16,1	21	420	37,0	34,4	37,6	39,8	7,4	1495	
	moy.	135,2	4,6	6,4	1,1	13,0	16	366	29,5	30,0	33,8	35,7	7,3	1609	11,2
VIAISON S 100	min.	117,6	4,0	5,2	0,4	8,2	10	376	8,0	30,8	29,4	36,0	6,8	1707	
	max.	145,9	27,0	13,0	1,5	24,1	19	448	22,4	36,7	37,6	40,5	7,7	1399	
	moy.	135,7	10,6	8,6	0,9	13,5	15	420	13,3	34,0	34,0	38,4	7,2	1531	10,8
LOEX S 171	min.	93,0	21,9	10,2	2,3	9,4	12	345	9,7	28,3	23,2	32,2	7,4	1818	
	max.	96,2	27,2	14,0	2,8	11,5	16	388	14,1	31,8	24,0	35,2	7,8	1632	
	moy.	94,6	24,6	12,1	2,6	10,5	14	367	11,9	30,1	23,6	33,7	7,6	1725	
MAGNY P 397		96,2	1,5	3,5	2,1	6,8	10	277	12,8	22,7	24,0	24,6	7,7	2227	
ROCAILLES S 399	min.	92,2	2,9	3,0	0,9	4,4	8	285	2,2	23,4	23,0	26,2	7,7	2234	
	max.	136,0	10,7	5,5	2,6	11,1	19	407	15,8	33,4	34,0	36,4	7,0	1746	
	moy.	112,7	5,6	3,6	2,0	6,9	13	336	8,0	27,5	28,0	30,0	7,3	1977	6,5
LES BORDES P 404	min.	113,0	1,9	3,0	2,4	6,8	6	336	2,2	27,5	28,8	30,0	7,0	1973	
	max.	119,4	2,9	7,0	2,7	7,2	8	337	17,6	27,6	29,8	30,6	7,7	1907	
	moy.	116,2	2,4	5,0	2,6	7,0	7	337	9,9	27,5	29,3	30,3	7,4	1940	
PUBLET P 410		142,0	9,0	16,7	19,5	16,6	30	430	58,0	35,2	35,6	39,2	7,3	1350	12,6
LES BORDES P 405	min.	102,7	1,0	7,3	8,6	12,0	22	323	17,2	26,5	25,6	27,0	7,1	1980	
	max.	198,0	3,4	20,5	9,3	40,6	95	336	88,0	27,5	49,6	50,0	7,7	1061	
	moy.	150,4	2,2	13,9	9,0	26,3	59	330	52,6	27,0	37,6	38,5	7,4	1520	8,4
CHATELET S 411	min.	110,6	4,9	3,9	3,6	5,4	6	345	1,3	28,3	27,6	29,6	7,0	1977	
	max.	128,3	19,9	8,0	5,9	15,0	20	429	13,2	35,2	32,0	36,4	7,7	1675	
	moy.	118,8	9,1	5,9	4,4	9,2	9	353	6,0	29,0	27,3	30,7	7,3	1783	
LOSLENAZ S 412		86,4	33,3	8,5	6,3	10,0	12	423	9,2	34,7	21,6	35,3	7,0	1634	

tab. 2

HYDROCHIMIE DES NAPPES SUPERFICIELLES (suite)

Tab. 3

POINT D'EAU N°		Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	TAC	THCa	THT	pH	RESIS	SiO ₂
LOSLENAZ P 413	min.	97,0	9,2	9,3	27,8	11,5	20	326	47,5	26,8	24,2	28,0	7,0	I634	
	max.	107,0	13,0	13,8	29,6	22,6	22	329	70,0	27,0	26,8	32,0	7,7	I495	
	moy.	102,0	11,1	11,6	28,7	17,1	21	328	58,8	26,9	25,5	30,0	7,4	I565	10,4
LES VUARDES S 417	min.	91,2	3,4	4,4	0,8	10,9	5	362	5,7	27,6	22,8	31,8	7,1	I870	
	max.	143,5	18,0	6,1	1,2	20,5	15	439	15,8	35,7	35,8	38,0	7,5	I592	
	moy.	125,4	6,8	5,3	1,0	13,5	10	379	10,7	31,1	31,3	34,1	7,2	I724	6,5
MUSELIERE P 419	min.	124,0	4,9	6,5	2,3	6,5	13	374	20,7	30,6	31,0	33,8	7,2	I612	
	max.	127,5	8,0	17,0	4,9	11,4	19	377	28,2	30,9	31,8	34,5	7,3	I340	
	moy.	125,8	6,5	11,6	3,6	9,0	16	376	24,5	30,8	31,4	34,2	7,2	I476	10,0
LOISINGES P 421		128,3	19,4	14,2	1,6	46,6	37	320	36,1	26,2	32,0	40,0	7,4	I387	10,3
LOISINGES P 422	min.	94,4	2,0	12,5	31,0	9,4	15	321	15,8	26,3	23,6	26,0	7,0	I592	
	max.	109,0	5,8	14,0	34,5	15,2	23	322	30,4	26,4	27,2	28,1	7,4	I973	
	moy.	101,7	3,9	13,3	32,8	12,3	19	321	23,1	26,4	25,4	27,1	7,2	I783	8,4
ROCAILLES P 424		78,4	23,3	5,2	1,7	7,7	16	325	18,0	26,6	19,9	29,2	7,6	2055	
RAGAT P 425		106,0	11,0	10,1	4,4	27,7	18	296	17,2	24,3	26,4	31,0	7,5	I640	12,2
BERSAT P 442		152,0	5,0	7,9	7,7	13,6	19	447	28,6	36,6	38,0	39,9	7,1	I447	10,0
JUSSY P 443	min.	109,9	3,4	2,5	0,5	2,2	7	336	0,4	27,5	27,4	28,8	7,2	2096	
	max.	124,0	11,2	3,5	1,4	4,3	20	406	3,1	33,3	30,8	35,0	7,5	I785	
	moy.	119,7	6,1	3,0	0,9	3,3	14	378	1,4	31,0	29,9	32,4	7,3	I895	8,3
CHEVRIER S 445		126,0	7,0	5,8	3,2	8,2	12	399	12,3	32,7	31,6	34,6	7,2	I736	6,6
St ANGE P 453	min.	135,0	4,0	8,6	8,5	14,9	18	368	32,6	30,2	33,8	35,4	7,3	I592	
	max.	142,7	7,3	9,6	12,5	19,0	27	387	41,4	31,7	35,6	38,6	7,3	I432	
	moy.	138,9	5,7	9,1	10,5	17,0	23	378	18,3	31,0	34,7	37,0	7,3	I512	9,4
YVRE S 455	min.	70,6	5,3	1,6	0,3	3,9	7	217	0,9	17,8	17,6	19,8	7,7	2973	
	max.	85,0	6,3	1,9	0,4	3,8	14	272	2,6	22,3	21,2	23,8	8,0	2576	
	moy.	77,8	5,8	1,8	0,4	3,4	11	245	1,8	20,1	19,4	21,8	7,9	2775	7,8

HYDROCHIMIE DES NAPPES SUPERFICIELLES (suite)

POINT D'EAU N°		Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	TAC	THCa	THT	pH	RESIS	SiO ₂
AUTOROUTE S 465	min.	76,0	24,3	9,4	1,4	46,2	43	290	15,8	21,0	19,0	35,8	7,6	1572	
	max.	113,9	40,8	21,5	2,3	99,9	57	392	17,6	32,1	28,4	41,4	8,0	1216	
	moy.	93,8	34,9	12,5	1,7	64,8	52	322	17,3	26,1	23,4	38,5	7,8	1448	10,2
HIVERNANCHE S 479	min.	91,4	0,1	2,5	0,2	3,2	2	268	0,4	22,0	22,8	22,8	7,7	2534	
	max.	109,9	1,0	6,0	0,2	7,0	11	331	3,1	27,1	27,4	27,8	7,8	2190	
	moy.	100,7	0,6	4,3	0,2	5,1	7	300	1,8	24,6	25,1	25,3	7,8	2362	5,7
MARNY S 489		108,8	6,3	2,3	0,6	4,2	1	360	4,4	29,5	27,4	30,0	7,3	2049	
CORLY S 493	min.	123,4	12,2	6,0	0,9	13,9	17	364	25,1	29,8	30,8	35,8	7,0	1580	
	max.	138,4	16,0	13,0	3,1	15,8	20	433	28,6	35,5	34,6	40,0	7,2	1476	
	moy.	128,0	13,9	11,3	1,7	15,4	19	391	27,3	31,5	32,0	37,7	7,2	1552	
ARTHAZ S 504	min.	136,3	18,0	14,8	6,0	42,6	35	342	65,1	28,0	34,0	42,0	7,1	1277	
	max.	138,7	20,4	15,0	6,8	48,7	36	346	65,1	28,4	34,6	42,4	7,4	1259	
	moy.	137,5	19,2	14,9	6,4	45,7	36	344	65,1	28,2	34,3	42,2	7,3	1268	

Tab. 4

INSTITUT
DOLOMIEU

DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHÖLLER
et E. BERKALOFF

LEGENDE

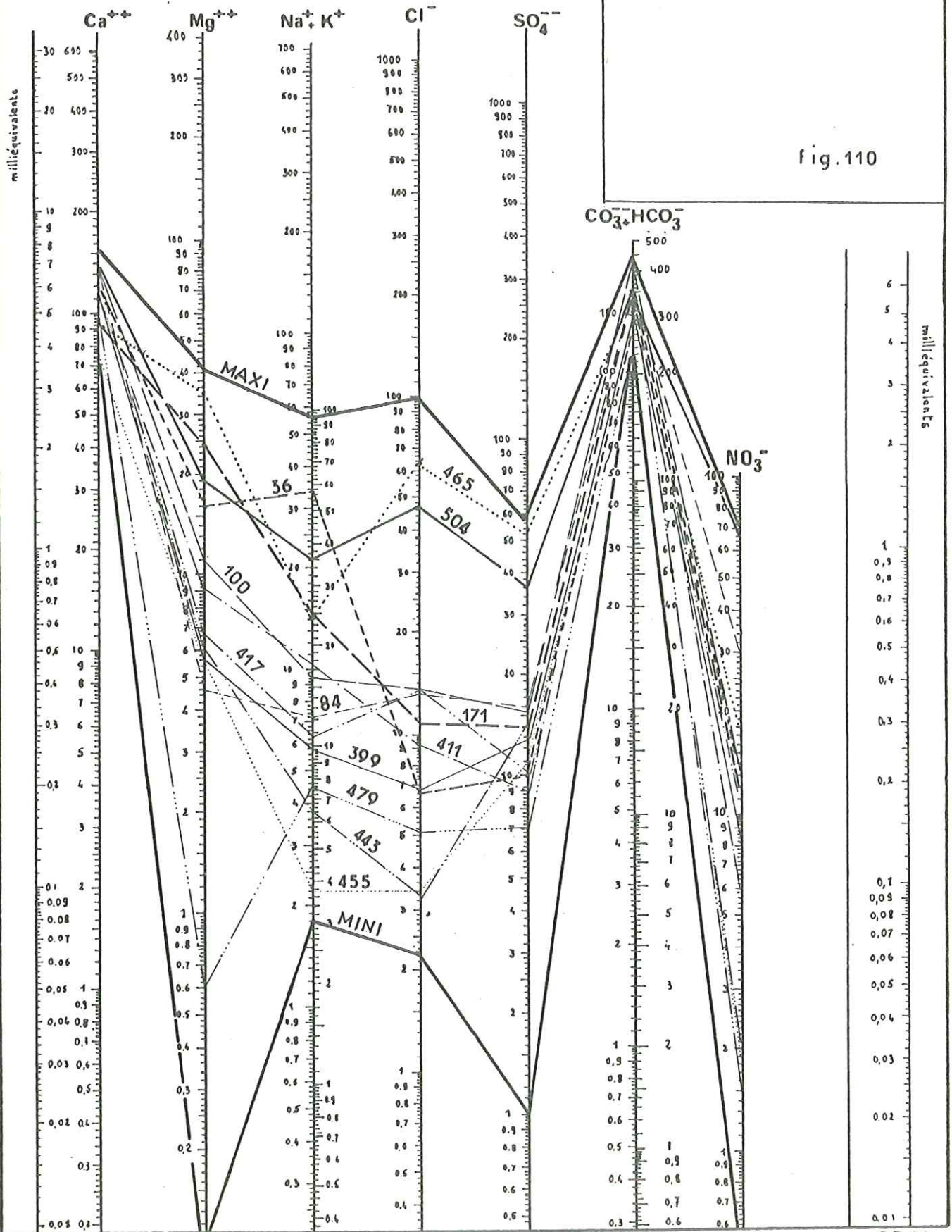


fig. 110

NAPPES SUPERFICIELLES

2) FACIES CHIMIQUE.

Sur le diagramme de la figure IIO nous avons reporté les analyses moyennes des principaux points de prélèvement.

On constate que le faciès des eaux est bicarbonaté calcique.

3) FORMULES CARACTERISTIQUES.

On a le plus souvent, pour les cations :

$$rCa > rMg > rNa > rK$$

et parfois : $rCa > rMg > rK > rNa$

Pour les anions, l'ordre le plus fréquent est :

$rHCO_3 > rSO_4 > rCl > rNO_3$ mais on constate de nombreuses inversions dues aux pollutions.

4) RAPPORTS DES TENEURS EN mēq/l.

En raison des très fortes teneurs en calcium, les rapports rMg/rCa et rNa/rCa ont une valeur faible, de l'ordre de 0,01 à 0,06.

Cependant, dans le cas de nappes de terrasses fluvioglaciales, l'influence des pollutions agricoles peut leur faire atteindre des valeurs 5 à 10 fois plus élevées.

La valeur faible du rapport rSO_4/rCl , 0,7 en moyenne, traduit la présence prépondérante des chlorures sur les sulfates.

5) EVOLUTION DES PROPORTIONS ENTRE LES IONS, SUR DIAGRAMME DE PIPER.

Le diagramme de la figure III montre que la plus forte concentration des points d'analyse se rencontre près du pôle "calcique" ; mais on constate au long de l'année de très importantes variations dans les proportions des différents constituants. Cela traduit des mélanges entre des eaux de compositions différentes.

Pour compléter le diagramme de PIPER, le graphique de la figure II2 met en parallèle les variations de teneur en divers ions dans les sources 399 Rocailles, 4II Le Châtelet et 4I7 Les Vuardes.

6) INDICE D'ECHANGE DE BASES.

Il est tantôt positif, tantôt négatif, suivant les points d'eau, et pour un même point d'eau (source 399) suivant les saisons.

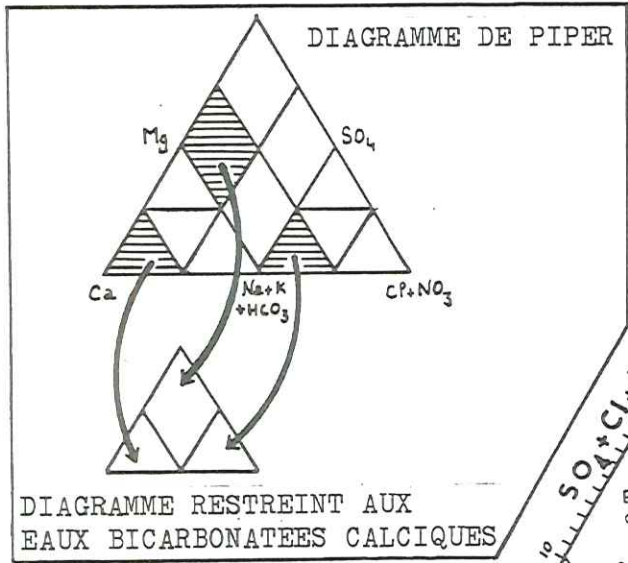
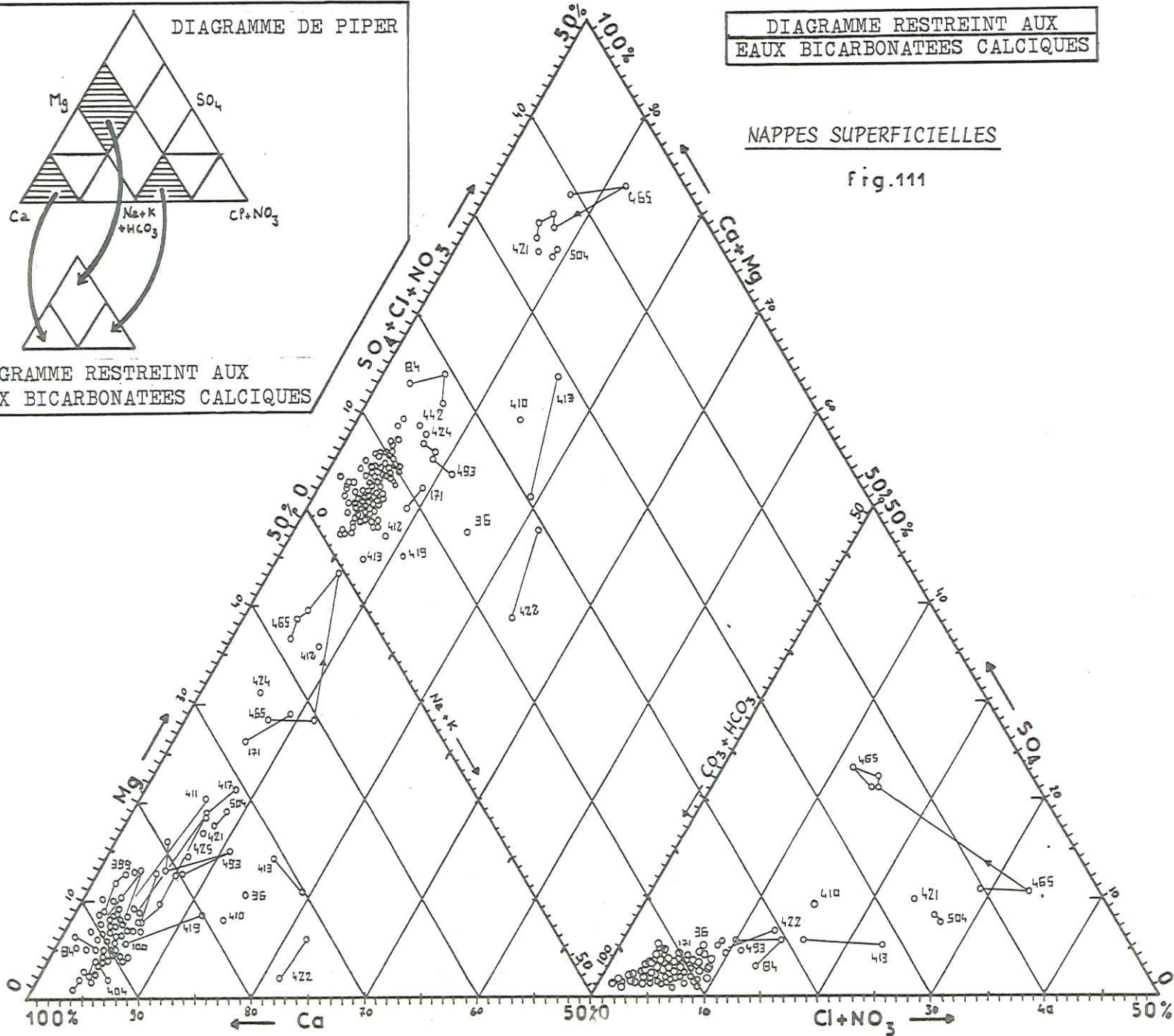


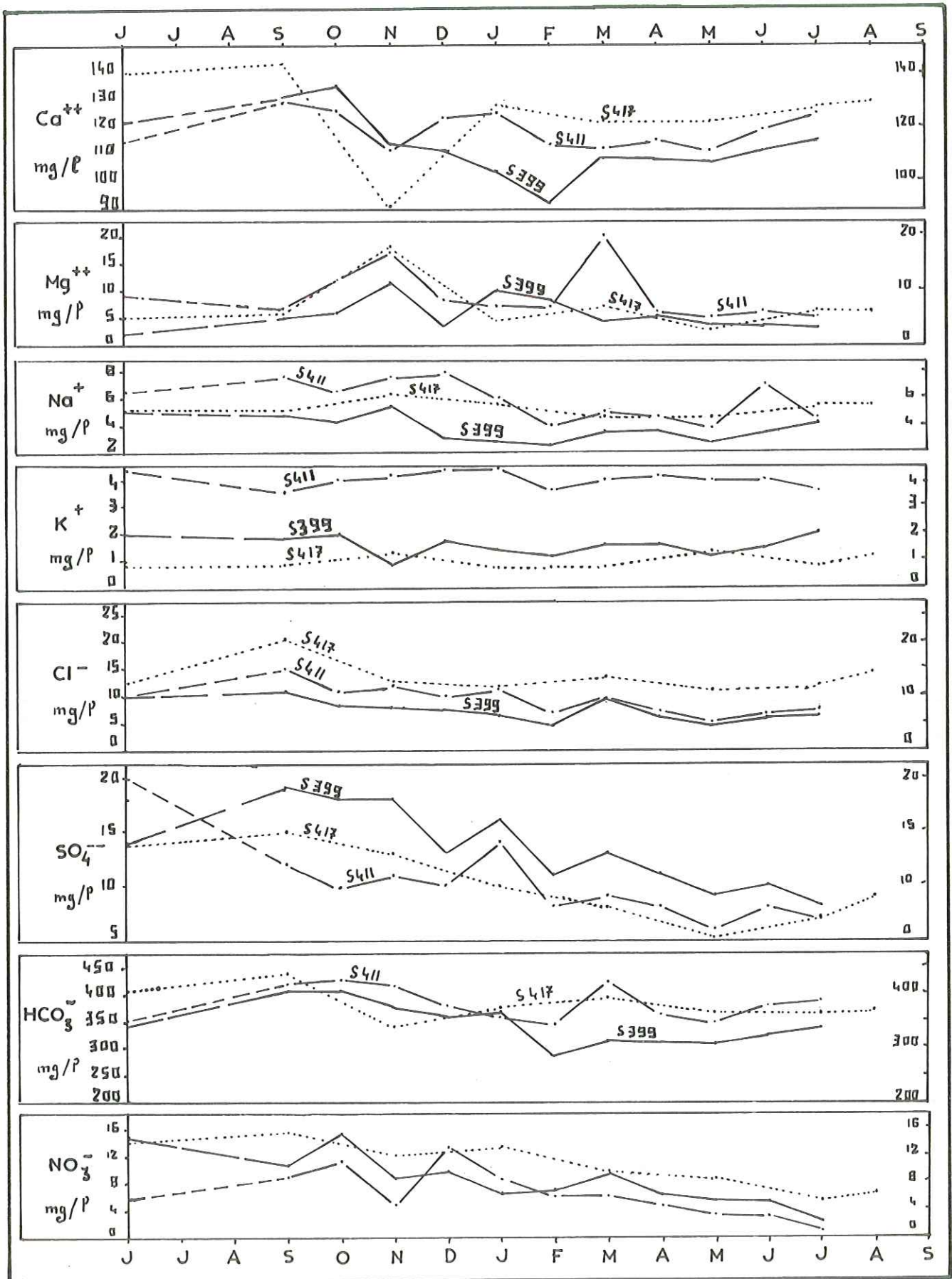
DIAGRAMME RESTREINT AUX EAUX BICARBONATEES CALCIQUES

NAPPES SUPERFICIELLES

fig.111

C.A





NAPPES SUPERFICIELLES

EVOLUTION HYDROCHIMIQUE DES SOURCES N° 399, 411 et 417 .

fig.112

Les sources 465 Pont Autoroute et 4II Le Châtelet ont un indice toujours positif, quelle que soit la saison. L'eau échange donc ses ions sodium contre des ions magnésium et calcium. C'est le phénomène inverse pour la source 4I7 Les Vuardes.

7) ORIGINE DES IONS.

Nous avons établi la matrice de corrélation pour les sources 399 Rocailles et 465 Pont de l'Autoroute.

a - Source 399 Rocailles.

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃
Mg	-0,22						
Na	+0,67	+0,03					
K	+0,18	-0,36	+0,20				
Cl	+0,76	-0,04	+0,71	+0,67			
SO ₄	+0,61	+0,39	+0,62	-0,44	+0,83		
HCO ₃	+0,92	+0,15	+0,74	+0,09	+0,75	+0,40	
NO ₃	+0,67	+0,01	+0,45	-0,38	+0,77	+0,81	+0,63

La forte corrélation positive entre Ca et HCO₃ traduit un environnement essentiellement calcaire.

Le chlorure de sodium paraît être à l'origine des ions Na⁺ et Cl⁻ observés.

La bonne corrélation positive entre SO₄, Cl et NO₃ indique une intervention de facteurs polluants susceptibles d'apporter ces trois ions ensemble.

b - La source 465 Pont de l'autoroute.

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃
Mg	-0,63						
Na	+0,73	-0,40					
K	+0,65	-0,65	+0,91				
Cl	+0,89	-0,57	+0,86	+0,84			
SO ₄	-0,52	+0,98	-0,48	-0,75	-0,55		
HCO ₃	+0,57	+0,28	-0,24	-0,34	+0,11	+0,50	
NO ₃	+0,18	-0,30	+0,27	+0,23	-0,06	-0,34	-0,67

Les corrélations entre Na, K, et Cl montrent que les déversements de sels (NaCl, KCl, et CaCl₂) sur l'Autoroute Blanche se retrouvent dans la nappe.

Malgré un aquifère à dominante calcaire, la corrélation entre Ca⁺⁺ et HCO₃⁻ est faible, peut être en raison des phénomènes d'échange de bases dûs à la présence d'un excès de sodium.

La liaison qui semble exister entre les sulfates et le magnésium est difficilement interprétable.

REMARQUE : Dans de nombreux points d'eau, le rapport rNa/rCl est très proche de sa valeur dans le chlorure de sodium (0,65).

Cela pourrait confirmer que c'est principalement ce sel qui est à l'origine des ions Na⁺ et Cl⁻ dans les eaux des nappes superficielles.

Le rapport rK/rCl, quant à lui, est toujours faible, très inférieur à sa valeur dans le chlorure de potassium (1,1).

Ce sel ne paraît donc pas jouer un rôle important.

Il y a cependant quelques exceptions : certains puits très exposés aux pollutions agricoles (engrais potassiques). Dans les points d'eau 410 Publet 413 Loslena et 422 Loisinges par exemple, le rapport rK/rCl est proche ou supérieur à 1,1, ce qui pourrait indiquer une influence prépondérante du chlorure de potassium dans les zones cultivées.

I V - H Y D R O C H I M I E D E S N A P P E S C A P T I V E S

I) NAPPE CAPTIVE SOUS LA PLAINE DE REIGNIER.

Par ses caractères hydrogéologiques, nous avons vu que cette nappe constituait un intermédiaire entre les nappes superficielles et les nappes profondes captives.

L'hydrochimie confirmera ce diagnostic : l'épaisseur relativement faible et variable du toit argileux fait que l'influence des pollutions de surface se transmet dans certains points d'eau.

a - Composition chimique en mg/l.

Le tableau de la page 257 indique la valeur des paramètres physicochimiques dans 7 points d'eau de l'aquifère.

On remarque une assez bonne homogénéité des teneurs, sauf dans certains points d'eau où les ions indicateurs de pollution (Cl⁻, SO₄⁼⁼, NO₃⁻) présentent d'importantes variations, comme c'est le cas dans le puits 405 Les Bordes.

HYDROCHIMIE DES NAPPES CAPTIVES

NAPPE CAPTIVE SOUS LA PLAINE DE REIGNIER

Tab. 5

POINT D'EAU N°			Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	TAC	THCa	THT	pH	RESIS	SiO ₂
L'ENFER	S 124		132,0	14,0	5,5	1,8	8,9	11	456	6,2	37,4	33,0	38,9	8,2	1640	11,4
LES BORDES	P 405	min.	102,7	1,0	7,3	8,6	12,0	22	323	17,2	26,5	25,6	27,0	7,1	1980	
		max.	198,0	3,4	20,5	9,3	40,6	95	336	88,0	27,5	49,6	50,0	7,7	1061	
		moy.	150,3	2,2	13,9	9,0	26,3	59	330	52,6	27,0	37,6	38,5	7,4	1520	8,4
LES MOLES	P 431		150,4	11,7	8,2	9,1	18,7	15	466	37,4	38,2	37,6	42,4	7,5	1458	
BORINGE	P 432		144,0	7,0	10,4	7,6	18,6	25	378	25,5	31,0	36,0	39,0	7,5	1447	12,6
VILLY	S 435	min.	116,2	11,2	3,2	1,2	7,0	17	354	29,9	29,0	29,0	33,6	7,1	1682	
		max.	128,0	17,0	5,2	5,1	7,5	23	404	46,6	33,1	32,0	38,9	7,3	1566	
		moy.	123,1	15,1	4,4	2,6	7,3	20	385	35,9	31,5	30,8	36,9	7,2	1605	12,4
CHAMOUSY	P 458	min.	99,4	14,6	6,1	2,3	3,0	10	383	1,3	31,4	24,8	34,2	7,2	1773	
		max.	113,0	23,3	12,4	2,6	5,4	19	414	5,7	33,9	28,2	34,4	7,9	1755	
		moy.	106,2	19,0	9,3	2,5	4,2	15	399	3,5	32,7	26,5	34,3	7,5	1764	15,0
LA MOTTE	S 495	min.	125,0	11,7	1,0	1,3	8,3	17	400	12,8	32,8	31,2	37,2	7,2	1599	
		max.	130,7	14,6	10,0	3,2	11,2	20	415	17,2	34,0	32,6	37,8	7,4	1536	
		moy.	127,9	13,4	5,4	2,2	9,4	19	412	15,2	33,4	31,9	37,4	7,3	1569	

NAPPES LENTICULAIRES DANS LES ARGILES A BLOCAUX

BOSSON	S 62		90,6	15,6	3,8	3,1	7,6	15	283	24,2	23,2	22,6	29,0	7,4	1964	
REIGNIER	P 121		165,9	38,9	9,8	6,4	15,0	218	401	0,4	32,9	41,4	57,4	7,3	1067	
BAILLARDES	S 394	min.	89,8	22,4	3,4	0,8	3,4	56	299	3,5	24,5	22,4	32,0	7,6	1888	
		max.	91,4	23,8	4,2	0,8	3,8	74	319	5,5	26,1	22,8	32,2	7,7	1792	
		moy.	90,6	23,1	3,8	0,8	3,6	65	309	4,5	25,3	22,6	32,1	7,7	1840	0,8
ARTHAZ	S 501	min.	88,2	16,0	3,7	0,9	7,4	20	272	27,7	22,3	22,0	28,6	7,5	1975	
		max.	91,4	20,9	5,0	1,2	8,9	24	283	38,7	23,2	22,8	31,4	7,7	1856	
		moy.	90,3	18,9	4,2	1,0	8,2	22	279	35,0	22,9	22,5	30,3	7,6	1897	

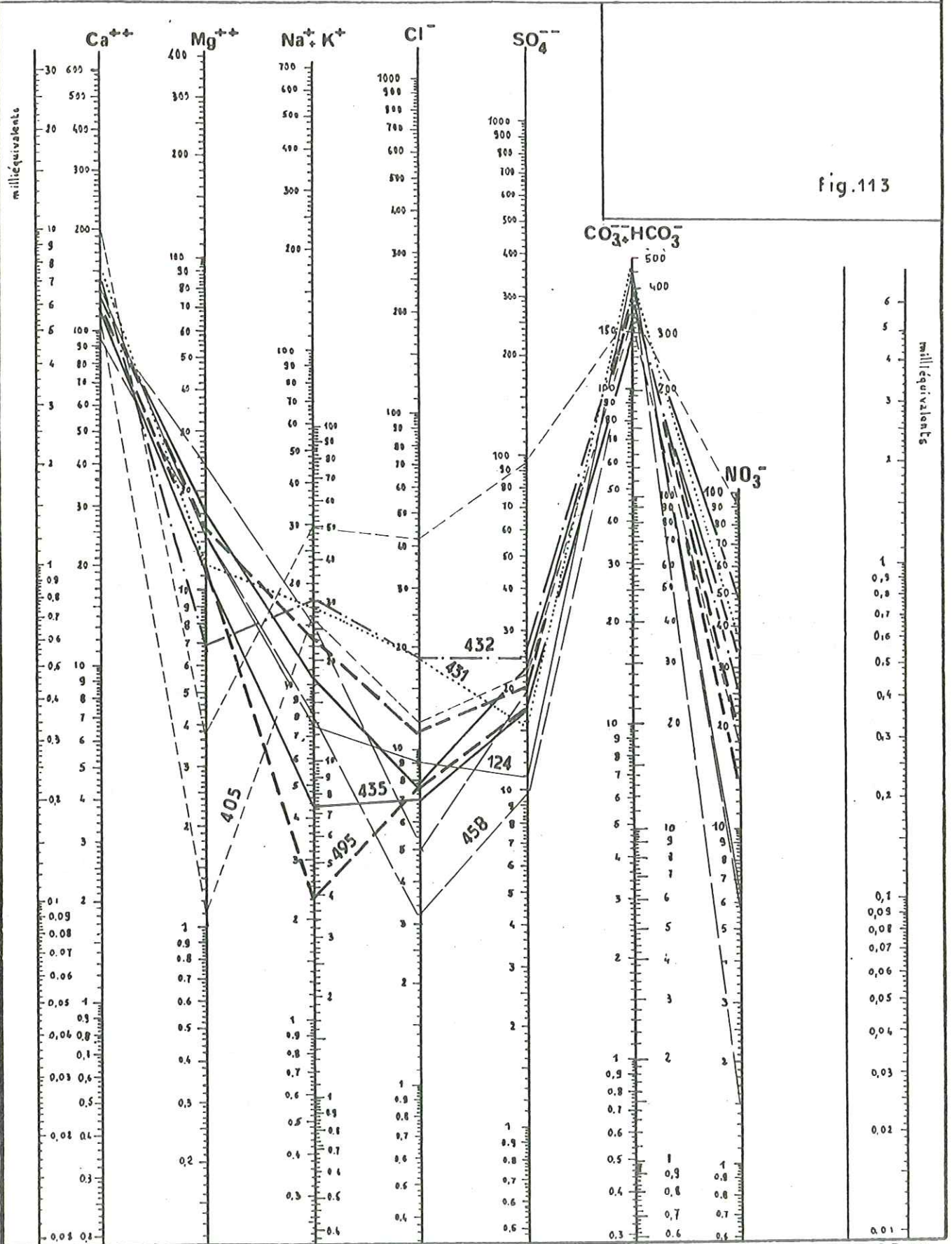
INSTITUT DOLOMIEU

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHÖLLER et E. BERKALOFF

LEGENDE

fig. 113



NAPPE CAPTIVE SOUS LA PLAINE DE REIGNIER

B.D. 76

Les teneurs en Mg^{++} sont en général plus élevées que dans les nappes superficielles, et les concentrations en nitrates soulignent l'influence des pollutions agricoles dans cette zone intensément cultivée.

b - Facies chimique.

Sur le diagramme de la figure II3 nous constatons que les eaux ont un faciès bicarbonaté calcique.

Parmi les points d'eau, le puits 405 Les Bordes se distingue par ses faibles teneurs en magnésium et ses fortes teneurs en sodium, potassium, et anions autres que HCO_3^- .

c - Formules caractéristiques.

On observe généralement, pour les cations :

$$rCa > rMg > rK > rNa \quad \text{et pour les anions :}$$

$$rHCO_3 > rSO_4 > rNO_3 > rCl$$

d - Rapports des teneurs en mēq/l.

Les teneurs relativement fortes en magnésium font que les rapports rMg/rCa ont une valeur de 0,1 à 0,3, c'est à dire nettement supérieure à celle des nappes superficielles.

Le rapport rNa/rCa a une valeur de 0,03 à 0,04, comparable à celle des nappes superficielles.

Les fortes teneurs en sulfates augmentent le rapport rSO_4/rCl ; il est souvent supérieur à 1, ce qui le rapproche des valeurs observées dans les nappes profondes.

e - Evolution des proportions entre les ions, sur diagramme de PIPER.

Sur le diagramme de la figure II4 les points représentatifs sont proches du pôle calcique, mais avec une tendance vers le pôle magnésien qui permet de différencier ces eaux de celles des aquifères superficiels.

Alors que les sources sont bien groupées, et présentent peu de variations de composition, les eaux des puits subissent d'importantes variations entraînant une dispersion des points représentatifs.

f - Indice d'échange de bases.

Il est toujours négatif ; les eaux échangent donc leurs ions Ca^{++} et Mg^{++} contre des ions Na^+ .

Une exception est constitué par le puits 405, où le phénomène s'inverse en raison de la très forte concentration artificielle en sodium.

g - Origine des ions.

Pour la source 435 Villy, nous avons établi la matrice de corrélation suivante :

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃
Mg	+0,95						
Na	-0,41	-0,36					
K	-0,98	-0,99	+0,33				
Cl	-0,18	+0,05	+0,78	+0,02			
SO ₄	+0,81	+0,79	+0,08	-0,77	-0,07		
HCO ₃	+0,97	+0,89	-0,19	-0,94	-0,10	+0,93	
NO ₃	+0,82	+0,64	-0,69	-0,71	-0,71	+0,65	+0,76

L'ion calcium est fortement corrélé avec l'ion bicarbonate ce qui indique un environnement essentiellement calcaire.

La bonne corrélation entre Ca⁺⁺ et SO₄⁻⁻⁻ montre que les sulfates observés proviennent de CaSO₄.

Les ions Cl⁻ viennent de la mise en solution du chlorure de sodium.

REMARQUE : Dans la source 495 La Motte, appartenant au même aquifère, mais isolée de la surface par une épaisse couche d'argiles, le magnésium est corrélé négativement avec le calcium (-0,88).

On serait là en présence de conditions analogues à l'environnement mixte calcaire - dolomie défini par J.J.MISEREZ.

Il n'y a rien d'étonnant à cela, car nous avons trouvé un pourcentage appréciable de dolomite dans les carbonatimétries effectuées sur les argiles du mur de l'aquifère.

2) NAPPES CAPTIVES LENTICULAIRES DANS LES ARGILES A BLOCAUX.

a - Composition chimique en mg/l.

Le tableau de la page 257 indique la valeur des paramètres physicochimiques dans quatre points d'eau.

On constate que les teneurs sont très homogènes, sauf en ce qui concerne le piézomètre I2I Entrée de Reignier, où elles sont beaucoup plus fortes.

Le piézomètre I2I (X = 903,7 Y = 134,4) est implanté dans les argiles à blocs d'un glissement de terrain affectant la route à l'entrée de REIGNIER. L'absence totale de drainage de cet aquifère lenticulaire peut ex-

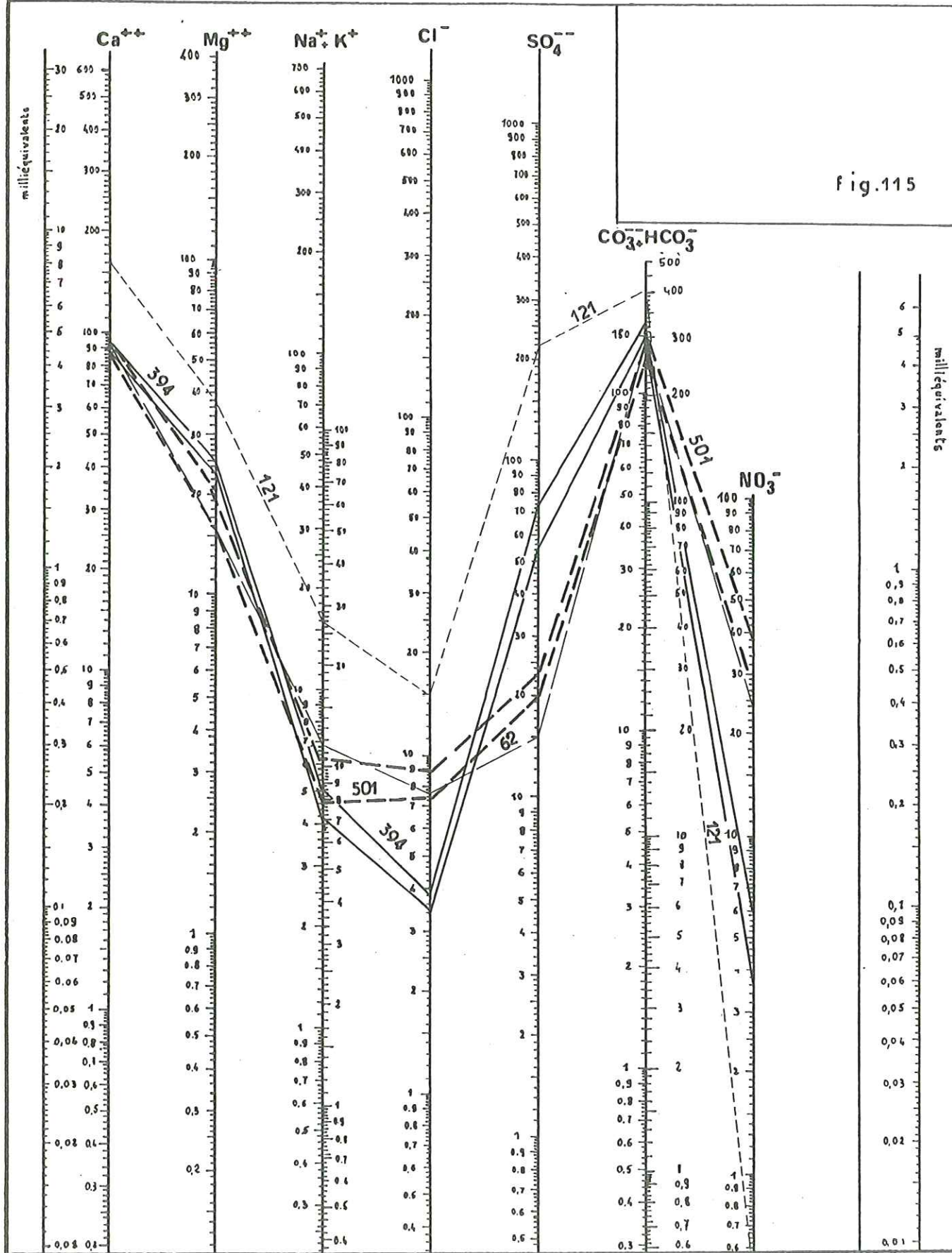
INSTITUT
DOLOMIEU

DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHÖLLER
et E. BERKALOFF

LEGENDE

Fig. 115



B.D. 76

NAPPES CAPTIVES LENTICULAIRES DANS LES ARGILES A BLOCAUX

-plier les teneurs exceptionnelles que l'on observe, notamment en sulfates et en magnésium.

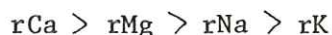
b - Facies chimique.

Le diagramme de la figure II5 montre qu'il s'agit d'eaux bicarbonatées calciques.

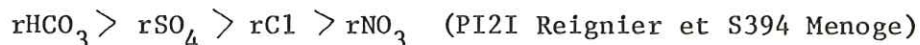
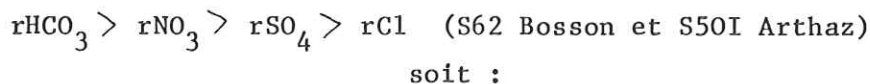
Les eaux du piézomètre I2I présentent un diagramme qui a la même forme, mais qui est décalé vers les fortes concentrations.

c - Formules caractéristiques.

Pour les cations, on observe toujours :



Pour les anions, on observe soit :



d - Rapport des teneurs en mg/l.

Le rapport rMg/rCa est fort, 0,4 environ ; il est semblable à celui des eaux de la nappe captive du sillon de l'Arve et des sources liées au substratum.

Le rapport rNa/rCa est sensiblement égal à 0,04 ; il ne présente rien de particulier.

Le rapport rSO_4/rCl est élevé ; il est compris entre 2 et 10, ce qui est une caractéristique des eaux des nappes captives profondes sur notre terrain d'étude.

e - Proportions entre les ions, diagramme de PIPER.

Sur le diagramme de la figure II7 les points représentatifs sont bien groupés ; seul le point I2I est isolé, en raison de ses fortes teneurs en sulfate et en magnésium.

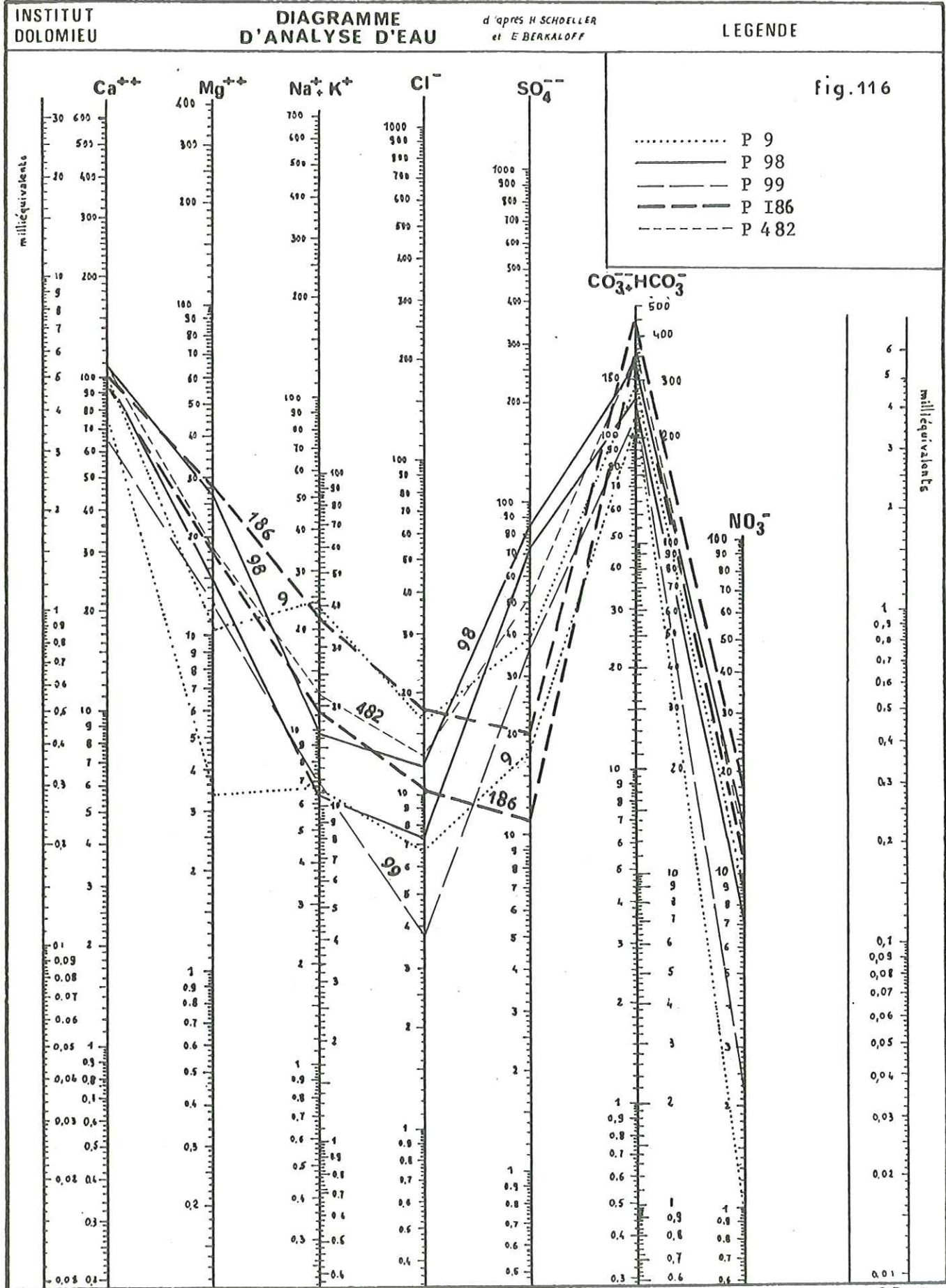
f - Indice d'échange de bases.

Il est en général négatif, sauf pour la source 50I Arthaz. Il y a donc en général échange d'ions Ca^{++} et Mg^{++} contre des ions Na^+ .

g - Origine des ions.

Le petit nombre d'analyses ne permet pas d'établir de matrice de corrélation.

On peut supposer que les fortes teneurs en magnésium proviennent de la dolomite contenue dans les argiles à blocs.



NAPPE CAPTIVE PROFONDE DU SILLON DE L'ARVE

Les sulfates et les chlorures proviennent sans doute respectivement de CaSO_4 et de NaCl .

3) NAPPE CAPTIVE PROFONDE DU SILLON DE L'ARVE.

a - Composition chimique en mg/l.

Le tableau de la page 268 indique la valeur des paramètres physicochimiques dans cinq forages intéressant cet aquifère.

On constate une assez bonne homogénéité des teneurs.

Les puits 9 La Forge, et 99 Nant DDA ont des concentrations plus faibles, dûes aux infiltrations à partir de la Menoge (P9) et à partir de la surface le long du tubage (P99).

Dans le puits 98 Nant, situé en bordure du sillon de l'Arve la forte teneur en sulfates est à relier avec la proximité de la molasse, qui contient fréquemment des niveaux gypseux. De très fortes teneurs en sulfates se rencontrent aussi dans le forage I5-6 Nant BRGM situé à proximité.

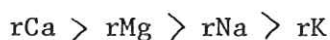
b - Facies chimique.

Sur le diagramme de la figure II6 nous voyons que les eaux sont bicarbonatées calciques.

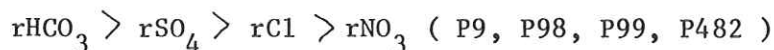
Le puits 9 La Forge a une faible teneur en magnésium, ce qui entraîne une forme de graphique légèrement différente de celle des autres points d'eau. Il faut voir là l'influence des infiltrations à partir de la Menoge.

c - Formules caractéristiques.

On observe toujours, pour les cations :



Pour les anions, on observe généralement :



Dans le forage I86 SCIENTRIER, les faibles teneurs en SO_4 font qu'on observe aussi $r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4 > r\text{NO}_3$

d - Rapports des teneurs en méq/l.

Le rapport $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ est très constant ; il est égal à 0,3 en raison de la forte teneur en magnésium.

Le rapport $r\text{Na}/r\text{Ca}$ est proche de 0,07.

Le rapport $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ varie de 1 à 8. Comme nous l'avons vu cette gamme de valeurs est caractéristique des nappes captives de la région.

HYDROCHIMIE DES NAPPES CAPTIVES (suite)

NAPPE CAPTIVE PROFONDE DU SILLON DE L'ARVE

POINT D'EAU	N°		Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	TAC	THCa	THT	pH	RESIS	SiO ₂
LA FORGE	P 9	min.	73,7	3,4	4,8	1,9	6,6	18	229	0,9	18,8	18,4	20,8	7,2	2558	
		max.	97,8	10,2	13,0	11,7	16,4	40	287	8,4	23,5	24,4	26,4	8,0	1742	
		moy.	81,2	8,1	6,4	3,9	8,6	23	241	4,7	19,7	20,3	23,6	7,7	2488	
NANT	P 98	min.	98,6	14,1	5,1	1,1	7,2	74	268	7,0	22,0	24,2	27,0	7,1	1980	
		max.	108,2	27,2	8,0	1,6	12,0	88	331	13,6	27,1	27,0	36,0	7,9	1686	
		moy.	103,3	19,4	6,6	1,4	10,8	81	289	9,7	23,7	25,6	33,1	7,5	1776	7,9
NANT DDA	P 99		66,4	12,2	5,5	1,5	3,8	37	227	2,2	18,6	16,6	21,6	7,6	2565	
SCIENTRIER	P 186	min.	92,0	17,5	10,4	1,2	10,1	11	346	10,6	27,4	23,0	36,2	7,1	1795	
		max.	100,2	28,7	17,6	3,6	17,5	20	427	17,2	35,0	25,0	25,3	7,7	1651	
		moy.	96,1	23,1	12,2	2,2	11,8	16	373	13,9	30,2	23,9	30,8	7,3	1725	11,9
VEYRIER	P 482		105,9	18,0	8,0	4,2	13,0	53	359	12,3	29,4	26,4	33,8	7,6	1712	6,1

Tab. 6

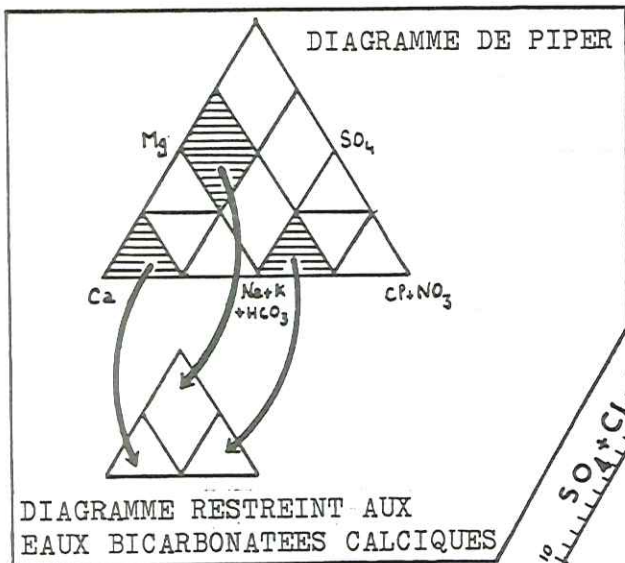
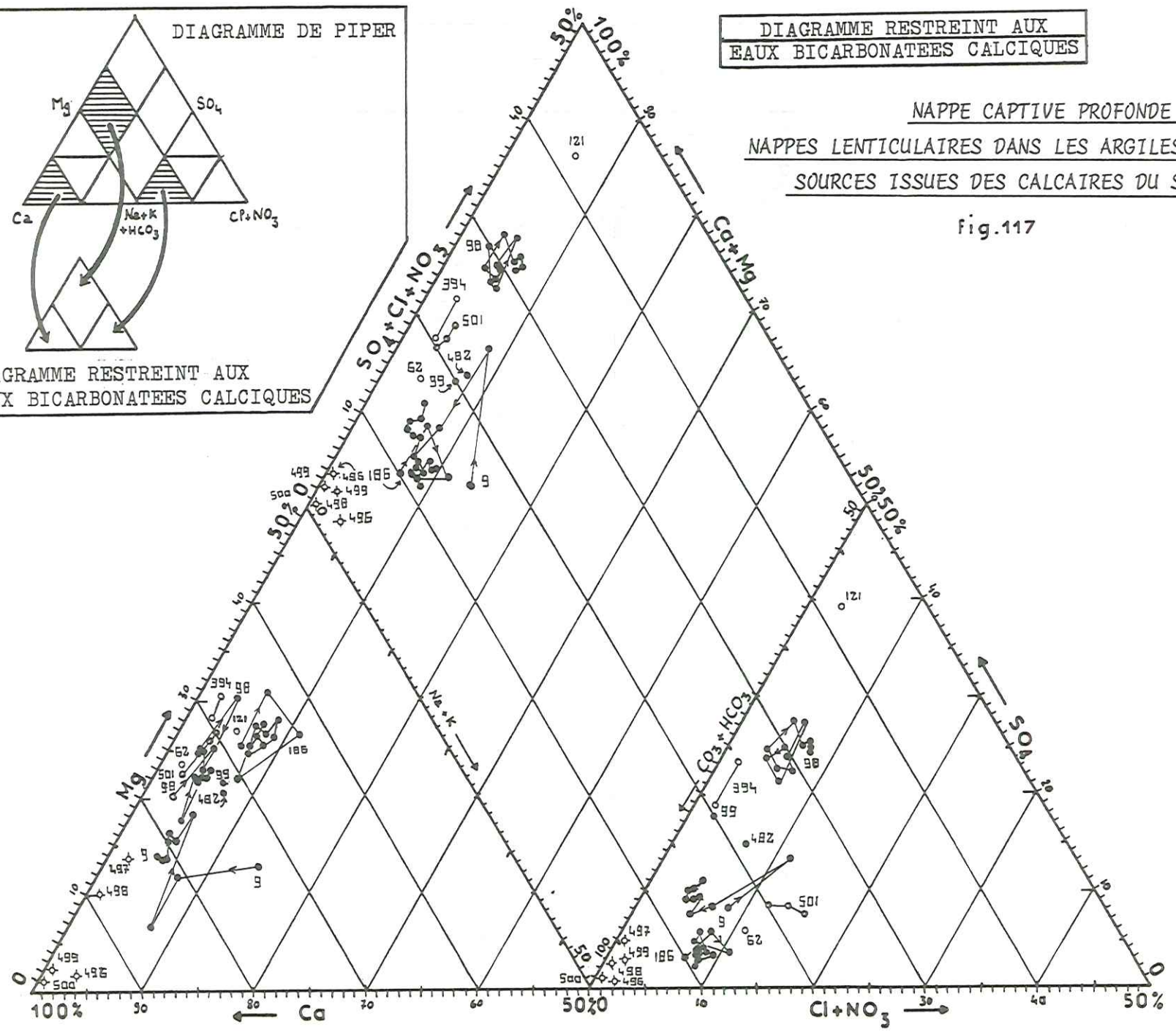


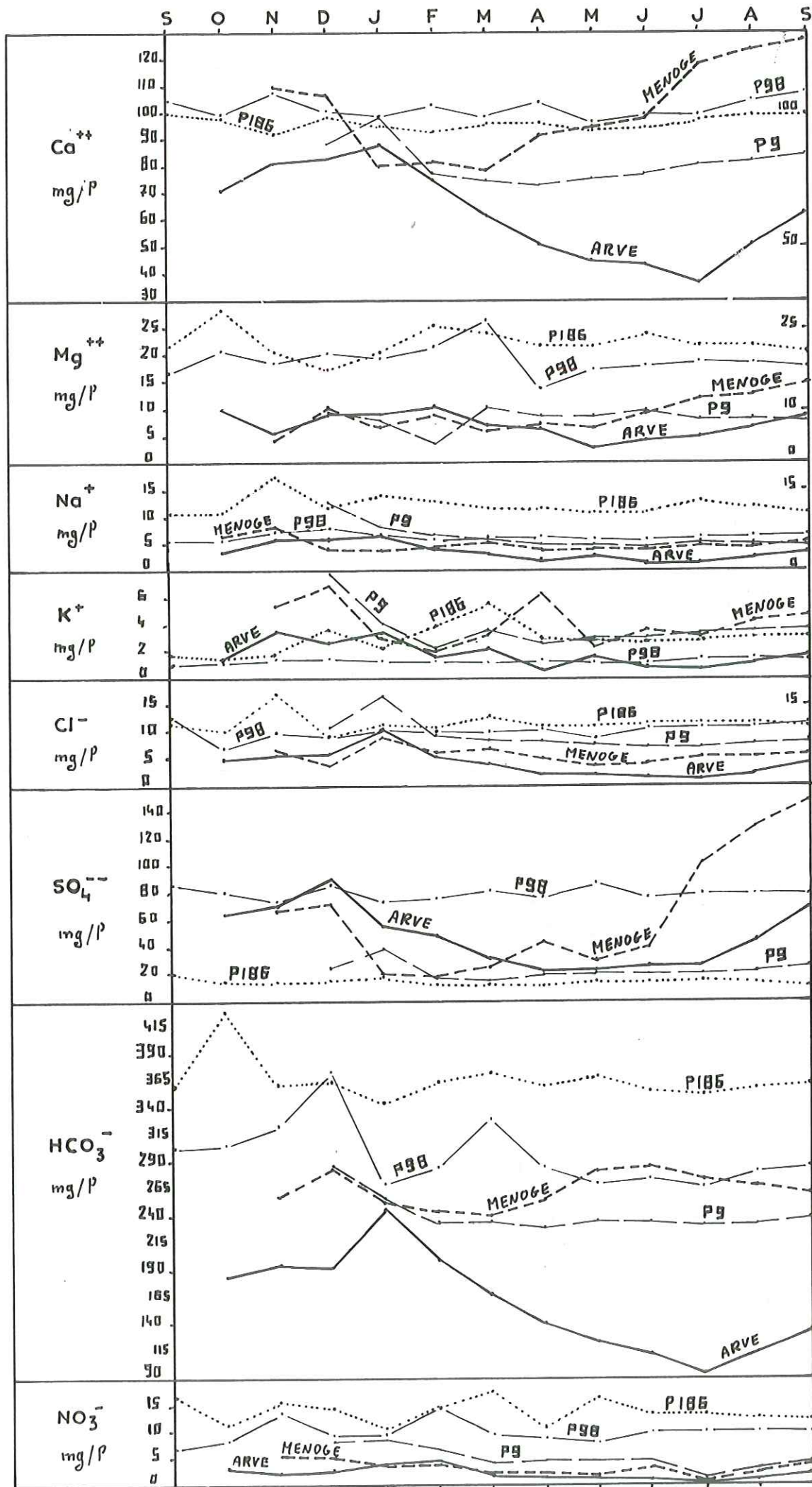
DIAGRAMME RESTREINT AUX EAUX BICARBONATEES CALCIQUES

NAPPE CAPTIVE PROFONDE
 NAPPES LENTICULAIRES DANS LES ARGILES A BLOCAUX
 SOURCES ISSUES DES CALCAIRES DU SALEVE

fig.117



C.A



VARIATIONS HYDROCHIMIQUES DANS LA NAPPE CAPTIVE PROFONDE
 ET DANS LES COURS D'EAU (Arve et Menoge)

fig.118

e - Evolution des proportions entre les ions, diagramme de PIPER.

Dans le diagramme de la figure II7 les points représentatifs sont bien groupés. Seul, le puits 98 Nant est situé à l'écart, en raison de sa plus forte concentration en sulfates.

Pour les puits 98 Nant et surtout I86 SCIENTRIER, on ne note, au cours de l'année, que de très faibles variations dans la proportion des différents ions.

Le puits 9 La Forge, par contre, présente des variations beaucoup plus fortes, surtout durant les quatre premiers mois d'analyses (Décembre 1976 à Mars 1977). Il s'agit d'un effet des infiltrations à partir de la Menoge.

Pour compléter le diagramme de PIPER le graphique de la figure II8 met en parallèle les variations mensuelles des teneurs en divers ions dans les forages 9, 98, I86, et dans les cours d'eau susceptibles d'alimenter la nappe profonde : l'Arve et la Menoge.

Sur ce graphique on voit que les relations nappe profonde - rivières n'apparaissent pas aussi nettement que sur le graphique des résistivités de la figure 88 p.196.

On peut cependant remarquer l'influence de la Menoge sur le forage 9 La Forge de Décembre 1976 à Mars 1977.

Notons aussi que les variations hydrochimiques observées en automne et en hiver s'amortissent nettement au cours du printemps, ce qui dénote une homogénéisation des eaux de la nappe profonde durant cette saison.

f - Indice d'échange de bases.

Il est toujours négatif, en raison des fortes teneurs en calcium et magnésium. Il est fortement négatif pour les puits 9, 98, I86, 482, et légèrement pour le puits 98.

Les eaux de la nappe profonde cèdent donc les ions Ca^{++} et Mg^{++} qu'elles ont en abondance, contre des ions Na^+ .

g - Origine des ions.

Dans les puits 98 Nant et I86 SCIENTRIER, les variations hydrochimiques ont, pour la plupart des ions, une amplitude trop faible, et la matrice de corrélation ne donne pas de résultats acceptables.

La seule indication nette est donnée par la corrélation négative entre Ca^{++} et Mg^{++} (-0,73) dans les deux points d'eau.

La nappe profonde constitue donc un "environnement mixte calcaire - dolomie" (J.J.MISEREZ), qui s'explique par la présence de dolomite

dans les argiles à blocs encadrant l'aquifère.

Dans le forage 9 La Forge, les variations hydrochimiques sont plus importantes, et nous avons pu établir la matrice de corrélation suivante :

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃
Mg	+0,04						
Na	+0,70	+0,01					
K	+0,50	+0,30	+0,92				
Cl	+0,94	-0,19	+0,54	+0,26			
SO ₄	+0,90	+0,05	+0,33	+0,13	+0,86		
HCO ₃	+0,70	+0,19	+0,97	+0,95	+0,55	+0,40	
NO ₃	+0,90	-0,32	+0,81	+0,55	+0,87	+0,71	+0,76

On voit que les associations minérales à l'origine des ions peuvent être : CaSO₄ et CaCO₃.

Il se pourrait qu'il existe du chlorure de calcium, car l'ion Cl⁻ n'est corrélé qu'avec Ca⁺⁺.

La corrélation positive entre les nitrates et les ions sodium, chlorures, et à un moindre degré sulfates, peut faire penser à un phénomène de pollution à partir de la Menoge où on observe des associations similaires.

On peut remarquer, comme le constatait J.J.MISEREZ, que la présence de sulfates en grande quantité diminue la corrélation entre Ca⁺⁺ et HCO₃⁻.

Contrairement à ce qui se produisait pour les nappes superficielles, les rapports rNa/rCl et rK/rCl n'ont à aucun moment de valeur proche de celles qu'ils ont dans les sels NaCl (0,65) et KCl (1,1).

L'absence de corrélation entre Na⁺, K⁺, et Cl⁻ montre que ces associations minérales ne sont pas présentes.

Cependant, il faut avoir à l'esprit le rôle important joué par les échanges de bases dans les nappes captives, entraînant des modifications sensibles des rapports initiaux entre les ions.

INSTITUT DOLOMIU

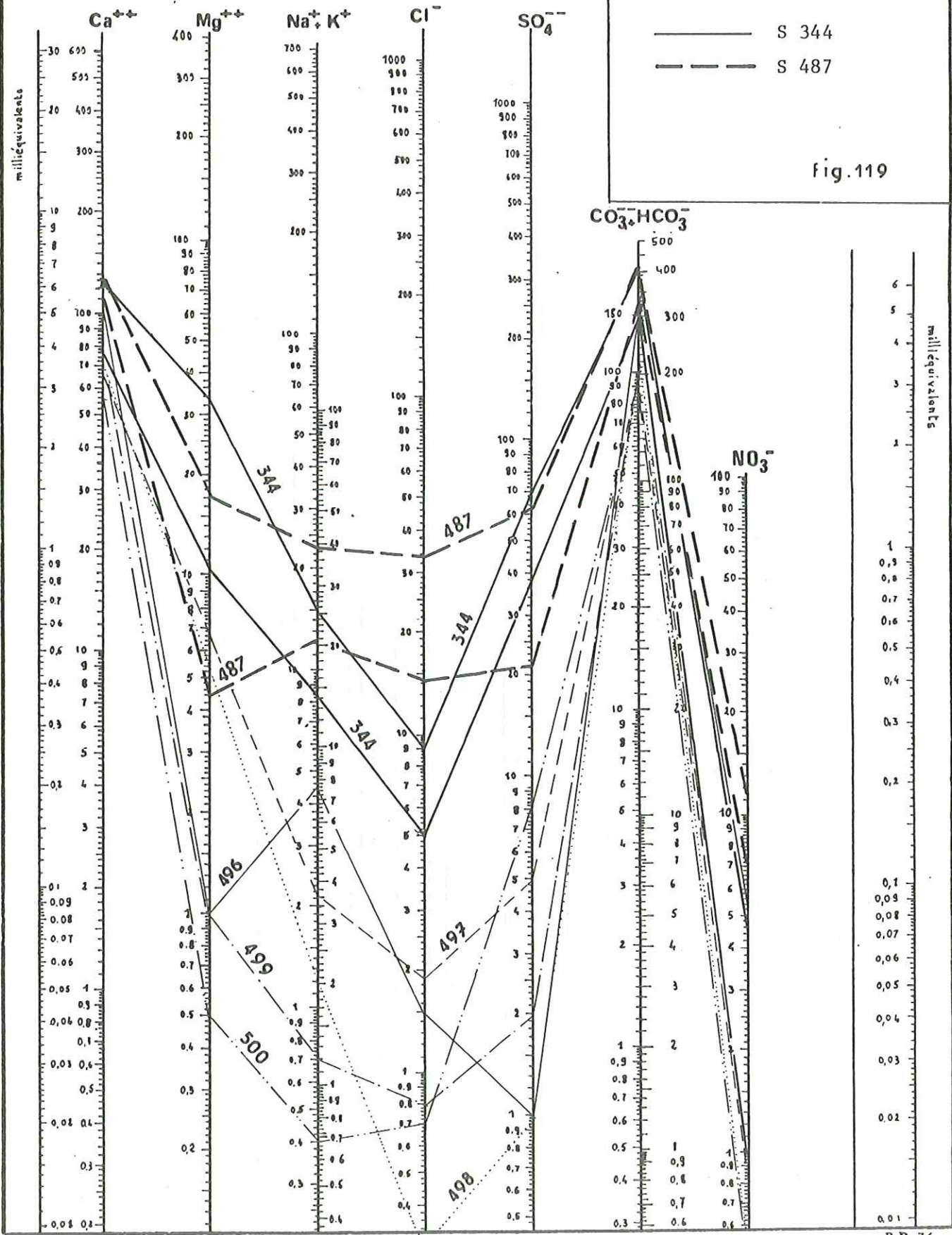
DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHELLER et E. BERKALOFF

LEGENDE

— S 344
- - - S 487

fig. 119



SOURCES LIEES AU SUBSTRATUM

HYDROCHIMIE DES SOURCES LIEES AU SUBSTRATUM

SOURCES LIEES AU CONTACT CALCAIRES CRETACES - MOLASSE TERTIAIRE

POINT D'EAU	N°		Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	TAC	THCa	THT	pH	RESIS	SiO ₂
BAS MORNEX	S 344	min.	76,2	10,0	7,4	1,2	4,9	39	293	0,9	24,0	19,0	27,8	6,9	2262	
		max.	142,0	33,5	13,0	2,0	9,0	70	415	4,4	34,0	35,4	39,7	7,8	1495	
		moy.	97,0	24,5	9,4	1,7	6,3	53	354	2,6	29,0	24,2	34,3	7,4	1767	12,2
FAUBOURG	S 487	min.	120,2	4,4	11,2	1,4	14,3	21	332	6,6	27,2	30,0	32,0	7,4	1751	
		max.	146,8	17,0	18,0	5,0	34,1	61	400	12,8	29,0	36,6	39,4	7,6	1452	
		moy.	126,5	8,8	13,9	2,3	20,6	39	357	9,2	28,9	31,6	35,2	7,5	1630	

SOURCES ISSUES DES CALCAIRES CRETACES

CHEZ TOURNIER	S 496	101,0	1,0	3,1	1,1	1,5	1	311	5,2	25,5	25,2	25,6	7,4	2288	
LA THOUVIERE	S 497	65,7	6,8	1,6	0,6	1,9	5	218	0,9	17,9	16,4	19,2	7,6	3104	
CHEZ JACQUET	S 498	75,4	5,3	1,0	0,2	0,3	1	254	0,4	20,8	18,8	21,0	7,7	2747	
CLARNANT	S 499	76,2	1,0	0,5	0,2	0,8	2	223	0,9	18,3	19,0	18,6	7,5	3080	
LE SAPPEY	S 500	61,7	0,5	0,3	0,1	0,7	8	184	0,4	15,1	15,4	15,6	7,9	3822	

Tab.7

V - H Y D R O C H I M I E D E S S O U R C E S L I E E S A U

S U B S T R A T U M

1) SOURCES LIEES AU CONTACT CALCAIRES CRETACES - MOLASSE TERTIAIRE.

a - Composition chimique en mg/l.

Le tableau de la page 274 indique les valeurs des paramètres physicochimiques dans les deux sources : S344 Bas Mornex et S487 Faubourg.

On constate que les deux points d'eau ont souvent des teneurs différentes, mais nous verrons, sur le diagramme de PIPER que les proportions entre les constituants sont semblables.

Durant les mois d'hiver, la source 487 Faubourg a une teneur en ions Na^+ , K^+ et Cl^- plus forte que la source 344 Bas Mornex.

Cela est à relier avec le déversement de sels sur l'Auto-route Blanche, dont le remblais surmonte le griffon de la source.

b - Facies chimique.

Sur le diagramme de la figure II9 on voit que le faciès est bicarbonaté calcique.

c - Formules caractéristiques.

Dans le cas de la source 344 Bas Mornex, on a , pour les cations :

$r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{Na} > r\text{K}$, par contre, pour la source 487

Faubourg on a : $r\text{Ca} > r\text{Na} > r\text{Mg} > r\text{K}$.

Pour les anions, on observe toujours :

$r\text{HCO}_3 > r\text{SO}_4 > r\text{Cl} > r\text{NO}_3$

d - Rapport des teneurs en mēq/l.

Le rapport $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ est le plus souvent proche de 0,4 , ce qui correspond aux nappes profondes ; mais il peut tomber à 0,06 au printemps dans la source 487, au moment où elle est influencée par des eaux infiltrées récemment (voir évolution des résistivités dans le chapitre hydrogéologie).

Le rapport $r\text{Na}/r\text{Ca}$ est très constant et égal à 0,08. Il est semblable à celui de la nappe captive du sillon de l'Arve.

Le rapport $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ est supérieur à 1 ; il peut atteindre 7, ce qui est une des caractéristiques des nappes profondes.

e - Evolution des proportions entre les ions, diagramme de PIPER.

Les points représentatifs sont assez dispersés sur les

diagrammes triangulaires élémentaires, mais ils se regroupent bien dans le lo-
-sange central. fig.I2I .

Dans la source 344 Bas Mornex, les proportions entre les
constituants varient très peu.

Par contre, le diagramme de PIPER confirme l'alimentation
hétérogène de la source 487 Faubourg.

Pour compléter le diagramme triangulaire, le graphique de
la figure I20 indique l'évolution mensuelle des concentrations en divers ions.

f - Indice d'échange de bases.

Pour la source 344 Bas Mornex, il est constamment négatif.
Les eaux échangent donc leurs ions Ca^{++} et Mg^{++} contre des ions Na^+ .

Le cas de la source 487 Faubourg est différent : pendant
les mois d'hiver (Janvier à Mars), les apports de sels d'épandage sur l'Autorou-
-te maintiennent un excès de sodium. L'indice est positif et les eaux échangent
leurs ions Na^+ contre des ions Ca^{++} et Mg^{++} . En dehors de l'hiver, l'indice est
négatif, ce qui constitue sans doute l'état normal de ce point d'eau.

g - Origine des ions.

Pour la source 344 Bas Mornex nous avons établi la matrice
de corrélation suivante :

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃
Mg	+0,99						
Na	+0,90	+0,87					
K	+0,46	+0,37	+0,50				
Cl	+0,68	+0,70	+0,87	+0,22			
SO ₄	+0,93	+0,92	+0,93	+0,62	+0,80		
HCO ₃	+0,92	+0,94	+0,66	+0,30	+0,42	+0,77	
NO ₃	-0,09	-0,01	-0,04	-0,08	+0,56	+0,13	-0,08

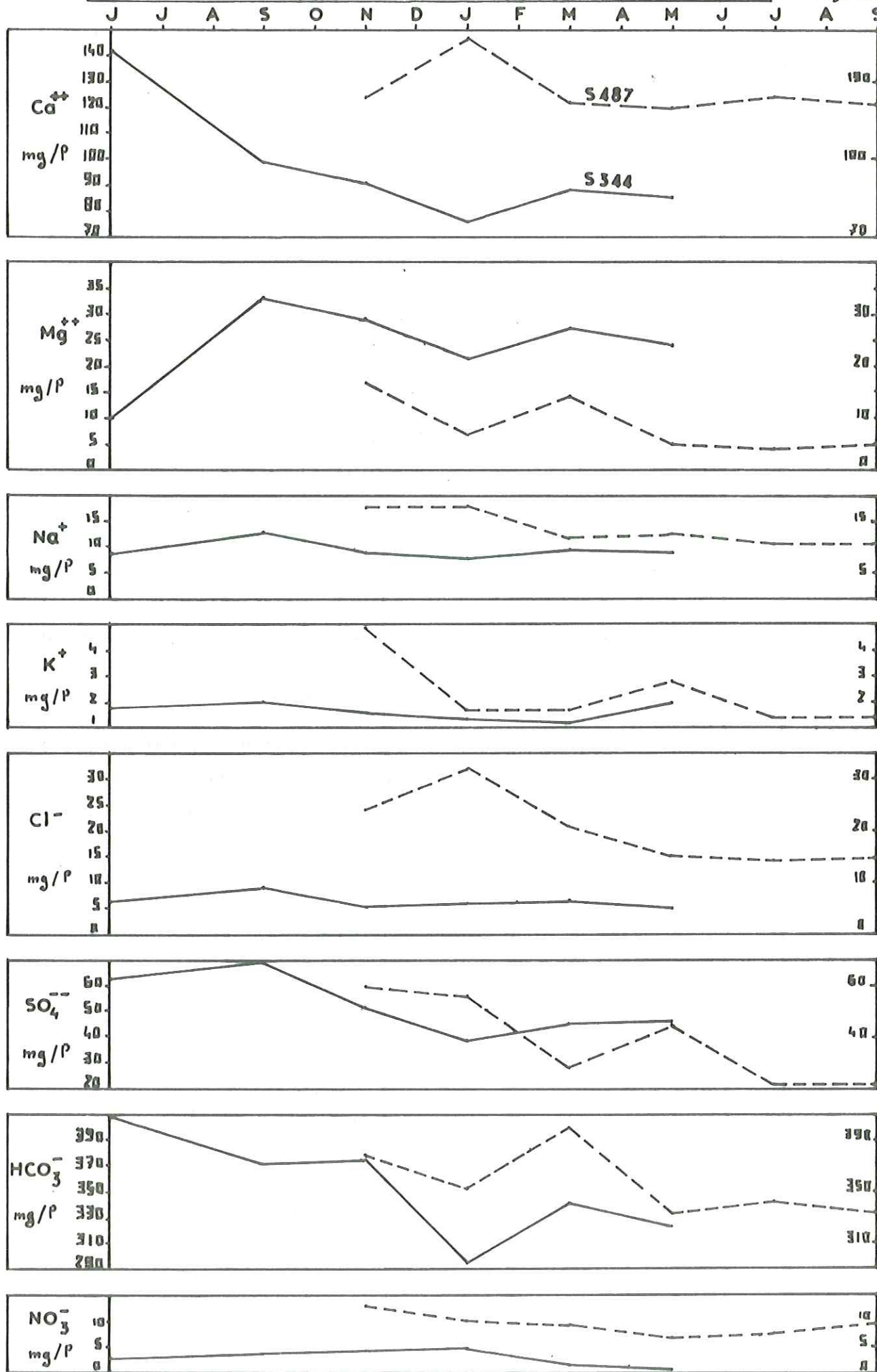
La forte corrélation positive entre Ca^{++} , Mg^{++} et HCO_3^-
indique un environnement essentiellement calcaire.

L'examen d'ensemble de la matrice montre que les associa-
-tions minérales les plus probables sont : $CaCO_3$, $CaSO_4$, $NaCl$.

Mg^{++} et Cl^- n'ont une corrélation que de +0,70, mais dans
la source 487 Faubourg, le coefficient atteint +0,98 ; l'existence de $MgCl_2$ est
donc très vraisemblable.

La présence de ces sels, et notamment des chlorures de

EVOLUTION HYDROCHIMIQUE DES SOURCES N° 344 ET 487 (Bas-Mornex) fig.120



sodium et de magnésium associés au gypse, montre l'influence déterminante du substratum molassique dans l'hydrochimie de ces sources.

2) SOURCES ISSUES DES CALCAIRES CRETACES.

Nous avons analysé les eaux de cinq sources ayant leur griffon dans les calcaires crétacés du flanc Sud-Ouest du Salève, à environ 900m d'altitude :

N°	SOURCE	COORDONNEES	
		X	Y
S496	CHEZ LE TOURNIER	897,3	131,3
S497	LA THOUVIERE	896,9	129,5
S498	CHEZ JACQUET	897,2	130,6
S499	CLARNANT	895,5	127,6
S500	LE SAPPEY	896,0	128,2

Elles sont toutes situées largement en dehors de notre terrain d'étude, mais nous avons voulu apprécier la composition chimique des eaux circulant dans les calcaires du Salève et vérifier que ces derniers n'étaient pas responsables des teneurs en sulfates observées dans les sources 344 et 487 de l'extrémité Nord du chaînon.

a - Composition chimique en mg/l.

Le tableau de la page 274 indique les valeurs des paramètres physicochimiques pour les cinq points d'eau étudiés.

On remarque les faibles concentrations et la grande homogénéité des teneurs.

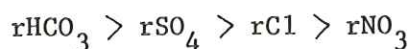
b - Facies chimique.

Le diagramme de la figure II9 montre qu'il est bicarbonate calcique.

c - Formules caractéristiques.

Cations : $rCa > rMg > rNa > rK$, sauf pour la source 496 où on a : $rCa > rNa > rMg > rK$.

Anions : pour les sources 498, 499, 500, on a :



Pour la source 496 on a : $rHCO_3 > rCl > rNO_3 > rSO_4$

Pour la source 497 on a : $rHCO_3 > rCl > rSO_4 > rNO_3$

d - Rapport des teneurs en mg/l.

En raison de la forte prédominance du calcium, le rapport

rMg/rCa est le plus souvent proche de 0,02; sauf dans le cas des sources 497 et 498 où il atteint 0,1.

Le rapport rNa/rCa est le plus faible rencontré dans les aquifères de la région ; il est au maximum de 0,03 et le plus souvent il est inférieur à 0,01.

Le rapport rSO_4/rCl est élevé, avec un minimum proche de 2 et un maximum pouvant atteindre 8. C'est la très faible teneur en chlorures qui est responsable de ces valeurs, car les eaux sont peu chargées en sulfates.

e - Proportions entre les ions, diagramme de PIPER.

Le diagramme de la figure I2I montre que les points représentatifs sont groupés et très proches du pôle calcique.

Cela confirme la forte dominance des ions Ca^{++} et HCO_3^- sur tous les autres.

f - Indice d'échange de bases.

Il est généralement négatif, sauf dans le cas de la source 500 où il est légèrement positif.

Le plus souvent les eaux cèdent donc leurs ions Ca^{++} et Mg^{++} en échange d'ions Na^+ .

VI - HYDROCHIMIE DES COURS D'EAU

. Dans les cours d'eau, les concentrations des divers constituants varient très rapidement, à la fois sous l'effet des changements de dilution dus aux fluctuations du débit, et à cause de nombreuses pollutions d'origine agricole, industrielle ou domestique.

. Ces rejets, de composition chimique très variable, ne sont pas amortis par un aquifère ; ils parviennent au cours d'eau sous la forme de "bouffées de pollution" que l'on ne peut étudier qu'avec un échantillonnage très serré.

. Il ne faut donc pas voir, dans nos prélèvements mensuels, une représentation fidèle des variations hydrochimiques des cours d'eau, mais plutôt une approche qualitative permettant de déceler les grands traits de leur composition.

1) COMPOSITION CHIMIQUE EN mg/l.

Le tableau de la page 282 indique les paramètres physicochimiques de quatre cours d'eau.

HYDROCHIMIE DES COURS D'EAU

COURS D'EAU	N°		Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	TAC	THCa	THT	pH	RESIS	SiO ₂
VIAISON	N°26	min.	68,9	7,3	2,8	2,6	4,5	5	229	2,6	18,8	17,2	20,2	8,2	2881	
		max.	84,2	8,3	4,5	3,7	6,7	9	282	4,0	23,1	21,6	24,4	8,3	2304	
		moy.	76,6	7,8	3,7	3,2	5,6	7	256	3,3	21,0	19,4	22,3	8,3	2593	
MENOGE	N°54	min.	70,9	4,8	2,6	2,0	3,6	14	218	0,9	17,9	17,7	18,4	7,9	2899	
		max.	129,1	15,1	7,6	7,0	8,6	148	287	5,7	23,5	32,2	20,0	8,3	1623	
		moy.	99,0	9,0	4,9	3,9	5,4	59	260	3,3	21,4	24,7	28,6	8,1	2140	
FOR. REIGNIER	N°224	min.	85,0	4,8	4,6	4,4	6,0	8	288	4,0	23,6	21,2	25,4	7,9	1778	
		max.	101,8	11,2	14,3	8,6	26,4	34	333	14,0	27,3	25,4	30,0	8,3	2297	
		moy.	91,8	7,5	7,5	7,5	12,1	24	302	6,6	24,7	22,9	27,7	8,0	2128	
ARVE P. NEUF	N°494	min.	37,7	3,4	1,3	0,9	1,3	4	93	0,4	7,6	9,4	11,2	7,5	4649	
		max.	88,2	10,2	6,6	3,5	10,2	88	245	4,4	20,1	22,0	25,6	8,2	2242	
		moy.	61,3	6,8	3,4	1,6	3,9	30	156	2,7	12,6	15,3	18,1	8,0	3263	4,3

Tab. 8

INSTITUT
DOLOMIEU

DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

d'après H SCHELLER
et E BERKALOFF

LEGENDE

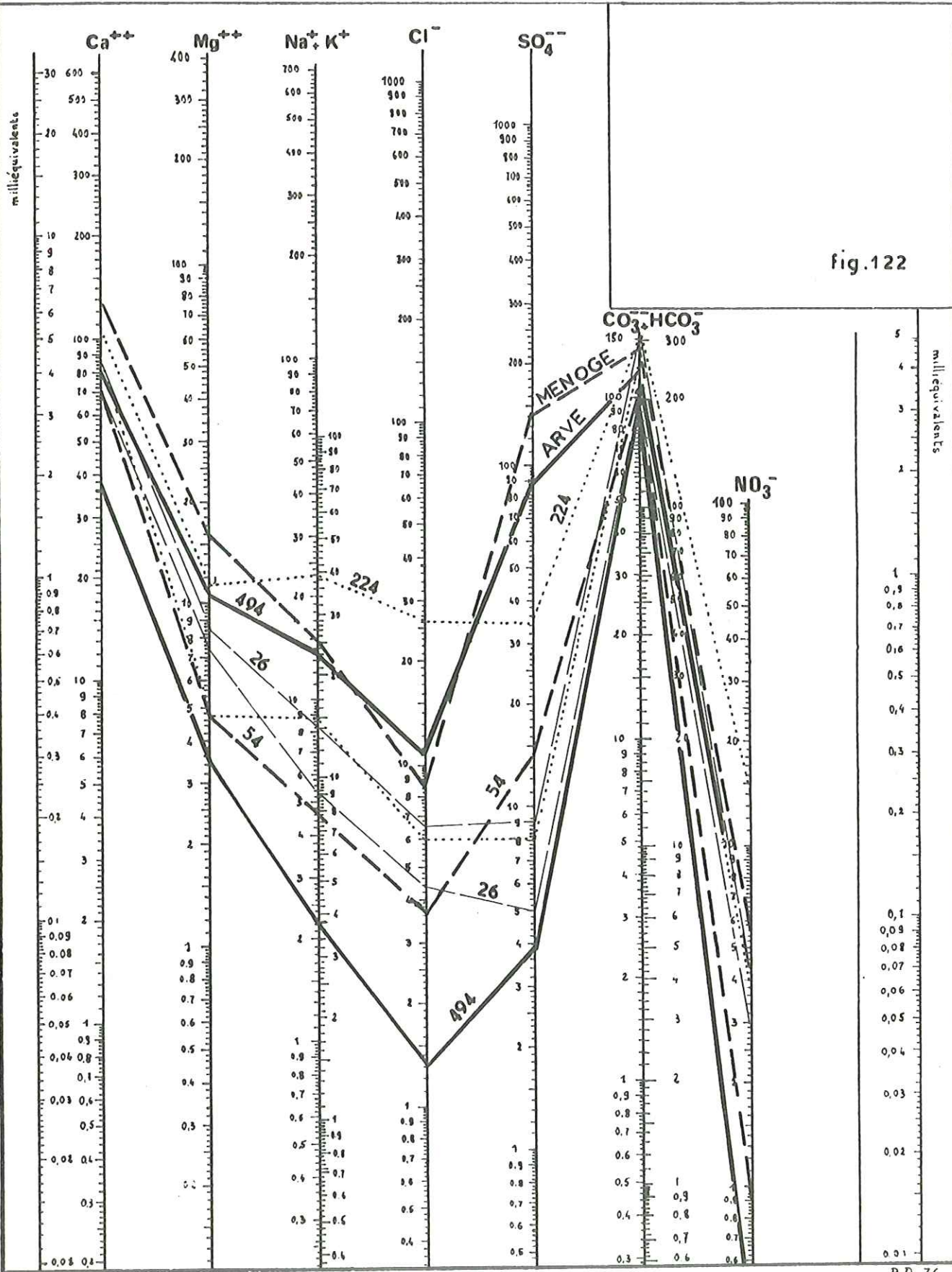


fig.122

On remarque une hétérogénéité marquée surtout dans certains constituants pouvant refléter une pollution : sulfates, nitrates, chlorures.

2) FACIES CHIMIQUE.

Sur le diagramme de la figure I22 on voit qu'il est bicarbonaté calcique.

On constate aussi que le Foron de REIGNIER se distingue par ses fortes concentrations. Il faut dire que les prélèvements ont été faits en aval de l'agglomération de REIGNIER.

3) FORMULES CARACTERISTIQUES.

Cations ; on a toujours : $rCa > rMg > rNa > rK$

Anions ; on a généralement : $rHCO_3 > rSO_4 > rCl > rNO_3$

, sauf dans le cas du Foron de REIGNIER où l'on a : $rHCO_3 > rCl > rSO_4 > rNO_3$, en raison des fortes teneurs en chlorures.

4) RAPPORTS DES TENEURS EN mg/l.

Le rapport rMg/rCa a une valeur très constante, proche de 0,16.

Le rapport rNa/rCa est sensiblement égal à 0,05.

Le rapport rSO_4/rCl est généralement supérieur à 1, il peut atteindre 13 et 20, respectivement pour l'Arve et la Menoge en Septembre 1977. De fortes valeurs sont aussi observées en Décembre.

5) EVOLUTION DES PROPORTIONS ENTRE LES IONS, DIAGRAMME DE PIPER.

Au cours de l'année, les points représentatifs montrent une évolution considérable, due aux grandes variations de proportion de sulfates et à un degré moindre, de nitrates.

L'Arve et la Menoge, qui ont des comportements opposés sur le plan de la résistivité (voir étude des cours d'eau), suivent par contre des évolutions chimiques parallèles : baisse régulière de la proportion de sulfates de Décembre au mois d'Avril ; puis retour des points représentatifs vers le pôle sulfaté au cours du printemps et de l'été, avec un maximum au mois de Septembre 1977.

6) INDICE D'ECHANGE DE BASES.

Il est constamment très négatif pour l'Arve, moyennement négatif

pour les autres cours d'eau.

Les eaux échangent donc toujours leurs ions Ca^{++} et Mg^{++} contre des ions Na^+ .

7) ORIGINE DES IONS.

Pour la Menoge, nous avons établi la matrice de corrélations suivante :

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃
Mg	+0,22						
Na	+0,53	+0,38					
K	+0,86	+0,32	+0,96				
Cl	-0,13	-0,33	-0,12	-0,25			
SO ₄	+0,98	+0,26	+0,96	+0,91	-0,25		
HCO ₃	+0,87	+0,58	+0,94	+0,83	+0,02	+0,85	
NO ₃	+0,85	+0,28	+0,70	+0,50	-0,01	+0,79	+0,76

Pour l'Arve, la matrice de corrélations est semblable, on note cependant une liaison très nette entre Na^+ et Cl^- (+0,87) et entre K^+ et Cl^- (+0,77) ce qui n'apparaît pas dans la Menoge.

Etant donnée l'importance que peuvent prendre les phénomènes de pollution dans les cours d'eau, il est difficile de déterminer les associations minérales qui sont à l'origine des ions observés.

Dans le cas de la Menoge, il y a très certainement CaCO_3 , et CaSO_4 et peut être des composés sodiques et potassiques qui pourraient provenir de produits ménagers tels que les lessives. La très bonne corrélation entre K^+ et Na^+ (+0,96) en serait une preuve supplémentaire. (J.J.MISEREZ).

A ces associations il faut ajouter NaCl et KCl observés dans l'Arve.

V I I - C O N C L U S I O N D E L ' E T U D E H Y D R O C H I M I Q U E

. Au cours de cette étude, nous avons pu noter qu'il existait relativement peu de contrastes entre les différents types d'eaux rencontrés dans la basse vallée de l'Arve. Leur faciès, en particulier, est toujours bicarbonate calcique.

. Pour opérer des regroupements entre les points d'eau, nous nous sommes basés sur la classification des aquifères établie dans le chapitre "hydrogéologie".

. L'étude hydrochimique a confirmé la réalité des distinctions opérées entre les divers types d'aquifères. Pour chacun d'entre eux, les résultats des différents facteurs examinés au cours de cette étude sont rassemblés dans le tableau de la page 289 .

a - Report sur le diagramme de PIPER.

Sur le diagramme de la figure I23 nous avons reporté l'ensemble des points "moyens" d'analyse chimique.

Pour les nappes superficielles et les cours d'eau, dont la composition change d'une manière importante durant l'année, nous avons adopté un figuré en "zones de variations".

Nous constatons que quatre grands types d'eaux sont discernables :

- Les eaux des nappes superficielles, dont les points représentatifs sont en temps normal proches du pôle calcique, mais peuvent s'en éloigner nettement, sous l'influence des pollutions par les chlorures, les nitrates et les sulfates.

- Les eaux des nappes captives, au contact des argiles à blocs ou du substratum molassique, qui présentent un caractère plus "magnésien" et "sulfaté".

- Les eaux issues des calcaires du Salève, presque exclusivement bicarbonatées calciques.

- Les eaux superficielles, rivières et ruisseaux, dont les points représentatifs se déplacent au cours de l'année, essentiellement sous l'influence des variations dans la proportion de sulfates.

b - Origine des ions.

L'étude des matrices de corrélations montrent que trois ou quatre principales associations minérales sont à l'origine des ions rencontrés dans les eaux analysées :

- Le carbonate de calcium, lié au milieu calcaire, le sulfate de calcium, le chlorure de sodium, et parfois le chlorure de potassium, qui, eux, sont liés aux argiles à blocs ou au substratum molassique.

- Les nitrates, certains sulfates, chlorures (CaCl_2 par exemple) et divers sels de sodium et de potassium proviennent de pollutions agricoles, industrielles ou domestiques. (corrélations fréquentes SO_4^{--} , NO_3^- , Cl^-). La corrélation Mg^{++} . Cl^- , qui indique la présence probable de MgCl_2 semble marquer spécifiquement l'influence du substratum molassique.

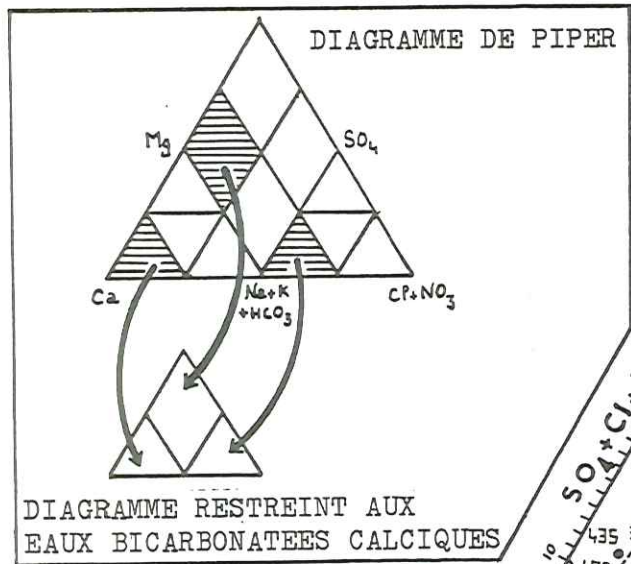
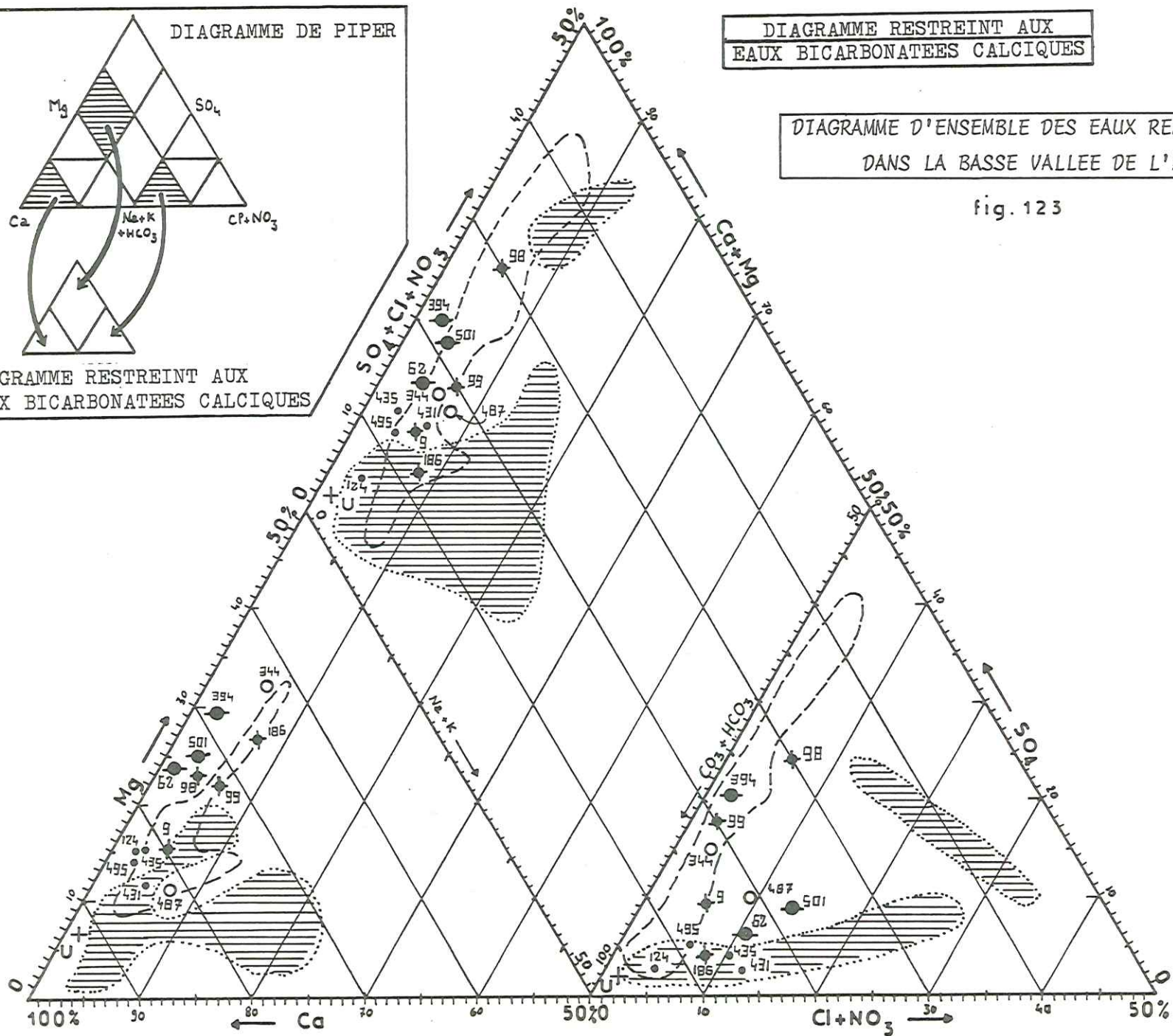


DIAGRAMME RESTREINT AUX EAUX BICARBONATEES CALCIQUES

DIAGRAMME D'ENSEMBLE DES EAUX RENCONTREES DANS LA BASSE VALLEE DE L'ARVE

fig. 123

C.N



L'origine des ions magnésium, relativement abondants dans les eaux des nappes captives profondes, a souvent été cherchée dans des minéraux tels que la chlorite ou la montmorillonite. En fait, lorsqu'on fait l'étude par carbonatimétrie des argiles à blocs qui encadrent ces aquifères, on constate la présence très nette de dolomite (jusqu'à 7%), qui pourrait suffire à elle seule à justifier les teneurs observées en magnésium.

. Dans l'étude de la basse vallée de l'Arve, l'étude hydrochimique a donc confirmé et précisé les résultats obtenus sur le plan de l'hydrogéologie, elle a, en outre, apporté de nombreuses informations qui n'étaient accessibles par aucune autre méthode.

- L'étude hydrochimique a confirmé la validité des subdivisions en types d'aquifères, superficiels, captifs et profonds : ces distinctions, basées sur l'examen des variations de résistivité, de débit et de niveau se retrouvent sur le plan hydrochimique. En outre, pour les nappes captives et liées au substratum, l'hydrochimie fournit des critères supplémentaires d'identification grâce aux rapports rMg/rCa et rSO_4/rCl .

- L'étude hydrochimique a précisé la cause de certaines variations brutales de résistivité, en faisant apparaître l'importance des pollutions agricoles et du déversement de sel routier. L'étude des cours d'eau a pu être complétée par la mise en évidence de grandes variations saisonnières dans les proportions de sulfates et de nitrates.

- L'étude hydrochimique a apporté des renseignements sur les associations minérales pouvant être à l'origine des ions observés dans les différents aquifères. En particulier, l'analyse des eaux issues des calcaires du Salève a montré que ces derniers n'étaient pas responsables des teneurs en sulfates trouvées dans les sources de l'extrémité Nord du Salève mais qu'il s'agissait de l'influence du substratum molassique.

TABLEAU RESUMANT LES CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES DES AQUIFERES DE LA BASSE VALLEE DE L'ARVE

TYPE DE NAPPE	COMPOSITION CHIMIQUE	FORMULES CARACTERISTIQUES	RAPPORTS			PROPORTIONS ENTRE LES IONS	INDICE D'ECHANGE DE BASES
			rMg/rCa	rNa/rCa	rSO ₄ /rCl		
N. SUPERFICIELLES	Très variable pollutions fréquentes	variables Ca > Mg > Na > K ou Ca > Mg > K > Na HCO ₃ > SO ₄ > Cl > NO ₃ ou HCO ₃ > NO ₃ > SO ₄ > Cl	0,01 à 0,2	0,02 à 0,1	0,5 à 1	Très variables	Positif ou négatif suivant le point d'eau et la saison.
N. CAPTIVES - plaine de Reignier	Variable Pollutions	Ca > Mg > Na > K HCO ₃ > SO ₄ > NO ₃ > Cl	0,1 à 0,3	0,03 à 0,04	1 à 2	variable dans les puits	Négatif, positif si pollution
- lenticulaires dans argiles à blocaux	constante	Ca > Mg > Na > K HCO ₃ > NO ₃ > SO ₄ > Cl ou HCO ₃ > SO ₄ > Cl > NO ₃	0,4	0,04	2 à 10	Constantes	Négatif sauf exception (501)
- dans le sillon de l'Arve	assez constante	Ca > Mg > Na > K HCO ₃ > SO ₄ > Cl > NO ₃	0,3	0,07	1 à 8	assez constantes	Négatif
SOURCES LIEES AU SUBSTRATUM - Contact calc. molasse	assez variable si pollution NaCl	Ca > Mg > Na > K (344)	0,4 à 0,06	0,08	1 à 7	assez constantes	qqf. positif (487) Négatif (344)
- Calcaires du salève	constante ?	Ca > Mg > Na > K anions : variable	0,02 à 0,1	moins de 0,03	2 à 8	Non étudiées	Négatif, sauf pour S500
COURS D'EAU	très variables pollutions	Ca > Mg > Na > K HCO ₃ > SO ₄ > Cl > NO ₃ ou HCO ₃ > Cl > SO ₄ > NO ₃	0,16	0,05	1 à 20	Très variables	Négatif

tab. 9

CONCLUSION GENERALE

C O N C L U S I O N G E N E R A L E

. Par ses différents aspects, cette étude a contribué à une meilleure connaissance des formations quaternaires et de l'hydrogéologie de la basse vallée de l'Arve :

Dans la partie géologique :

- L'ETUDE GEOPHYSIQUE par méthode électrique a complété le relevé des affleurements de molasse, en donnant, sous la forme d'une carte en isohypses, la forme du substratum dans la région étudiée.

Elle a permis d'établir l'existence de deux sillons de surcreusement glaciaire, l'un axé sur l'Arve, l'autre suivant en partie la Menoge.

Grâce à cette prospection, des renseignements qualitatifs et parfois quantitatifs intéressants ont pu être recueillis sur les terrains dans les zones où aucune coupe n'était disponible.

- L'ETUDE MORPHOLOGIQUE des formations quaternaires a été faite aussi bien sur le terrain que par photographies aériennes ; elle a été complétée par le relevé de la LITHOLOGIE utilisant les coupes naturelles, les "logs" de sondages et les indications de la géophysique électrique.

- Dans l'ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE, l'emploi de méthodes bien adaptées à une mise en oeuvre sur le terrain a permis de préciser et de chiffrer les caractéristiques des dépôts superficiels rencontrés dans la basse vallée de l'Arve.

L'utilisation conjointe de ces différentes méthodes a conduit à l'identification complète des formes liées au retrait des glaciers de l'Arve, du Rhône et de la Menoge.

- La détermination des STADES DE RETRAIT GLACIAIRE a été la suite naturelle de ces études.

Une chronologie relative a été établie reliant l'ensemble des témoins identifiés dans la basse vallée de l'Arve et en bordure de la dépression lémanique.

Il est apparu que chaque "stade" élémentaire de retrait comprenait sensiblement la même succession d'évènements : abaissement du niveau du glacier, érosion des formations du stade précédent, édification d'un nouveau cordon morainique, avec, en arrière de celui-ci, la sédimentation glacio-lacustre deltaïque d'une terrasse.

L'analyse de la morphologie actuelle et fossile montre que

les formations quaternaires de la basse vallée de l'Arve sont attribuables à trois épisodes glaciaires différents :

. La partie inférieure du remplissage des sillons glaciaires prouve que la dernière phase de leur creusement s'est déroulée au Riss.

. Il semble par contre très probable que la totalité des autres formations quaternaires observées appartiennent aux phases de retrait de la glaciation würmienne.

. La spectaculaire moraine des Rocailles, quant à elle, est à attribuer à une récurrence tardive du glacier de l'Arve avant son retrait final.

Dans la partie hydrogéologique :

- L'étude hydrogéologique a comporté plusieurs aspects qui, chacun, ont apporté des résultats intéressants .

- Son premier volet a été l'ETUDE CLIMATOLOGIQUE.

Elle a montré que la période des relevés (Juillet 1976 à Septembre 1977) a été particulièrement pluvieuse puisque près de 1600mm de précipitations ont été enregistrés, ce qui correspond sensiblement à une année centenaire humide.

Le caractère exceptionnel de la pluviosité se retrouve dans les valeurs inhabituelles pour la région de gradient altimétrique des précipitations (supérieur à 100mm/100m) et d'évapotranspiration (35% environ de la hauteur d'eau tombée).

- L'ETUDE DES COURS D'EAU a examiné le régime de leur débit, et s'est intéressée plus particulièrement aux variations mensuelles de la résistivité de leurs eaux.

. Deux comportements opposés ont été mis en relief :

Celui de l'Arve, dont la résistivité est fortement influencée par la fonte estivale des neiges et des glaciers et dont le maximum de résistivité se produit en été.

Celui des cours d'eau locaux, dont la résistivité est largement fonction de la pluviosité et présente un minimum estival en période d'étiage.

- L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE proprement dite a permis d'identifier les différents types d'aquifères présents dans la basse vallée de l'Arve et d'apprécier leur alimentation et le mode d'infiltration des eaux par l'examen des variations mensuelles de résistivité, de débit des sources et de niveau dans les puits.

L'observation de la résistivité dans les points d'eau s'est révélée très utile pour déterminer à quel moment et de quelle manière se faisait l'ali-
-mentation des aquifères. En particulier, dans le cas de forages ou de puits de captage dont le niveau n'est pas accessible ou est influencé par des pompes fréquents, le paramètre résistivité a servi à identifier de façon rapide et sensible les changements intervenus dans l'aquifère.

Nous avons, par ce moyen, cherché à savoir si les très grandes variations de résistivité observées dans les cours d'eau pouvaient être retrouvées dans les aquifères. C'est ainsi qu'une alimentation temporaire de la nappe captive du sillon de l'Arve a pu être mise en évidence : celle-ci se fait surtout durant les crues de la rivière, au moment où celle-ci quitte son lit mineur, colmaté, pour occuper son lit majeur demeuré perméable.

- Les mêmes méthodes d'étude ont été appliquées à l'ETUDE HYDROGEO-
-LOGIQUE DE LA REGION DE REIGNIER.

Nous disposons, dans cette zone, d'un réseau de points de mesure très dense qui nous a permis de distinguer dans le détail et de caractériser les divers types d'aquifères superficiels présents dans cette partie de la vallée de l'Arve.

L'examen des cartes en courbes d'iso-résistivité de la plaine de REIGNIER, a notamment fait apparaître le grand rôle des circulations d'eau dans le sens de la pente, qui font se déverser les uns dans les autres les aquifères superficiels. Par ailleurs, les nappes captives superficielles se sont révélées fréquentes dans la région de REIGNIER.

- L'ETUDE HYDROCHIMIQUE, enfin, a montré que les eaux souterraines rencontrées dans notre région d'étude étaient peu contrastées, et qu'en particulier leur faciès était toujours bicarbonaté calcique.

Cependant, à l'aide d'un programme informatique de traitement des données d'analyse, nous avons pu retrouver et compléter les distinctions en types d'aquifères opérées dans le chapitre hydrogéologie.

Sur le plan de l'hydrochimie, quatre grands types d'eaux ont été identifiés :

. Les eaux des nappes superficielles, dont la composition varie considérablement au cours de l'année, sous l'influence des fluctuations météorologiques et des pollutions d'origine agricole ou domestique amenant des nitrates, sulfates, chlorures, ou des composés potassiques.

. Les eaux des nappes captives, au contact du substratum molassique ou des argiles à blocs, de caractère plus magnésien et sulfaté.

. Les eaux issues des calcaires du Salève, exclusivement bicarbonatées calciques et de faible minéralisation.

. Les eaux des cours d'eau, enfin, dont la composition subit d'importants changements au cours de l'année, en fonction des variations dans la teneur en sulfates, nitrates et chlorures.

L'examen des matrices de corrélations entre les ions nous a permis de déterminer les associations minérales qui pouvaient être à l'origine des ions observés dans les différents types d'eaux.

Il est apparu qu'il s'agissait principalement du carbonate de calcium, du carbonate double de calcium et de magnésium (contenu dans les argiles à blocs), du sulfate de calcium, des chlorures de sodium, de potassium, de calcium et de magnésium, ce dernier paraissant spécifique du substratum molassique.

Sur un plan plus général, nous avons pu constater, qu'en accord avec les observations faites dans le reste du bassin lémanique, de nombreux traits de la morphologie quaternaire étaient liés à la structure du substratum, et en particulier aux failles profondes de la vallée de l'Arve et au réseau de failles inverses découpant les formations oligocènes.

L'érosion due aux glaciers a exagéré les dépressions du soubassement molassique, les transformant en profonds sillons de surcreusement tapissés de moraine de fond.

Ce phénomène est très général car de tels sillons ont été repérés dans les principales vallées alpines.

Les périodes de réchauffement climatique et les phases de retrait ont conduit à la mise en place d'un remplissage hétérogène comprenant des épisodes glacio-lacustres à dominante argileuse, et des épisodes fluvioglaciaires graveleux. Parmi ces derniers, la formation graveleuse inférieure abrite une importante nappe captive, bien protégée, et de caractéristiques hydrodynamiques intéressantes.

On voit donc que le repérage précis des sillons de surcreusement glaciaire est essentiel, car ils recèlent les seules ressources en eaux souterraines réellement exploitables sur une grande échelle dans la basse vallée de l'Arve.

BIBLIOGRAPHIE

B I B L I O G R A P H I E

- . ACHARD R. & JAYET A. 1967
Sur l'extension respective des glaciers du Rhône et de l'Arve, au cours de la période würmienne, au voisinage du Mont Salève.
C.R. de la Soc. de Physique et d'Histoire Naturelle. GENEVE. Tome 2 F.3.
- . AEBERHARDT B. 1903
Etude sur les alluvions anciennes des environs de GENEVE.
Eclogae Geol. Helv. Tome 7, Fasc. 4.
- . AMBERGER G. 1971
Carte des isohypses du contact molasse - quaternaire.
Document non publié du cadastre géologique du Département de l'Intérieur et de l'Agriculture du Canton de GENEVE.
- . AMBERGER G. 1976
Aperçu hydrogéologique de la région genevoise.
Département de l'Intérieur et de l'Agriculture.
Service géologique du Canton de GENEVE.
Document non publié.
- . AMINOT A. 1974
Les analyses chimiques en hydrogéologie karstique.
Annales de spéléologie. N°29 T 4.
- . ARMAND C. & FOURNEAUX J.C. 1977
Les formations quaternaires de la basse vallée de l'Arve.
Archives des Sciences. GENEVE. Vol. 30 Fasc. 3
- . ARMAND C. & DELAQUAIZE B. 1977
Analyse physicochimique des eaux. Mémento pratique.
Publication interne du laboratoire d'hydrogéologie. GRENOBLE.
- . ARMAND C. 1978
Détermination par géophysique électrique de la forme d'un substratum molassique. Cas de la basse vallée de l'Arve (Hte Savoie).
Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Séance du 10.4.78. PARIS.
- . ASTIER J.L. 1971
Géophysique appliquée à l'hydrogéologie.
Masson éditeur. PARIS.
- . BIELER T. 1903
Considérations sur les terrasses du Léman.
Archives des sciences physiques et naturelles. GENEVE. T. 15.
- . BIELER P.L. 1976
Etude paléoclimatique de la fin de la période quaternaire dans le bassin lémanique.
Archives des Sciences. C.R. de la Société de physique et d'histoire naturelle de GENEVE. Vol.29. Fasc. I.
- . BIROT P. 1968
Les développements des théories de l'érosion glaciaire.
Annales de Géographie N° 419.
- . BLAVOUX B. & Al. 1962
La région du Léman du point de vue hydrométéorologique.
"Le globe". Bulletin de la société de géographie de GENEVE.
- . BLAVOUX B. & DRAY M. 1971
Les sondages dans le complexe quaternaire du Bas Chablais, leur intérêt pour l'hydrogéologie et l'hydrochimie régionales.
Revue de Géographie Physique et de Géologie dynamique. Vol.XIII Fasc.I
- . BOISSIER R. 1914
Les nappes d'eau souterraines de l'Arve.
Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle. GENEVE.
T. 39. Fasc. 3.
- . BOURDIER F. 1958
Le bassin du Rhône au Quaternaire.
Thèse de Doctorat d'Etat. PARIS.

- . BUCHLI H. 1973
Etude géoélectrique de la rive Sud du Lac Léman (au Sud de l'axe du Mont de Boisy).
Thèse Université de Lausanne.
- . CAILLEUX A. & TRICART J. 1959
Initiation à l'étude des sables et des galets.
Centre de documentation de l'Université de PARIS. 3 Tomes.
- . CAROZZI A. 1945
Les plissements des graviers morainiques du retrait würmien.
C.R. de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de GENEVE.V.62.
- . CAROZZI A. 1946
Les zones isopiques de l'alluvion ancienne.(Note préliminaire).
Archives de la Société de physique et d'Histoire Naturelle de GENEVE
Suppl. Juillet Août. N° 28.
- . CAROZZI A. 1946
Essai sur la géographie glaciaire du bassin de l'Arve genevois.
"Le Globe". Mémoire N° 84.GENEVE.
- . CAROZZI A. 1946
Etude granulométrique des sables de l'alluvion ancienne, canton de Genève.
Revue polytechnique. Bulletin de la société suisse de spéléologie.
- . CATALAN LAFUENTE 1969
Química del agua.
Editorial Blume. Rosario 17.
- . CHAROLLAIS J. & LOMBARD A. 1965
Lithostratigraphie comparée Jura - Subalpin ; dans la région de GENEVE.
Eclogae Geol. Helv. N° 58. Fasc. 2.
- . COLLET L.W. 1929
Les travaux du Laboratoire de Géologie de l'Université de GENEVE sur l'Arve et le lac de GENEVE.
IIIè congrès du Rhône, union générale des rhodaniens.
- . COULOMB R. 1967
Traitement par ordinateur des informations géologiques, géophysiques et géochimiques.
Bulletin d'information scientifique et technique du C.E.A. N°II3.
- . DELEAU P.C. 1969
Etude morphologique de la dépression au Nord d'ANNECY.
Annales du C.S.E. de CHAMBERY N°7.
- . DELEBECQUE A. 1909
Sur l'origine de la plaine des Rocailles.
C.R. de l'Académie des Sciences . PARIS. T 149.
- . DELEBECQUE A. 1910
Sur les terrains glaciaires des feuilles ANNECY, CHAMBERY, NANTUA.
Bulletin du Service de la Carte Géologique de France N°126. T 20.
- . DERRUAU M. 1967
Précis de géomorphologie.
Masson éditeur. PARIS. Vème édition.
- . DIRECTION DE LA PREVENTION DES POLLUTIONS ET DES NUISANCES.1976.
Analyse des eaux. Méthodes et instructions.
- . DREYFUS P. 1973
Le FORTRAN pratique.
A. Colin éditeur.
- . FAVRE A. 1843
Considérations géologiques sur le Mont Salève et sur les terrains des environs de GENEVE.
Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de GENEVE
Tome X.

- . FOURNEAUX J.C. 1976
Les formations quaternaires de la vallée de l'Isère dans l'ombilic GRENoble.
Géologie alpine. Tome N°52.
- . FOURNEAUX J.C. & SARROT REYNAULD J. 1977
Déficit d'écoulement et évapotranspiration dans les Alpes du Nord.
102ème congrès des Sociétés Savantes. Limoges.
- . GAGNEBIN E. 1937
Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman.
Bulletin de la Société vaudoise de Sciences Naturelles. N°59.
- . GIDON M., MONJUVENT G. & STEINFATT E.
Sur la morphologie fluvioglaciaire aux marges des glaciers würmiens alpins. Le dispositif moraine - chenal marginal.
Bull. de l'Association française d'Etude du Quaternaire. N°15.
- . HAUBERT M. 1975
Importance des apports atmosphériques dans le bassin hydrochimique d'un bassin versant de moyenne montagne: la Dranse de BELLEVAUX.
Thèse de 3ème cycle. Université de PARIS VI.
- . INFORMATIQUE HYDROGEOLOGIQUE. 1973
Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Section 3 numéro 2.
- . JAN DU CHENE R., GORIN G., VAN STULJVENBERG J. 1975
Etude géologique et stratigraphique (palynologie et nanoflore calcare) des grès des Voirons. (paléogène de Hte Savoie).
Géologie Alpine. Tome 51.
- . JAYET A. 1945
Sur l'origine et l'âge de l'alluvion ancienne des environs de GENEVE.
C.R. de la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de GENEVE.62/6.
- . JAYET A. 1945
A propos de l'âge du maximum glaciaire quaternaire.
Eclogae Geol. Helv. Tome 38. Fasc. 2.
- . JAYET A. 1946
Les stades de retrait würmiens aux environs de GENEVE.
Eclogae Geol. Helv. Tome 39. Fasc. 2
- . JAYET A. 1952
Sur l'origine commune des trois éléments stratigraphiques du complexe würmien de la région de GENEVE.
Archives des Sciences. GENEVE. Tome 5. Fasc. 3.
- . JAYET A. 1956
Une conception nouvelle de la gène du plateau genevois.
"Le Globe". GENEVE. N° 95.
- . JAYET A. 1957
Sur l'origine du caractère arrondi des galets glaciaires et fluvioglaciaires.
Eclogae Geol. Helv. Tome 5. Fasc. 2.
- . JAYET A. 1958
Remarques sur la composition, la structure, les déformations mécaniques des moraines glaciaires pléistocènes et actuelles.
Eclogae Geol. Helv. Vol. 51 tome 2.
- . JAYET A. & AMBERGER G.
L'interglaciaire Riss - Würm de Sous-Terre à GENEVE.
Eclogae Geol. Helv. Volume n°62.
- . JAYET A. 1966
Résumé de géologie glaciaire régionale.
Chapuis éditeur. GENEVE.
- . JAYET A. 1968
Démonstration de l'âge würmien de l'erratique élevé du Salève entre 1000m et 1300m.
C.R. de la Société de physique et d'Histoire Naturelle de GENEVE.2 N°1.

- . JOUKOWSKY E. & FAVRE J. 1913
Monographie géologique et paléontologique du Salève.
Mémoires de la Soc. de Phys. et d'Hist. Nat. de GENEVE. N° 34 Fasc.4.
- . JOUKOWSKY E. 1941
Géologie et eaux souterraines du pays de GENEVE.
Imprimerie Kündig. GENEVE.
- . KILIAN W. 1914
Les formations fluvioglaciaires de la région de Faucigny.
C.R. de la Société géologique de France .
- . KILIAN W. 1916
Sur l'âge exact de la plaine des Rocailles et sur les stades fluvio-
-glaciaires de la région Genevois - Faucigny.
C.R. de la Société géologique de France .
- . KILIAN W. 1923
Sur les dépôts glaciaires des environs de GENEVE.
C.R. de la Société géologique de France .
- . LAGOTALA H. 1953
L'alluvion ancienne de la région de Soral (GENEVE).
Arch. des Sc. Société de Physique et d'Histoire naturelle de GENEVE.
Volume 6. Fasc. 2.
- . LAMOITIER J.P. 1974
Exercices de programmation en FORTRAN IV.
Dunod technique éditeur.
- . LA PREHISTOIRE FRANCAISE 1976
IXème congrès de l'U.I.S.P.P. NICE. Editions du C.N.R.S.
- . LEYMARIE P. 1970
Méthode d'acquisition, de représentation et de traitement de l'info-
-rmation en géologie.
Mémoires des sciences de la terre. NANCY.N°18.
- . LIVRE DE L'EAU. 1964
Guide pratique à l'usage des ingénieurs et des techniciens.
Herstal, H. Goldstein 1964, 2ème édition. Belgique.
- . LOMBARD A. 1940
Géologie des Voirons.
Mémoires de la Société Helvétique de Sciences Naturelles.P 74.
- . LOMBARD A. 1965
Panorama géologique du Salève.
Commission géologique suisse. Soc. Helv. des Sciences Naturelles.
- . MARGAT J. 1964
Guide bibliographique d'hydrogéologie. Ouvrages et articles en langue
française.
Bureau de Recherches géologiques et minières. PARIS.
- . MARTINI J. 1963
Note sur le tertiaire des environs de MORNEX (Hte Savoie).
Archives des Sciences. Vol. 15. Fasc. 3.
- . MEYBECK M. et Al. 1969
Nouvelles données obtenues par la sismique continue sur la structure
de la cuvette lémanique.
C.R. de l'Académie des Sciences. PARIS. N°269.
- . MISEREZ J.J. 1973
Géochimie des eaux du karst jurassien.
Thèse. Université de NEUCHATEL.
- . OLIVE P. 1972
La région du lac Léman depuis 15.000 ans: données paléoclimatologiques
et préhistoriques.
Revue de géogr. phys. et de géologie dynamique. Vol. XIV. Fasc. 3.
- . OLIVE P. 1974
Eléments de climatologie.
Univ. P. et M. Curie.PARIS. C. de recherches géodynamiques. THONON.

- . PAREJAS E. & LOMBARD A. 1959
Cavités karstiques dans l'Urgonien du Mont Salève.
Archives des Sciences Vol. 12. Fasc. 4.
- . PETRUS O. 1974
Les blocs erratiques du Petit Salève.
Musée de GENEVE N° 141.
- . POIREL J. 1968
Quelques réflexions au sujet des moraines internes et des moraines
de fond.
Revue de géomorphologie dynamique. Vol. 18. N°1.
- . POLDINI E. 1963
Les anomalies gravifiques du canton de GENEVE.
Mat. géologie SUISSE. C. Géophysique.
- . PORTMANN J.P. 1956
Méthodes d'étude pétrographique des dépôts glaciaires. Pétrographie
des moraines würmiennes du glacier du Rhône dans la région des lacs
sub-jurassiens.
Thèse . Université de NEUCHATEL. SUISSE.
- . RIGASSI E. 1957
Le tertiaire de la région genevoise et savoisiennne.
Bull. de l'Assoc. suisse de Géol. de l'Ingénieur pétrole 24/66.
- . RODIER J. 1960
Analyse chimique et physicochimique de l'eau.
Dunod éditeur. PARIS.
- . SARROT REYNAULD S.&J. 1977
Alimentation des nappes et mélanges des eaux souterraines : origine
des eaux souterraines de la plaine de BOURG D'OISAN. (Isère).
C.R. du 102ème congrès des Sociétés Savantes. Limoges.
- . SCHOELLER H. 1969
L'acide carbonique des eaux souterraines.
Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Section III.
- . SCHOELLER H. 1962
Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique.
Masson éditeur. PARIS.
- . SCHROEDER J.W. 1958
Géologie du pays de GENEVE.
"Le Globe". Mémoires de la Société de Géographie de GENEVE.
- . SCIENCES DE LA TERRE 1971
Actes des journées d'étude sur la liaison entre traitement automatique
et visualisation de l'information géologique.
- . TAILLEFER F. 1969
La cartographie des formes glaciaires et fluvioglaciaires. Etude sur
le Quaternaire du monde.
VIIIème congrès de l'I.N.Q.U.A. PARIS.
- . VIAL R. 1975
Le quaternaire dans le Bas Chablais. Les derniers épisodes de retrait
glaciaire.
Géologie Alpine . Tome 51
- . VIAL R. 1976
Etude géologique et hydrogéologique de la région de THONON &
DOUVAINE.
Thèse de 3ème cycle. Université de GRENOBLE.
- . VINCENT P.L. & VOGT J. 1969
Principes de cartographie des formations superficielles au B.R.G.M.
Union Internationale pour l'étude du Quaternaire . VIIIème congrès
de l'I.N.Q.U.A. PARIS . Vol. 2.

LISTE DES FIGURES

Fig. N°	Page
I - Schéma de situation	3
2 - Cadre géologique de la région étudiée	5
3 - Coupe schématique de l'anticlinal du Salève	7
4 - Coupe du torrent de Vaison	9
5 - Coupe de la Menoge	II
6 - Coupe synthétique de la série mésozoïque du Salève	I5
7 - Face NW du Salève, vue d'Aiguebelle	I7
8 - Carte en isohypses du toit des calcaires crétacés	I8
9 - Quelques étalonnages de résistivité de la molasse tertiaire	27
I0 - Convergence des S.E. vers la résistivité de la molasse	28
II - Histogramme de fréquence de résistivité selon les facies	30
I2 - Situation de l'étude géophysique	3I
I3 - Carte en isohypses du substratum molassique	32
I4 - Bloc diagramme de la topographie actuelle et du substratum	33
I5 - Forme du substratum molassique	34
I6 - Schéma de confluence des glaciers	36
I7 - Profils comparés du substratum molassique et de la topographie dans les gorges du Foron de Reignier	42
I8 - Terrasse d'Esserts-Salève. Carte morphologique	43
I9 - Terrasse d'Esserts : coupe de la partie inférieure	46
20 - Vallée de l'Arve en amont du Pont de Bellecombe. Carte	47
2I - Coupe interprétée entre les S.E. I5-I et I5-2	50
22 - Légende commune aux extraits de carte morphologique I/25000.....	50
23 - Relations probables entre les différentes formations quaternaires en amont du Pont de Bellecombe	52
24 - Zone des Rocailles . Carte morphologique	53
25 - Relations entre la moraine des Rocailles et les unités voisines .	56
26 - Affl. I88 Bidaille. Coupe synthétique de la formation des Rocailles	56
27 - Loslena . Coupe de puits	57
28 - La terrasse d'Arthaz et ses bordures. Carte morphologique	58
29 - Coupe de la terrasse d'Arthaz-Le Pont (partie centrale)	60
30 - Affleurement 70. Terrasse d'Arthaz-Le Pont	6I
3I - Affleurement I25. Villy. Terrasse d'Arthaz-Le Pont	62
32 - Partie inférieure de la terrasse d'Arthaz. Coupe de l'affl. 394 .	63
33 - Coupe schématique de la terrasse d'Arthaz. Relations probables entre les différentes formations	63
34 - Coupe de la terrasse d'Arthaz. Affl. 74 La Forge	64
35 - Coupe des bordures de la terrasse d'Arthaz. Forage 2-7 Thiollas .	64
36 - Terrasse de La Bergue-Loex. Carte morphologique	66
37 - Liaison entre la terrasse de La Bergue et le flanc ouest des Voirons	67
38 - Coupe schématique de la terrasse de La Bergue. Relations entre les différentes formations quaternaires	68
39 - Terrasse de La Bergue. Coupe relevée par Le Roux	69
40 - Terrasse de Verchille. Coupe d'après les S.E. 5-I 8-6 et 7-3	70
4I - Terrasses d'Annemasse et d'Etrembières. Carte morphologique	7I
42 - Terrasse d'Annemasse. Coupes comparatives	72
43 - Terrasse d'Etrembières. Coupe relevée par R.Moret en I932	73
44 - Remplissage du sillon glaciaire de l'Arve. Coupe des forages I86, 98, 23, 8, 4, et 482	75
45 - Remplissage du sillon de la Menoge entre Cranves-Sales et Monthoux	77
46 - Sillon de la Menoge. Coupe interprétée entre les S.E. 4-4 & 3-3 .	78
47 - Coupe du forage de Rosses 25-2	80

Fig.N°	Page
48 - Carte récapitulative des principales formations quaternaires	81
49 - Carte des comptages pétrographiques	87
50 - Histogramme de fréquence des différents types pétrographiques selon la taille des galets	91
51 - Indices d'émoussé, d'aplatissement et report des médianes sur le diagramme de Tricart	93
52 - Analyse granulométrique. Fraction de 10 à 200mm	96
53 - Evolution de la teneur en carbonates avec l'altitude dans les moraines étagées de la rive gauche de l'Arve	100
54 - Corrélacion entre les replats de la rive droite et de la rive gauche de la vallée de l'Arve	108
55 - Profil en long des principaux cours d'eau. Raccordement avec le profil des terrasses	III
56 - Edification des terrasses d'Essert, Fillinges, Lossy, Langins	II4
57 - Edification des terrasses de La Bergue-Loex et de St Cergues	II6
58 - Edification de la terrasse d'Arthaz	II8
59 - Edification de la terrasse d'Annemasse	I20
60 - Récurrence glaciaire des Rocailles	I22
61 - Edification de la terrasse de Contamine	I22
62 - Vents dominants	I32
63 - Station de Contamine-sur-Arve, température de l'air par décades ..	I34
64 - Relation entre l'amplitude thermique mensuelle, la pluviométrie et la température à Contamine	I35
65 - Situation des stations pluviométriques	I36
66 - Précipitations cumulées	I38
67 - Précipitations journalières sur le terrain d'étude, température de l'air, mensuelle et par décades à Contamine	I39
68 - Evolution du gradient altimétrique de pluviométrie entre les stations d'Esery Sup. et de Lucinges Sup.	I42
69 - Carte pluviométrique	I43
70 - Points de mesure de la résistivité des cours d'eau	I51
71 - Pluviométrie journalière, débit de l'Arve et hydraulicité	I52
72 - Débit mensuel estimé des cours d'eau locaux	I54
73 - Evolution mensuelle de la résistivité des cours d'eau	I55
74 - Relations résistivité - débit : Arve et cours d'eau locaux	I59
75 - Relation résistivité - minéralisation totale	I62
76 - Région de Reignier. Réseau des points d'observation	I63
77 - Evolution schématisée de la résistivité et des débits, déphasage entre l'Arve et les cours d'eau locaux	I68
78 - Minéralisation d'une eau de pluie au cours de son infiltration et tarissement du débit apporté à un cours d'eau par une pluie ..	I69
79 - Evolution des nappes des placages morainiques et des nappes captives des argiles à blocaux	I75
80 - Evolution des nappes des terrasses d'Arthaz, La Bergue, Turnier, et des sources liées au substratum	I77
81 - Domaine où l'existence de la nappe profonde est possible	I85
82 - Nappe captive du sillon de l'Arve. Réseau de points d'observation.	I86
83 - Piézométrie de la nappe captive axée sur l'Arve	I87
84 - Scientrier, forage I86. Essai de débit	I88
85 - Caractéristiques hydrodynamiques de la nappe captive	I89
86 - Extension de la nappe profonde de l'Arve en territoire suisse	I91
87 - Nappe profonde de l'Arve. Points de mesure de la résistivité	I95
88 - Pluviométrie, débit de l'Arve, résistivité des cours d'eau et de la nappe profonde	I96
89 - Décalage de 7 mois entre l'évolution de la résistivité des nappes superficielles et celle de la nappe profonde	I97
90 - Comparaison entre les températures de l'air, des eaux superficielles et de la nappe profonde	200
91 - Schéma d'alimentation de la nappe profonde	200

Fig.N°	Page
92 - Alimentation de la nappe captive de l'Arve à proximité de Nant	202
93 - Schéma hydrogéologique de la basse vallée de l'Arve	203
94 - Région de Reignier. Réseau des points d'observation	207
95 - Coupe schématique au Nord-Ouest des Rocailles	209
96 - Zone des Rocailles. Schéma des différents types d'aquifères	212
97 - Carte en courbe d'isorésistivité. Mois de Mai	215
98 - Carte en courbes d'isorésistivité . Mois de Juin	216
99 - Carte en courbes d'isorésistivité . Mois de Juillet	217
I00 - Carte en courbes d'isorésistivité . Mois d'Août	219
I01 - Carte en courbes d'isorésistivité . Mois de Septembre	220
I02 - Evolution des nappes libres superficielles. Nappe captive sous la plaine de Reignier	222
I03 - Evolution des nappes de la terrasse de Jussy et des bordures de la plaine de Reignier	223
I04 - Evolution des nappes captives superficielles	224
I05 - Points d'eau de la plaine de Reignier. Température en fonction de la profondeur	227
I06 - Schéma hydrogéologique de la région de Reignier	229
I07 - Comparaison des résistivimètres de terrain et de laboratoire	235
I08 - Evolution physicochimique des pluies. Octobre 1976 à Septembre 1977.	242
I09 - Format des données hydrochimiques	244
II0 - Diagramme de Schoeller. Nappes superficielles	251
III - Diagramme de Piper. Nappes superficielles.....	253
II2 - Nappes superficielles. Evolution hydrochimique des sources 399, 4II, 4I7	254
II3 - Diagramme de Schoeller. Nappe captive sous la plaine de Reignier ...	259
II4 - Diagramme de Piper. Nappe captive sous la plaine de Reignier	261
II5 - Diagramme de Schoeller. Nappe captive lentidulaire des argiles à blocs	264
II6 - Diagramme de Schoeller. Nappe captive profonde du sillon de l'Arve .	266
II7 - Diagramme de Piper. Nappe captive profonde, Nappes lenticulaires, sources issues des calcaires du Salève	269
II8 - Variations hydrochimiques dans la nappe captive profonde et dans les cours d'eau	270
II9 - Diagramme de Schoeller. Sources liées au substratum	273
I20 - Evolution hydrochimique des sources 344 et 487	277
I21 - Diagramme de Piper. Sources liées au contact Calcaires - Molasse et cours d'eau	280
I22 - Diagramme de Schoeller. Hydrochimie des cours d'eau	283
I23 - Diagramme de Piper. Ensemble des eaux rencontrées dans la basse vallée de l'Arve	287

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°	Page
I - Corrélation entre certains stades de retrait observés dans la région de Thonon-Douvaine et ceux de la basse vallée de l'Arve et du flanc Ouest des Voirons	I25
2, 3, 4 - Hydrochimie des nappes superficielles	248-250
5, 6 - Hydrochimie des nappes captives	257-268
7 - Hydrochimie des sources liées au substratum	274
8 - Hydrochimie des cours d'eau	282
9 - Résumé des caractéristiques hydrochimiques des aquifères de la basse vallée de l'Arve	289

ANNEXES

TABLEAU DES ANALYSES EN MILLIGRAMMES PAR LITRE

LEGENDE

COLONNE NAT : 1 SOURCE, 2 = PUIITS, 3 = COURS D'EAU.
COLONNES CA, MG, NA, K, CL, SO4, HCO3, NO3, SIC2 : CONCENTRATION EN MG/L
COLONNES TAC, THCA, THY : TITRES ALCALIMETRIQUE COMPLET, ET HYDROTOMETRIQUES, EN DEGRES FRANCAIS
COLONNE RESIS : RESISTIVITE EN OHM-CM2/CM

Remarque : Si O2 = 0 signifie analyse non effectuée

Table with 17 columns: NO, NAT, DAT, CA, MG, NA, K, CL, SO4, HCO3, NO3, TAC, THCA, THY, PH, PESIS, SIO2. It contains 48 rows of analytical data.

NO	NAT	DAT	CA	MG	NA	K	CL	SO4	HCO3	NO3	TAC	THCA	THI	PH	RESIS	SI02
98	2	7	130.2	19.4	6.6	1.4	10.7	80	268	9.9	22.0	25.0	33.0	7.4	1737	.0
98	2	8	134.3	18.6	6.8	1.4	11.4	80	278	10.0	22.8	26.0	33.7	7.2	1742	.0
98	2	9	108.2	15.2	6.9	1.3	12.0	80	284	10.0	23.3	27.0	34.4	7.1	1743	.0
99	2	12	66.4	12.2	5.5	1.5	3.8	37	227	2.2	18.6	16.6	21.6	7.6	2565	.0
100	1	6	150.0	4.0	3.4	.7	24.1	19	423	12.3	34.6	37.6	39.4	7.3	1399	10.8
100	1	11	117.6	27.0	13.0	.9	17.2	24	425	15.4	32.6	29.4	40.5	6.8	1475	.0
100	1	1	132.3	7.3	9.0	.4	8.4	14	376	22.4	30.8	33.0	36.0	7.3	1707	.0
100	1	3	129.9	8.3	7.0	.6	11.2	13	423	11.9	33.0	32.4	36.0	7.7	1591	.0
100	1	5	141.9	8.3	5.2	1.0	8.2	10	448	9.7	36.7	35.4	38.8	7.1	1525	.0
100	1	9	145.9	8.3	8.8	1.5	11.8	11	445	8.0	36.5	36.4	39.8	7.2	1499	.0
121	2	4	165.9	38.9	9.8	6.4	15.0	218	401	.4	32.9	41.4	57.4	7.3	1067	.0
124	1	6	132.0	14.0	5.5	1.5	8.9	11	456	6.2	37.4	33.0	38.9	8.2	1640	11.4
171	1	3	96.2	27.2	14.0	2.8	11.5	12	388	9.7	31.8	24.0	35.2	7.8	1632	.0
171	1	6	93.0	21.9	10.2	2.3	9.4	16	345	14.1	28.3	23.2	32.2	7.4	1818	.0
186	2	9	100.2	22.4	10.4	1.8	11.5	20	361	16.3	29.6	25.0	34.2	7.7	1703	11.8
186	2	10	97.6	28.7	11.0	1.2	10.1	15	427	11.4	35.0	24.4	36.2	7.3	1746	12.0
186	2	11	92.0	20.7	17.6	1.0	17.5	14	361	15.8	27.4	23.0	31.5	7.4	1735	.0
186	2	12	97.8	17.5	12.0	3.6	9.0	15	363	14.1	29.8	24.4	31.6	7.3	1795	.0
186	2	1	95.4	20.9	14.2	2.1	10.9	16	346	12.6	28.4	23.8	32.4	7.4	1751	.0
186	2	2	93.0	25.3	13.0	3.9	10.5	13	365	14.5	29.9	23.2	33.6	7.3	1720	.0
186	2	3	96.2	23.8	11.6	5.6	13.2	13	373	12.2	30.6	24.0	33.8	7.3	1651	.0
186	2	4	96.2	22.4	11.6	2.3	11.2	12	361	11.4	29.6	24.0	33.2	7.2	1665	.0
186	2	5	94.6	21.9	11.2	2.4	11.2	14	368	16.3	30.2	23.6	32.6	7.2	1710	.0
186	2	6	94.6	24.3	11.4	2.3	11.6	14	362	13.2	29.7	23.6	33.6	7.1	1702	.0
186	2	7	97.0	22.4	13.0	3.0	11.7	14	355	13.2	29.1	24.2	33.4	7.1	1729	.0
186	2	8	97.4	21.9	12.0	3.0	11.4	13	360	12.6	29.5	24.4	25.3	7.1	1735	.0
186	2	9	97.8	21.4	12.9	3.1	11.0	11	364	12.0	29.8	24.4	33.2	7.1	1739	.0
197	3	12	36.6	5.8	4.1	11.0	5.3	6	278	4.4	22.8	21.6	24.0	8.1	2400	.0
197	3	1	58.5	7.3	2.3	2.2	.1	9	204	2.5	16.7	14.6	17.6	8.1	3318	.0
224	3	4	90.6	6.8	5.7	5.1	9.7	9	292	4.4	23.9	22.6	25.4	8.0	2154	.0
224	3	5	39.8	7.3	5.2	4.9	6.4	34	294	4.4	24.1	22.4	25.4	8.3	2283	.0
224	3	6	85.0	4.8	4.6	4.4	6.0	8	288	4.0	23.6	21.2	26.0	7.9	2297	.0
224	3	9	101.8	11.2	14.3	2.6	26.4	10	333	14.0	27.3	25.4	30.0	7.9	1775	.0
344	1	6	142.0	1.0	8.6	1.7	6.3	63	415	2.4	34.0	35.4	39.7	7.5	1495	14.0
344	1	9	99.4	33.5	13.0	2.0	9.0	20	371	3.5	30.4	24.8	38.6	7.8	1521	10.4
344	1	11	91.2	29.7	8.8	1.6	5.4	52	376	3.1	32.8	22.8	35.0	6.9	1691	.0
344	1	1	76.2	21.4	7.4	1.4	5.9	39	293	4.4	24.0	19.0	27.8	7.2	2262	.0
344	1	3	33.2	27.7	9.8	1.2	6.5	45	342	1.3	28.0	22.0	33.4	7.5	1789	.0
344	1	5	35.0	24.8	9.0	2.0	4.9	46	325	.9	26.7	21.2	31.4	7.2	1856	.0
394	1	7	91.4	22.4	3.4	.3	3.8	56	319	5.5	26.1	22.8	32.0	7.6	1888	.8
394	1	1	89.8	23.8	4.2	.8	3.4	74	299	3.5	24.5	22.4	32.2	7.7	1792	.0
397	2	2	96.2	1.5	3.5	2.1	6.8	10	277	12.8	22.7	24.0	24.6	7.7	2227	.0
399	1	6	122.0	2.0	5.3	2.0	9.6	18	347	13.6	28.4	30.6	31.6	7.4	1333	7.0
399	1	9	130.7	5.3	4.6	1.9	11.1	19	402	11.4	33.0	32.6	34.8	7.7	1756	5.0
399	1	10	136.0	5.8	4.2	2.0	8.6	18	427	15.3	33.4	34.0	36.4	7.3	1746	6.8
399	1	11	114.4	10.7	5.5	.9	9.0	18	375	3.0	30.7	28.6	32.0	7.0	1853	.0
399	1	12	112.2	3.4	3.0	1.7	7.5	13	312	9.7	25.6	26.0	29.4	7.4	1965	.0

NO	NAT	DAT	CA	MG	NA	K	CL	SO4	HCO3	NO3	TAC	THCA	THI	PH	RESIS	SIOR
399	1	11	114.4	1.7	5.5	.9	8.0	18	375	8.3	30.7	26.6	32.0	7.6	1853	.0
399	1	12	112.2	3.4	3.0	1.7	7.5	13	312	9.7	25.6	28.0	29.4	7.4	1965	.0
399	1	1	114.3	9.7	2.6	1.4	6.1	16	320	6.6	26.2	26.0	26.4	7.4	2205	.0
399	1	2	92.2	7.8	2.5	1.1	4.9	11	285	7.0	23.4	23.0	20.2	7.2	2234	.0
399	1	3	119.0	3.9	3.5	1.5	3.4	13	317	9.2	26.0	27.2	28.8	7.3	2011	.0
399	1	4	108.2	4.9	3.5	1.5	6.0	11	311	6.6	25.5	27.0	29.0	7.2	1955	.0
399	1	5	116.6	3.4	2.6	1.1	4.4	9	339	5.7	25.3	26.6	28.0	7.4	2122	.0
399	1	6	112.6	3.4	3.4	1.4	5.2	10	321	5.5	26.3	27.6	29.0	7.2	1993	.0
399	1	7	115.4	2.9	4.2	2.6	5.8	8	336	2.2	27.5	28.8	30.0	7.0	1907	.0
404	2	12	119.4	1.9	7.0	2.7	7.2	6	337	17.6	27.6	29.8	30.6	7.7	1973	.0
404	2	4	113.0	2.9	3.0	2.4	6.8	7	323	15.0	26.5	28.2	29.4	7.2	1950	.0
405	2	6	198.0	1.0	7.3	3.6	43.6	95	336	88.0	27.5	49.6	50.0	7.1	1061	8.4
405	2	1	122.7	3.4	20.5	9.3	12.0	22	323	17.2	26.5	25.6	27.0	7.7	1980	.0
410	2	6	122.0	9.0	16.7	19.5	16.6	30	430	52.0	35.2	35.6	39.2	7.3	1350	12.6
411	1	6	115.0	9.0	6.5	3.0	10.1	20	351	6.2	28.8	28.8	32.7	7.4	1785	6.1
411	1	9	128.3	6.8	7.5	3.8	15.0	12	422	9.2	34.6	32.0	34.8	7.7	1712	6.9
411	1	10	126.4	11.7	6.5	4.2	11.1	10	427	11.4	35.0	31.6	36.4	7.4	1703	.0
411	1	11	112.0	17.0	7.5	4.9	11.9	11	418	4.4	34.3	28.0	35.0	6.9	1675	.0
411	1	12	124.2	7.8	3.0	5.8	10.1	10	378	13.2	31.0	31.0	34.2	7.4	1715	.0
411	1	1	125.1	6.8	6.0	5.9	10.8	14	357	8.4	29.3	31.2	34.0	7.3	1784	.0
411	1	2	113.0	7.3	4.0	3.6	7.1	8	346	6.6	28.4	28.2	31.2	7.3	1871	.0
411	1	3	112.2	19.9	5.1	4.0	9.2	9	429	6.6	35.2	28.0	36.2	7.3	1879	.0
411	1	4	115.4	5.0	4.3	4.3	6.8	8	359	4.4	29.4	28.8	31.2	7.2	1812	.0
411	1	5	110.6	4.9	3.9	4.1	5.4	6	345	3.5	28.3	27.6	29.6	7.3	1977	.0
411	1	6	119.4	6.3	7.0	4.0	6.2	8	370	3.1	30.8	29.8	32.4	7.2	1776	.0
411	1	7	125.0	5.3	4.2	3.6	7.0	7	383	1.3	31.4	31.2	33.4	7.0	1738	.0
412	1	11	36.4	33.3	8.5	6.3	10.1	12	423	9.2	34.7	21.6	35.3	7.0	1634	.0
413	2	6	107.0	13.0	9.3	29.6	22.6	22	326	7.5	26.8	26.8	32.0	7.7	1405	10.4
413	2	2	97.0	9.2	13.8	27.8	11.5	20	329	47.5	27.0	24.2	28.0	7.6	1715	.0
417	1	6	139.8	5.0	5.5	.9	12.3	14	410	15.0	33.6	34.8	36.7	7.3	1502	6.1
417	1	9	143.5	5.3	5.2	.9	20.5	15	439	15.4	35.7	35.8	38.0	7.5	1608	6.9
417	1	11	91.2	18.0	6.1	1.2	12.6	13	337	11.9	27.6	22.8	33.2	7.2	1870	.0
417	1	1	129.1	4.4	5.8	.8	11.6	10	371	13.2	33.4	32.2	34.0	7.2	1723	.0
417	1	3	121.8	6.8	5.0	.8	13.5	8	386	9.2	31.6	30.4	33.2	7.2	1742	.0
417	1	5	121.8	3.4	4.4	1.2	10.9	5	362	8.4	29.7	30.4	31.8	7.1	1709	.0
417	1	7	127.5	5.8	5.4	.8	12.0	7	362	5.7	29.7	31.8	34.2	7.1	1753	.0
417	1	8	129.5	6.0	5.5	1.1	14.2	9	367	6.3	30.1	32.4	36.9	7.2	1703	.0
419	2	6	124.0	8.0	17.0	9.9	11.4	19	374	28.2	31.6	31.0	34.5	7.3	1340	10.0
419	2	4	127.5	4.9	6.5	2.3	6.5	13	377	2.7	30.9	31.8	33.8	7.2	1612	.0
421	2	7	128.3	19.4	14.2	1.6	46.6	37	320	36.1	26.2	32.0	43.0	7.4	1387	10.3
422	2	6	109.0	2.0	14.0	34.5	15.2	23	322	30.0	26.4	27.2	28.1	7.4	1592	8.4
422	2	11	94.4	5.8	12.5	31.0	9.4	15	321	15.0	26.3	23.6	26.0	7.0	1973	.0
424	2	11	73.4	23.3	5.2	1.7	7.7	16	325	18.0	26.6	19.6	29.2	7.6	2055	.0
425	2	6	1.6.0	11.1	10.1	4.4	27.7	13	296	17.2	24.3	26.4	31.0	7.5	1640	12.2
431	2	10	150.4	11.7	8.2	9.1	13.7	15	466	37.4	33.2	37.6	42.4	7.5	1458	.0
432	2	6	144.0	7.0	10.4	7.6	18.6	25	378	25.5	31.0	36.0	39.0	7.5	1447	12.6
435	1	6	128.0	17.0	3.2	1.2	7.0	21	452	46.6	32.9	32.0	38.9	7.3	1592	12.4

No	NAT	DAT	CA	MG	NA	K	CL	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	TAC	THCA	THT	PH	RESIS	SiO ₂
432	2	6	144.0	7.0	10.4	7.6	18.6	25	373	25.5	31.0	36.0	39.0	7.5	1447	12.6
435	1	6	123.0	17.0	3.2	1.2	7.0	21	432	46.6	32.9	32.2	33.9	7.3	1592	12.4
435	1	11	125.6	16.0	5.2	1.7	7.4	23	404	36.5	33.1	31.4	38.0	7.1	1566	.0
435	1	2	116.2	11.2	4.6	5.1	7.2	17	354	29.9	29.0	29.0	33.6	7.2	1682	.0
435	1	5	122.6	16.0	4.4	2.3	7.5	18	378	33.4	31.0	30.6	37.2	7.2	1591	.0
442	2	6	152.0	5.0	7.9	7.7	13.6	19	447	28.6	36.6	33.0	39.9	7.1	1447	10.0
443	2	6	124.0	6.0	3.2	.8	3.6	20	388	.4	31.8	30.8	33.3	7.3	1785	8.3
443	2	10	121.6	11.2	3.5	1.0	4.3	16	406	.0	33.3	30.4	35.0	7.2	1842	.0
443	2	1	129.9	3.4	2.8	.5	3.0	13	336	3.1	27.5	27.4	28.8	7.5	2096	.0
443	2	4	123.4	3.9	2.5	1.4	2.2	7	361	1.8	31.2	30.8	32.4	7.4	1856	.0
445	1	6	126.0	7.0	5.8	3.2	8.2	12	390	12.3	32.7	31.6	34.6	7.2	1736	6.6
453	2	6	135.0	4.0	8.6	3.5	14.9	18	387	32.6	31.7	33.8	35.4	7.3	1592	9.4
453	2	12	142.7	7.3	9.6	12.5	19.0	27	368	41.4	30.2	35.6	33.6	7.3	1432	.0
455	1	7	85.0	6.3	1.9	.3	3.8	14	272	.9	22.3	21.2	23.5	8.0	2576	7.8
455	1	1	70.6	5.3	1.6	.4	2.9	7	217	2.6	17.8	17.6	19.8	7.7	2973	.0
458	2	8	99.4	23.3	12.4	2.6	3.0	19	414	1.3	33.9	24.8	34.4	7.9	1773	15.0
458	2	2	113.0	14.6	6.1	2.3	5.4	10	383	5.7	31.4	28.2	34.2	7.2	1755	.0
465	1	7	95.4	36.0	10.0	1.4	50.6	55	325	12.5	26.7	23.8	38.6	8.0	1483	10.0
465	1	9	91.4	33.4	9.6	1.5	66.0	57	392	15.8	32.1	22.8	33.6	8.0	1486	10.4
465	1	12	88.8	38.4	9.4	1.4	54.7	55	312	16.7	25.6	22.2	38.0	7.6	1572	.0
465	1	11	76.0	40.8	12.0	1.7	46.2	55	290	17.6	21.6	19.0	35.8	7.6	1566	.0
465	1	1	113.9	31.6	21.5	2.3	99.9	49	317	17.6	26.0	28.4	41.4	7.7	1216	.0
465	1	5	97.8	24.3	12.4	2.0	71.4	43	296	17.6	24.3	24.4	38.4	7.9	1363	.0
479	1	9	109.9	1.0	2.5	.2	7.0	11	331	.4	27.1	27.4	27.8	7.7	2190	5.7
479	1	12	91.4	.1	6.0	.2	3.2	2	268	3.1	22.0	22.8	22.8	7.8	2534	.0
482	2	9	1.5.9	15.0	8.0	4.2	13.0	53	359	12.3	29.4	26.4	33.8	7.6	1712	6.1
487	1	11	124.0	17.0	18.0	5.0	24.2	61	376	12.8	28.6	31.0	38.0	7.4	1492	.0
487	1	1	1.6.8	6.8	18.0	1.7	34.1	56	354	10.1	29.0	36.6	39.4	7.6	1452	.0
487	1	3	121.8	14.6	12.0	1.7	21.1	28	400	9.2	32.8	30.4	36.4	7.6	1641	.0
487	1	5	123.2	4.9	12.8	2.8	14.9	44	332	6.6	27.2	30.0	32.0	7.5	1710	.0
487	1	7	124.2	4.4	11.2	1.4	14.3	21	342	7.5	28.0	31.0	32.8	7.5	1732	.0
487	1	9	121.8	4.9	11.5	1.4	14.8	21	336	9.0	27.5	30.4	32.4	7.6	1751	.0
489	1	12	129.8	6.3	2.3	.6	4.2	1	360	4.4	29.5	27.4	30.0	7.3	2049	.0
493	1	12	138.4	13.1	13.0	3.1	15.8	20	431	28.6	30.7	34.6	40.0	7.7	1476	.0
493	1	2	125.0	14.1	19.4	1.8	13.9	20	433	25.5	35.5	31.2	37.0	7.2	1577	.0
493	1	4	123.4	12.2	6.0	1.0	15.0	18	364	25.1	29.8	30.8	35.8	7.2	1575	.0
493	1	6	125.0	16.0	6.8	.9	16.8	17	366	29.9	30.0	31.2	37.8	7.2	1580	.0
494	3	10	71.2	9.7	3.8	1.2	5.0	65	135	3.3	15.2	17.8	21.6	8.0	2829	4.3
494	3	11	31.6	5.6	5.9	3.5	5.2	70	195	2.6	13.8	20.4	22.7	7.7	2423	.0
494	3	12	32.6	8.8	5.8	2.3	5.3	83	193	3.1	15.8	25.6	24.2	8.2	2242	.0
494	3	1	88.2	8.8	6.6	3.7	10.2	55	245	3.5	20.1	22.0	25.6	8.0	2255	.0
494	3	2	75.4	12.2	3.9	1.8	5.4	50	201	4.4	16.5	18.8	23.0	8.0	2464	.0
494	3	3	61.7	7.3	2.9	2.1	4.0	33	167	2.2	13.7	15.4	18.4	8.0	2970	.0
494	3	4	50.5	4.9	1.6	.9	2.1	21	140	1.3	11.5	12.6	14.6	7.9	3914	.0
494	3	4	43.3	6.3	2.6	1.5	2.0	4	129	1.3	10.6	10.8	13.4	7.9	4402	.1
494	3	5	46.5	3.4	2.6	1.0	2.0	22	124	1.3	10.2	11.6	13.0	8.0	4276	.0

No	NAT	DAT	CA	MG	NA	K	CL	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	TAC	THCA	THT	PH	RESIS	SIO ₂
494	3	4	43.3	6.3	2.6	1.5	2.0	4	129	1.3	10.6	10.8	13.4	7.9	4452	.1
494	3	5	46.5	3.4	2.6	1.5	2.0	22	124	1.3	10.2	11.6	13.0	8.0	4274	.0
494	3	6	44.1	4.4	1.3	.9	1.7	22	111	.9	9.1	11.0	12.8	7.5	4383	.0
494	3	7	37.7	4.9	1.4	1.2	1.3	21	93	.6	7.6	9.4	11.2	7.9	4649	.0
494	3	8	53.5	6.4	2.5	1.5	2.6	45	114	1.0	9.3	12.6	15.2	7.9	2693	.0
494	3	9	63.3	7.8	3.5	1.5	3.8	68	136	2.0	11.0	15.8	19.0	8.1	2916	.0
495	1	2	125.0	14.6	10.0	1.3	8.3	20	436	14.1	33.3	31.2	37.2	7.2	1599	.0
495	1	3	127.5	14.8	5.3	3.2	11.2	19	415	12.8	34.0	31.8	37.8	7.4	1569	.0
495	1	4	130.7	11.7	1.0	2.2	8.6	20	400	16.7	32.8	32.6	37.4	7.2	1536	.0
495	1	6	128.3	12.6	5.1	2.0	9.5	17	427	17.2	33.4	32.0	37.2	7.4	1571	.0
496	1	2	131.0	14.0	3.1	1.1	1.3	1	311	5.2	25.5	25.2	25.6	7.4	2288	.0
497	1	2	65.7	6.6	1.6	.8	1.9	5	218	.9	17.9	16.4	19.2	7.6	3104	.0
498	1	2	75.4	5.3	1.0	.2	.3	1	254	.4	20.8	15.8	21.0	7.7	2747	.0
499	1	2	76.2	1.0	.5	.2	.2	2	223	.9	18.3	19.0	16.6	7.5	3080	.0
500	1	2	61.7	.5	.3	.1	.7	8	184	.4	15.1	15.4	15.6	7.9	3022	.0
501	1	2	91.4	19.9	3.8	.9	8.2	22	283	38.7	23.2	22.8	31.0	7.6	1861	.0
501	1	4	88.2	16.6	3.7	.9	7.4	20	272	27.7	22.3	22.0	28.6	7.5	1975	.0
501	1	5	91.4	20.0	3.0	1.2	8.9	24	282	38.7	23.1	22.8	31.4	7.7	1856	.0
504	1	5	138.7	15.0	14.8	6.0	48.7	35	346	65.1	28.4	34.6	42.0	7.4	1259	.0
504	1	6	136.3	20.4	15.0	8.8	42.6	36	352	65.1	28.0	34.0	42.4	7.1	1277	.0

EXTRAIT DU TABLEAU DES POURCENTAGES PERMETTANT LE REPORT SUR DIAGRAMME DE PIPER (% calculés avec les teneurs en méq/l)

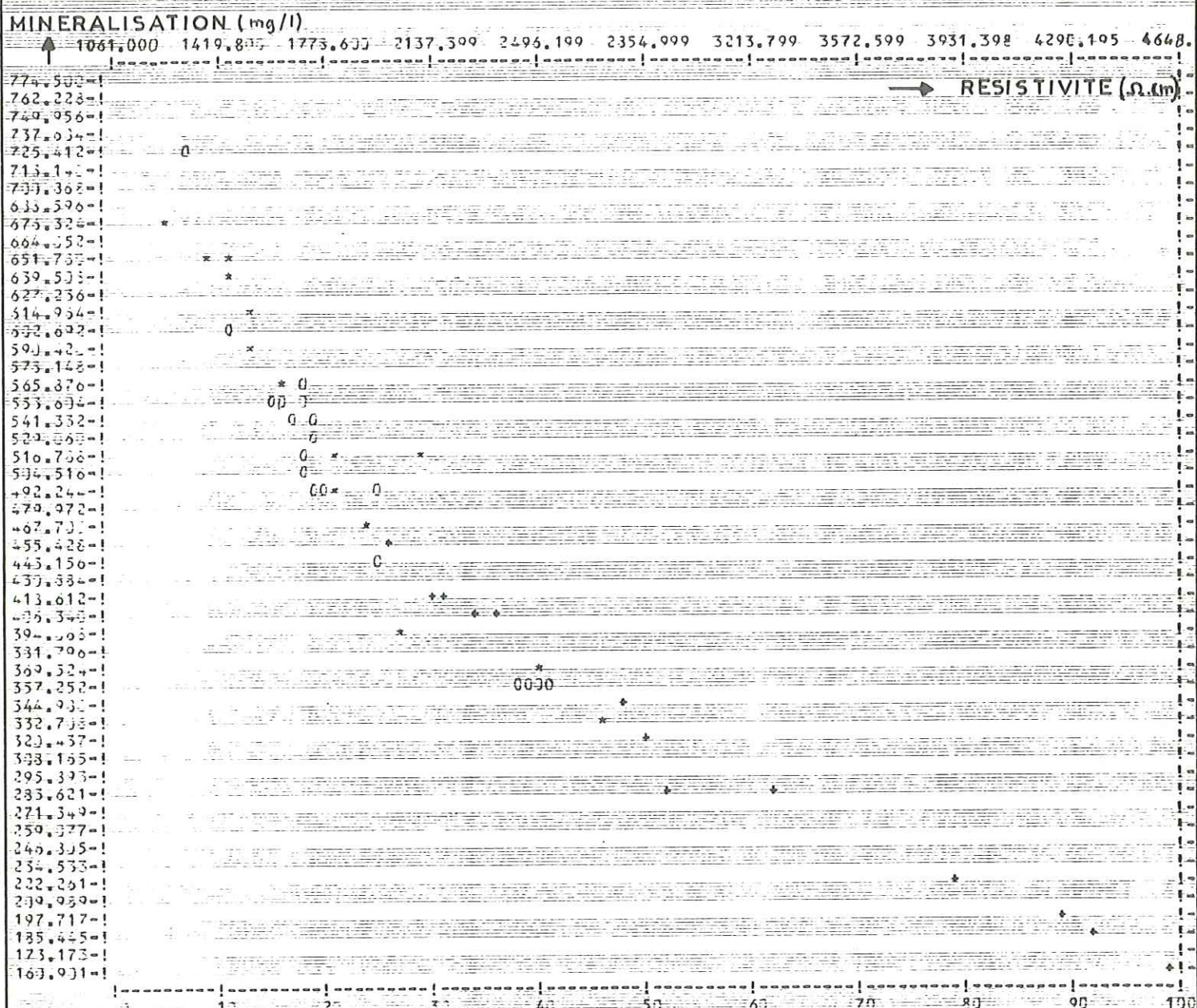
***** TABLEAU DES POURCENTAGES POUR LE REPORT SUR LE DIAGRAMME DE PIPER *****										

NO	NAT	DAT	Cations					Cations		
			%CA	%MG	%NA+K	%CL+NO3	%HCO3	%SO4	%ANI	
501	1	4	74.0	22.5	3.1	5.9	11.8	80.6	7.5	5.5
501	1	5	69.9	26.3	3.8	6.5	14.6	77.1	8.3	6.0
495	1	1	87.2	10.8	2.0	4.0	3.2	93.0	3.8	3.8
495	1	7	87.5	10.7	1.9	4.8	2.5	91.5	6.0	4.9
399	1	8	92.7	4.9	2.5	5.7	3.9	92.6	3.4	5.5
399	1	2	85.5	11.9	2.5	5.4	4.9	90.7	4.4	5.2
399	1	3	91.4	5.4	3.2	6.0	6.6	88.8	4.6	5.9
399	1	4	90.1	6.7	3.2	6.0	4.9	91.0	4.1	5.6
399	1	1	84.5	12.9	2.6	6.2	4.8	89.6	5.7	5.9
399	1	9	90.5	6.0	3.6	7.2	6.6	88.1	5.3	7.5
399	1	10	90.5	6.4	3.1	7.5	6.6	88.4	5.0	7.9
124	1	0	62.1	14.3	3.6	8.0	4.6	92.8	2.8	8.1
84	1	12	89.9	5.8	6.3	7.6	13.8	80.0	6.2	7.1
84	1	6	91.2	5.0	3.8	8.2	12.8	84.1	3.1	8.2
399	1	0	93.2	2.5	4.3	6.9	7.5	86.8	5.7	6.6

EXTRAIT DU TABLEAU DES ANALYSES EN MILLIEQUIVALENTS

*** ANALYSES CHIMIQUES EN MILLIEQUIVALENTS						BALANCES IONIQUES, MINERALISATION TOTALE ET RAPPORTS ***									
NO	NAT	DAT	CAE	MGE	NAE	KE	CLE	SO4E	HCO3E	NO3E	MINI mg/l	BALI %	RMGCA	RNACA	RSDCL
9	2	12	4,431	.757	.565	.299	.296	.479	4,704	.127	451,100	3.825	.171	.128	1.619
9	2	1	4,880	.683	.361	.100	.462	.833	4,196	.135	439,099	3.409	.140	.074	1.803
9	2	2	3,832	.230	.296	.049	.270	.396	3,819	.106	358,699	-.939	.072	.076	1.463
9	2	3	3,718	.839	.252	.084	.203	.375	3,852	.065	358,199	4.188	.226	.068	1.798
9	2	4	3,678	.724	.217	.064	.206	.416	3,753	.071	353,700	2.587	.197	.059	2.025
9	2	5	3,762	.724	.217	.074	.194	.416	3,835	.071	357,399	2.805	.192	.058	2.142
9	2	6	3,842	.757	.299	.072	.186	.637	3,335	.071	359,799	3.716	.197	.054	2.352
9	2	7	4,002	.600	.226	.079	.192	.437	3,786	.015	355,500	5.121	.150	.056	2.283
9	2	8	4,102	.625	.222	.084	.197	.479	3,552	.040	365,699	4.842	.152	.054	2.429
9	2	9	4,202	.641	.217	.090	.200	.521	3,917	.065	375,600	4.543	.153	.052	2.603
26	3	2	3,438	.600	.122	.066	.127	.104	3,753	.065	324,100	2.149	.175	.035	.821
26	3	4	4,202	.683	.194	.095	.169	.187	4,622	.042	401,000	1.314	.162	.047	.993
36	1	3	6,282	1.283	.252	.629	.254	.458	6,982	.376	652,199	2.282	.204	.040	1.807
54	3	11	5,469	.395	.278	.138	.183	1,374	4,294	.092	468,399	2.754	.072	.051	7.505
54	3	12	5,359	.860	.330	.179	.101	1,520	4,639	.085	497,599	3.030	.164	.062	14.988
54	3	1	4,002	.600	.187	.077	.242	.437	4,163	.056	381,899	-.340	.150	.047	1.805
54	3	2	4,082	.724	.157	.051	.155	.396	4,016	.065	369,699	3.966	.177	.038	2.553
54	3	3	3,962	.518	.187	.084	.194	.521	3,934	.042	367,799	.645	.131	.047	2.678
54	3	4	4,601	.600	.257	.159	.149	.874	4,212	.042	418,499	3.194	.130	.056	5.857
54	3	4	3,538	.461	.113	.054	.101	.291	3,573	.035	319,000	2.004	.130	.032	2.874
54	3	5	4,600	.559	.170	.054	.118	.625	4,557	.035	423,399	2.270	.116	.035	5.270
54	3	6	4,960	.793	.183	.095	.127	.812	4,704	.056	451,000	2.361	.161	.037	6.406
54	3	7	5,873	.962	.204	.087	.144	2,249	4,442	.018	522,599	2.025	.164	.035	15.652
54	3	8	6,163	1.102	.230	.105	.152	2,665	4,376	.040	549,199	2.469	.170	.037	17.520
54	3	9	6,442	1.242	.252	.118	.158	3,081	4,294	.065	574,199	2.911	.193	.039	19.534
62	1	6	4,521	1.223	.165	.079	.214	.312	4,639	.396	442,899	0.250	.284	.037	1.459
84	1	6	7,425	.411	.283	.028	.454	.257	6,884	.597	647,700	.139	.055	.038	.551
84	1	12	6,801	.436	.300	.028	.425	.437	5,671	.553	565,999	3.265	.064	.044	1.028
84	1	4	5,950	.260	.257	.031	.220	.291	5,458	.277	501,899	2.178	.047	.043	1.327
98	2	9	5,284	1.393	.222	.026	.338	1,770	4,999	.113	538,100	-2.031	.265	.042	5.235
98	2	10	4,993	1.760	.230	.031	.203	1,666	5,052	.135	530,500	-.127	.353	.046	8.212
98	2	11	5,389	1.595	.317	.041	.282	1,562	5,294	.219	557,899	-.094	.296	.059	5.543
98	2	12	5,040	1.678	.348	.036	.251	1,791	4,524	.148	511,000	2.825	.333	.069	7.142
98	2	1	4,920	1.637	.300	.033	.273	1,541	4,442	.148	490,599	3.654	.333	.061	5.639
98	2	2	5,200	1.801	.270	.033	.287	1,603	4,721	.227	522,899	3.288	.346	.052	8.580
98	2	3	4,960	2.237	.283	.031	.282	1,686	5,425	.148	565,500	-.210	.451	.057	5.987
98	2	4	5,200	1.160	.287	.033	.296	1,624	4,721	.142	511,499	-.764	.223	.055	5.491
98	2	5	4,840	1.439	.257	.031	.243	1,332	4,426	.113	495,400	-.393	.297	.053	7.391
98	2	6	5,000	1.480	.257	.031	.293	1,624	4,475	.163	496,800	1.599	.296	.051	5.543
98	2	7	5,000	1.595	.287	.036	.301	1,666	4,393	.160	496,199	2.967	.310	.057	5.526
98	2	8	5,205	1.530	.296	.036	.321	1,666	4,557	.161	510,499	2.622	.294	.057	5.187
98	2	9	5,399	1.480	.300	.033	.338	1,666	4,655	.161	520,400	2.799	.274	.056	4.927
99	2	12	3,313	1.003	.239	.036	.107	.770	3,721	.035	355,600	-.427	.303	.022	7.197

CORRELATION MINERALISATION TOTALE - RESISTIVITE



* MOYENNE DES TERMES PORTES / EN X : 2219,332 / EN Y : 467,206

* VARIANCE DES TERMES PORTES / EN X : 755126,000 / EN Y : 21497,520

* ECART-TYPE DES TERMES PORTES / EN X : 363,960 / EN Y : 146,620

* COEFFICIENT DE VARIABILITE DES TERMES PORTES / EN X : 39,337 POUR CENT / EN Y : 31,332 POUR CENT

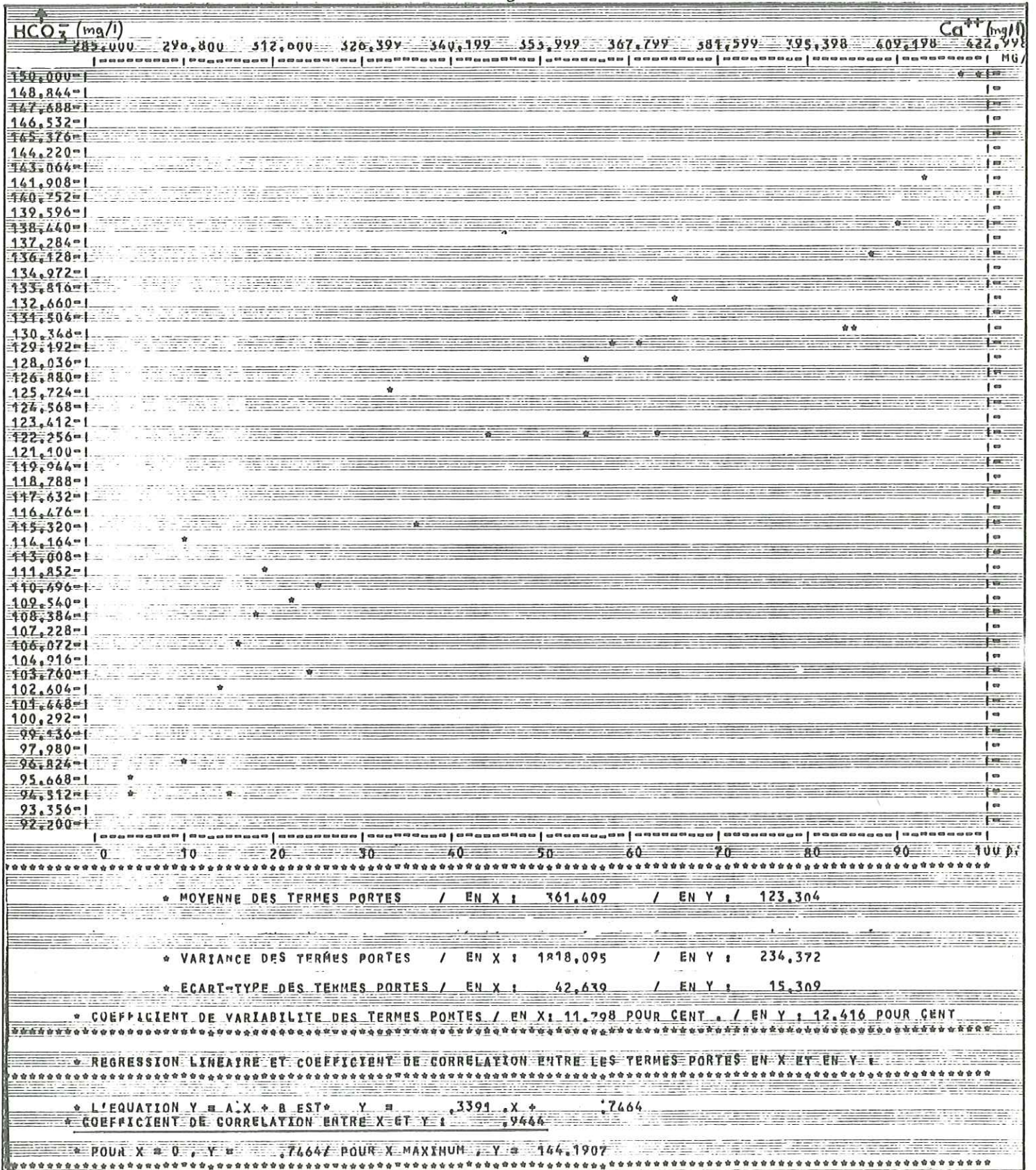
* REGRESSION LINEAIRE ET COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE LES TERMES PORTES EN X ET EN Y :

* L'EQUATION $Y = A \cdot X + B$ EST : $Y = -0,1588 \cdot X + 817,9032$

* COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE X ET Y : $-0,9409$

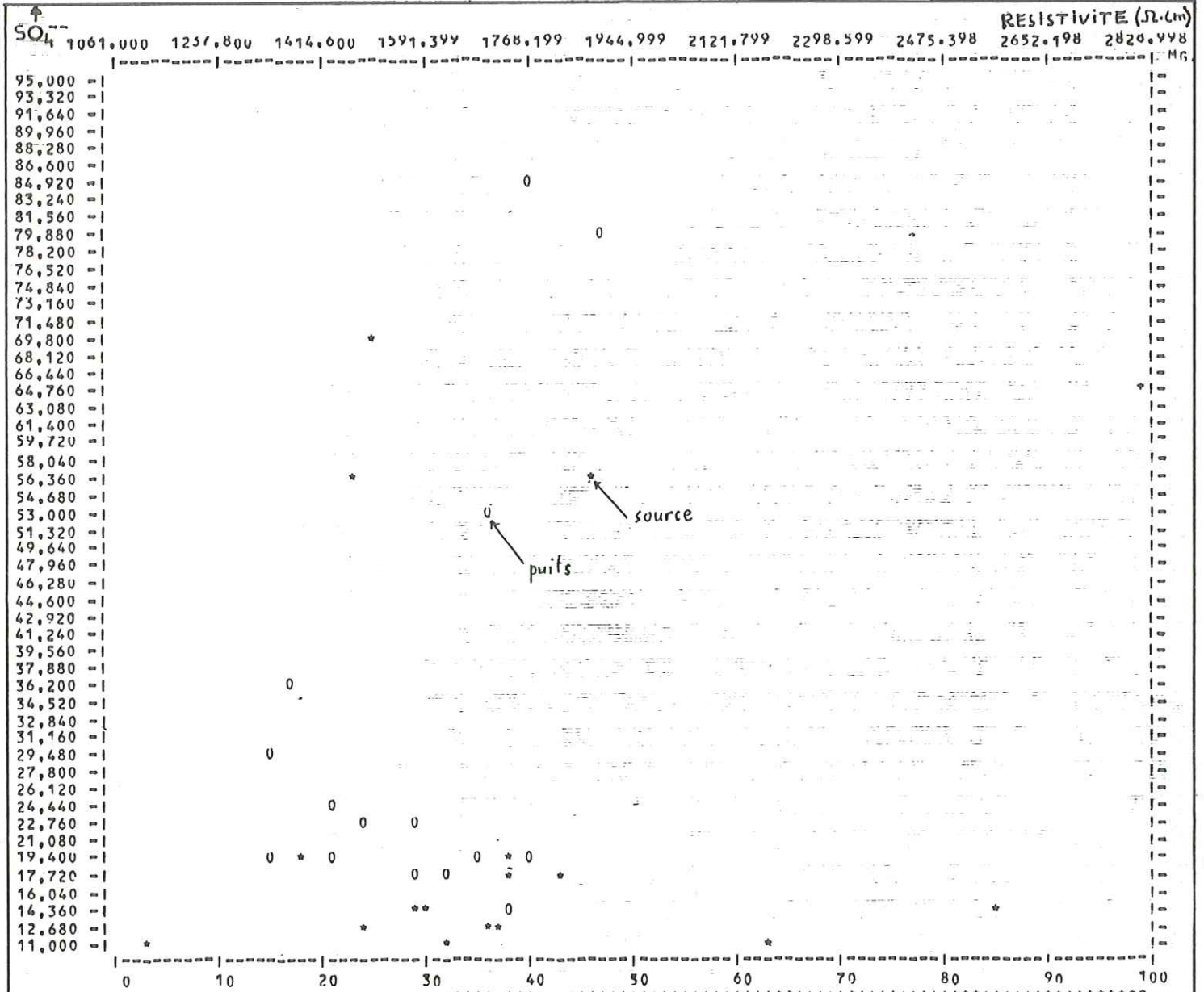
* POUR $X = 0$, $Y = 817,9032$ POUR X MAXIMUM, $Y = 79,8572$

Remarque : Malgré un coefficient de corrélation linéaire de 0,94, on constate qu'un ajustement par une courbe du deuxième degré serait plus précis.



Remarque : Le diagramme montre que, dans ces sources superficielles, une relation semblable existe entre les ions calcium et bicarbonate. Le coefficient de corrélation de 0,94 confirme que CaCO_3 est à l'origine de ces ions.

CORRELATION SO₄⁴⁻ - RESISTIVITE SUR 31 ANALYSES

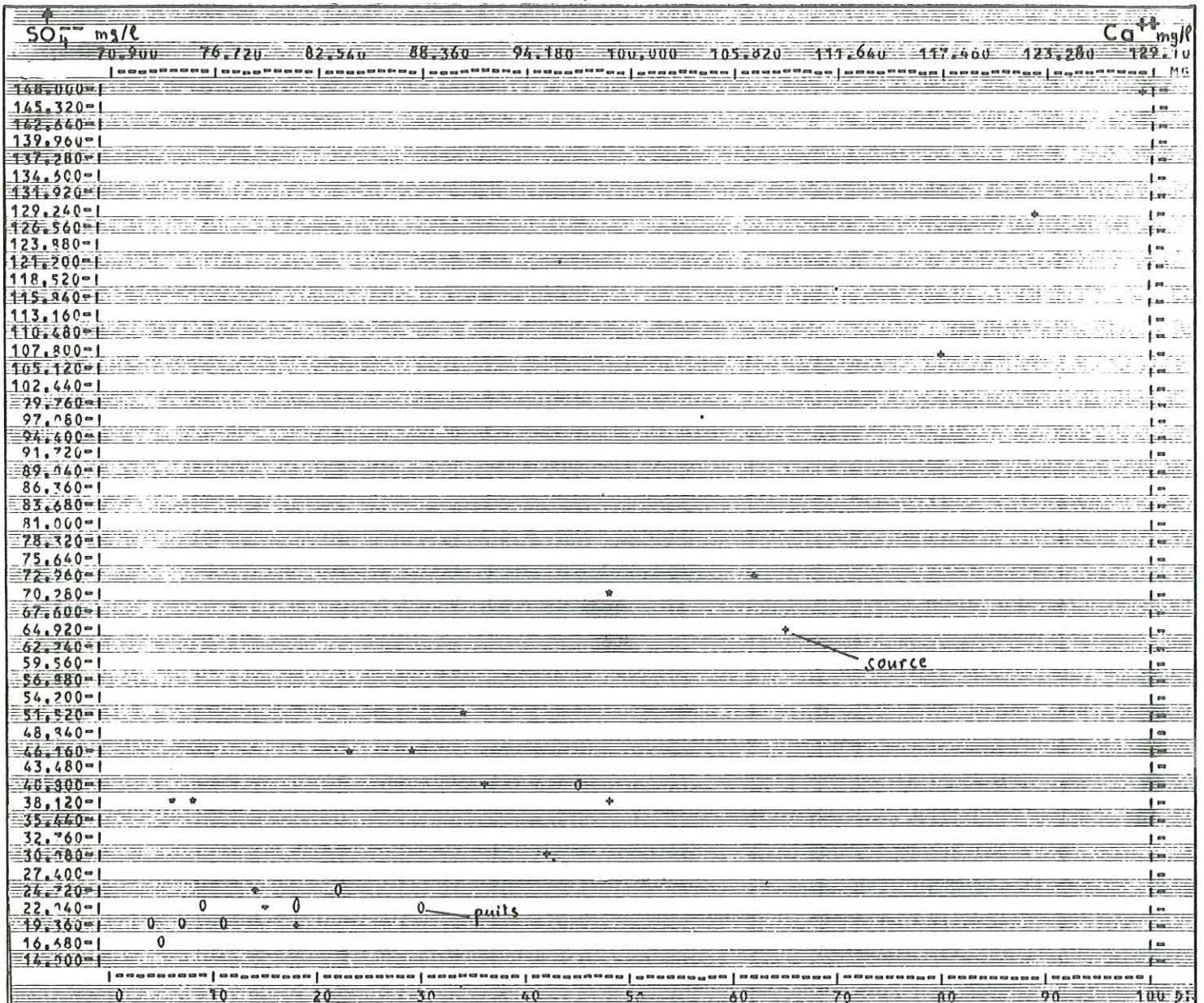


* MOYENNE DES TERMES PORTES / EN X : 1687.406 / EN Y : 31.343
 * VARIANCE DES TERMES PORTES / EN X : 115647.437 / EN Y : 598.609
 * ECART-TYPE DES TERMES PORTES / EN X : 340.070 / EN Y : 24.466
 * COEFFICIENT DE VARIABILITE DES TERMES PORTES / EN X, 20.153 POUR CENT, / EN Y : 78.136 POUR CENT
 * REGRESSION LINEAIRE ET COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE LES TERMES PORTES EN X ET EN Y :
 * L'EQUATION Y = A.X + B EST : Y = -.0003 .X + 31.8825
 * COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE X ET Y : -.0047

Remarque : Le diagramme et le calcul statistique montrent qu'il n'existe aucune corrélation entre l'ion sulfate et la résistivité.

X

CORRELATION ENTRE LES IONS SO_4^{--} et Ca^{++} . Points d'eau 54.344.9.



* MOYENNE DES TERMES PORTES / EN X : 90,337 / EN Y : 44,259

* VARIANCE DES TERMES PORTES / EN X : 249,154 / EN Y : 1210,632

* ECART-TYPE DES TERMES PORTES / EN X : 15,785 / EN Y : 34,701

* COEFFICIENT DE VARIABILITE DES TERMES PORTES / EN X : 17,473 POUR CENT / EN Y : 78,608 POUR CENT

* REGRESSION LINÉAIRE ET COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE LES TERMES PORTES EN X ET EN Y :

* L'EQUATION $Y = A.X + B$ EST : $Y = 2,0397.X + -139,0069$

* COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE X ET Y : ,9254

* POUR X = 0, Y = -139,9969 / POUR X MAXIMUM, Y = 123,3224

Remarque : Le diagramme montre une bonne corrélation linéaire entre les deux ions (0,92), ce qui montre la présence probable de $CaSO_4$ à leur origine.

CORRELATION Cl⁻ -- RESISTIVITE SUR LES ANALYSES DE 20 POINTS D'EAU

Cl ⁻ (mg/l)	1061.000	1419.500	1773.600	2137.300	2496.100	2854.900	3213.700	3572.500	3931.300	4290.100	4648.900
99.900	*										
97.900											
95.900											
93.912											
91.916			*								
89.921											
87.926			*								
85.928											
83.932											
81.936											
79.943			0								
77.944			*								
75.945					*						
73.952											
71.956											
69.961											
67.964											
65.968		*	*								
63.972					*	*					
61.976											
59.985											
57.984		*									
55.988			0								
53.992		*	0								
51.996											
49.000		*				0					
48.004				*							
46.008		0	*								
44.012											
42.016	*		0 0	*	*						
40.020					*						
38.024	*	*	0								
36.028		0 0									
34.032	**	0 0			*	*					
32.036		0	0								
30.040	*	0								*	
28.044		0 0	0								
26.048	*	0 *	0	0	0						
24.052	*			*							
22.056	**	* 0 0				*					
20.060		0 0									
18.064	0 0	0 0									
16.068	0	* 0 0	*								
14.072	0	* 0 *	*	*							
12.076		0		0							
10.080	*	*	0 0	*	*						
8.084	**	* 0	*	0							
6.088	**	0	0	*	*	*	*				
4.092		0 0	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2.096		0 0	0	*	*	*	*	*	*	*	*
0.100											*

* MOYENNE DES TERMES PORTES / EN X : 1239.114 / EN Y : 11.667
 * ERREUR PROBABLE DE LA MOYENNE DES TERMES PORTES / EN X : +0U- 52.487 / EN Y : +0U- .603
 * VARIANCE DES TERMES PORTES / EN X : ***** / EN Y : 154.014
 * ECART-TYPE DES TERMES PORTES / EN X : 1031.066 / EN Y : 12.41
 * COEFFICIENT DE VARIABILITE DES TERMES PORTES / EN X : 87.245 POUR CENT / EN Y : 106.373 POUR CENT
 * REGRESSION LINEAIRE ET COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE LES TERMES PORTES EN X ET EN Y :
 * L'EQUATION Y = A.X + B EST : Y = -.0669 .X + 12.7774
 * COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE X ET Y : -.0781
 * POUR X = 0 , Y = 12.77747 POUR X MAXIMUM , Y = 8.6103

Remarque : Pour un même point d'eau ou pour des points d'eau de même type, une bonne corrélation existe entre les chlorures et la résistivité. Le diagramme montre que, pour un ensemble de points d'eau hétérogène, aucune corrélation commune n'apparaît : chaque point d'eau ayant sa propre relation Chlorures - Résistivité.

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le

Le Président de la thèse

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale