



HAL
open science

**Etude des transferts de masse en milieu alluvial :
application à la moyenne vallée de l'Isère . Alpes
françaises**

Geneviève Belleville

► **To cite this version:**

Geneviève Belleville. Etude des transferts de masse en milieu alluvial : application à la moyenne vallée de l'Isère . Alpes françaises. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1983. Français. NNT : . tel-00574894

HAL Id: tel-00574894

<https://theses.hal.science/tel-00574894>

Submitted on 9 Mar 2011

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

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

DOCTORAT DE 3ème CYCLE

N° d'ordre :

THESE

présentée à
l'Université Scientifique
et Médicale de GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE IIIème CYCLE

par

Geneviève BELLEVILLE

**ÉTUDE DES TRANSFERTS DE MASSE
EN MILIEU ALLUVIAL**

APPLICATION A LA MOYENNE VALLÉE DE L'ISERE

SOUTENUE LE 1er JUILLET 1983 DEVANT LA COMMISSION D'EXAMEN :

MM.	J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'USMG	Président
	J.-C. FOURNEAUX	Maître assistant à l'USMG	Examinateur
	B. GAILLARD	Ingénieur CEA	Examinateur
	J. ROCHAT	Professeur à l'USMG	Examinateur

10116559

ERRATA

Page 15 : A l'avant dernière ligne du Tableau 2, lire "- 10 m" à la place de "surface".

Page 16 : Dosage de l'ion $\text{SO}_4^{=}$, lire "suspension" à la place de "précipité".

Page 52 : Au dernier paragraphe, lire "Bicarbonates" à la place de "carbonates".

Pages 81 / 82 : Les valeurs des teneurs en ions des tableaux 5 et 6 sont exprimées en mg/l.

Page 102 : Lire $R_4 = \frac{r\text{SO}_4^{=}}{r\text{HCO}_3^{-}}$

9 SEP. 1983

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

Que toutes les personnes qui ont bien voulu porter de l'intérêt à mon travail trouvent dans ces quelques lignes l'expression de ma chaleureuse gratitude.

Je souhaite exprimer mes plus vifs remerciements à Monsieur le Professeur SARROT REYNAULD qui m'a accueilli dans son laboratoire, et qui n'a ménagé ni son temps, ni sa peine pour que cet ouvrage arrive à terme.

Au cours de ces années, j'ai fréquemment sollicité les conseils de Monsieur FOURNEAUX; je lui adresse ma profonde gratitude, pour le souci constant qu'il a eu de m'épargner tout ennui matériel pendant ces trois années.

Je désire remercier vivement Monsieur ROCHAS pour l'accueil chaleureux qu'il a toujours témoigné lorsque nous nous sommes rencontrés à plusieurs reprises, et pour les conseils éclairés qu'il m'a fournis.

Je voudrais renouveler mon amitié et ma reconnaissance à Monsieur GAILLARD pour l'intérêt qu'il m'a toujours manifesté, ainsi que pour sa présence aujourd'hui dans ce Jury.

A Messieurs SAPIN et BARILLON de l'E.D.F. pour leur aide amicale et bénévole lors de la tournée d'été 1982, qu'ils reçoivent toute ma gratitude et ma sympathie.

Enfin, je suis particulièrement redevable à ma famille et mes amis qui m'ont toujours encouragé pendant toutes ces années.

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43

SEP. 1983

LISTE DES FIGURES

- Fig.1 Situation géographique de la région étudiée
- Fig.2 Limite géographiques de la vallée
- Fig.3 Contexte géologique du bassin versant de l'Isère
- Fig.4 Schéma géologique régional
- Fig.5 Corrélation entre les deux résistivimètres
- Fig.6 Schéma typique de l'organisation des trois formations dans la Cluse de l'Isère
- Fig.7 Carte des formations quaternaires de la vallée en relation avec l'aquifère
- Fig.8 (a,b,c) Cartes piézométriques en hautes eaux
- Fig.9 (a,b,c) Cartes piézométriques en basses eaux
- Fig.10 (a,b,c) Cartes d'isorésistivité en basses eaux
- Fig.11 (a,b,c) Cartes d'isorésistivité en hautes eaux
- Fig.12 (a,b,c) Plan de la situation des piézomètres visites
- Fig.13 (a,b,c) Cartes des températures
- Fig.14 Plan de situation des piézomètres P 42, P 90
- Fig.15 Diagramme représentatif de la minéralisation des piézomètres P 42 et P 90 en hautes eaux et basses eaux
- Fig.16 Diagramme de la minéralisation de l'eau de quelques points représentatifs .
- Fig.17 Variations saisonnières du niveau et de la résistivité de l'Isère.
- Fig.18 Diagramme SCHOELLER-BERKALOFF de l'Isère. Hautes & Basses eaux
- Fig.19 Variations saisonnières des principales caractéristiques hydrochimiques de l'Isère
- Fig.20 Comparaison des teneurs en anions de l'Isère, de l'eau d'un cône de déjection et de l'eau de la nappe
- Fig.21 Plan de situation des piézomètres à La Rivière
- Fig.22 Courbes d'augmentation de la minéralisation en fonction du trajet de l'eau
- Fig.23 Plan de situation des piézomètres de St Egrève
- Fig.24 (a,b,c) Variations temporelles simultanées des différents ions du P73, P75, P77
- Fig.25 Plan de situation des piézomètres de Voreppe-Moirans
- Fig.26 Log des sondages étudiés
- Fig.27 (a,b,c) Carte des Bicarbonates
- Fig.28 (a,b,c) Carte des Sulfates
- Fig.29 (a,b,c) Carte des Chlures
- Fig.30 Coupe type de la vallée entre Fontanil et Voreppe
- Fig.31 (a) Carte d'isorésistivité entre Fontanil et Voreppe
- Fig.31 (b) Carte des profondeurs minimales sous le sol
- Fig.31 (c) Carte des battements maximaux
- Fig.32 (a) Carte de r 5 dans la Cluse de l'Isère
- Fig.33 Variations temporelles des ions Cl^- et $\text{SO}_4^{=}$ pour l'Isère et les piézomètres 518, 508, 516
- Fig.34 Variations temporelles du THT de l'ion HCO_3^- pour l'Isère et les piézomètres 508, 518, 516
- Fig.35 (a,b,c) Cartes du r4: $\frac{\text{SO}_4^{=}}{\text{HCO}_3^-}$
- Fig.36 Plan de situation des zones d'apport par l'Isère
- Fig.37 Variations temporelles résistivité et cote de l'Isère et de quelques piézomètres
- Fig.38 Variations temporelles de la résistivité des piézomètres 154-510
- Fig.39 (a,b,c) Cartes de battement
- Fig.40 Corrélation pente de la nappe et indice de battement
- Fig.41 Coupe de la nappe de l'Isère dans la plaine de Moirans
- Fig.42 (a,b,c) Carte de calcium

LISTE DES TABLEAUX

Tab.1	Variations de la résistivité dues au système de prélèvement
Tab.2	Variations de la résistivité en fonction de la profondeur
Tab.3	Moyennes mensuelles des principales caractéristiques des eaux de l'Isère
Tab.4	Variation de la minéralisation au cours du trajet de l'eau dans la nappe à La Rivière
Tab.5	Variations annuelles de la résistivité à La Rivière
Tab.6	Variations annuelles des teneurs en ions majeurs à La Rivière
Tab.7	Variation de la minéralisation au cours du trajet dans la nappe à St Egrève
Tab.8	Variations annuelles de la minéralisation des piézomètres à St Egrève
Tab.9	Variations annuelles des teneurs en ions majeurs à St Egrève
Tab.10	Amplitude des températures entre l'eau de la nappe et celle de l'issue du cône de déjection de la Vence
Tab.11	Résultats des prélèvements effectués en Juillets 1982
Tab.12	Résultats des prélèvements effectués en Hautes eaux
Tab.13	Résultats des prélèvements effectués en Basses eaux
Tab.14	Rapports r4 établis en Hautes eaux pour différents points de la nappe
Tab.15	Rapports r4 établis en Basses eaux pour différents points de la nappe
Tab.16	Corrélations entre les indices de battements et les variations de résistivités en Basses eaux.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMAND C., DELAQUAIZE B. 1977 - Analyses physicochimiques.
Mémento pratique, 21 p. Laboratoire de Géologie, Grenoble.
- BAKALOWICZ M. 1979 - Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification.
Thèse d'Etat ès. Sci. Nat. Laboratoire souterrain du CNRS de Moulis.
Université P. et M. Curie, Paris VI.
- BERNARD D., BONNET M., BROSSIER G., LANDREAU A. 1977 - Mécanisme d'acquisition de la qualité chimique d'une eau souterraine.
BRGM. Hydro.
- BUSSE J. 1980 - La pollution dans la nappe des Formations quaternaires de l'Est de Lyon (F).
Thèse d'Etat, Grenoble.
- CANCEIL ., LANDREAU A. 1978 - Etude statistique multi dimensionnelle ; proposition méthodologique pour l'analyse de données concernant la chimie des eaux souterraines.
BRGM.
- CASTANY G. 1967 - Traité pratique des eaux souterraines.
Ed. Dunod. Paris.
- CASTANY G. 1982 - Principes et Méthodes de l'Hydrogéologie.
Dunod. Université.
- CHOUTEAU F.A. 1982 - Contribution de l'Hydrochimie aux études hydrologiques d'une nappe alluviale en exploitation.
Thèse de Doctorat d'Etat.
Institut de Géologie de Grenoble.
- COLLONGUES PH. 1981 - Etude des mécanismes de transfert de masse entre deux milieux hydrologiques.
Institut de mécanique des fluide, Strasbourg.
Thèse de Docteur ingénieur.
- EDF - Archives. 1963 à 1980 - Aménagement de l'Isère moyenne.
- FOURNEAUX J.C. 1968 - Hydrogéologie du Grésivaudan.
Thèse Docteur 3e cycle. Grenoble. 98 p.
- FOURNEAUX J.C. 1975 - Etude des échanges nappe-rivière. Nappe de l'Isère dans l'ombilic de Grenoble.
Thèse de Doctorat d'Etat. Grenoble. 325 p.
- FOURNEAUX J.C. 1981 - Rapport EDF sur l'aménagement de la basse vallée de l'Isère.
- FREY R. 1933 - Les analyses d'eaux et leur interprétation géologique.
Direction générale des TP. Service des mines et de la carte géologique.

- GAILLARD B. 1976 - Méthode de traceurs pour la détermination des paramètres de transfert de substances en solution dans l'eau des aquifères.
Contribution à la délimitation des périmètres de protection des captages d'eau d'alimentation publique.
Thèse 3e cycle. Grenoble Université.
- GRILLOT J.C. 1976 - Utilisation en Hydrogéologie des données de l'analyse chimique des eaux (type II).
MST. DEA Sciences de l'eau.
USTL Montpellier.
- HERMAN A.N. 1971 - Hydrogéochimie. Publication CEBE DOC.
Liège, Belgique.
- KYROUSSIS J. 1979 - Infiltration et alimentation des aquifères alluviaux.
Coefficient d'infiltration. Combe de Savoie.
Thèse 3e cycle, Grenoble.
- LACROIX B. 1971 - Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Grenoble.
Thèse 3e cycle, Grenoble.
- LALLEMAND , BARRES A., PEAUDECERF P. 1978 - Relation entre dispersivité macroscopique d'un milieu aquifère et ses autres caractéristiques.
Conditions de mesure (Etude Bibliographique).
BRGM , N°4 (III), p. 277-284.
- LEGUY C. 1979 - Applications des mesures isotopiques des teneurs en Tritium à l'étude des circulations et mélanges d'eaux souterraines dans différents milieux poreux.
Thèse 3e cycle, Grenoble.
- MARGALHAN-FERRAT H. 1975 - Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et géotechnique de la Cluse de l'Isère.
Thèse 3e cycle, Grenoble.
- DE MARSILY G. 1981 - Hydrogéologie quantitative.
Masson.
- Mémento technique de l'eau - 1972.
Degrémont.
- RODIER J. 1966 - L'analyse chimique et physicochimique de l'eau.
Dunod. éd. Paris.
- ROQUES H. 1969 - Annales spéléologiques.
24, 3 - p. 455-494. L'équilibre calcocarbonique.
- ROSHAL A.A., SHESTAKOV V.M. 1978 - Théorie et méthodes de calcul de migration des eaux souterraines dans les massifs hétérogènes.
B.R.G.M., III, n°1, 1978, p.21-28, 31 fig.
- SCHOELLER H. 1934 - Les échanges de base dans les eaux souterraines.
Bulletin Société Géologique de France, 5e série, tome 4, p. 389-420.
- SCHOELLER H. 1949 - Température centigrade des eaux souterraines.
Travaux du laboratoire géologique de Bordeaux. Tome 1, n°1, 181p.

SCHOELLER H. 1962 - Les eaux souterraines.
Masson Paris.

SCHOELLER H. 1963 - Extrait de la publication n°64. Berkeley 1963.
Association Internationale d'Hydrologie scientifique.

SCHNEEBELI G. 1978 - Hydraulique souterraine.
Eyrolles. Collection de la DER (EDF).

SHESTAKOV V.M., BASHKATOV D.N. 1978 - Détermination des paramètres régissant
la migration dans les aquifères.
B.R.G.M. (2) III - 1 - 1978 - p. 35-50.

SIWERTZ E., VIEILLEFON J. 1972 - Conséquences du double mécanisme de l'infiltration
sur la minéralisation et la pollution éventuelle des eaux souterraines.
2ème colloque sur la pollution et la protection des eaux de la région
Rhône-Alpes. Lyon 1972.

SOMMAIRE

Avant propos sommaire	
Introduction	Page 1
récapitulation des études faites sur la région	Page 5
contexte géographique	Page 5
contexte géologique.....	Page 7
CHAPITRE I - PRECISION DES MESURES. METHODOLOGIE.....	Page 9
I - Précision des mesures. Calcul d'erreur sur les analyses effectuées.....	Page 9
1. Approximation des mesures.....	Page 9
2. Erreur absolue.....	Page 9
3. Erreur relative.....	Page 10
4. Précision d'une détermination indirecte.....	Page 10
5. Applications aux données hydrochimiques.....	Page 10
5.1. Température.....	Page 10
5.2. Résistivité . Conductivité.....	Page 10
5.3. Dosages de Ca^{2+} - Mg^{2+}	Page 13
5.4. Dosages de HCO_3^- et Cl^-	Page 13
5.5. Dosages des $\text{SO}_4=$	Page 13
6. Conclusions.....	Page 13
II - Méthodologie.....	Page 14
1. Prélèvements.....	Page 14
2. Analyses chimiques.....	Page 16
2.1. Les dosages titrimétriques.....	Page 16
2.2. Le dosage de l'ion $\text{SO}_4=$	Page 16
CHAPITRE II - DESCRIPTION DE LA NAPPE ALLUVIALE.....	Page 18
I - Description de l'aquifère.....	Page 18
1. Structure.....	Page 20
2. Limites.....	Page 20
3. Conditions d'alimentation de la nappe.....	Page 21
4. Conditions d'écoulement de la nappe.....	Page 22
II - Etude du comportement hydrochimique de la nappe.....	Page 28
1. Examen des cartes des ions majeurs.....	Page 28
2. Etude de quelques points représentatifs des caractéristiques moyennes de la nappe.....	Page 46
3. Caractéristiques des eaux souterraines.....	Page 48
4. Caractéristiques des eaux superficielles.....	Page 49

III - Corrélations entre les conditions hydrodynamiques et hydrochimiques.....	Page 62
1. Un comportement hydrodynamique.....	Page 62
2. Un comportement hydrochimique.....	Page 62
3. Comparaisons entre comportement hydrodynamique et hydrochimique.....	Page 63
3.1. Dans la plaine de Moirans.....	Page 63
3.2. Dans la Cluse de l'Isère.....	Page 71
CHAPITRE III - EXAMEN DES RESULTATS D'ANALYSES PHYSICOCHEMQUES....	Page 78
I - Variations dans l'espace de la minéralisation.....	Page 78
1. Aquisition de la minéralisation au cours de son trajet dans la nappe.....	Page 78
1.1. A La Rivière.....	Page 79
1.2. A St Egrève.....	Page 83
1.3. Conclusions.....	Page 89
2. Aquisition de la minéralisation en fonction du temps de séjour de la nappe.....	Page 95
3. Etude de quelques rapports caractéristiques.....	Page 100
3.1. $R_5 = \frac{r \text{Mg}^{2+}}{r \text{Ca}^{2+}}$	Page 102
3.2. $r_2 = r \text{SO}_4^{=} / r \text{Cl}^-$	Page 104
$r_3 = \frac{r \text{Mg}^{2+} + r \text{Ca}^{2+}}{r \text{Na}^+ + r \text{K}^+}$	
3.3. $r_1 = \frac{r \text{HCO}_3^-}{r \text{Cl}^- + r \text{SO}_4^{=}}$	Page 105
3.4. $r_4 = r \text{SO}_4^{=} / r \text{HCO}_3^-$	Page 105
4. Conclusions sur les variations spatiales.....	Page 112
5. Corrélations entre les cartes de battement et la résistivité.....	Page 113
II - Variations dans le temps de la minéralisation.....	Page 117
1. Décalage temporel entre l'onde chimique et l'onde dynamique.....	Page 123
2. Phénomène de mélange dispersion.....	Page 125
3. Conclusions.....	Page 129
CONCLUSIONS.....	Page 131
1. La Cluse de l'Isère.....	Page 132
2. La Plaine de Moirans.....	Page 133
3. Caractéristiques des eaux souterraines.....	Page 134

4. L'augmentation de la concentration dépend de plusieurs facteurs.....	Page 135
5. Influence d'un étiage estival sur la chimie de l'eau.....	Page 136
6. Mise en évidence des apports par la rivière.....	Page 137
7. Variations dans le temps de la minéralisation.....	Page 138
Liste des figures, liste des tableaux, bibliographie	

ANNEXES

Tableaux des résultats obtenus en mg/l.

Diagrammes de Schoeller - Berkloff pour l'Isère et quelques piézomètres caractéristiques.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le développement simultané de l'activité industrielle et agricole dans les plaines alluviales, ainsi que l'exploitation croissante des nappes phréatiques associées à celles-ci, ont fait ressentir le besoin de mieux connaître les mécanismes d'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines.

Les milieux alluviaux sont en permanence le siège d'interactions entre le fluide et l'encaissant.

Les substances nuisibles à la qualité de l'eau seront d'autant plus dangereuses que leur interaction avec le milieu aquifère sera faible. Elles se déplaceront alors à la même vitesse que l'eau sans aucune diminution de leur novicité.

Les conditions hydrodynamiques associées aux cartes de résistivité fournissent des informations sur les modes d'alimentation et d'écoulement de la nappe, mais elles sont insuffisantes pour estimer correctement ces interactions. Celles-ci varient pour chaque ion et une mesure de résistivité ne traduit que globalement la minéralisation.

Un certain nombre d'études ont abordé l'évolution du chimisme de l'eau percolant à travers le sol ou transitant au sein d'un aquifère. Elles peuvent être classées en trois catégories, suivant la méthodologie employée et le résultat recherché.

Des études de laboratoire, nombreuses car faciles à mettre en oeuvre, consistent à faire percoler une eau à caractéristiques connues sur une colonne d'un échantillon de terrain plus ou moins remanié. Les publications sur ce sujet permettent surtout de quantifier les échanges de base et de tester des hypothèses émises, lorsqu'on étudie le phénomène à l'échelle de la nappe, (A.F. CHOUTEAU, 1982 - G. SCHNEEBELI, 1978), mais elle ne peuvent en aucun cas permettre de clarifier les mécanismes de transfert de matière au sein d'une nappe car là, le cheminement vertical de l'eau est doublé d'un transit horizontal souvent prépondérant.

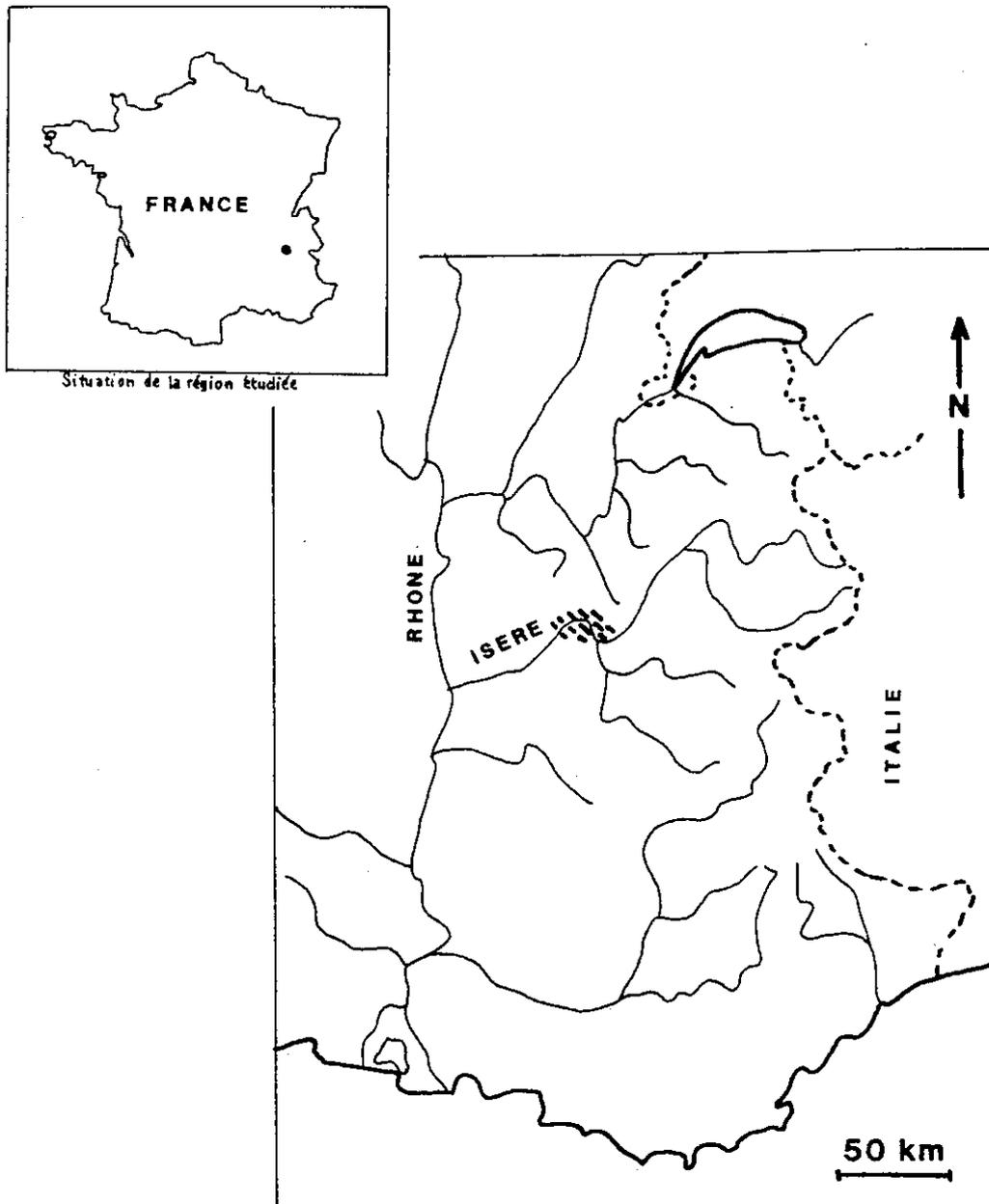


Fig. 1 - Situation géographique de la région étudiée

Des études *in situ*, beaucoup moins nombreuses, consistent à suivre dans les premiers mètres du sol l'évolution de la chimie des eaux de percolation sous conditions naturelles (sans épandage de produits en surface) par cases lysimétriques (R. DURAND, 1978 - E.SJWERTZ, 1972 - H. SCHOELLER, 1962). Les résultats essentiels mis en évidence sont que l'eau de percolation acquiert très rapidement ses caractères chimiques principaux variant alors très peu au contact de la nappe. Cependant dans ce cas, la faible tranche de sol concernée permet d'avoir un aquifère homogène, ce qui est rarement le cas en milieu alluvial.

Cette notion d'hétérogénéité a été prise en compte dans un autre travail (BONNET-LANDREAU, 1979). La plupart des éléments majeurs suivent l'évolution de la minéralisation totale et le chimisme est extrêmement lié à la lithologie, la géochimie et la minéralogie des terrains traversés.

Une troisième série d'études a essayé de prendre en compte ce phénomène sur l'ensemble de la nappe. Dans tous les cas, le moteur de l'étude était un problème spécifique posé par l'existence d'une zone de forte pollution, cohabitant avec un réseau de captage destiné à l'alimentation d'une agglomération (B. LACROIX, 1971 - A.F. CHOUTEAU, 1982 - Ph. COL-LONGUES, 1981). Le polluant sert alors de traceur naturel.

L'absence de traceur unique ne permet pas d'isoler aisément l'onde de transfert de matière; seule l'étude des teneurs en ions majeurs et leurs variations dans l'espace et dans le temps permettra de mieux définir les mécanismes d'échange eau/milieu, rendus encore plus complexes lorsqu'ils ont lieu dans un milieu hétérogène.

Les récentes études effectuées dans ce domaine n'apportent pas encore d'éléments utilisables.

Après avoir montré que les variations des teneurs en ions obtenues sont supérieures aux erreurs commises sur les manipulations, et donc qu'elles sont bien représentatives de ce qui se passe dans la nappe, nous décrirons les conditions hydrodynamiques et hydrochimiques du milieu alluvial considéré; puis nous comparerons les deux comportements de façon à voir si ils évoluent dans le même sens.

Dans un troisième temps, l'étude détaillée des teneurs en ions de différents points de la nappe permettra d'établir les règles qui régissent leurs variations, et de comparer ces résultats avec ceux obtenus en laboratoire par les équipes déjà citées.

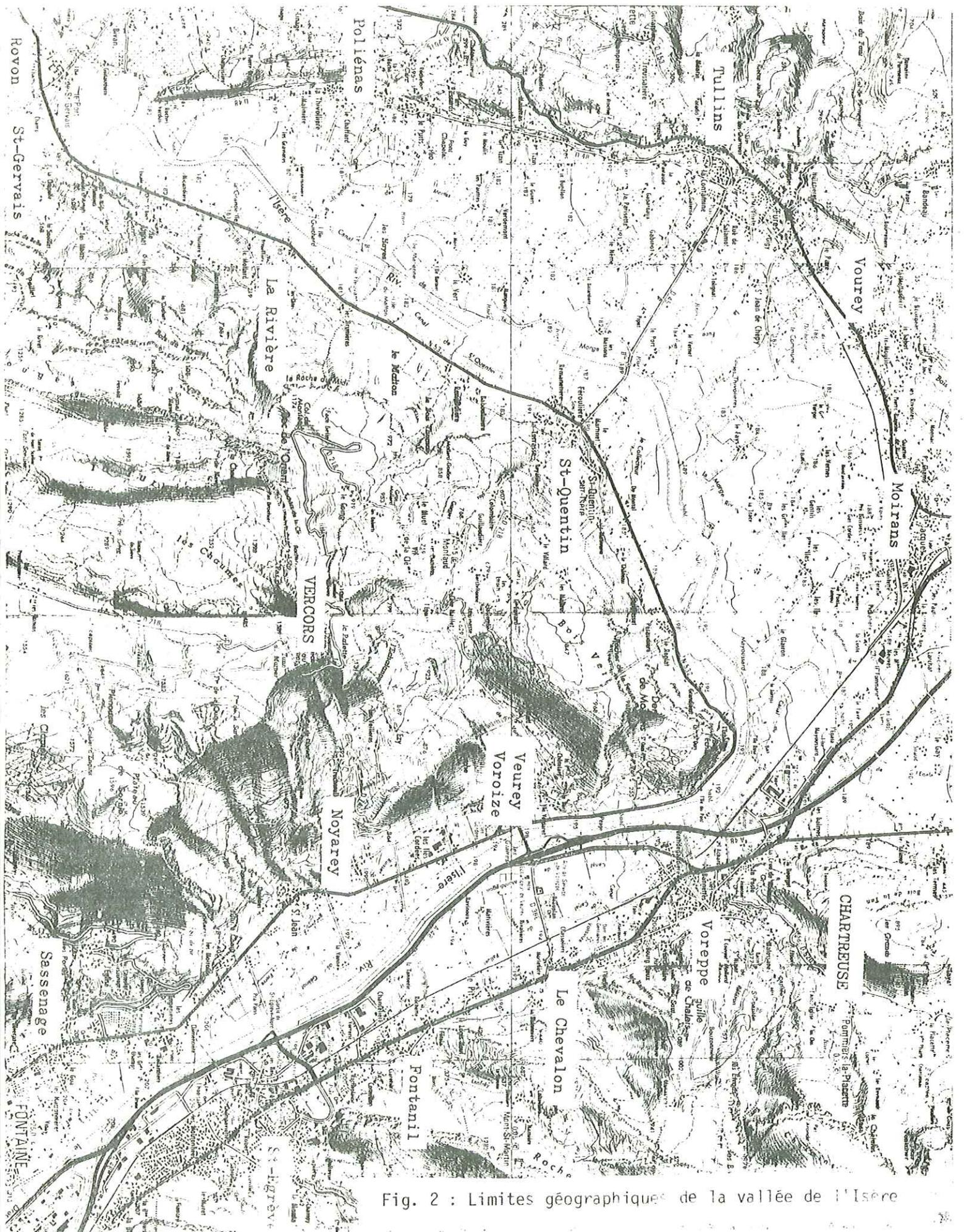


Fig. 2 : Limites géographiques de la vallée de l'Isère

Enfin, nous essayerons de définir le milieu alluvial en tant qu'entité cohérente bien qu'hétérogène. Cette connaissance est indispensable pour une meilleure exploitation de l'aquifère.

A partir des éléments mis en évidence sur un site bien connu du point de vue géologique et hydrodynamique, il sera possible de transposer les résultats obtenus à tout autre milieu alluvial.

Récapitulation des études faites sur la région

La nappe alluviale de l'Isère, où ce travail a été entrepris, a été soumise à de multiples investigations pour mieux connaître sa réponse aux impulsions extérieures. Dès 1963, EDF s'est intéressé à cette partie de la vallée, située entre le confluent du Drac à la sortie de Grenoble et le seuil de Rovon (à 35 km de Grenoble, en direction de Valence), car elle avait l'intention d'y établir trois barrages au fil de l'eau. Le projet, stoppé de nombreuses années, a été repris récemment.

L'aquifère comporte un réseau dense de points de mesure (échelles, limnigraphes, piézomètres) permettant un maillage fin de la nappe.

Les conditions hydrodynamiques régissant l'aquifère alluvial lié à l'Isère ayant déjà été étudiées (*J.C. FOURNEAUX, 1975-1980*), cette zone semblait donc propice à un examen détaillé des transferts de masse.

Contexte géographique (Fig. 1 et 2)

L'Isère, torrent montagneux descendant du massif de la Vanoise, devient très rapidement une rivière importante drainant un bassin versant de 9 300 km². Depuis Albertville jusqu'à Rovon, à l'aval de Tullins, l'Isère coule sur un tapis ininterrompu d'alluvions, formant une plaine de largeur variable, où le lit mineur faisait des méandres avant qu'il soit endigué. Cette vallée à fond plat, de 180 km de long et de 3km de large en moyenne est enserrée de hautes montagnes.

Sur ces versants de lithologie très variée, l'eau circule et se charge en ions suivant la nature du massif.

Les alluvions, qui constituent le remplissage de ce vaste ombilic, sont plus perméables que les roches du substratum. Il se constitue donc une nappe liée au cours d'eau superficiel.

La zone retenue comme site d'étude commence à l'aval de Grenoble, après le confluent du Drac, couvre la Cluse de l'Isère et la plaine de Moirans, pour s'achever contre la remontée du substratum (au seuil de Rovon) à St-Gervais-le-Port.

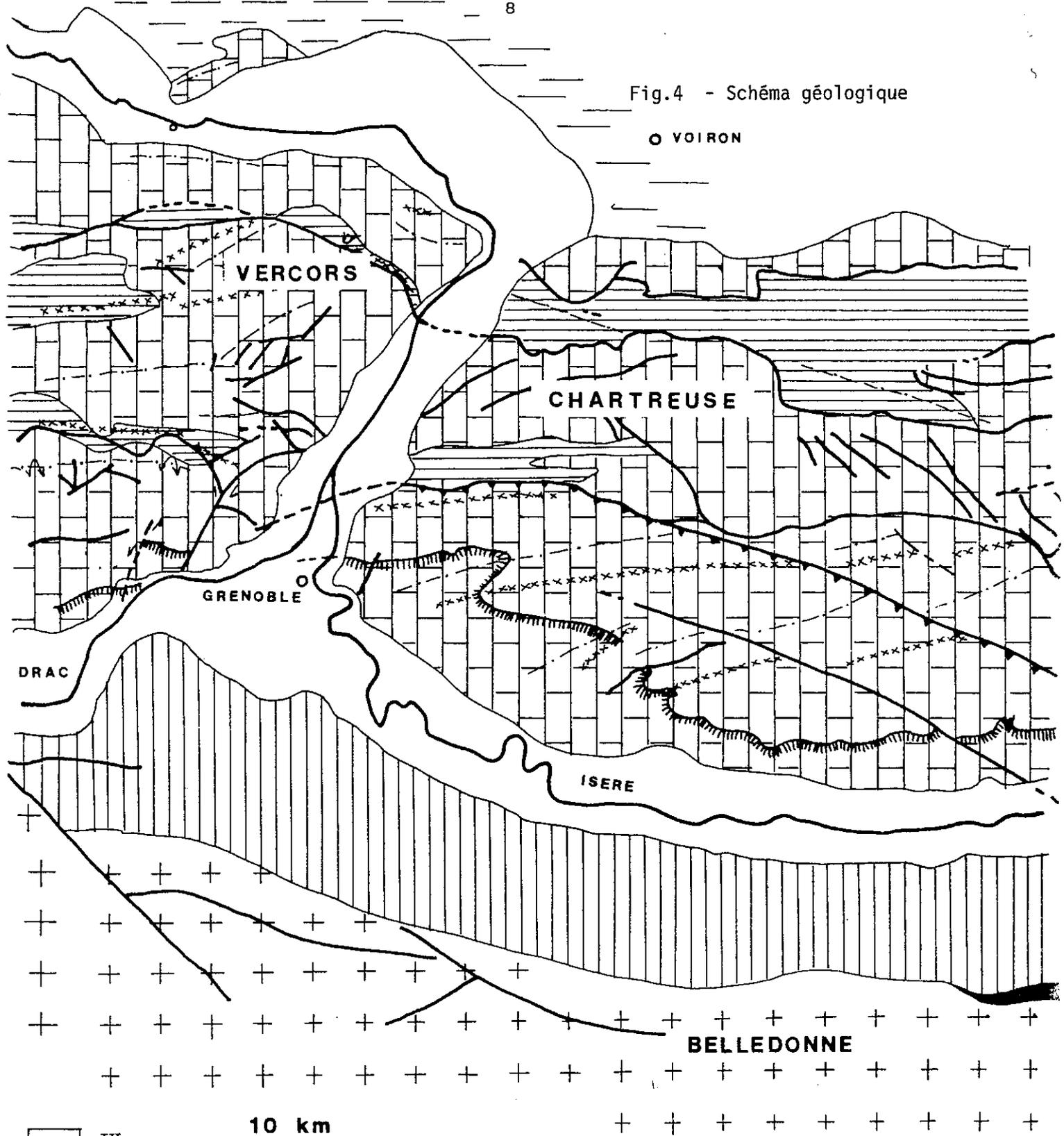
Contexte géologique (Fig. 3 et 4)

De sa source à son confluent avec le Rhône, l'Isère recoupe presque toutes les unités structurales des Alpes.

Les principaux affluents drainent aussi des zones très variées, puisqu'ils coulent perpendiculairement aux structures alpines.

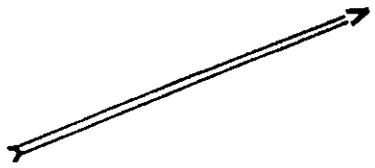
S'il est utile de souligner l'importance du rôle joué par les formations quaternaires dans l'hydrogéologie de la vallée, nous n'en ferons cependant pas une description détaillée puisqu'elle a déjà été faite (J.C. FOURNEAUX, 1975).

Fig.4 - Schéma géologique



IV 10 km

-  III+IV non différenciés
-  Miocène
-  Jur+Crét
-  Lias+Dogger
-  Trias
-  Cristallin

-  N
-  Corniche tithonique
-  Chevauchement
-  Synclinal
-  Anticlinal
-  Pli couché

CHAPITRE I

PRECISION DES MESURES

METHODOLOGIE

PRECISION DES MESURES - METHODOLOGIE

I- PRECISION DES MESURES - CALCUL D'ERREUR SUR LES ANALYSES EFFECTUEES

Il n'est pas dans notre idée de faire ici une longue dissertation sur les calculs d'erreur et les différentes analyses à la base de ce travail. Nous voulons simplement montrer que les résultats obtenus sont significatifs, et qu'ils traduisent bien les variations de minéralisation dont le milieu alluvial est le siège au cours d'une année hydrologique.

1/ APPROXIMATION DES MESURES

L'opération qui consiste à effectuer des mesures est délicate en raison de l'imperfection des appareils utilisés et de notre vision, puisque les dosages titrimétriques sont basés sur une appréciation des couleurs. Aussi les résultats obtenus sont-ils plus ou moins voisins de ceux escomptés.

Par voie de conséquence, la différence entre le nombre exact et le nombre obtenu représente l'erreur de la mesure. Deux types d'erreur sont commis : l'erreur systématique, constante en grandeur et en signe, et l'erreur accidentelle, variable en grandeur et en signe, selon la mesure effectuée (imperfection subite ou dérèglement de l'appareil, qualités physiologiques imparfaites de l'expérimentateur...).

2/ ERREUR ABSOLUE

C'est la différence ($a-x$) entre la valeur numérique a de la mesure et la valeur numérique x exacte de la grandeur. Seule la valeur arithmétique $a-x$ est considérée puisque, dans le cas d'une erreur accidentelle, le signe $a-x$ est inconnu.

Faute de pouvoir évaluer exactement $a-x$, nous déterminons une quantité Δx dont la valeur absolue est au moins égale à $a-x$. Cette limite supérieure est donc le plus grand écart possible entre la valeur numérique exacte et la valeur numérique résultant de la mesure d'où :

$$a - \Delta x < x < a + \Delta x.$$

$$x = a \pm \Delta x.$$

3/ ERREUR RELATIVE

C'est le quotient de l'erreur absolue par la valeur numérique exacte $\frac{a - x}{x}$; a et x étant évalués avec la même unité. Par conséquent, l'erreur relative ne dépend pas de l'unité de mesure.

Plus l'erreur relative d'une analyse sera faible, plus la mesure sera précise.

L'erreur relative caractérise bien la précision des manipulations effectuées.

4/ PRECISION D'UNE DETERMINATION INDIRECTE

Une grandeur X peut dépendre de différentes grandeurs ABC directement mesurables $X = f(A, B, C)$.

En connaissant les limites supérieures des erreurs commises sur ABC, nous pouvons calculer la limite supérieure de l'erreur commise sur x en appliquant les théorèmes relatifs aux calculs d'erreur.

Erreur absolue : $x = A + B + C$ $\Delta x = \Delta A + \Delta B + \Delta C$

Erreur relative : $x = ABC$ $\Delta x/x = \Delta A/A + \Delta B/B + \Delta C/C$

Si une même mesure intervient plusieurs fois dans la formule, l'expression utilisée est = $\Delta x/x = a \Delta A + b \Delta B + c \Delta C$

5/ APPLICATIONS AUX DONNEES HYDROCHIMIQUES

5.1- Température

La température de l'eau est prise au point de prélèvement à l'aide d'un thermomètre gradué à 0,1° C. La précision de la mesure est de 0,1° C (erreur absolue).

5.2- Résistivité - Conductivité

Les mesures de résistivité ont été faites dans un premier temps à l'aide d'un résistivimètre de terrain à lecture directe, contrôlé par une mesure de conductivité au laboratoire. Dans un 2^e temps, seules les mesures de laboratoire ont été conservées, en raison de la non fiabilité du matériel de terrain.

Pour une meilleure homogénéité des résultats, toutes les valeurs ont été ramenées à celles lues sur le résistivimètre. Une bonne corrélation a été obtenue entre les 2 appareils par des lectures simultanées (fig. 5).

L'erreur relative donnée par la notice du conductivimètre est de l'ordre de 2 % à une température T°C donnée.

$$\text{Or, } C_{20^{\circ}\text{C}} = C_{T^{\circ}\text{C}} \times \alpha \quad \alpha = f(T^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta T = 0,1^{\circ}\text{C} \text{ correspond à } \Delta \alpha = 3,5 \times 10^{-3}$$

$$\frac{\Delta C_{20}}{C_{20}} = \frac{\Delta C_T}{C_T} + \frac{\Delta \alpha}{\alpha} = 0,02 + 0,0035 = 0,0235$$

soit une précision de 2,35 % dans les mesures.

L'erreur relative donnée par le résistivimètre de terrain est de l'ordre de 5,5 % à T°C donnée.

$$\text{Or } \rho_{18^{\circ}\text{C}} = \rho_{T^{\circ}\text{C}} \times C \quad C = f(T^{\circ}\text{C})$$

$$\frac{\Delta \rho_{18}}{\rho_{18}} = \frac{\Delta \rho_T}{\rho_T} + \frac{\Delta C}{C} = 0,055 + 0,03 = 0,085$$

d'où la précision de 8,5 % des mesures.

La précision est nettement moins bonne (bien que la reproductibilité le soit), c'est une des raisons pour lesquelles cet appareil a été abandonné au profit des mesures au conductivimètre.

Tant du point de vue des variations spatiales que temporelles, les valeurs de conductivité sont comprises entre 130 et 910 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ et les erreurs entre 3,2 et 21,2 $\mu\text{s.cm}^{-1}$; ce qui est bien inférieur aux variations de conductivité de la nappe.

De plus la bonne reproductibilité (résultats constants dans le temps) des résultats obtenus avec ces appareils, permet de dire que les variations de conductivité observées ne sont pas dues à des erreurs de manipulation ou d'appareillage, mais sont bien représentatives des variations du chimisme de la nappe.

RESISTIVIMETRE CONDUCTIVIMETRE

9565	14352
10290	15148
9191	13832
10715	15906
9892	14459
5012	7017
2908	3976
5592	7635
2973	4241
664	734
795	944
2038	2726
851	1015
1094	1582
1664	2169

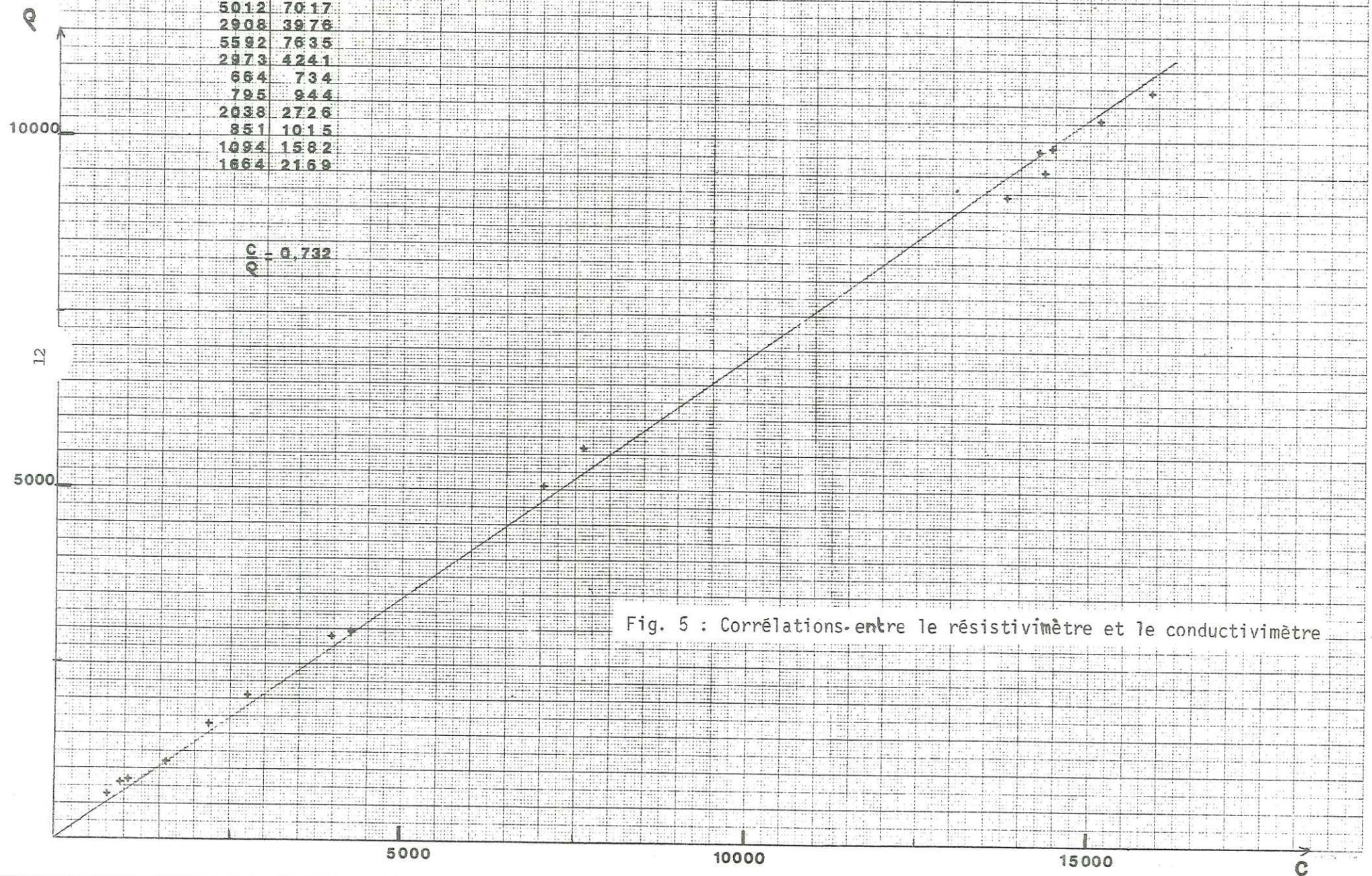


Fig. 5 : Corrélations entre le résistivimètre et le conductivimètre

5.3- Dosages de Ca^{2+} et Mg^{2+}

Les dosages complexométriques sont un des exemples où l'appréciation de l'expérimentateur est importante, puisque la précision est fonction de l'appréciation du virage de l'indicateur coloré, de l'étalonnage de l'EDTA...

$$(\text{Ca}^{2+}) = 4,008 V_{\text{THT}} \quad \frac{\Delta \text{Ca}}{\text{Ca}} = \frac{\Delta V}{V} = 2,2 \%$$

$$(\text{Mg}^{2+}) = 2,432 (V_{\text{THT}} - V_{\text{THCa}})$$

$$\frac{\Delta \text{Mg}}{\text{Mg}} < \frac{\Delta V_{\text{THT}}}{V_{\text{THT}}} + \frac{\Delta V_{\text{THCa}}}{V_{\text{THCa}}} = 2,2 \% + 4 \%$$

$$\frac{\Delta \text{Mg}}{\text{Mg}} < 6,2 \%$$

Ces calculs sont effectués en prenant $\Delta V = 0,2 \text{ ml}$, ce qui est surestimer l'erreur lue à la burette.

5.4- Dosages de HCO_3^- et Cl^-

Le dosage par volumétrie est analogue au précédent, seul l'indicateur coloré change, entraînant un V différent.

$$(\text{HCO}_3^-) = 12,2 V_{\text{TAC}} \quad \frac{\Delta \text{HCO}_3^-}{\text{HCO}_3^-} = \frac{\Delta V}{V} = 2,8 \%$$

$$(\text{Cl}^-) = 35,5 V_{\text{AgNO}_3} \quad \frac{\Delta \text{Cl}^-}{\text{Cl}^-} = \frac{\Delta V}{V} = 4,3 \%$$

5.5- Dosages des SO_4^{2-}

Le dosage des Sulfates se fait par néphélométrie. La précision et la reproductibilité des mesures données par l'appareil sont excellentes, de l'ordre de 0,1 %.

6/ CONCLUSIONS

Vu les calculs d'erreur effectués ci-dessus, nous pourrions conclure que les variations dans l'espace et dans le temps de ces différents ions enregistrées au cours d'une année, ne sont pas dues aux erreurs commises lors des manipulations, mais qu'elles sont bien représentatives des échanges d'ions dont la nappe est le siège au cours du cycle hydrologique annuel.

II - METHODOLOGIE

1/ PRELEVEMENTS

Les prélèvements ont été réalisés de deux manières différentes sans amener de grosses différences dans les résultats.

Pour tous les puits dont le niveau piézométrique était à plus de 7,0 m, et pour les 3/4 des prélèvements de l'année, un système de prélèvement par boîte lestée a été mis au point au début de ce travail, l'eau étant prise à quelques mètres sous la surface.

Dans les autres cas, une pompe à main, type pompe à clapet, a été utilisée ; l'eau étant recueillie après quelques coups de pompe destinés à nettoyer le piézomètre; le prélèvement se faisant entre 5,0 m et 6,0 m de profondeur. Sur presque tous les piézomètres, la différence des résultats sur les échantillons, obtenus par les 2 systèmes de prélèvement, est inférieure à l'erreur calculée auparavant. Dans 4 cas seulement, l'augmentation de la minéralisation a été suffisamment nette pour que l'on puisse conclure que le piézomètre était colmaté.

Dans le tableau 1, seules les valeurs du 19/07/82 correspondent à un prélèvement à la pompe, les autres correspondent à la boîte lestée.

	5I8	P82	I05	P7I	P77	P87	I27	P42	5I5	5I0	PII3	54
Mai	2380	I520	2890	I480	I570	I340	20I0	I800	I620	4430	I990	2500
Juin	-	I500	2740	I490	I520	I480	2050	I740	I690	3880	I830	24I0
Juil	3I50	570	4460	I4I0	I6I0	I540	2090	I730	I640	4440	I990	2440
Août	2330	I460	-	I350	I550	I350	I900	-	I730	3730	I940	2300
Sept	2400	I620	-	I530	I700	I430	-	I650	I830	3860	I970	22I0
Mois			Alluvions	Cône de déjection	Sables gros.		Argile	Berge de l'Isère				

Tab. 1 : Variations de résistivité dues à 2 systèmes de prélèvement différents

De la même façon, une série de mesures a été faite de façon à tester les variations de la résistivité en fonction de la profondeur sur un même piézomètre, une valeur a été prise en surface et une à 10 m de profondeur, lorsque cela était possible.

Le tableau 2 résume les résultats obtenus, et montre qu'il y a hétérogénéité de la chimie de la nappe sur le plan vertical.

Piézos.	P77	I65	I04	I72	I05	I79	P82	P8I	I20	I22	P86	P85	I54	P87	I27	PI20	P90	P9I
ToC Surface	I2,3	II	I0,7	I0,5	I0,8	I0,2	II	I0,3	I0,4	I0,2	I2,0	II,9	I0,8	I2	II,6	II,6	II,1	II
ρ Ω .cm	936	3270	I593	2243	2I29	9I6	I005	656	32II	I400	8II	933	3I93	II68	I973	I949	II33	I795
ToC -I0m.	I2,8	II,8	II,5	II	I2	II	II,5	II,2	II,5	I0,5	I2,6	I2,8	I0,2	I2	I2,5	I2,II	I2,4	I2
ρ Ω .cm	I256	32I7	I573	I795	I974	8I6	I03I	I6I4	3I53	I267	783	I874	3297	I767	2472	3060	695	I788
Piézos.	I35	I34	P94	I44	5I6	PI02	528	5I4	PI05	526	5I8	5I0	503	PII3	PII2	54	508	P92
ToC Surface	II,3	I0,9	I0,4	I0,4	9,I	I0	I0,4	I0,7	I2,I	I0,9	I3,7	I0,8	I0,7	I0	I0,I	II	I0,3	II,8
ρ Ω .cm	I604	2377	I500	I652	2I65	I666	37I8	I9I8	I895	4500	2266	3878	I752	I755	I50I	2I22	2426	I3I4
ToC Surface	I2,4	II,9	II,3	II,5	I0,3	9,9	II,I	II,5	I2,8	II,8	I3,8	II,4	II,II	I0,I	II,2	II,6	I0,8	I2,4
ρ Ω .cm	I543	2079	2II0	2075	I560	I70I	3408	I932	I8II	4530	I9II	3I79	I442	I78I	I546	2II8	2355	I43I

Tab. 2 : Variations de la résistivité en fonction de la profondeur du prélèvement

Le petit diamètre des piézomètres (10 cm) ne permet pas une homogénéisation correcte de l'eau sur le plan vertical. Les différences importantes de résistivité soulignées sont celles supérieures aux 6 % d'erreur admise sur la mesure. Ces piézomètres indiquent une hétérogénéité verticale importante que l'on peut mettre sur le compte de la structure lenticulaire des alluvions.

En effet, des lentilles à perméabilité faible au sein d'éléments grossiers à perméabilité plus forte peuvent entraîner un gradient de vitesse de circulation de l'eau au sein de l'aquifère et donc un gradient de minéralisation. Cela avait déjà été noté dans le Grésivaudan (*J.C. FOURNEAUX, 1968*). Ces lentilles créent des zones à perméabilité verticale faible. L'équilibre dynamique s'établit rapidement autour de ces lentilles mais l'équilibre hydrochimique ne s'établit pas toujours. On a alors affaire à des couches d'eau à minéralisations différentes.

Pour plus de facilité et de reproductibilité dans les mesures, seule la tranche superficielle (- 5 m) a été prélevée constamment et ce, de façon régulière. Nous estimons que les résultats obtenus par ce système sont bien représentatifs de ce qui se passe dans la nappe, vu les fortes variations des paramètres étudiés.

2/ ANALYSES CHIMIQUES

2.1- Les dosages titrimétriques

Les dosages de Ca^{2+} et Mg^{2+} se font par complexométrie, le dosage des bicarbonates par l'acide sulfurique. Ce sont des titrages basés sur le changement de coloration d'un indicateur spécifique. Pour plus de précision sur ces dosages, se référer au mémento pratique de C. ARMAND et B. DELAQUAIZE (1977) et au Mémento Technique de l'Eau (*DEGREMONT, 1972*).

Le dosage des chlorures, dans le cas où les eaux analysées sont fortement chargées, se fait en milieu neutre par une solution titrée d' AgNO_3 en présence de Chromate de Potassium à 10 %. Cette méthode, valable uniquement pour les fortes concentrations, a l'avantage de faire intervenir une variation de couleur bien visible.

2.2- Le dosage de l'ion SO_4^{--}

Il se fait par néphélométrie. L'ion SO_4^{--} précipite en présence de BaCl_2 sous forme de sulfate de Baryum en milieu acide. Le précipité obtenu est stabilisé par une solution de Polyvinyl-Pyrrolidone. La suspension est mesurée au spectromètre à 650 nm.

Toutes les mesures sont données en mg/l ou en degré français pour le THT. Elles sont converties en m \bar{e} q/l pour faire un bilan ionique ou lorsque l'on veut comparer plusieurs eaux entre elles.

$$1 \text{ m}\bar{e}\text{q/l} = \frac{1 \text{ mg/l}}{M/V}$$

M = masse atomique de l'élément ;

V = valence de l'élément.

C'est donc par des analyses simples et répétitives des ions majeurs que cette étude a été entreprise, non pas dans le but de donner une explication détaillée des phénomènes de transfert de matière mais pour essayer de dégager une tendance générale à ces phénomènes mal connus.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DE LA NAPPE ALLUVIALE

DESCRIPTION DE LA NAPPE ALLUVIALE

La connaissance des conditions hydrochimiques qui régissent la nappe, complète celle des conditions hydrodynamiques pour étudier un aquifère alluvial.

Ensemble, elles permettent de définir les zones d'apports par les versants et par la rivière, les pertes éventuelles de la nappe, les remontées d'eau profonde, et aussi de donner une idée plus précise de la structure lenticulaire du remplissage de la vallée.

Un aquifère alluvial peut, dans bien des cas, être assimilé à un milieu homogène et isotrope en ce qui concerne la transmission des pressions, mais cette assimilation n'est pas concevable pour la transmission de matière.

L'existence d'une seule nappe n'implique pas obligatoirement une uniformité de la qualité des eaux. Celle-ci peut s'obtenir, par exemple, après une longue période de basses eaux favorisant le mélange d'eaux d'origines différentes.

Il existe une relation entre les conditions de mélange des eaux et la structure de l'aquifère. Cela est dû surtout aux conditions de dépôt des alluvions constituant l'aquifère.

Il convient, avant tout, de définir les limites de l'aquifère ainsi que ses conditions hydrodynamiques et hydrochimiques, avant de comparer ces dernières entre elles.

I- DESCRIPTION DE L'AQUIFERE

Dans un milieu alluvionnaire, comme celui étudié, les caractéristiques du sous-sol susceptibles de varier verticalement et horizontalement sont nombreuses: granulométrie, minéralogie, épaisseur.

Les travaux de H. MARGHALAN-FERRAT (1975) et de J. KYROUSSIS (1979) ont décrit de façon homogène le quaternaire de la vallée. Des études détaillées ont montré que, dans les gisements lenticulaires, des différences de granulométrie importantes pouvaient se révéler entre deux points séparés de 50 m avec des contextes minéralogiques et mécaniques très différents.

Il est certain que des études plus détaillées décèleraient des variations beaucoup plus fines, et c'est d'ailleurs ce qui est en partie obtenu lorsque l'on s'intéresse aux mécanismes de transfert de matière.

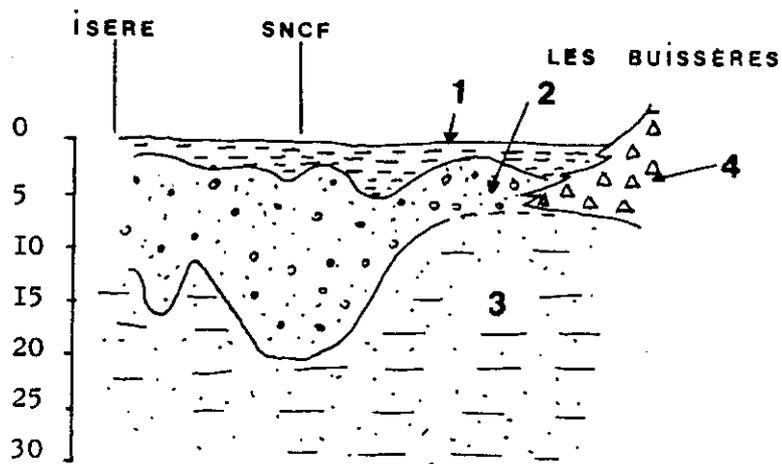


Fig. 6. Schéma typique de l'organisation des 3 formations dans la Cluse de l'Isère

Les résultats acquis sur la structure alluviale de la vallée de l'Isère par H. MARGHALAN-FERRAT ont été obtenus par sondages mécaniques et géophysiques.

1/ STRUCTURE

L'examen de toutes les données existant sur la vallée de l'Isère confirme le schéma général de répartition des couches comprises entre 0 et 50 m. On trouve successivement de haut en bas:

- les limons superficiels (1);
- une série de sables, galets et graviers représentant l'aquifère (2);
- des argiles plus ou moins sableuses, dites argiles bleues d'Eybens (3).

La figure 6 représente un schéma typique de l'organisation des trois formations dans la Cluse de l'Isère.

La formation superficielle, ou formation I, est formée d'un sol tendre où se mêlent des matériaux d'origines diverses. Ces limons tirent tantôt vers les sables fins, tantôt vers les argiles. Leur perméabilité reste très faible. Elle varie de 10^{-5} à 10^{-8} m/s suivant le taux d'argile qu'ils contiennent.

La formation des sables, galets, graviers, ou formation II, constitue l'aquifère de la vallée. Sa perméabilité très forte permet le passage des eaux souterraines. Mais du fait des divagations de l'Isère avant son endiguement, les variations de lithologie et de granulométrie au sein même de cette formation peuvent être très importantes. Elle se singularise, en fait, par un empilement de corps lenticulaires très diversifiés mais grossiers. C'est ce qui en fait l'hétérogénéité tant hydraulique qu'hydrochimique.

La formation des argiles bleutées d'Eybens, ou formation III, n'affleure jamais sur la plaine et n'a jamais été traversée de part et d'autre par sondages. Cette série peut débiter par un passage sableux de 2 à 3 m, mais on ne le retrouve pas dans toute la plaine. Ces argiles très peu perméables ($< 10^{-7}$ m/s) constituent le mur de la nappe alluviale.

On ne possède pas de données sur la structure alluviale du remplissage situé sous la formation III. Il faudrait s'attendre à y rencontrer des dépôts plus grossiers représentant le remplissage fluvio-glaciaire normal de l'ancienne auge glaciaire rissienne.

Le substratum rocheux de l'auge glaciaire doit constituer des seuils au passage des corniches calcaires. Le fond de la vallée est donc irrégulier. Dans la zone de Voreppe, un sondage l'aurait situé à -400 m sous le niveau de la plaine (H. MARGHALAN-FERRAT, 1975).

La formation IV notée sur le schéma, constitue un des cônes de déjection nombreux qui bordent la vallée. Ils s'imbriquent étroitement dans les formations I ou II, et sont constitués d'éléments grossiers susceptibles de laisser passer des quantités d'eau non négligeables vers la nappe.

2/ LIMITES

Dans la Cluse de l'Isère, les limites latérales sont constituées par les formations géologiques secondaires ou tertiaires qui encadrent la vallée. La nappe a une extension très limitée.

Dans la zone de Moirans-Tullins, elle s'écoule librement entre les rebords abrupts du Vercors et les formations de la dépression molassique du Bas-Dauphiné. Elle est limitée à l'aval par une remontée de son substratum au niveau de St-Gervais - Le Port ou seuil de Rovon. On retrouve une barre calcaire surmontée de moraines en rive droite comme en rive gauche, qui pourraient faire barrage à la nappe.

3/ CONDITIONS D'ALIMENTATION DE LA NAPPE

Les conditions ayant déjà été décrites plusieurs fois (*J.C. FOURNEAUX; 1975, 1980*), nous ne les reprendrons pas dans le détail. Nous n'en ferons qu'un bref rappel en insistant sur les points intéressants dans un chapitre ultérieur.

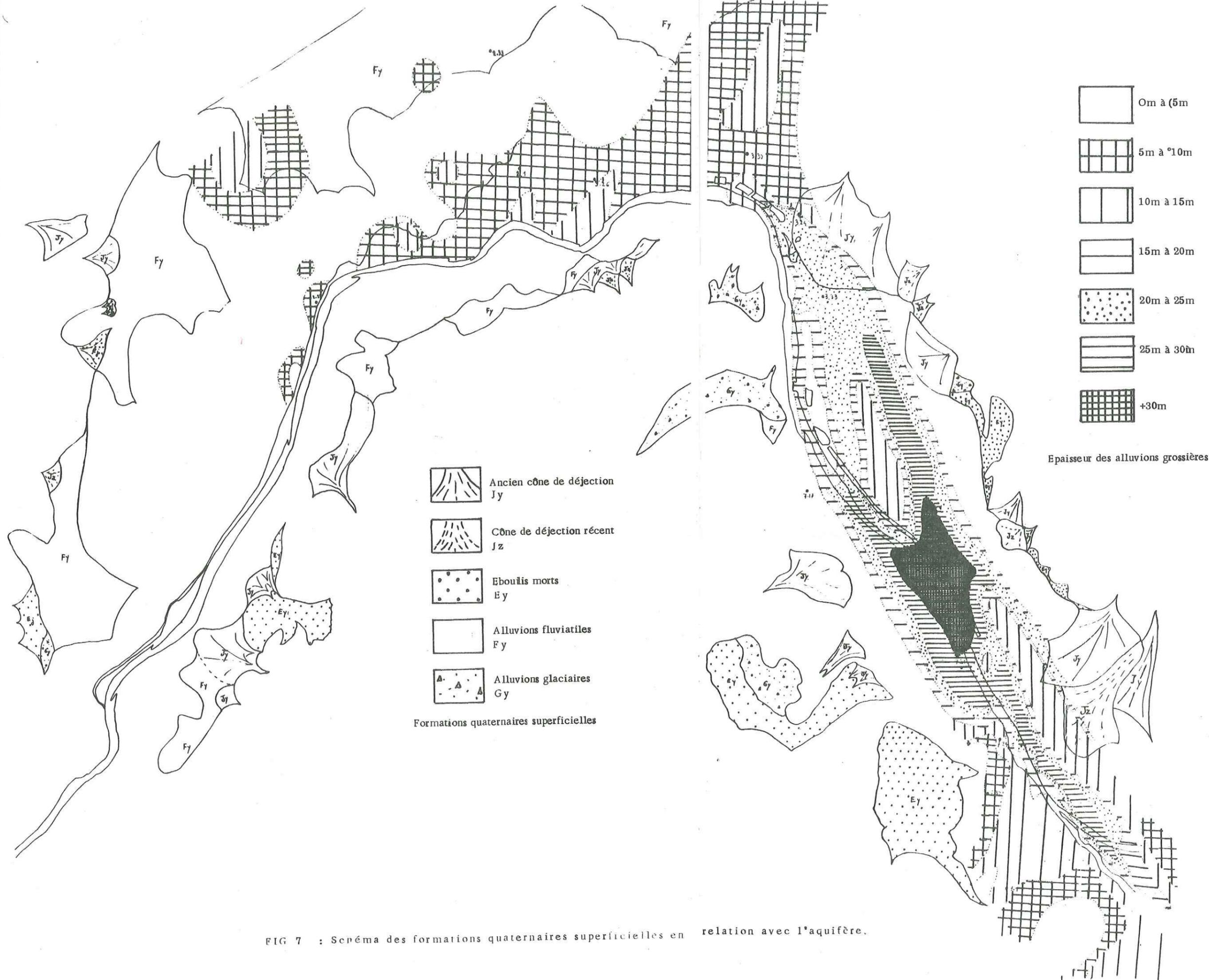
Les différents types d'alimentation sont:

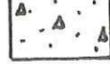
Alimentation par la pluie

Cette dernière, bien qu'atteignant 300 mm/an ne peut pas être étudiée aisément. Nous ne la mentionnerons que très rarement.

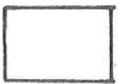
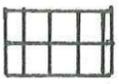
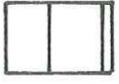
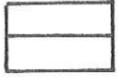
Alimentation par les cours d'eau de la plaine

Elle est positive ou négative suivant le niveau de l'Isère par rapport à celui de la nappe. Les deux cas existent simultanément et peuvent être confirmés par l'étude hydrochimique. Il faut cependant noter que l'abaissement



-  Ancien cône de déjection
Jy
-  Cône de déjection récent
Jz
-  Eboulis morts
Ey
-  Alluvions fluviales
Fy
-  Alluvions glaciaires
Gy

Formations quaternaires superficielles

-  0m à 5m
-  5m à 10m
-  10m à 15m
-  15m à 20m
-  20m à 25m
-  25m à 30m
-  +30m

Epaisseur des alluvions grossières

FIG 7 : Schéma des formations quaternaires superficielles en relation avec l'aquifère.

du niveau moyen de l'Isère par extraction de graviers a entraîné une chute brutale de l'alimentation de la nappe par l'Isère, même en hautes eaux; l'étude hydrodynamique le prouve par les niveaux enregistrés pendant une année.

Alimentation potentielle par les versants

Cette alimentation est importante, elle arrive des versants par l'intermédiaire des cônes de déjection, dans lesquels circule une nappe peu minéralisée en liaison avec les torrents provenant des chaînes subalpines calcaires et marnocalcaires du Vercors et de la Chartreuse.

Les liaisons entre ces torrents et les nappes existant dans les cônes de déjection ont été mises en évidence sur la vallée de l'Isère en amont de Grenoble (*J.C. FOURNEAUX, 1975 - J. KYROUSSIS, 1979*), avec calcul du coefficient d'infiltration du torrent dans la nappe du cône de déjection associée. Dans le même secteur, les vitesses de circulation de cette nappe de cône de déjection, ainsi que la quantité d'eau qu'elle apporte à la nappe alluviale ont été calculées, et sont assez importantes. (*J.C. FOURNEAUX, 1975*).

4/ CONDITIONS D'ÉCOULEMENT DE LA NAPPE

L'étude des cartes piézométriques, en hautes eaux et basses eaux, permet de déterminer le sens et la direction d'écoulement de la nappe. Deux zones très différentes se distinguent du point de vue morphologique et hydrodynamique dans la zone s'écoulant de Grenoble à Rovon.

Du point de vue morphologique, la nappe dans la Cluse de l'Isère (de Grenoble à Voreppe) est étroite; mais elle s'étend ensuite largement dans la plaine de Moirans (de Voreppe à Rovon).

Cette distinction est confirmée par la lecture des cartes piézométriques et l'étude de l'écoulement de l'eau.

Dans la Cluse de l'Isère, l'écoulement, principalement axial, est seulement perturbé, au niveau du Fontanil, par l'arrivée de l'eau du cône de déjection du Lanfray.

L'importance des canaux de drainage, parallèles à la vallée, donne des "V" caractéristiques sur les courbes piézométriques.

L'influence de ces canaux diminue pour être presque nulle en hautes eaux.

La nappe entre Voreppe et Rovon est beaucoup plus large. La circulation axiale est complétée par une circulation latérale très importante, traduisant

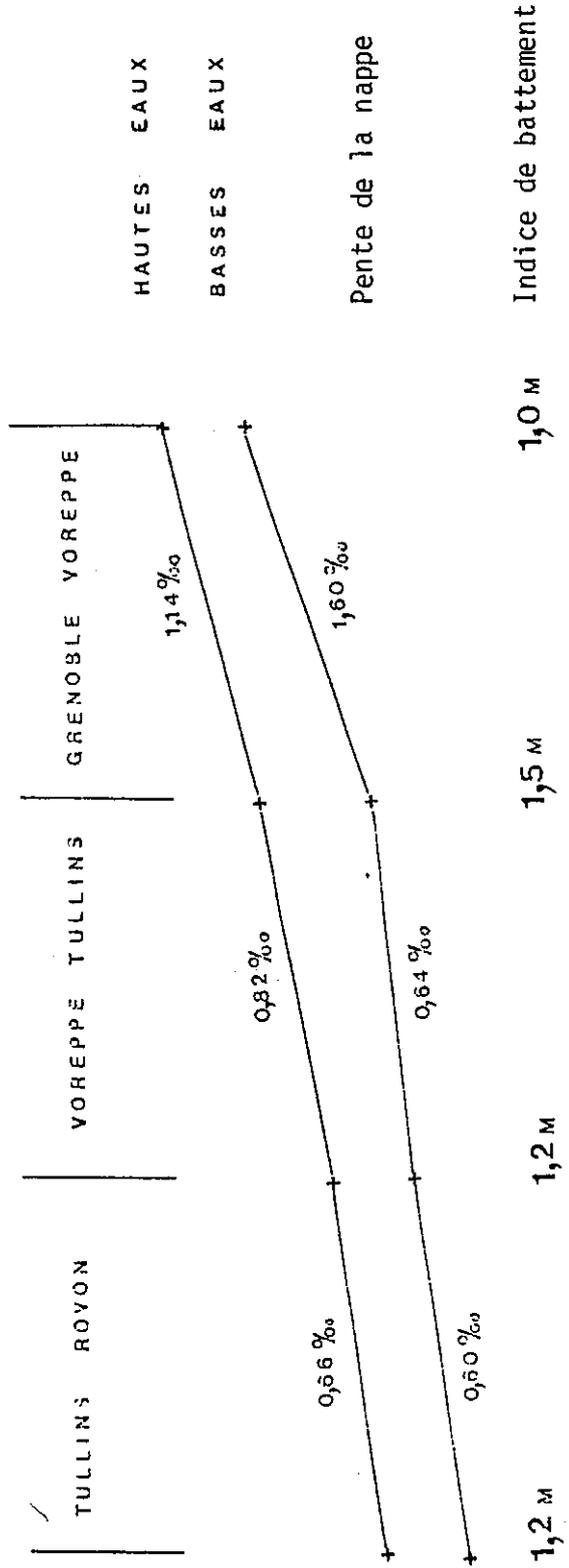


FIG 40

Corrélation entre la pente et l'indice de battement

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1
 INSTITUT DE GEOLOGIE
 DOCUMENTATION
 RUE MAURICE-GIGNOUX
 F 38031 GRENOBLE CEDEX
 TEL: (079) 07.46.48

de forts apports de versant, qui annule l'effet des canaux de drainage en hautes eaux et en basses eaux.

Ces deux types de circulation ont des vitesses très différentes, comme le montre le calcul de la pente de la nappe.

Zones de la nappe	Basses eaux	Pente	Hautes eaux	Pente
Cluse de l'Isère	10 m pour 6 250 m	1,6 ‰	10 m pour 8 750 m	1,14 ‰
Voreppe-Tullins	6 m pour 9 250 m	0,64 ‰	7 m pour 8 500 m	0,82 ‰
Tullins-Rovon circ.axiale	3 m pour 5 000 m	0,60 ‰	5 m pour 7 500 m	0,66 ‰
Tullins-Rovon cir.latérale	4 m pour 3 000 m	1,33 ‰	7 m pour 3 250 m	2,15 ‰

Ces pentes ont été obtenues par calculs sur les cartes piézométriques en hautes eaux (Fig.8,a,b,c) et en basses eaux (Fig. 9 a,b,c).

Dans la Cluse de l'Isère, la faible largeur de la vallée entraîne une vitesse de la circulation de l'eau plus forte, donc une pente plus importante (1,37 ‰), alors que la plaine de Moirans, bénéficiant d'une grande extension a une pente faible dans la zone axiale (0,63 ‰). Ces chiffres correspondent à une moyenne annuelle.

L'importance des apports latéraux est traduite par une circulation latérale à forte pente (1,74 ‰).

Elle se traduit aussi par une remontée de la nappe en hautes eaux différente selon l'endroit considéré. En effet, les chiffres donnés par ce tableau indiquent une pente en basses eaux plus forte qu'en hautes eaux pour la Cluse de l'Isère, ce qui est surprenant, alors que le phénomène est inversé pour la plaine de Moirans. La comparaison de ces pentes avec les indices de battement de la nappe, permet d'expliquer ce phénomène par des apports de versant, importants en hautes eaux, venant du cône de déjection de la Roize à Voreppe, qui diminuent la pente à l'amont et l'augmentent à l'aval par élévation du toit de la nappe. (Fig. 40).

Cette répartition de la nappe en deux zones principales (cluse de l'Isère et plaine de Moirans) et en deux sous-zones d'écoulement axial et latéral est importante car les conditions hydrochimiques se calquent aussi sur ce modèle.

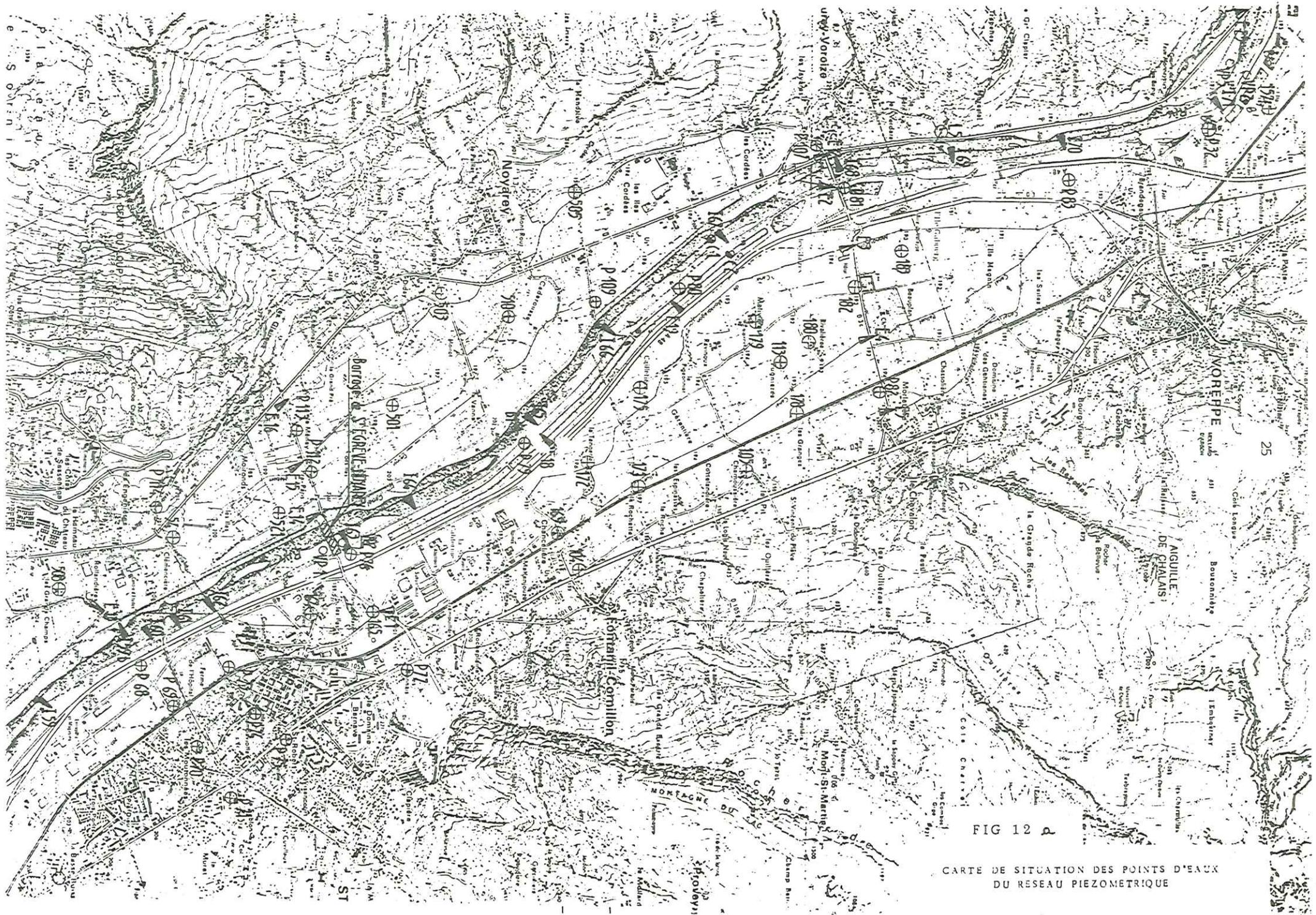


FIG 12 p

CARTE DE SITUATION DES POINTS D'EAUX
DU RESEAU PIEZOMETRIQUE

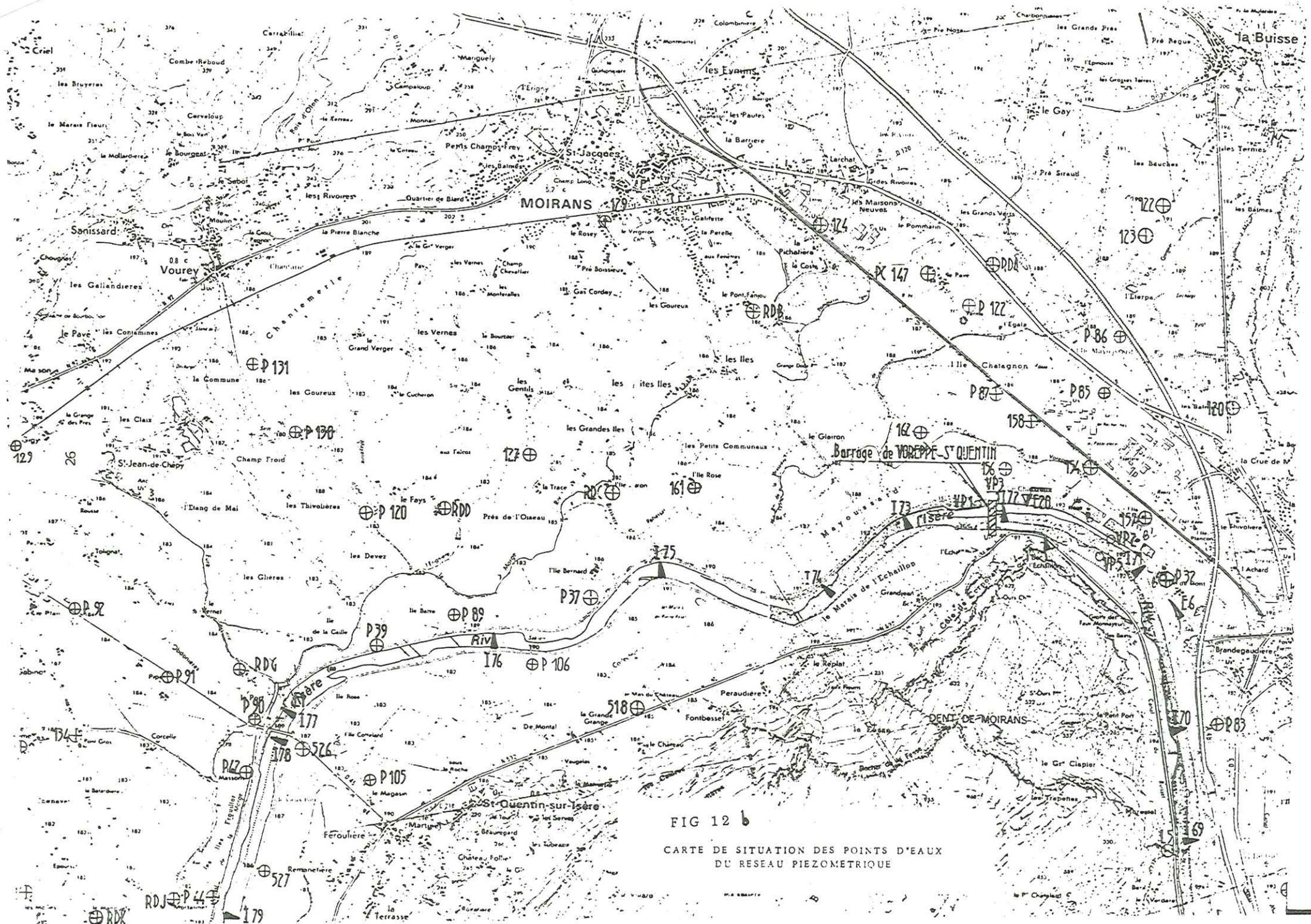
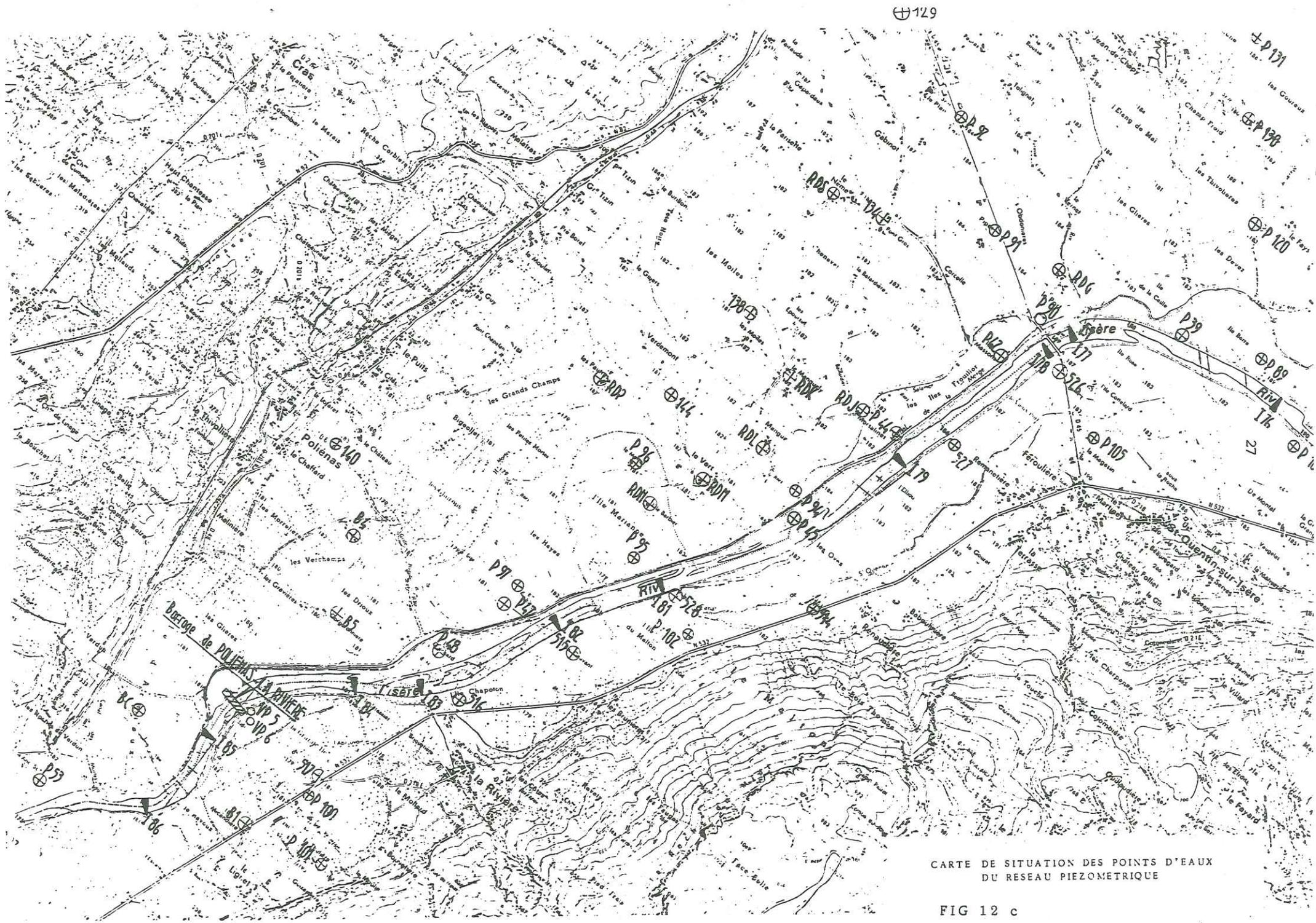


FIG 12 b

CARTE DE SITUATION DES POINTS D'EAUX
DU RESEAU PIEZOMETRIQUE



CARTE DE SITUATION DES POINTS D'EAUX
DU RESEAU PIEZOMETRIQUE

FIG 12 c

II - ETUDE DU COMPORTEMENT HYDROCHIMIQUE DE LA NAPPE

1/ EXAMEN DES CARTES DES IONS MAJEURS

Dans le courant de l'été 1982, en période de basses eaux, il a été possible, grâce à l'amabilité du personnel d'EDF, de faire une série de prélèvements dans tous les piézomètres et puits fermiers de la nappe ; ce qui représente à peu près 110 points visités (fig. 12 a, 12 b, 12 c).

A chaque arrêt, le piézomètre était vidé à la pompe avant de prélever la nouvelle eau. Sur place, température et résistivité étaient mesurées. Chaque échantillon a ensuite été analysé en laboratoire pour connaître la teneur en ions majeurs = Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe_{II} , Fe_{III} , NO_3^- , NO_2^- , HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$, Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$.

Des cartes détaillées ont été établies pour les ions HCO_3^- , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, Ca^{2+} et la température (fig. 13 a, 13 b, 13 c = $^{\circ}\text{C}$); (fig. 27 a,b,c-28 a,b,c-29 a,b,c-42 a,b,c).

Un rapide examen de ces différentes cartes a permis d'obtenir une première vue globale sur la répartition de la minéralisation au sein d'une nappe alluviale.

Toutes les cartes établies dans la Cluse de l'Isère présentent un gradient géochimique axé sur une zone à forte perméabilité située entre Le Fontanil et Le Chevalon.

Les courbes d'isoteneurs en HCO_3^- , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, Ca^{2+} , et d'égales températures dessinent des auréoles concentriques dont les coeurs sont à très faible concentration en ions et à très faible température.

Les causes probables de cette structure concentrique seront examinées dans un chapitre ultérieur de façon détaillée.

Dans la plaine de Moirans, par contre, il a été impossible de trouver un gradient hydrochimique pour toute l'étendue de la nappe à partir des teneurs en ions majeurs. La composition des eaux de chaque piézomètre semble varier indépendamment de celle des piézomètres voisins. Cette observation reflète le caractère hétérogène du dépôt alluvial.

FIG 13 a
CARTE DES TEMPERATURES

JUILLET 1982

13 Courbe d'égale température .

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

== rn 75

---- A 48

— vf

500m

carte 1

NORD

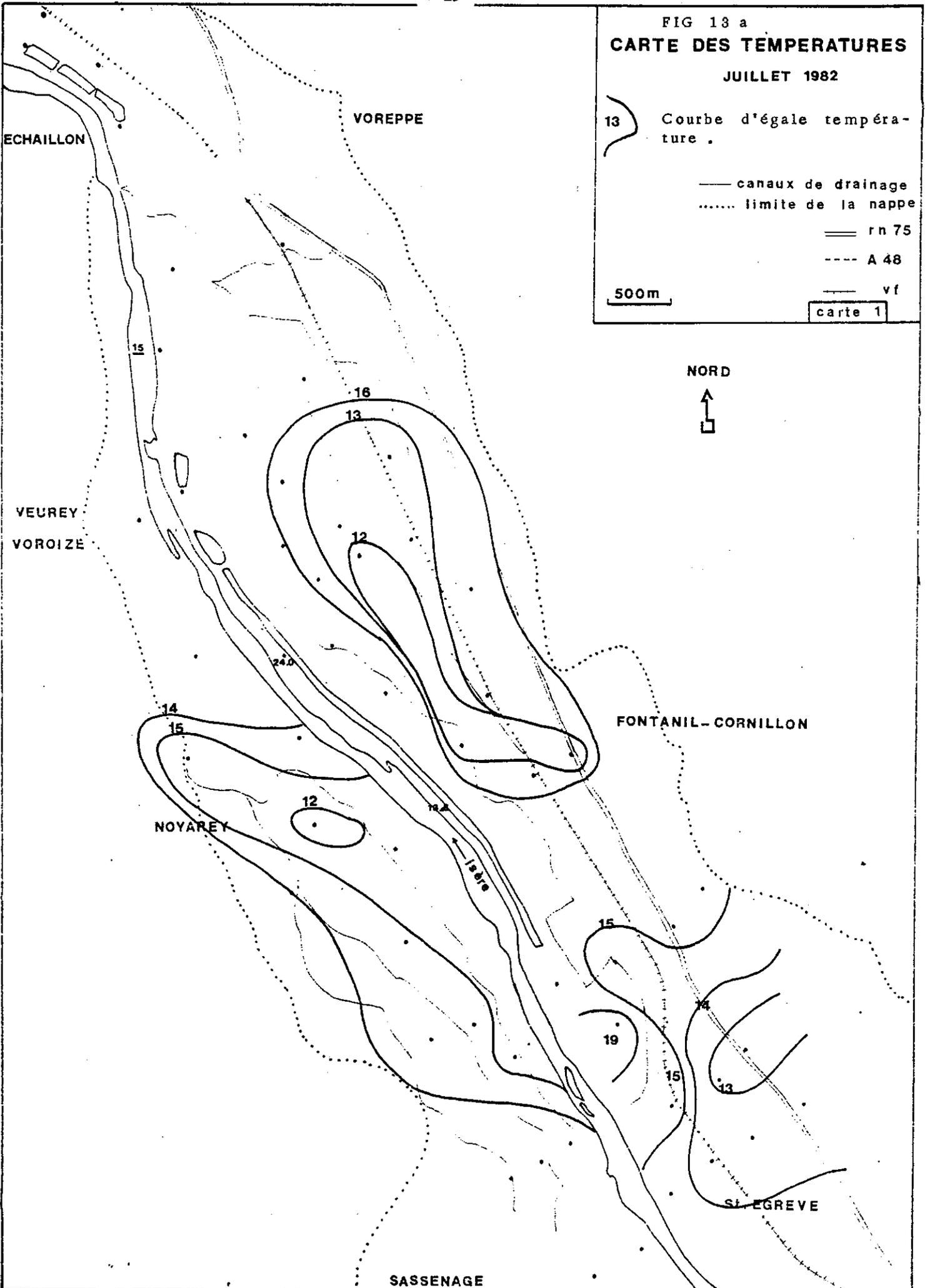


FIG 13 b
CARTE DES TEMPERATURES

JUILLET 1982

13 Courbe d'égale température .

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

--- A 48

==== rn 532

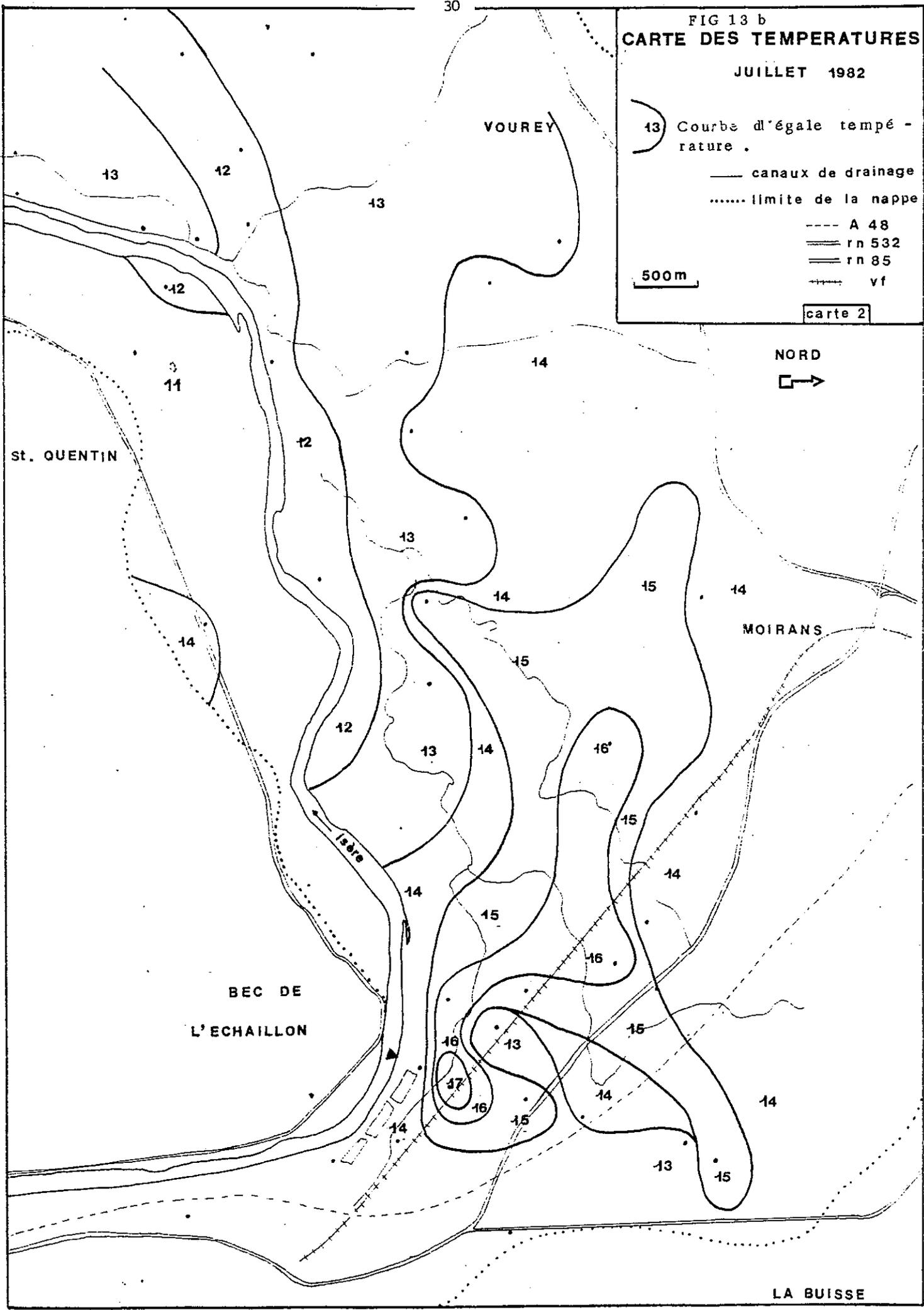
==== rn 85

+ + + + vf

500m

carte 2

NORD



CARTE DES TEMPERATURES

FIG 13 c JUILLET 1982

12 Courbe d'égale température .

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

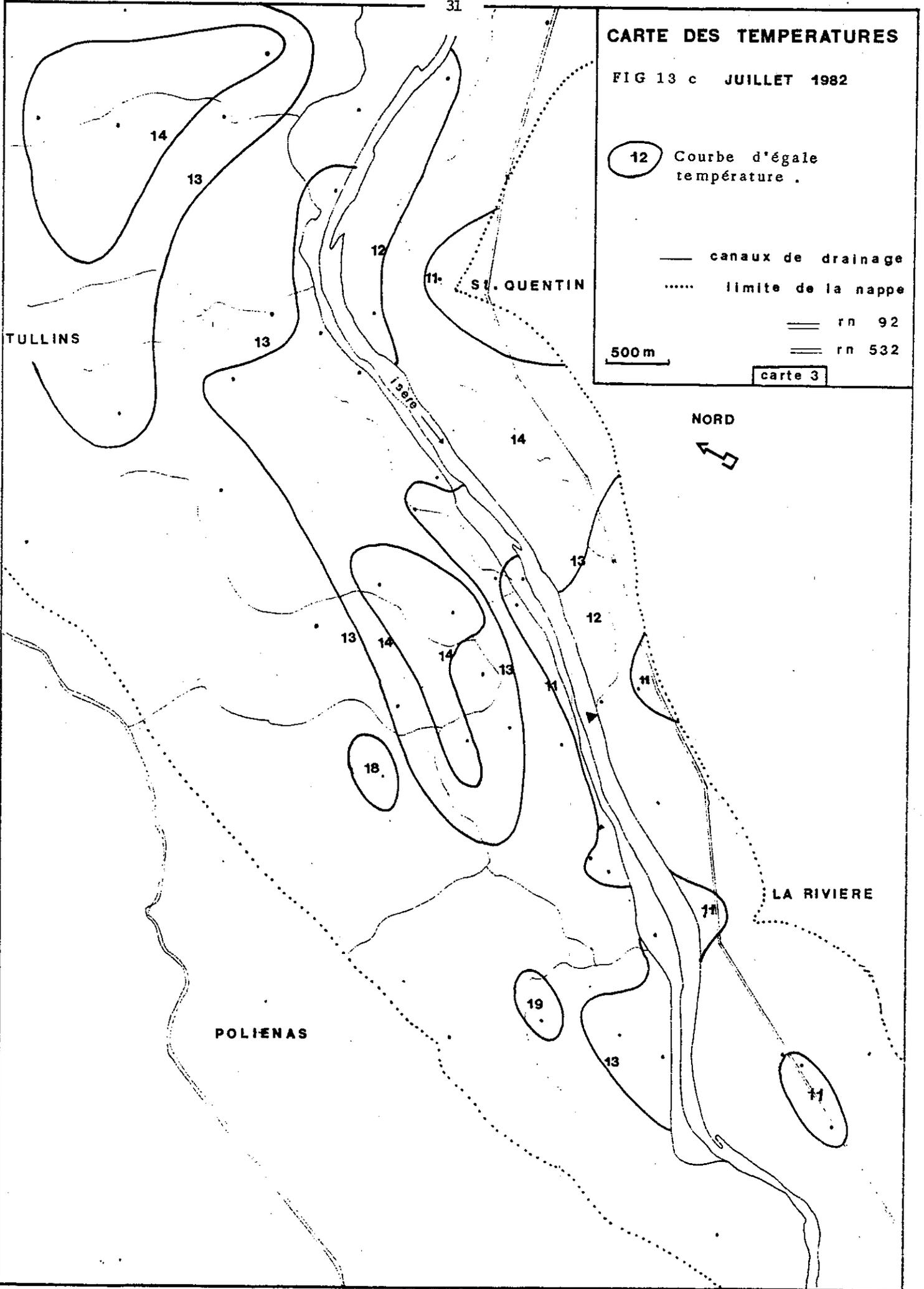
== rn 92

== rn 532

500 m

carte 3

NORD



CARTE DES BICARBONATES

FIG 27a BASSES EAUX

200 Surface d'isoteneur en HCO_3^-

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

== rn 75

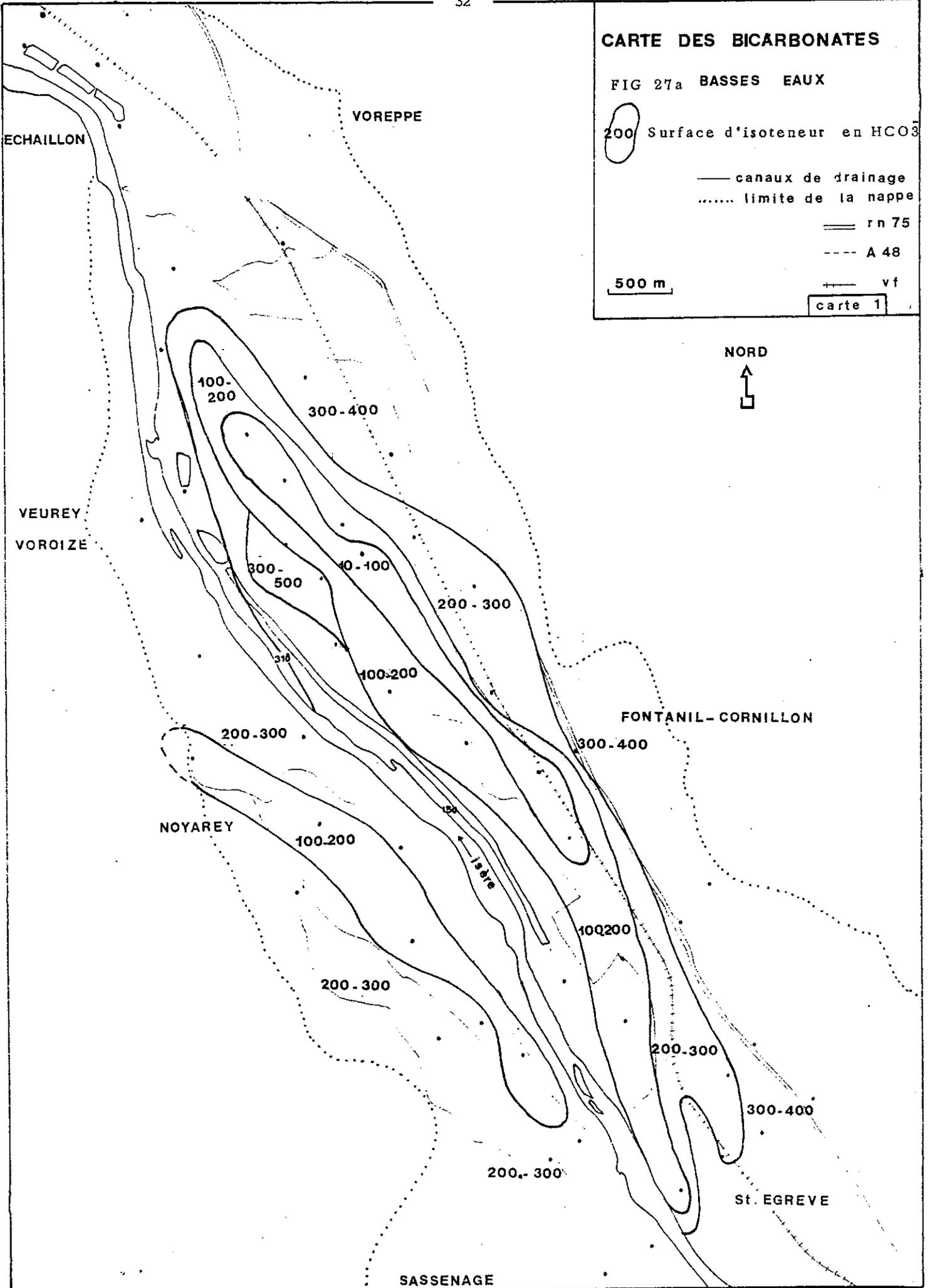
---- A 48

+--- vf

500 m

carte 1

NORD



CARTE DES BICARBONATES

FIG 27 b BASSES EAUX

700 Surface d'isoteneur en HCO_3^-

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

--- A 48

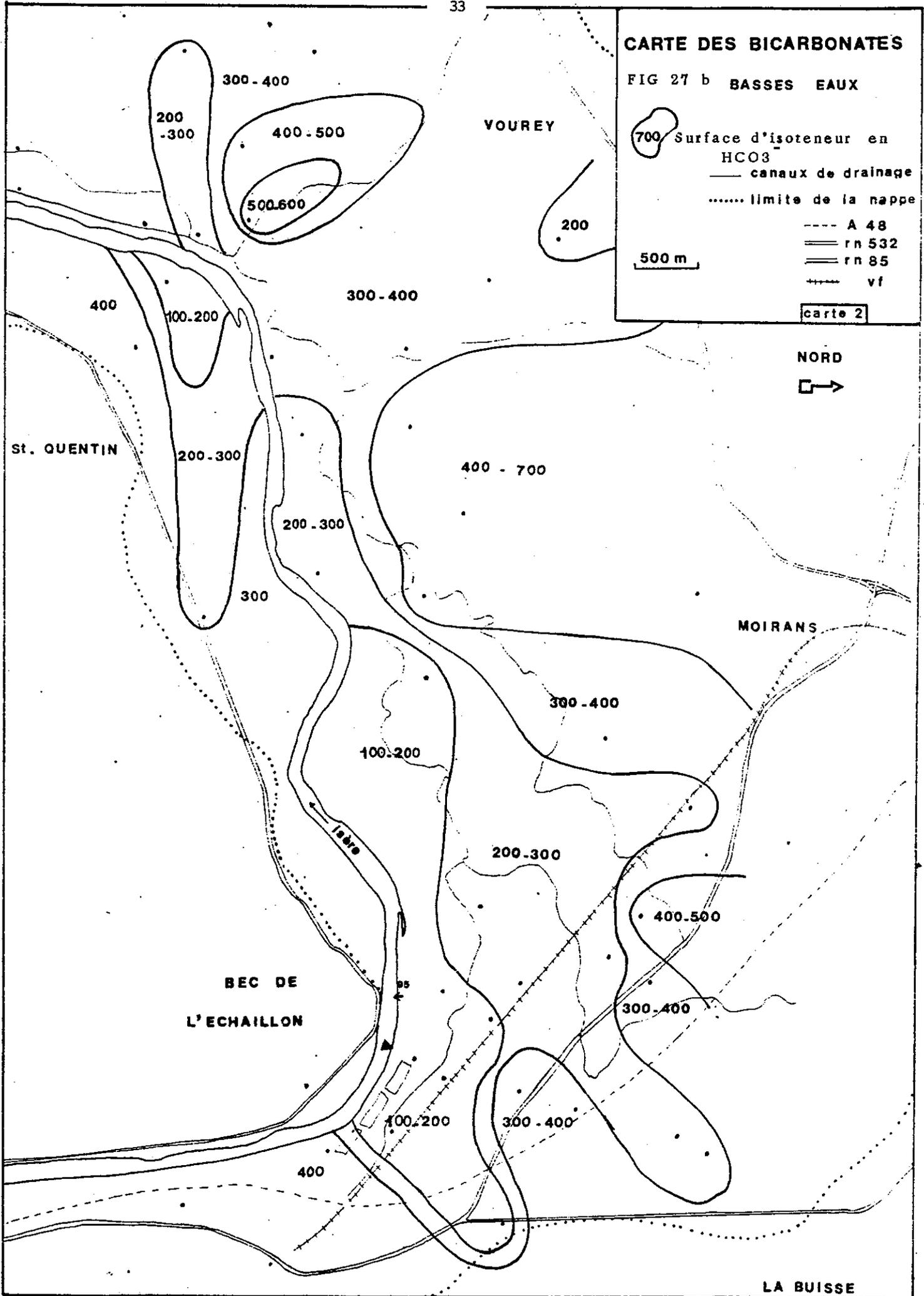
==== rn 532

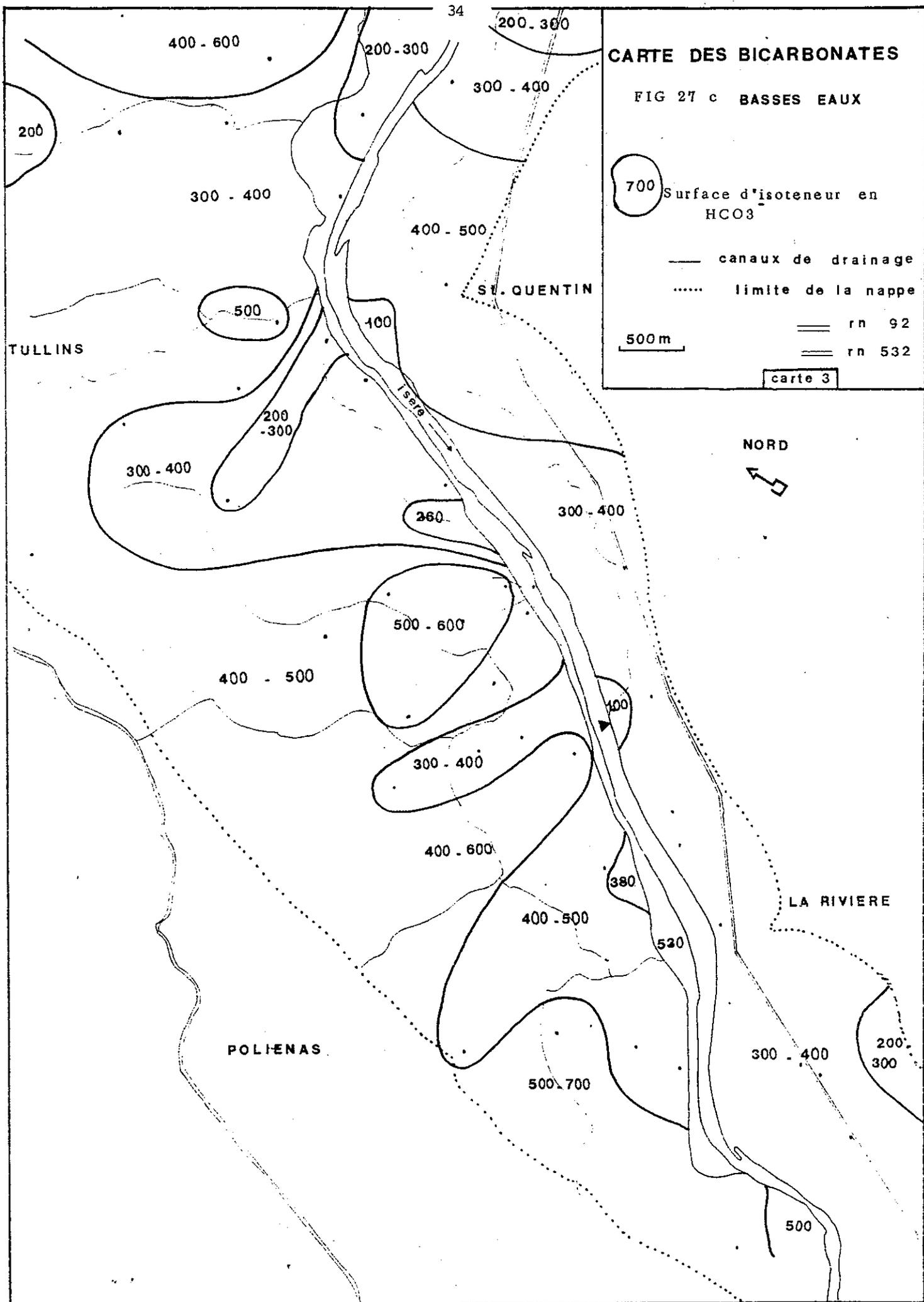
==== rn 85

++++ vf

500 m

carte 2





CARTE DES BICARBONATES

FIG 27 c BASSES EAUX

700 Surface d'isoteneur en HCO_3

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

== rn 92

== rn 532

500m

carte 3

NORD



CARTE DES TENEURS EN SULFATES

FIG 28 a JUILLET 1982

10
50

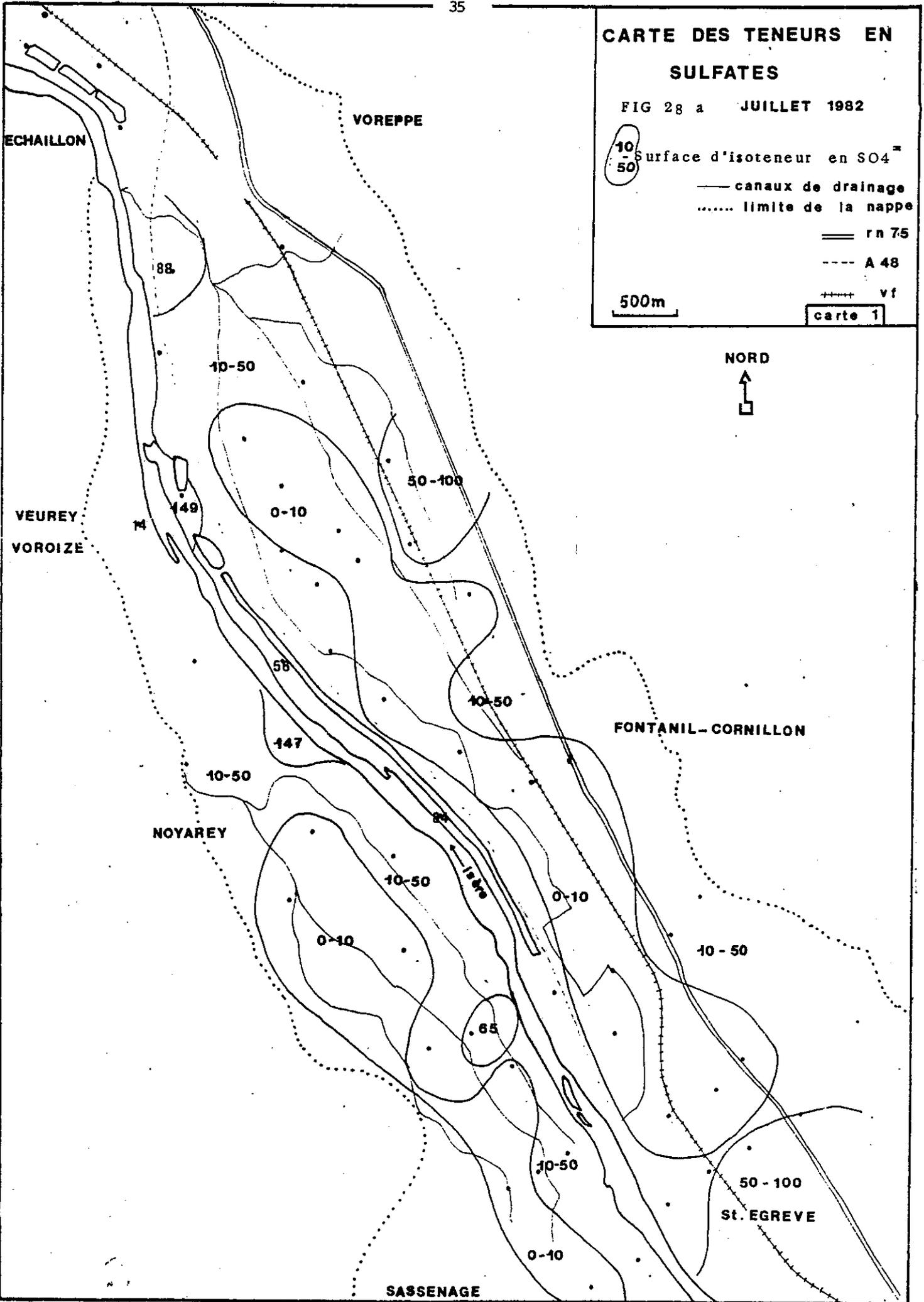
Surface d'isoteneur en SO_4^{2-}

— canaux de drainage
 limite de la nappe

== rn 75
 ---- A 48
 ++++ vf

500m

carte 1



CARTE DES TENEURS EN SULFATES

FIG 28 b JUILLET 1982

10 Surface d'isoteneur en SO_4

50 canaux de drainage

..... limite de la nappe

--- A 48

== rn 532

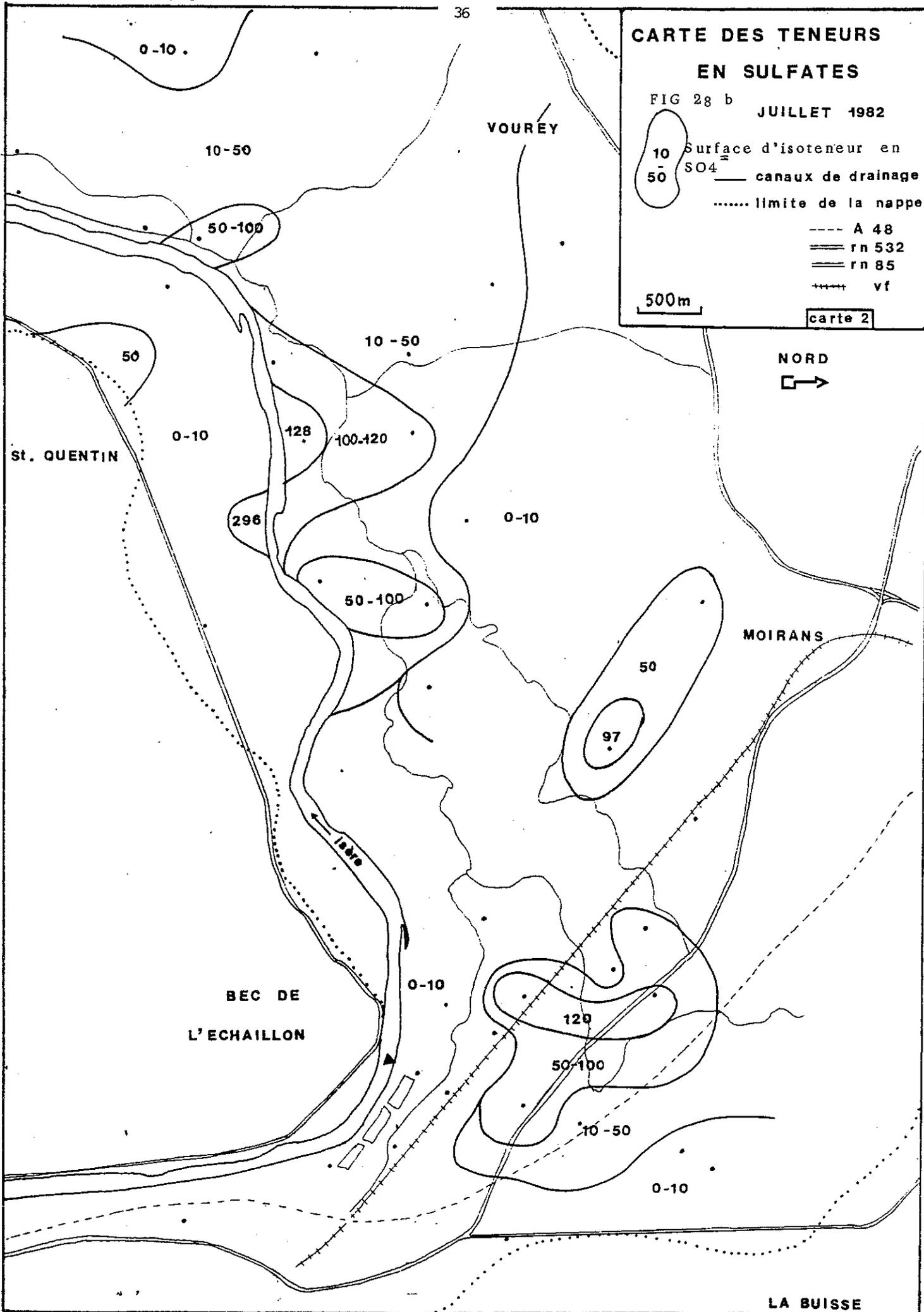
== rn 85

++++ vf

500m

carte 2

NORD



CARTE DES TENEURS EN SULFATES

FIG 28 c JUILLET 1982

0-10 Surface d'isoteneur en $SO_4^{=}$

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

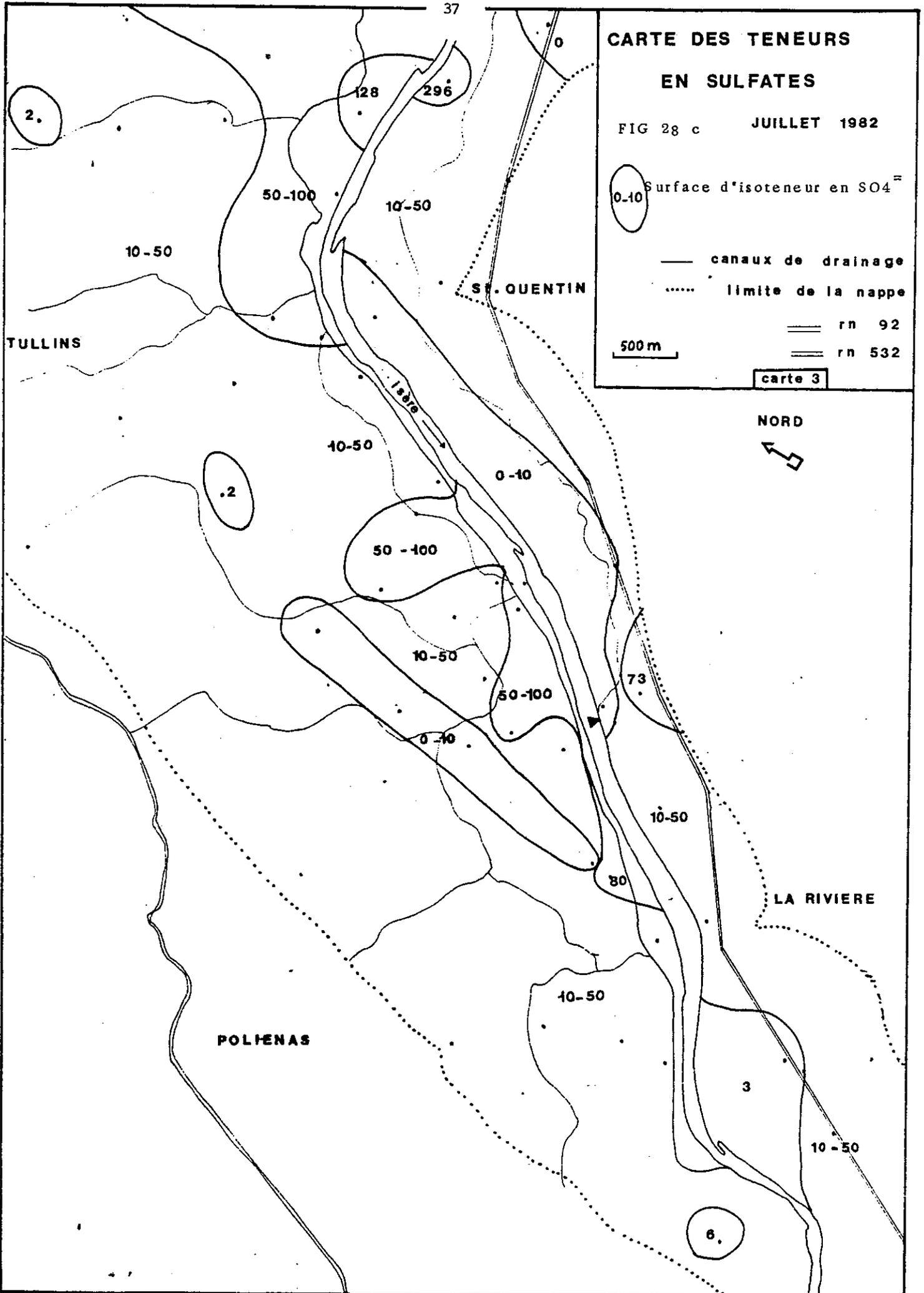
== rn 92

== rn 532

500 m

carte 3

NORD



CARTE DES TENEURS EN CHLORURES

FIG 29 a

JUILLET 1982

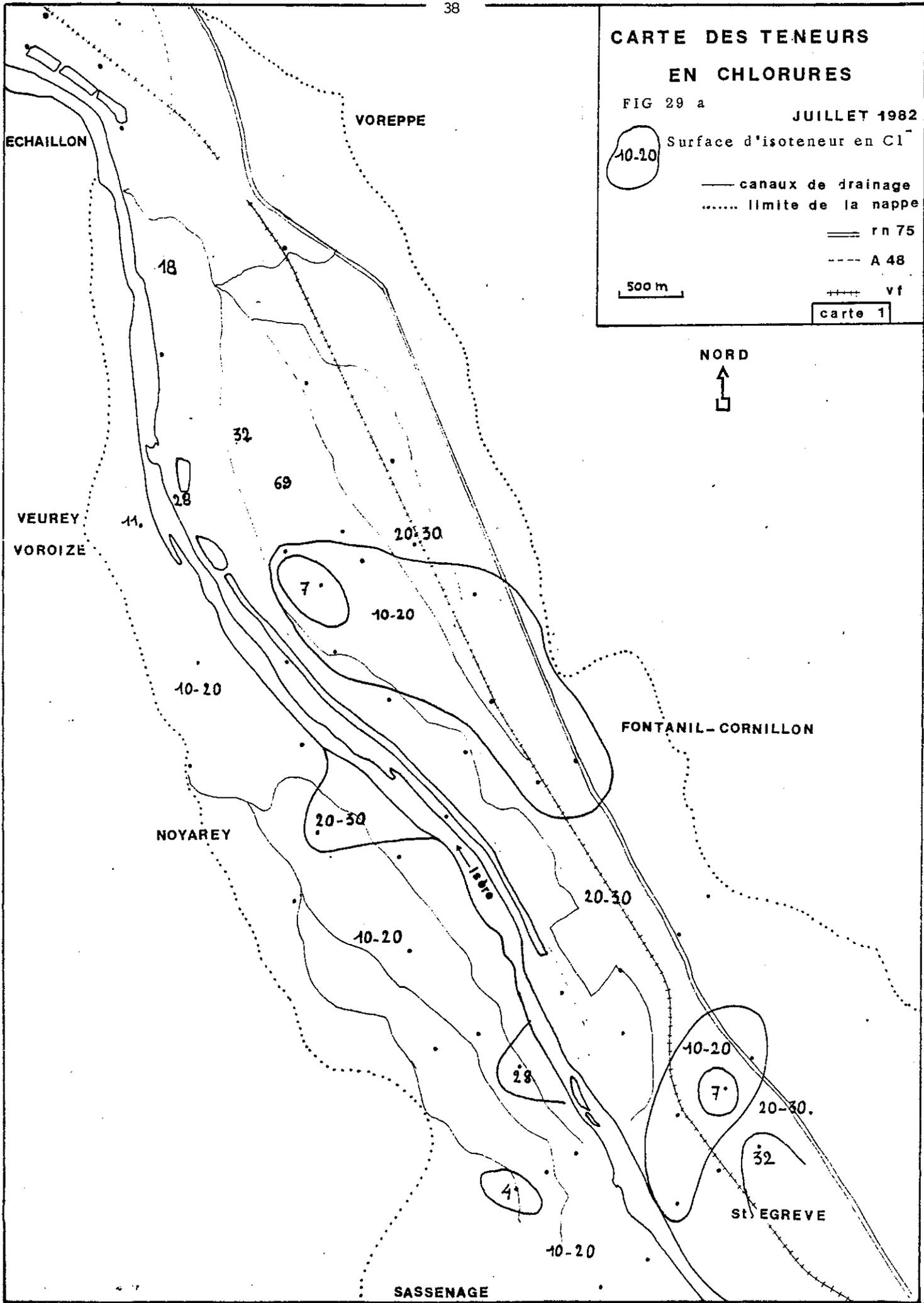
Surface d'isoteneur en Cl⁻

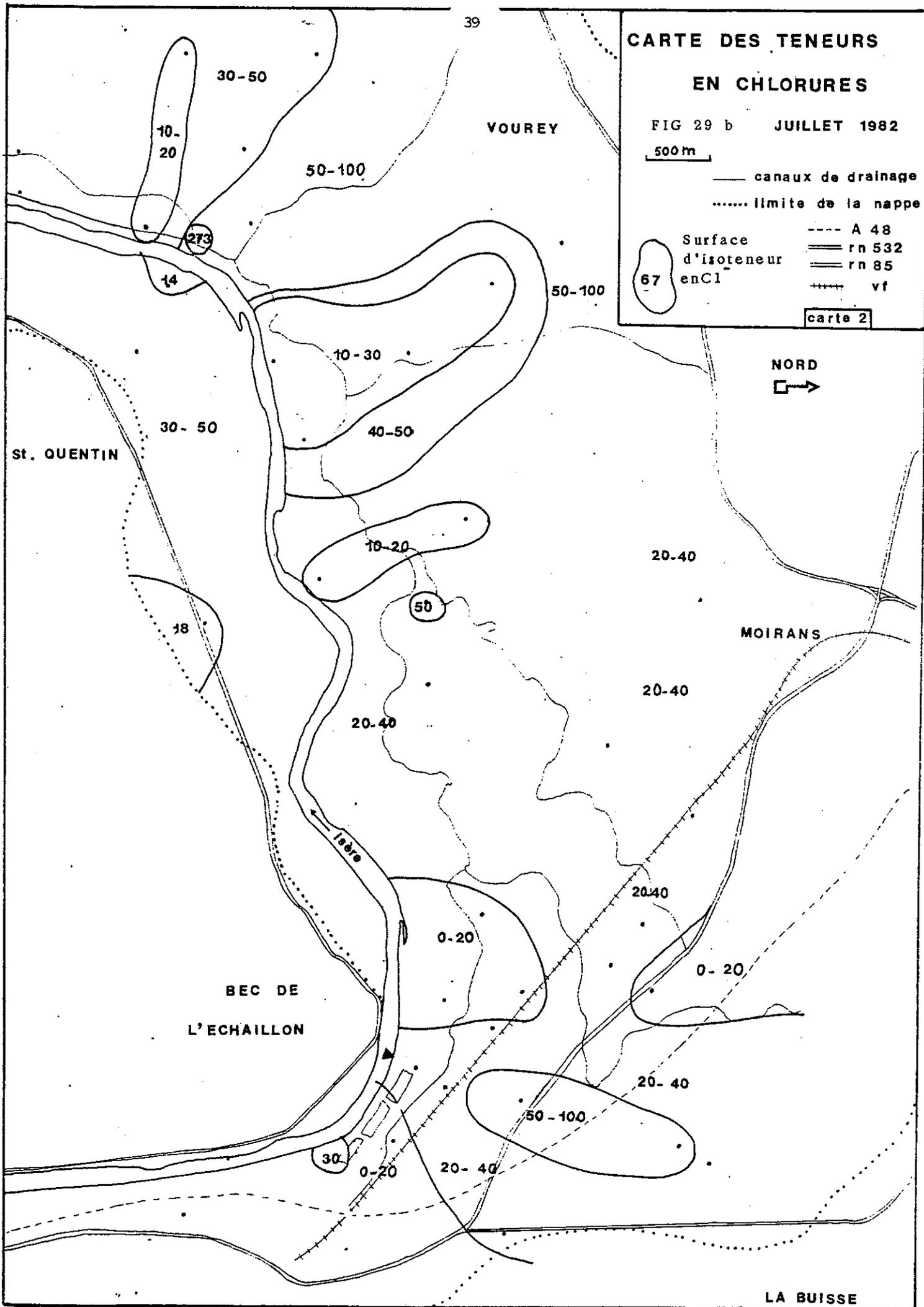
— canaux de drainage
 limite de la nappe
 == rn 75
 ---- A 48
 ++++ vf

500 m

carte 1

NORD





CARTE DES TENEURS EN CHLORURES

FIG 29 c JUILLET 1982

87 Surface d'isoteneur en Cl⁻

— canaux de drainage

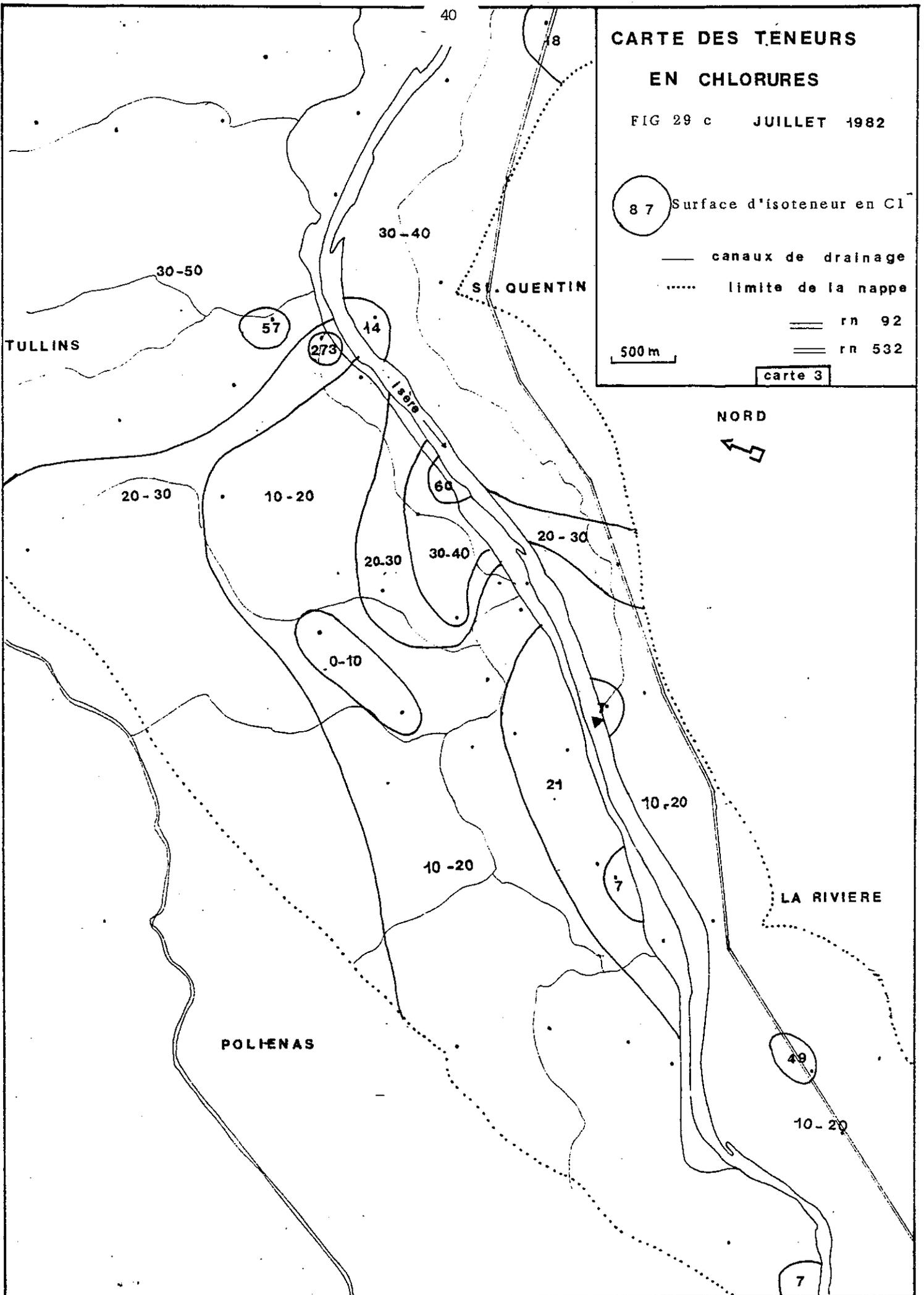
..... limite de la nappe

== rn 92

== rn 532

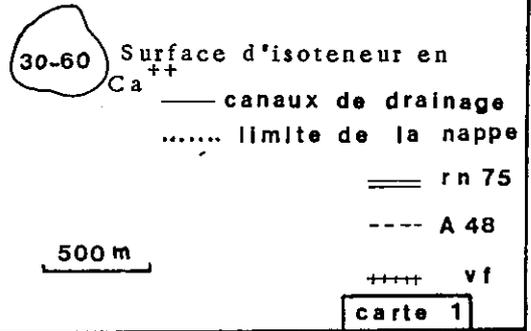
500 m

carte 3



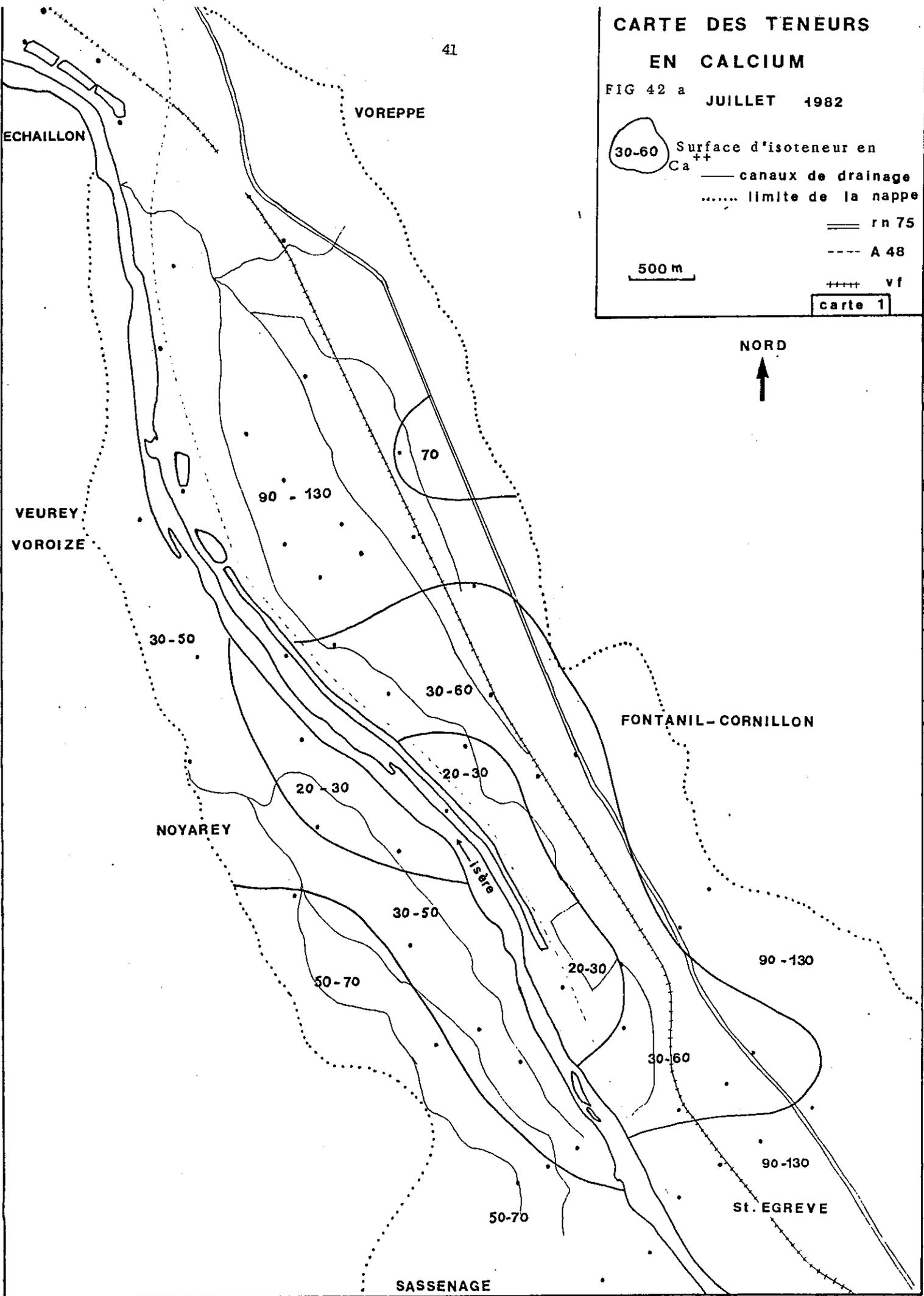
CARTE DES TENEURS EN CALCIUM

FIG 42 a JUILLET 1982



500 m

NORD



CARTE DES TENEURS

EN CALCIUM FIG 42 b

JUILLET 1982 ++

70 Surface d'isoteneur en Ca⁺⁺
78 Teneur en Ca⁺⁺, en mg/l

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

---- A 48

==== rn 532

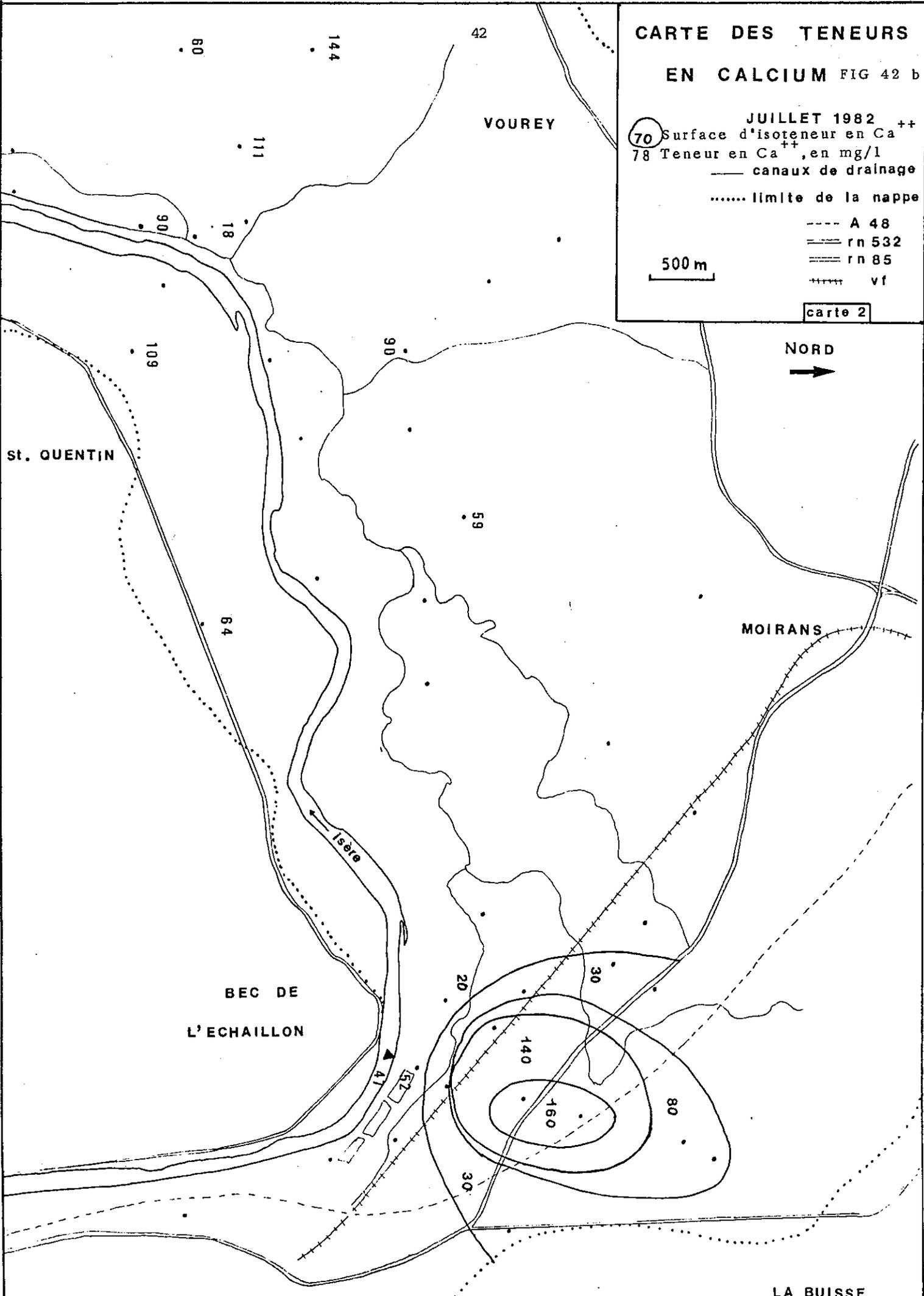
==== rn 85

++++ vf

500 m

carte 2

NORD



CARTE DES TENEURS EN CALCIUM

FIG 42 c JUILLET 1982

78 Teneur en Ca^{++} , en mg/l

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

== rn 92

== rn 532

500m

carte 3

NORD



TULLINS

43

64

90

109

St. QUENTIN

144

111

18

90

1862

60

156

139

67

107

50

15

95

117

LA RIVIERE

138

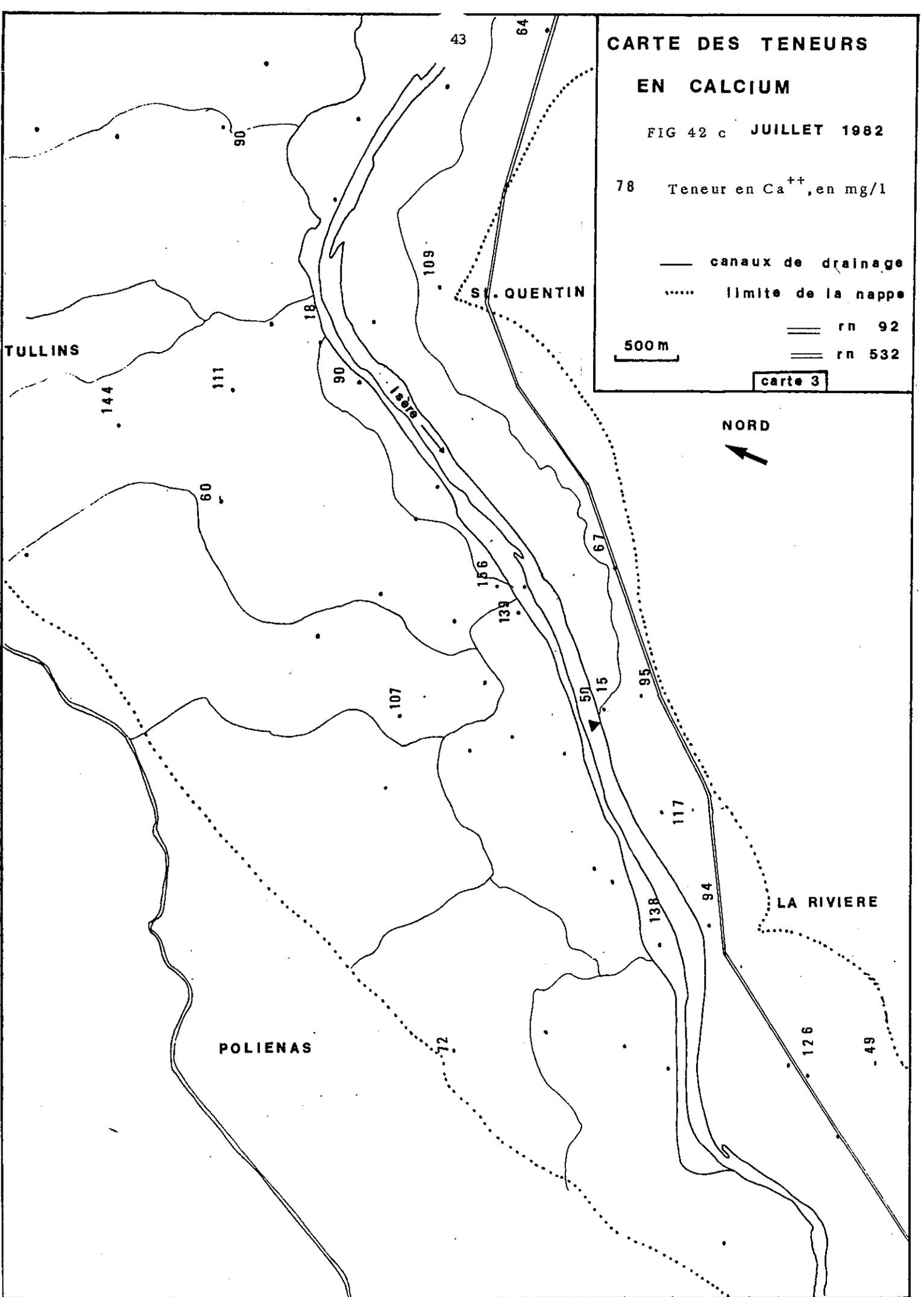
94

POLIENAS

72

126

49



Les variations de minéralisation observées en chaque point semblent traduire l'évolution de la chimie d'une petite portion de nappe seulement et ce, indépendamment des voisines.

Pour appréhender les relations entre toutes ces portions de nappe, il aurait fallu disposer d'une maille de prélèvements plus étroite ; ce que nous interdisait le réseau de puits existant.

De plus il faut noter que dans ce secteur 25 % des points étudiés sont des puits fermiers quelques fois encore utilisés, donc, créant des perturbations au sein de la nappe, ou ne traduisant que des variations dues à ce seul point.

L'étude comparée des cartes de résistivité et des cartes de teneurs en ions permet de corrélérer étroitement la minéralisation totale avec les teneurs en ions HCO_3^- et Ca^{2+} .

Ces 2 ions présentent des variations dans l'espace de leurs teneurs très similaires à celles de la résistivité, témoin de la minéralisation globale.

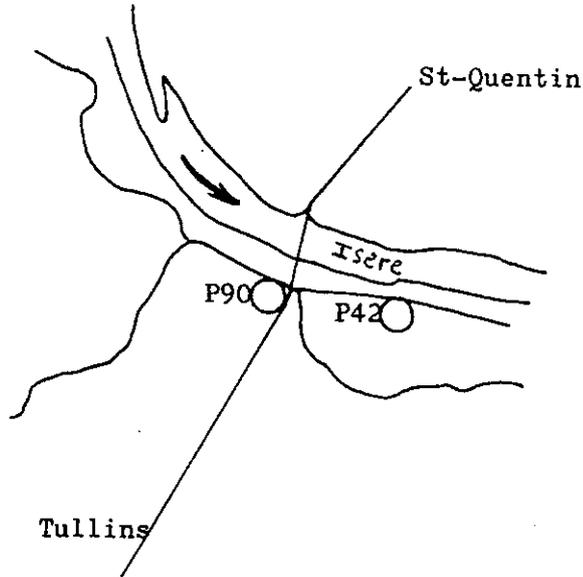
Par contre, en ce qui concerne les teneurs en ions Cl^- , $\text{SO}_4=$, et Mg^{2+} , (pour ne prendre que les ions majeurs), la corrélation avec la résistivité est très faible, et même nulle pour Mg^{2+} .

Ces ions ne sont pas en proportions suffisamment importantes dans l'eau pour que leurs variations entraînent celles de la minéralisation totale. De ce fait, les cartes des variations dans l'espace des teneurs en ions Cl^- , $\text{SO}_4=$, et Mg^{2+} ne confirment pas les résultats obtenus par l'étude des cartes de variations de la résistivité.

De plus les ions Ca^{2+} , HCO_3^- , ainsi que Mg^{2+} , Na^+ , et K^+ sont apportés par réactions entre l'eau et le sable alluvial, alors que les ions Cl^- et $\text{SO}_4=$ proviennent principalement du lessivage de la zone non saturée, (*SCHOELLER, 1962*), (*CANCEILL-LANDREAU, 1978*) soumise aux épendages agricoles ; ils peuvent donc provoquer l'apparition de gradients chimiques beaucoup plus locaux.

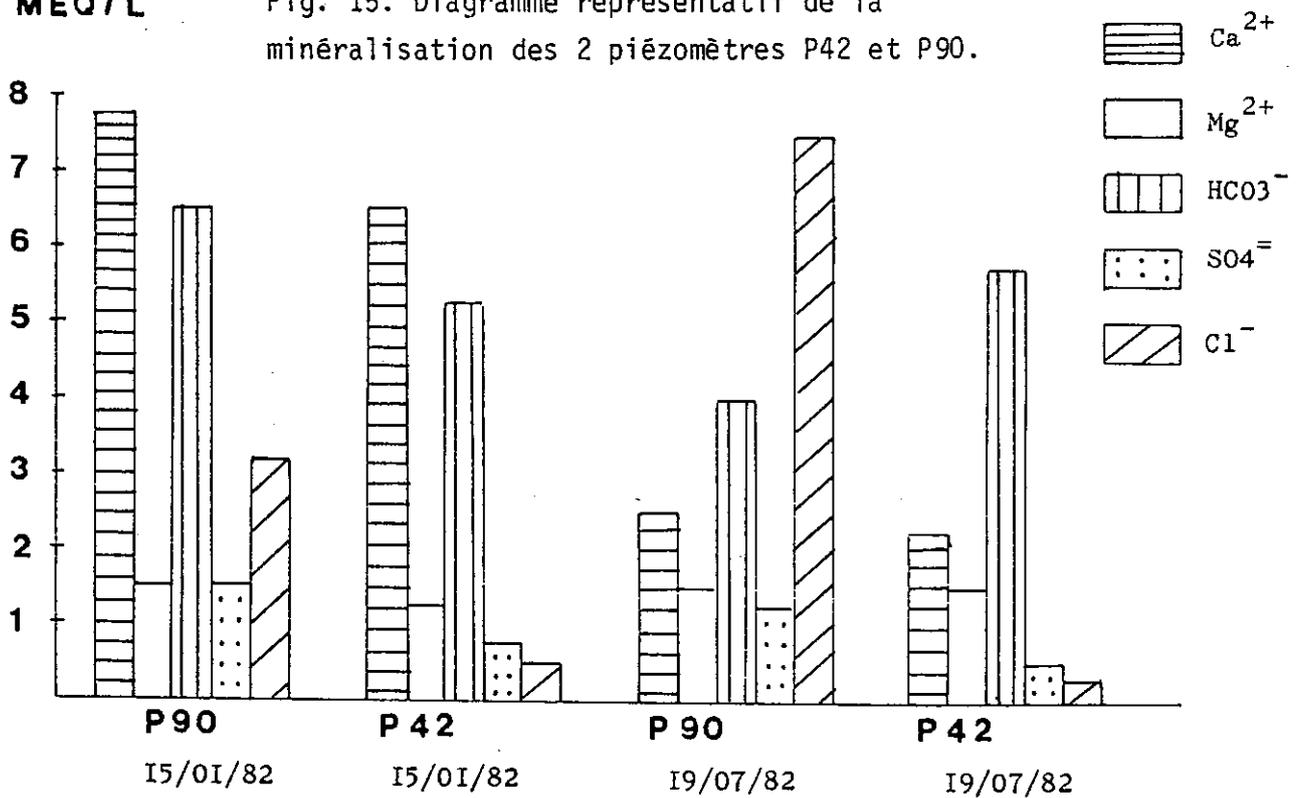
L'écart maximum de température observé entre 2 points distants de 500 m est de 7°C ($12,1^\circ \text{C}$ à $19,3^\circ \text{C}$). Il met bien en évidence notion d'hétérogénéité du milieu alluvial, lorsque l'on travaille à une petite échelle.

Fig. 14 : Plan de situation des piézomètres P42 et P90.



MEQ/L

Fig. 15. Diagramme représentatif de la minéralisation des 2 piézomètres P42 et P90.



2/ ETUDE DE QUELQUES POINTS REPRESENTATIFS DES CARACTERISTIQUES

MOYENNES DE LA NAPPE

Pour compléter ce qui vient d'être noté, nous avons choisi deux autres points situés en rive droite de l'Isère, au niveau du pont reliant Tullins à St Quentin (P 90 et P 42). (Fig. 14, fig. 15).

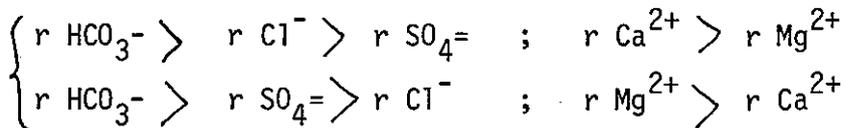
Les eaux de ces 2 piézomètres, distants de 400 m, ont des teneurs en ions (notamment en Cl^-) très différentes en basses eaux. Ce phénomène est analogue mais moins marqué en hautes eaux.

L'étude des rapports caractéristiques et de la formule ionique des eaux prélevées donne une idée globale de la minéralisation de la nappe (RODIER, 1966).

Si l'on essaye de faire une moyenne pour tous les points étudiés, et bien que la minéralisation totale varie beaucoup d'un point à l'autre, dans 90 % des cas le rapport entre les différents ions reste quasi constant et se caractérise par la formule ionique suivante :



Les 10 % restant correspondent à :



Le diagramme suivant, établi avec les teneurs ioniques en milli équivalent par litre (mëq/l), représentant la moyenne de la nappe, correspond d'après J.C. GRILLOT, (1976) à une eau prise dans des alluvions à dominante calcaire.

Mg^{2+}	Ca^{2+}	$\text{Na}^+ . \text{K}^+ . \text{Fe}$	
HCO_3^-		SO_4^{2-}	Cl^-

Dans le détail la fig. 16 donne un aperçu des différentes teneurs que l'on trouve dans la nappe alluviale de l'Isère.

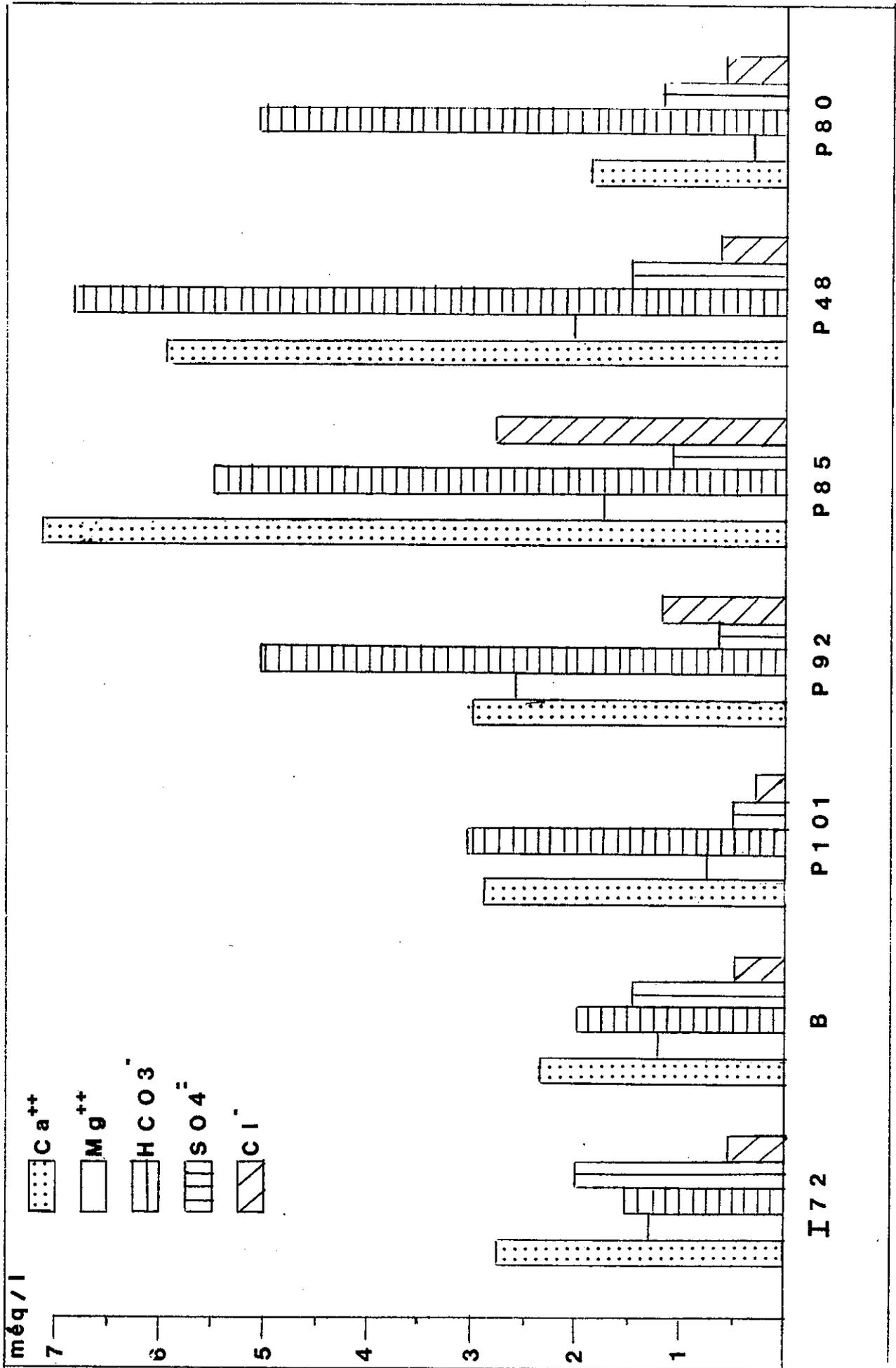


Fig. 16 : Diagramme représentant la minéralisation de l'eau de quelques points de la nappe et de l'Isère.

I 72 = correspond à une prise d'eau dans l'Isère, B dans un bassin de compensation EDF, P 101 à un apport souterrain peu minéralisé issu du Vercors, P 92 à la moyenne de la nappe, P 85 au centre d'une zone hyperminéralisée à vitesse de circulation de l'eau faible, P 48 à une berge de l'Isère en rive gauche, P 80 à une berge de l'Isère en rive droite.

I 72, P 80, P 85, B sont situés en rive droite de l'Isère, à Voreppe.

P 101 en rive gauche à La Rivière.

P 92, P 48 en rive droite à Tullins.

Les concentrations ioniques peuvent doubler d'un point à l'autre de la nappe, mais les variations de la minéralisation sont surtout dues aux variations de HCO_3^- et Ca^{2+} , constituants principaux de l'eau.

Entre P 48 et P 80 la différence essentielle entre les teneurs ioniques vient du colmatage d'une des 2 berges (P 48) entraînant une augmentation de la minéralisation. Par contre lorsque la berge n'est pas colmatée (P 80) la minéralisation est comprise entre celle de l'Isère et celle de la nappe.

3/ CARACTERISTIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

Bien que la minéralisation d'un aquifère alluvial soit très hétérogène, on note cependant que celui de la vallée de l'Isère possède des caractéristiques constantes sur toute son étendue.

* La nappe est fortement minéralisée.

* Sauf quelques cas particuliers, elle est bicarbonatée calcique, témoin d'une circulation de l'eau en milieu alluvial à dominante calcaire.

* Les teneurs en $\text{SO}_4^{=}$, toujours plus faibles que celles en HCO_3^- dans les eaux souterraines, varient énormément au cours d'une année hydrologique, mais ces variations paraissent indépendantes du niveau de l'eau et du cycle hydrologique.

* Les teneurs en ions Cl^- sont fortement soumises aux conditions d'exploitation du sol.

* Tous les autres ions présents dans l'eau (Fe_{II} , Fe_{III} , NO_3^- , NO_2^- ...) sont en quantités négligeables devant celles des ions majeurs (Ca^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, Na^+ , K^+) ; les données étant toutes comparées en mg/l.

Pour l'étude des mécanismes d'acquisition de la minéralisation, seuls les ions majeurs ont été retenus.

* Les teneurs en $\text{CO}_3^{=}$ des eaux de tous les piézomètres sont nulles toute l'année.

Le CO_2 formé en partie dans le sol, quitte son lieu de production soit par échanges gazeux avec l'atmosphère, soit à l'état dissous dans l'eau d'infiltration (M. BAKALOWICZ, 1979).

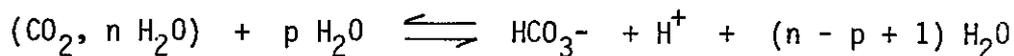
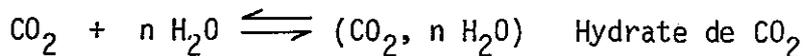
Au contact du solide, l'eau rendue agressive par la présence de CO_2 , permet de libérer les ions Ca^{2+} et $\text{CO}_3^{=}$.

Les ions Ca^{2+} migrent à travers la couche limite et gagnent le cœur de la solution pour y subir des transformations.

Les ions $\text{CO}_3^{=}$ ne subsistent pas dans les conditions habituelles de PH et vont très rapidement réagir avec les ions H^+ disponibles dans la solution selon l'équation :



Ces ions H^+ proviennent de l'hydratation du CO_2 selon :



Les solutions ne sont pas toujours à l'équilibre. Celui-ci dépend du pH de la solution.

Le PH de l'aquifère, compris entre 4,5 et 8,3 dans les eaux naturelles, entraîne un TA négligeable et il est normal d'avoir toujours précipitation des Carbonates entraînant une absence totale des ions $\text{CO}_3^{=}$ dans la nappe quelque soit le lieu et l'époque considérés. (A.F. CHOUTEAU, 1982).

4/ CARACTERISTIQUES DES EAUX SUPERFICIELLES

Les caractéristiques chimiques des eaux superficielles sont liées à la nature géologique des terrains dont elles sont issues et qu'elles traversent. Commodément les hydrogéologues utilisent les résultats des analyses d'eau pour en déceler l'origine, dans la mesure où il n'y a pas eu de rejets polluants.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Températures en degrés Celsius	6,4	6,4	7,2	8,0	11,0	12,8	14,7	14,9	12,9	11,9	8,0	7,5
	6,8	6,8	7,9	9,8	12,4	14,2	15,4	16,5	13,2	10,8	8,8	7,9
Conductivités en μ S/cm -1 à 20°C	558	726	738	576	576	342	368	466	510	353	677	590
	678	656	734	552	534	365	380	460	497	538	632	650
Calcium en mg/l	71	119	88	75	15	38	38	55	60	82	77	75
	97	27	72	55	67	41	53	54	55	72	74	77
Magnésium en mg/l	14	15	13	13	52	9,5	4	16	15	12	11	13
	5	107	28	25	17,5	13	12	19,5	16,5	13	14	11
Sulfates en mg/l	105	187	210	100	121	46	124	96	74	73	155	140
	120	135	187	98	79	55	91	102	69	99	116	118
Chlorures en mg/l	10	26	28	25	30	9	18	19,5	36	29	32	20
	17	20	34	9	32	9	18	21,5	32	22	25	20
Bicarbonates en mg/l	166	159	177	167	140	98	95	93	114	120	135	145
	160	201	185	190	143	126	118	104	128	159	162	162
T H T en degrés français	23	30	27	24	25	13	11	20	21	23	24	23
	26	18	29	24	24	16	18	21,5	21	23	24	25
T A C en degrés français	13,6	13,0	14,5	13,7	11,5	8	7,8	7,6	9,3	9,8	11,1	11,9
	13,1	16,5	15,2	15,6	11,7	10,3	9,7	8,5	10,5	10	13,3	13,3

Tab.3 Moyennes mensuelles des principales caractéristiques des eaux de l'Isère.

-Prélèvement au niveau de Voreppe, en rive droite. (I.72)

-Prélèvement au niveau de La Rivière en rive gauche. (I.81)

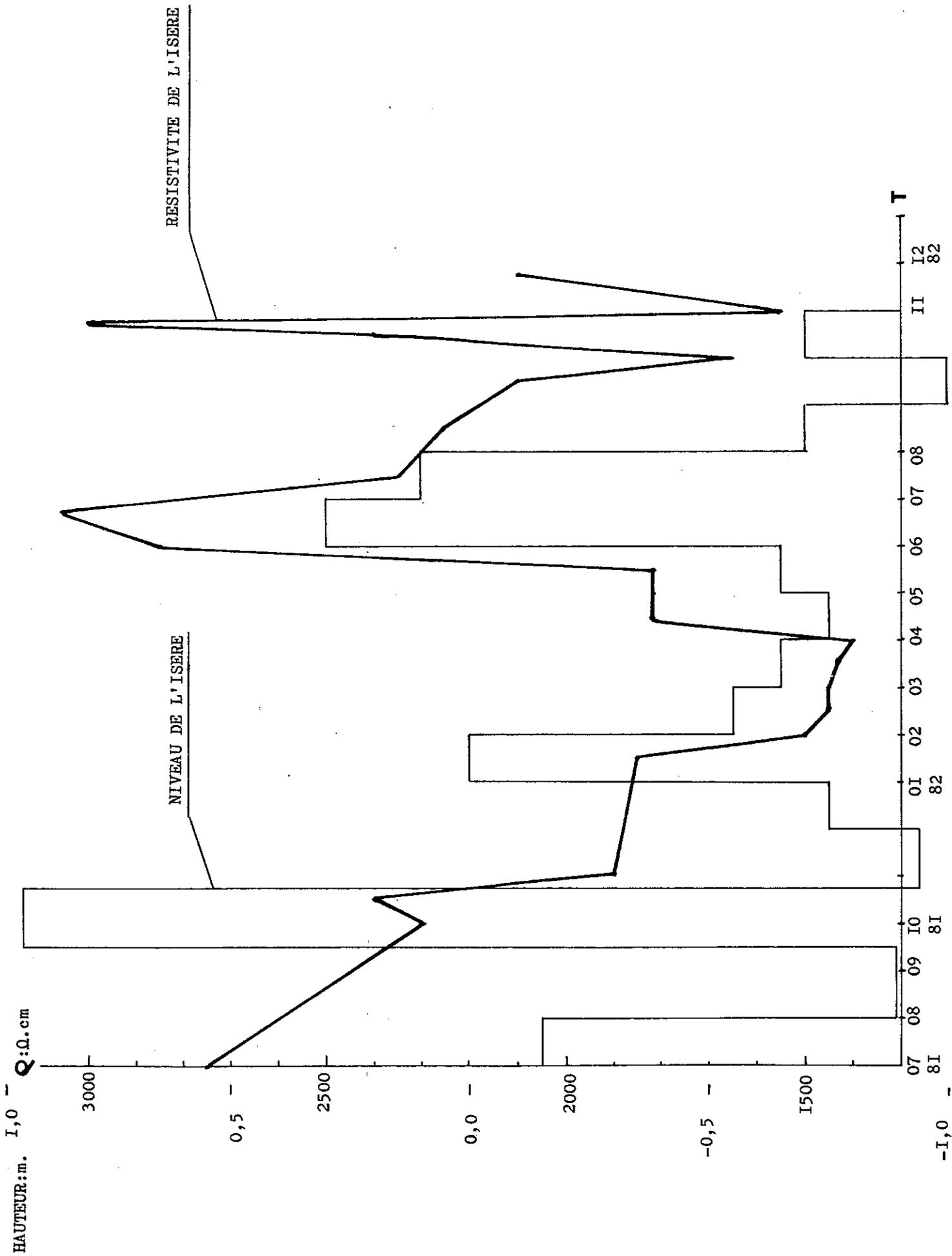


Fig. 17 : Variations saisonnières du niveau de l'eau et de la résistivité de l'Isère

La minéralisation des eaux de surface subit des variations saisonnières importantes liées au régime hydraulique ainsi qu'aux précipitations (fig. 17).

Au cours d'une année hydrologique, aux faibles débits correspondent les minéralisations les plus élevées et inversement, mais cette relation est masquée par des variations brusques du niveau auxquelles ne correspondent pas toujours des variations analogues de la résistivité ; cela est dû notamment aux lâchers des barrages EDF en amont de la vallée de l'Isère, qui apportent un fort volume d'une eau stockée pendant un temps plus ou moins long. Les eaux restituées en hiver sont celles accumulées en été.

Le régime nivopluvial de l'Isère est donc partiellement masqué par ces arrivées brusques d'eau provenant des barrages situés en amont de Grenoble (et spécialement sur le Drac).

Les eaux de l'Isère subissent alors 4 variations de minéralisation : une dilution par les eaux de fonte de neige au printemps et par les précipitations, une concentration jusqu'en automne, une brusque dilution ponctuelle en automne due à la fois aux précipitations et aux apports des barrages puis une concentration progressive jusqu'au printemps suivant (fig. 18 ; fig. 19 ; Tab. 3).

L'alimentation de la nappe par les cours d'eau superficiels est bien visible lorsque ceux-ci viennent des versants par l'intermédiaire des cônes de déjection. Leur eau, peu minéralisée, sert de traceur des apports à la nappe.

Les eaux de l'Isère, ayant une minéralisation plus forte, ont des caractéristiques voisines de celles de la nappe. Les zones d'alimentation privilégiée de celle-ci par la rivière sont matérialisées, soit par les zones d'élévation des teneurs en Sulfates, soit par les cartes piézométriques.

En effet, les eaux superficielles ont des teneurs en Sulfates supérieures à celles en carbonates. Les eaux souterraines présentent le phénomène inverse (fig. 20).

L'Isère et ses affluents circulent sur des terrains où ils se chargent en Sulfates, notamment sur les gypses triasiques et les schistes pyriteux du

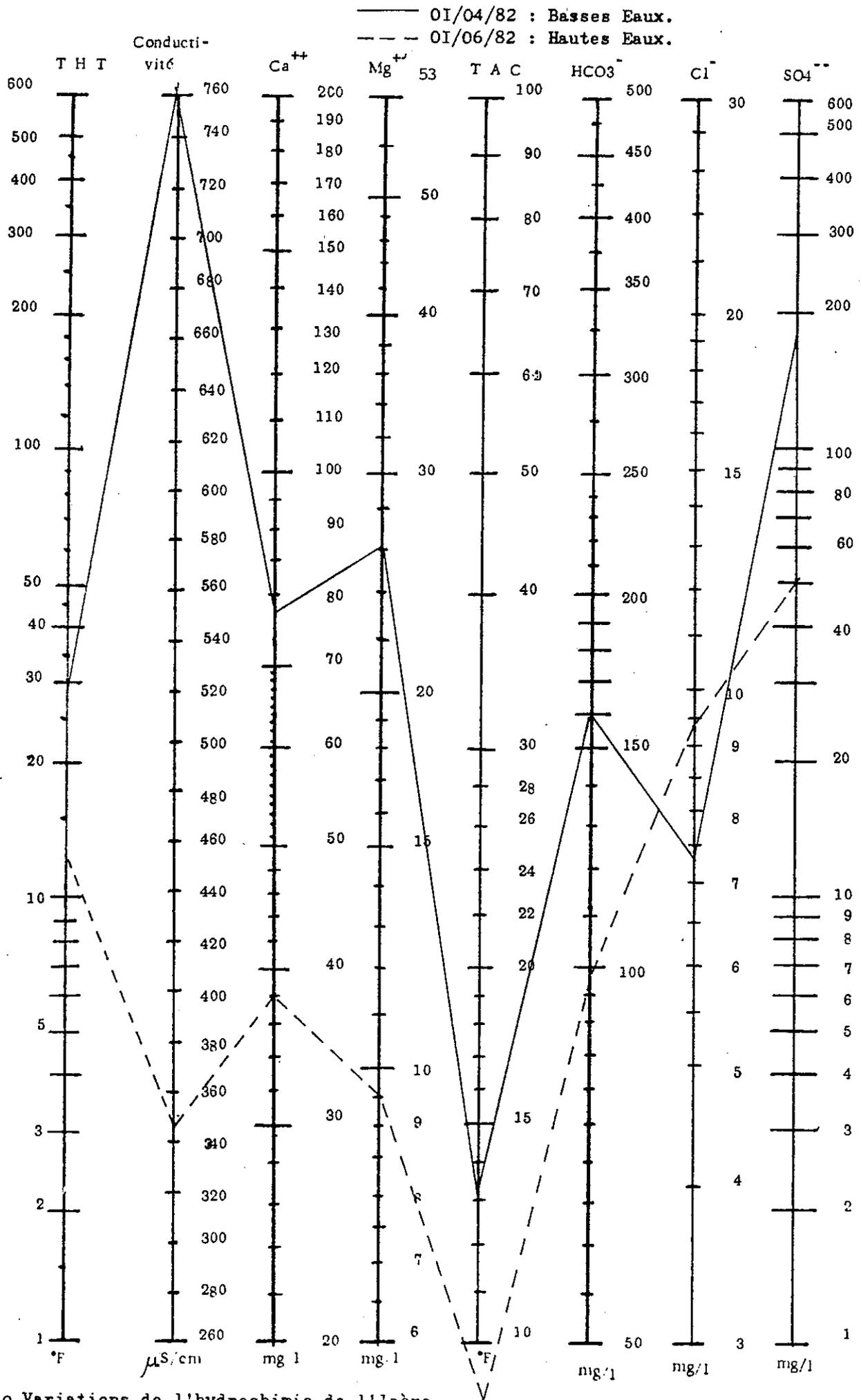


Fig. 18 Variations de l'hydrochimie de l'Isère (Hautes Eaux-Basses Eaux)

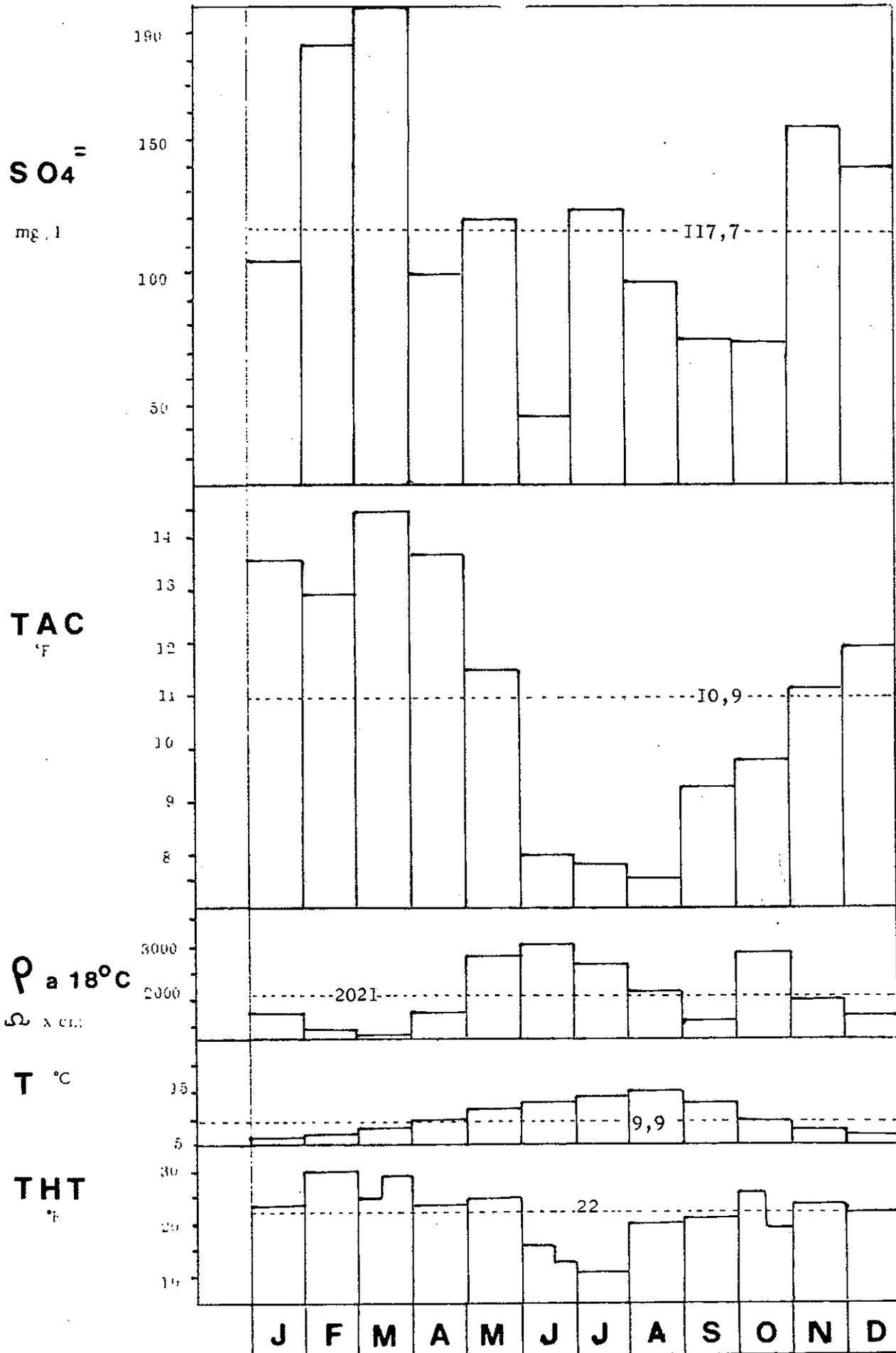


Fig. 19. Variations saisonnières des caractéristiques hydrochimiques de l'Isère. (1.72)

Lias du massif alpin (B. BOSCH, JY et F. CORDEAU, J.C. FOURNEAUX, A. MARCE, J. SARROT-REYNAULD, 1972).

Ces eaux de surface sont séléniteuses et calcaires. Leur agressivité au carbonate de calcium est bien nette. L'eau dissout CaCO_3 , entraînant une augmentation de la teneur en HCO_3^- , une diminution relative de celle en $\text{SO}_4^{=}$, une diminution de l'agressivité, et enfin une augmentation de la minéralisation totale.

Le rapport $\text{SO}_4^{=} / \text{HCO}_3^-$, supérieur à 1 pour les eaux superficielles, devient inférieur à un pour les eaux souterraines.

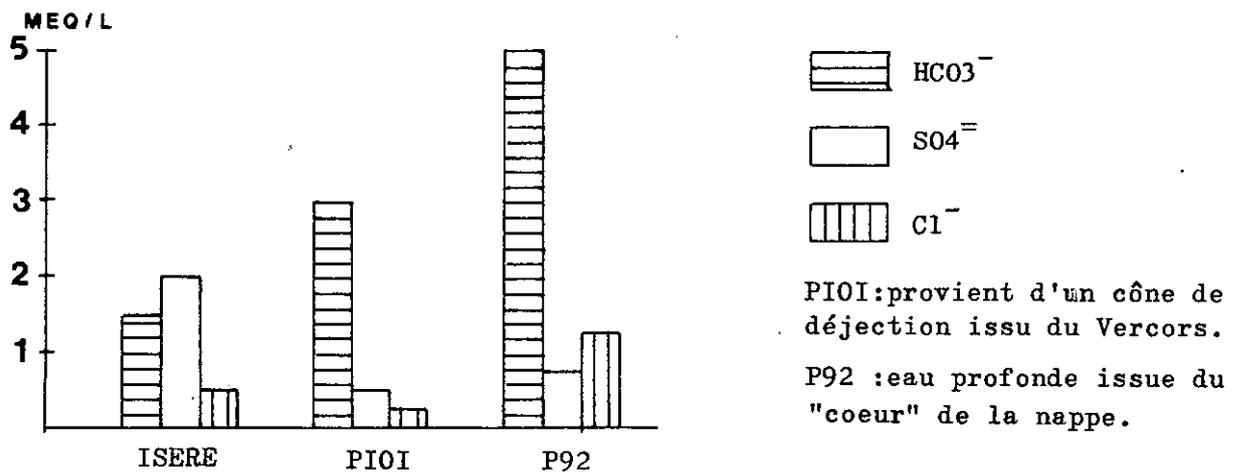


Fig. 20 : Comparaison des teneurs en anions de l'Isère, de l'eau d'un cône de déjection, et de l'eau de la nappe.

FIG. 8 a
NAPPE PHREATIQUE
DU 05 AU 10 JANVIER 82
HAUTES EAUX

Echelle: 1/25000

- canaux de drainage
- limite de la nappe
- == rn 75
- - - A 48
- vf

500m

carte 1

NORD

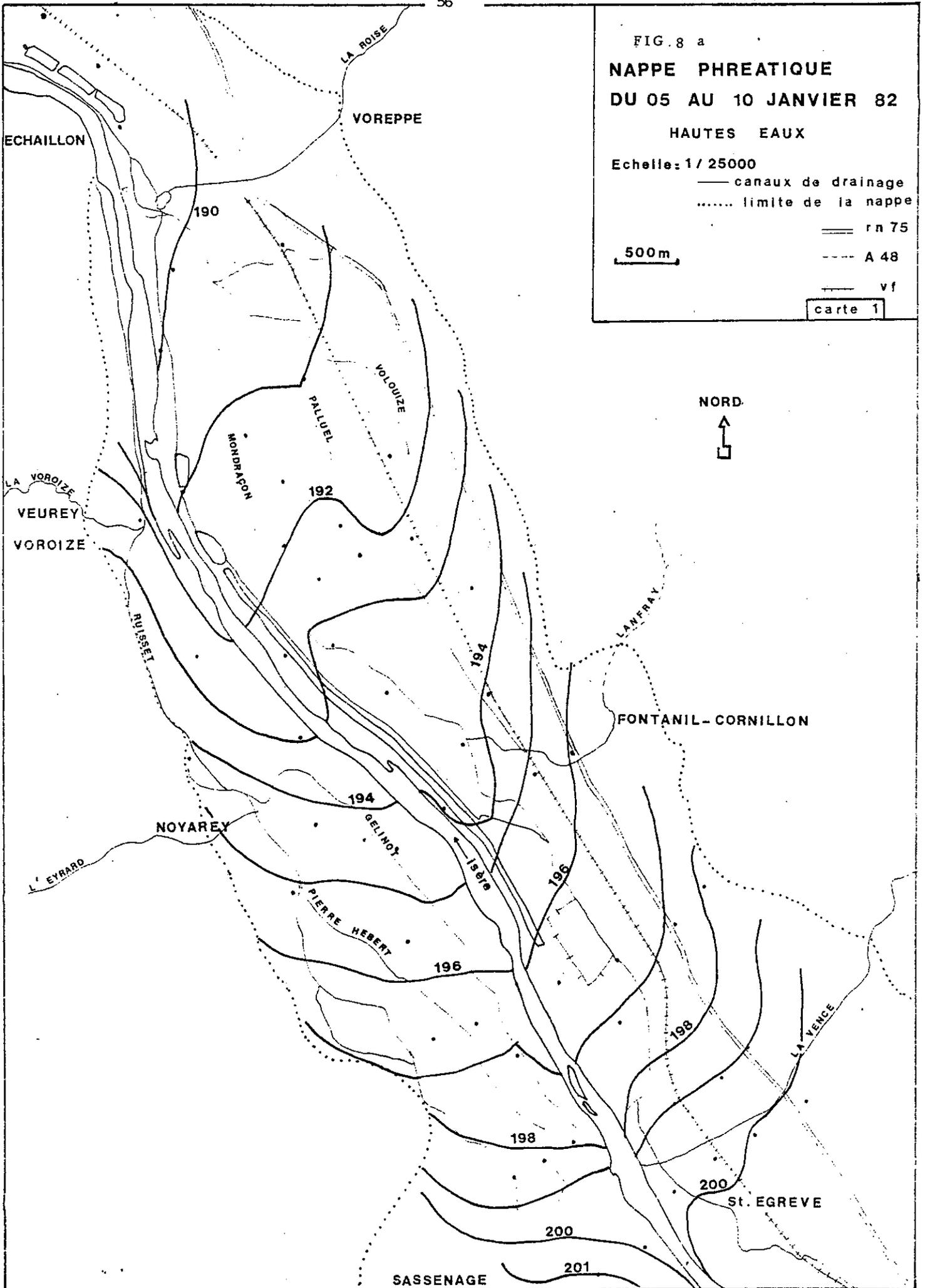


FIG 8 b
NAPPE PHREATIQUE
DU 05 AU 10 JANVIER 82
HAUTES EAUX

Echelle: 1/25000

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

--- A 48

== rn 532

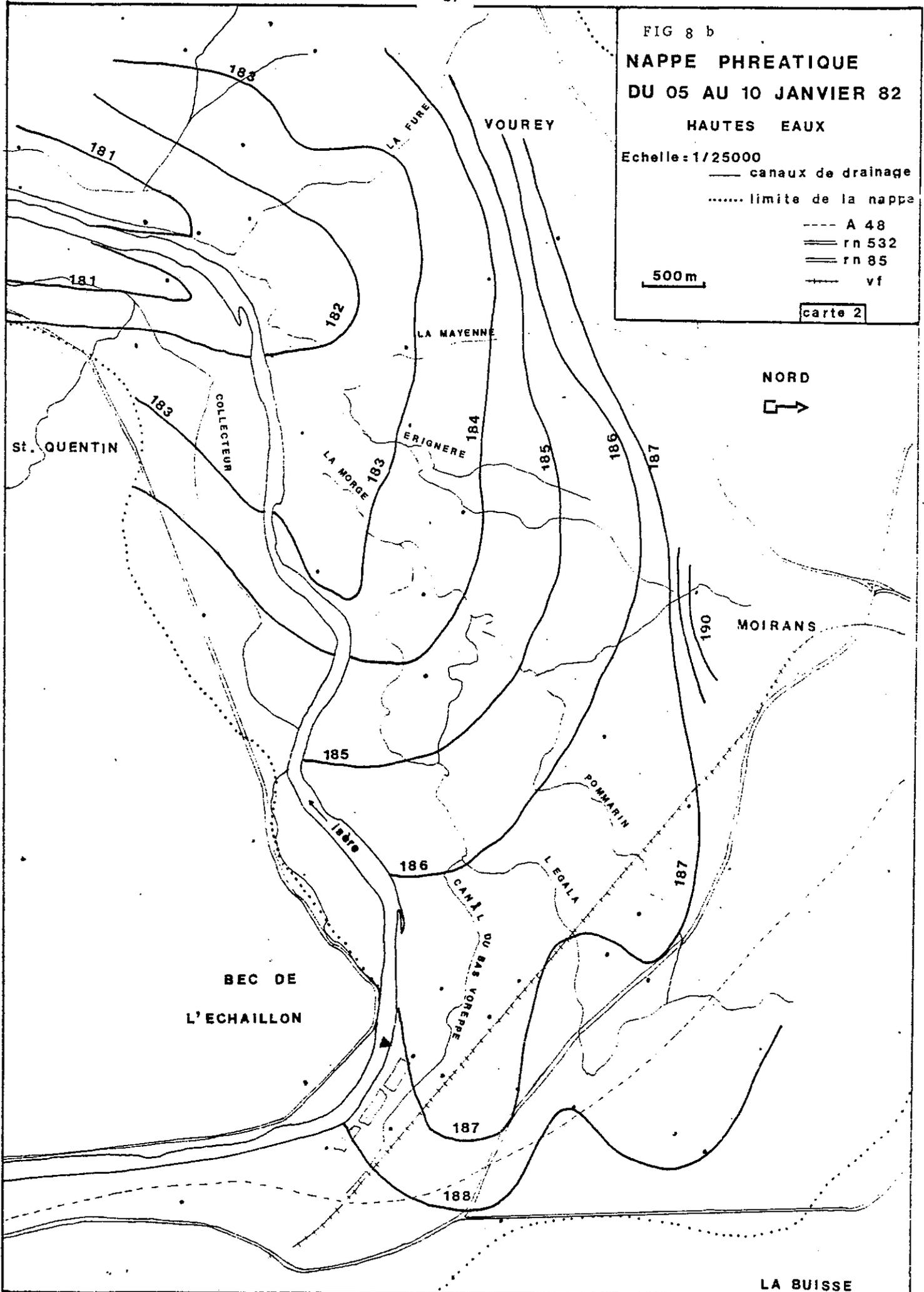
== rn 85

--- vf

500 m

carte 2

NORD



BEC DE
L'ECHAILLON

LA BUISSE

FIG 8 c
NAPPE PHREATIQUE
DU 05 AU 10 JANVIER 82
HAUTES EAUX

500 m

- canaux de drainage
- limite de la nappe
- == rn 92
- == rn 532

carte 3

NORD

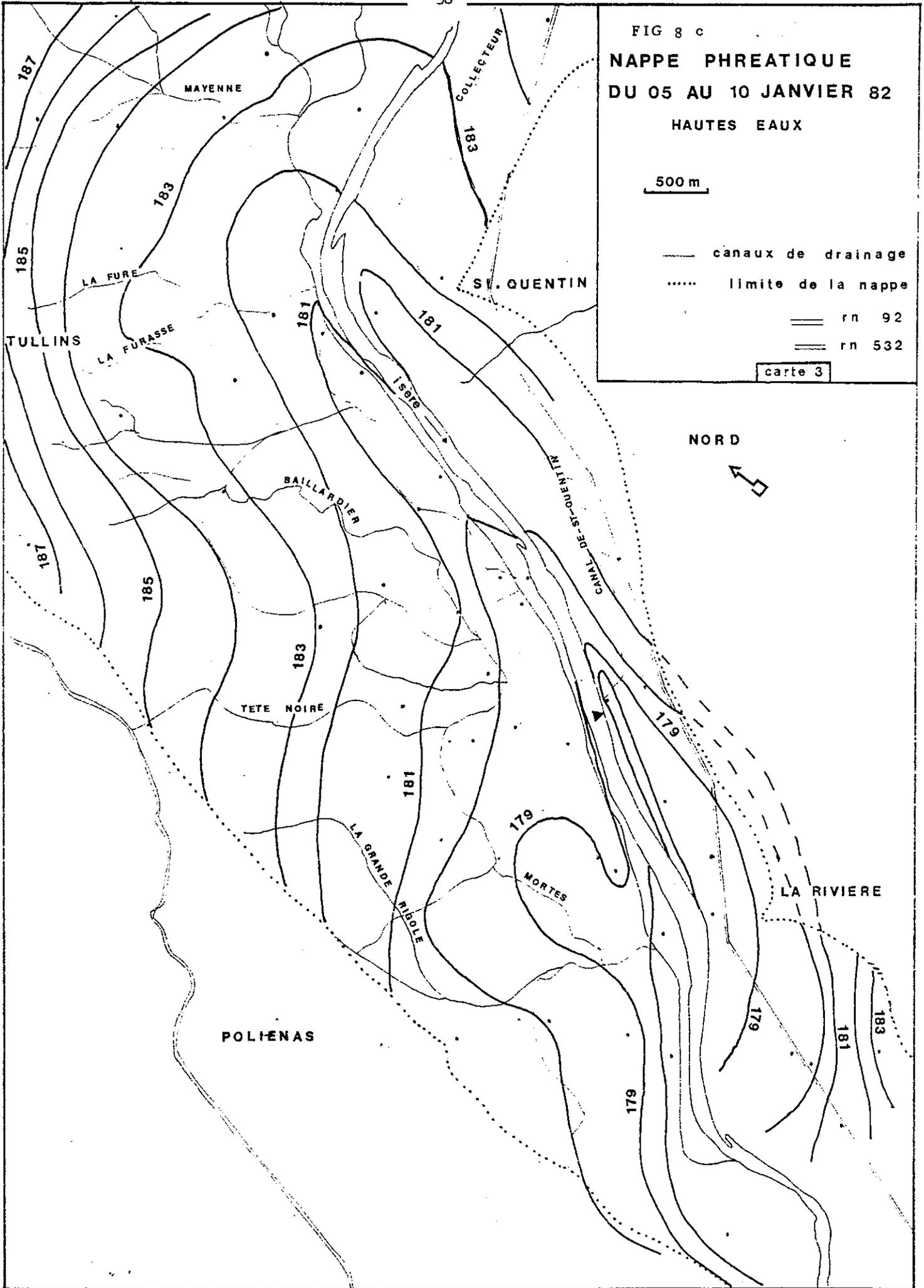


FIG 9 a
NAPPE PHREATIQUE
DU 19 AU 26 JUILLET 82
BASSES EAUX

— canaux de drainage
 limite de la nappe
 == rn 75
 - - - A 48
 — vf

500 m

carte 1

NORD

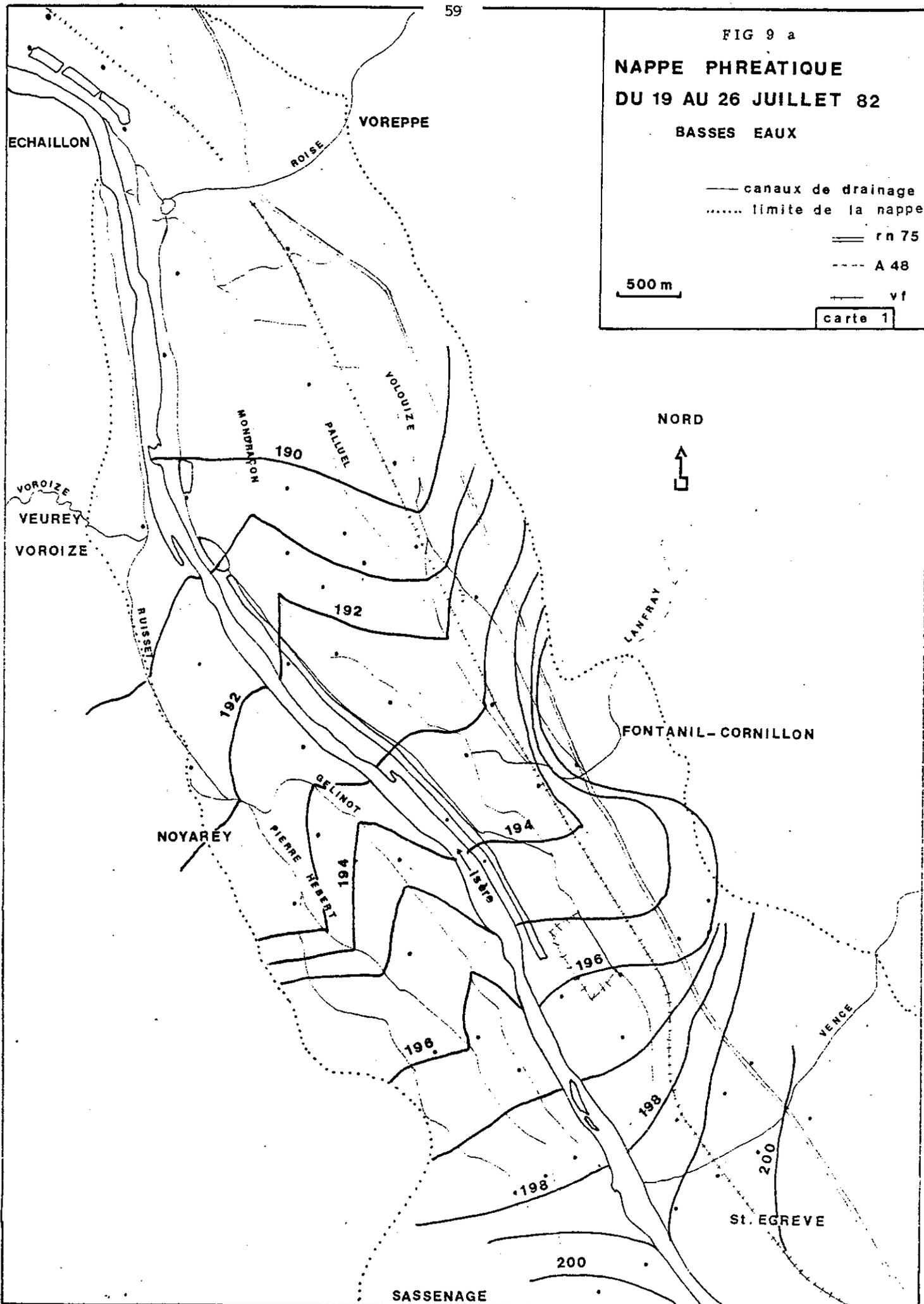


FIG 9 b
NAPPE PHREATIQUE
DU 19 AU 26 JUILLET 82
BASSES EAUX

- canaux de drainage
- limite de la nappe
- A 48
- ==== rn 532
- ==== rn 85
- vf

500 m

carte 2

NORD

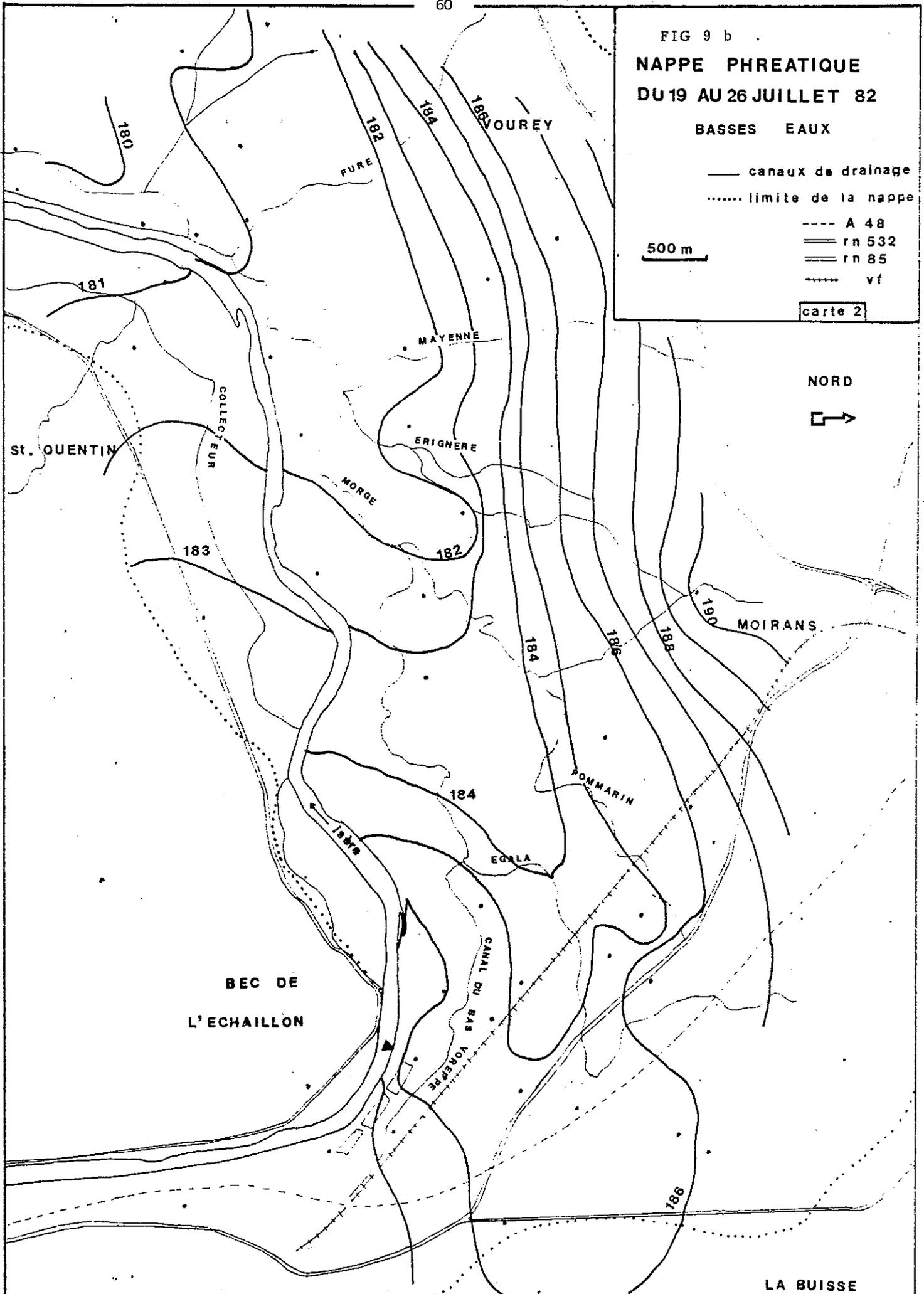


FIG 9 c
NAPPE PHREATIQUE
DU 19 AU 26 JUILLET 82
BASSES EAUX

500 m

— canaux de drainage

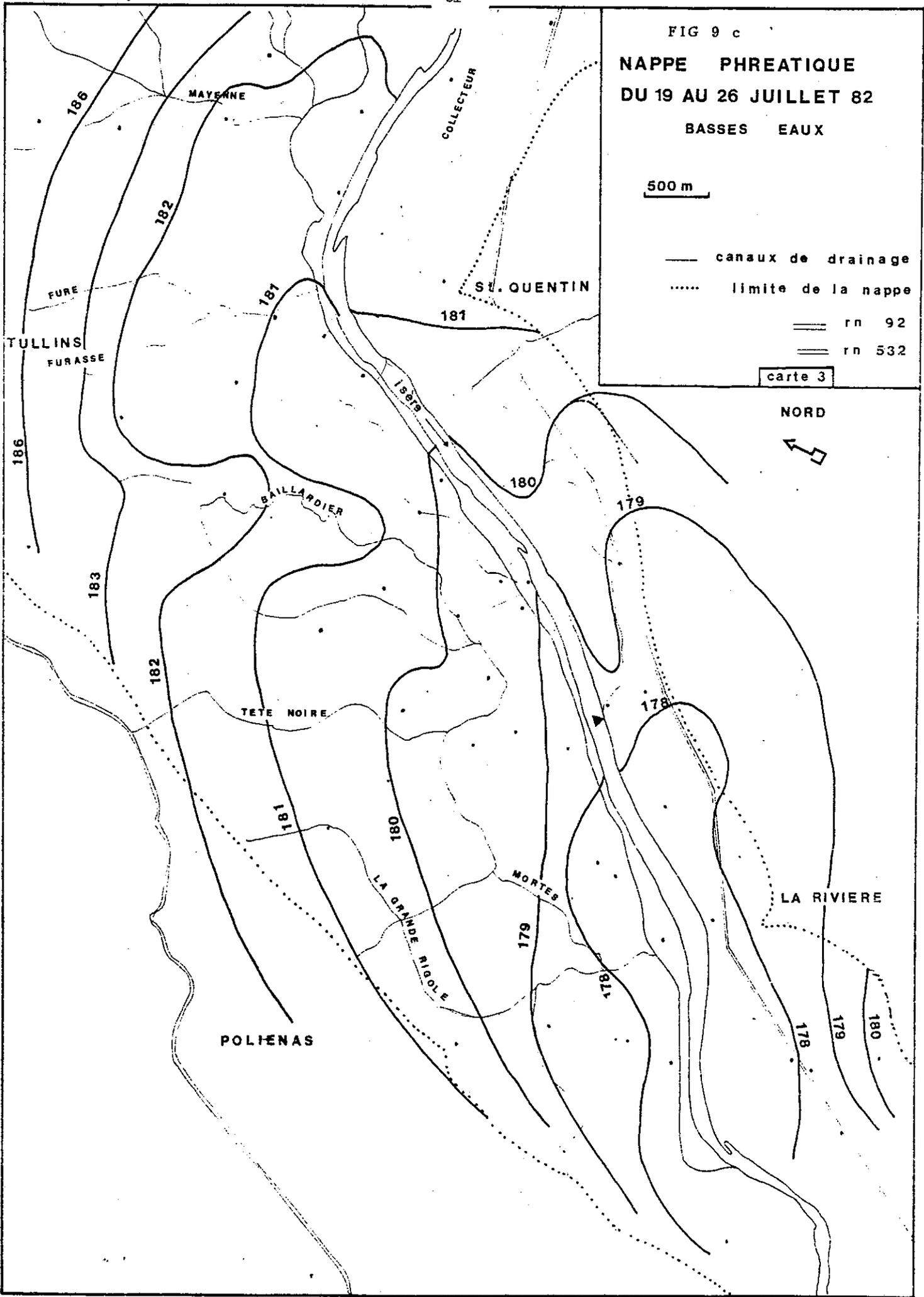
..... limite de la nappe

== rn 92

== rn 532

carte 3

NORD



III- CORRÉLATIONS ENTRE CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES ET HYDROCHIMIQUES

Résultant de l'intervention des fonctions de réservoir, en réponse à des incitations extérieures imposées à ses limites, l'aquifère se conduit comme un système dynamique à plusieurs comportements vis à vis de l'eau souterraine: il assure une régulation des débits et des caractéristiques hydrochimiques et hydrobiologiques des écoulements à la sortie (G. CASTANY, 1982).

3.1/ UN COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE

La nappe de la vallée de l'Isère, ainsi que tout aquifère alluvial, subit sur ses limites des impulsions hydrodynamiques, se traduisant par des apports de quantités d'eau par la rivière, les versants et l'écoulement naturel de la nappe en amont du secteur étudié, ou par des variations de pression. Elle assure une régulation dans l'espace et dans le temps de l'écoulement à l'exutoire.

L'ensemble de l'aquifère réagit uniformément à une même impulsion, ce qui donne une impression d'homogénéité.

Cette homogénéité de l'aquifère alluvial est mise en évidence sur une grande échelle par l'étude des cartes piézométriques (Fig. 8 a,b,c - Fig. 9 a, b, c).

3.2/ UN COMPORTEMENT HYDROCHIMIQUE différent du précédent

L'eau souterraine, au cours de son séjour et de son écoulement dans les couches perméables, subit des échanges géochimiques avec le réservoir. Ces interactions eau/roche modifient les caractéristiques de l'eau des écoulements souterrains (températures, PH, conductivité, dissolution ou précipitation des sels).

Le comportement hydrochimique de l'aquifère est donc à l'origine de l'acquisition et de la modification de la qualité physique et chimique de l'eau souterraine.

On obtient une bonne idée de ces interactions eau/milieu en notant les variations de minéralisation de l'eau de l'entrée à la sortie de l'aquifère.

Une deuxième solution consiste à établir des cartes spatiales de résistivité après prélèvement dans toute la nappe. Un apport d'eau à la nappe se matérialisera sur la carte par un gradient de résistivité. C'est ce que nous observons en partie sur la nappe de l'Isère (Fig. 10 a, b, c - Fig. 11 a, b, c).

Deux zones sont ainsi nettement différenciées par les conditions hydrochimiques qui les régissent.

Les cartes d'isorésistivité montrent que les mélanges entre les différents apports ne se font pas toujours dans les conditions que l'on pourrait déduire de l'analyse des cartes isopièzes.

Les conditions hydrodynamiques, telles qu'elles sont définies d'après ces cartes, ne suffisent pas pour expliquer tous les phénomènes d'échange que l'on peut observer.

3.3- COMPARAISONS ENTRE COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE ET HYDROCHIMIQUE

3.3.1- Dans la plaine de Moirans, les cartes piézométriques schématisent deux types de circulation dans la nappe: un écoulement axial et un latéral.

Cette situation est aussi matérialisée par les cartes de résistivité de hautes eaux et de basses eaux.

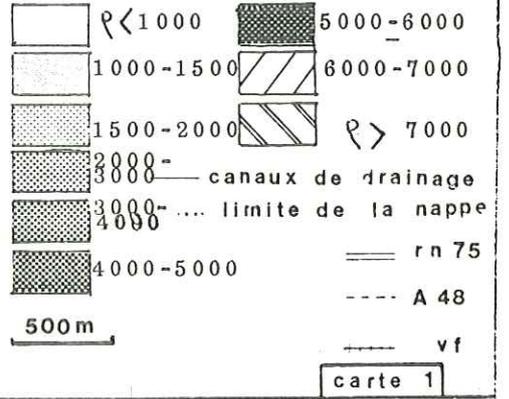
Les apports de versant, peu minéralisés, venant des moraines et alluvions fluvioglaciaires du Bas Dauphiné, se chargent progressivement en ions en circulant en direction de la rivière. De ce fait, la résistivité tend à diminuer des extrémités de la nappe vers l'Isère. Ce phénomène n'est observable qu'en rive droite, car en rive gauche la nappe est d'extension trop limitée et les apports trop ponctuels pour être visibles.

Au hameau du Nême, à Tullins, en rive droite de l'Isère, la nappe, en basses eaux, est alimentée par le Baillardier et possède une très faible minéralisation localement. En hautes eaux, celle-ci persiste bien que le ruisseau, qui a un niveau inférieur à la nappe, ne l'alimente plus.

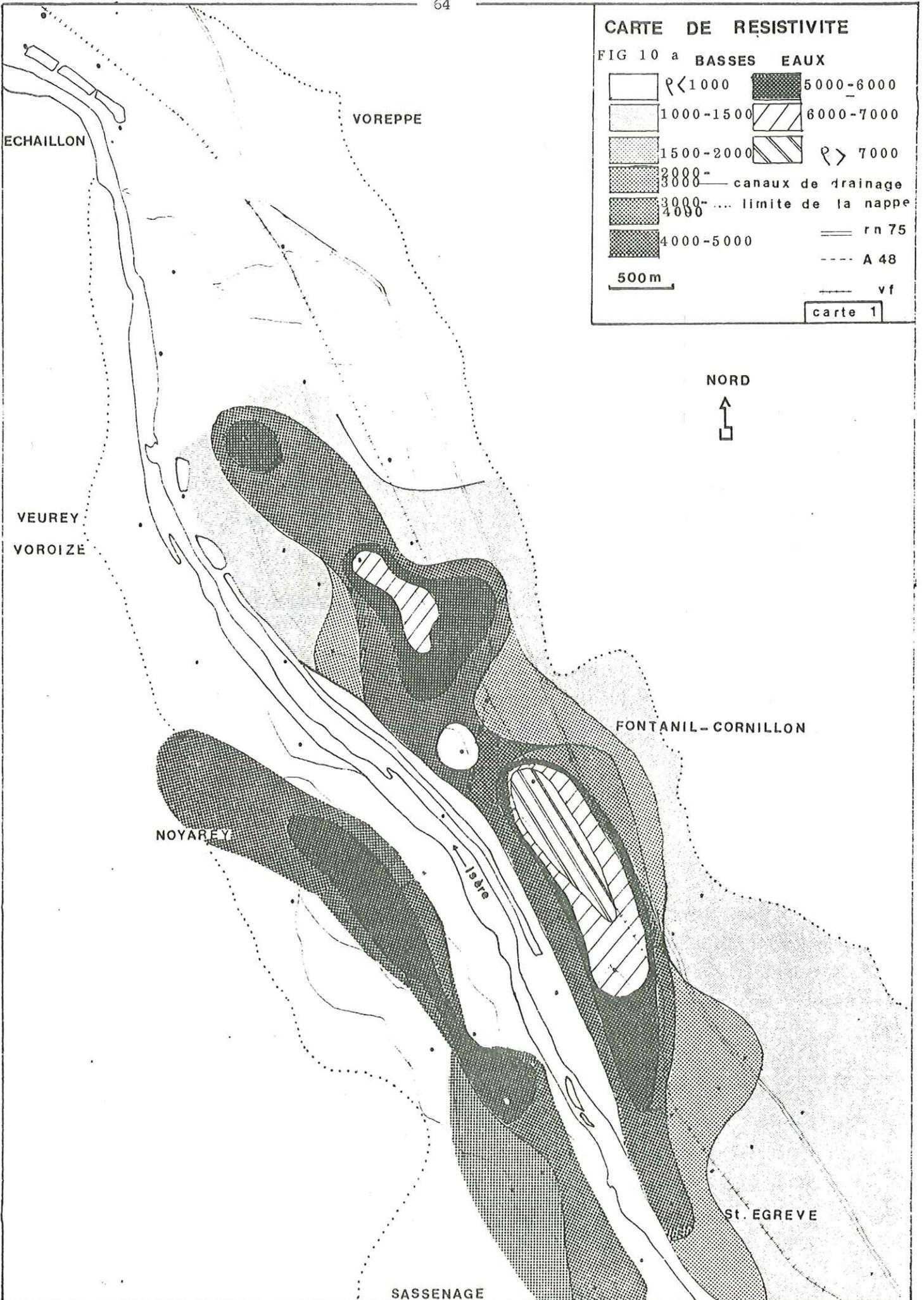
Il est difficile cependant de savoir d'où provient cette faible minéralisation, car il n'y a qu'un seul puits analysé au Nême.

CARTE DE RESISTIVITE

FIG 10 a BASSES EAUX



NORD



CARTE DE RESISTIVITE

FIG 10 b BASSES EAUX

	$\rho < 1000$		5000-6000
	1000-1500		$\rho > 7000$
	1500-2000		
	2000-3000		
	3000-4000		
	4000-5000		

canaux de drainage
 limite de la nappe
 A 48
 rn 532
 rn 85
 vf

500m

carte 2

VOUREY

St. QUENTIN

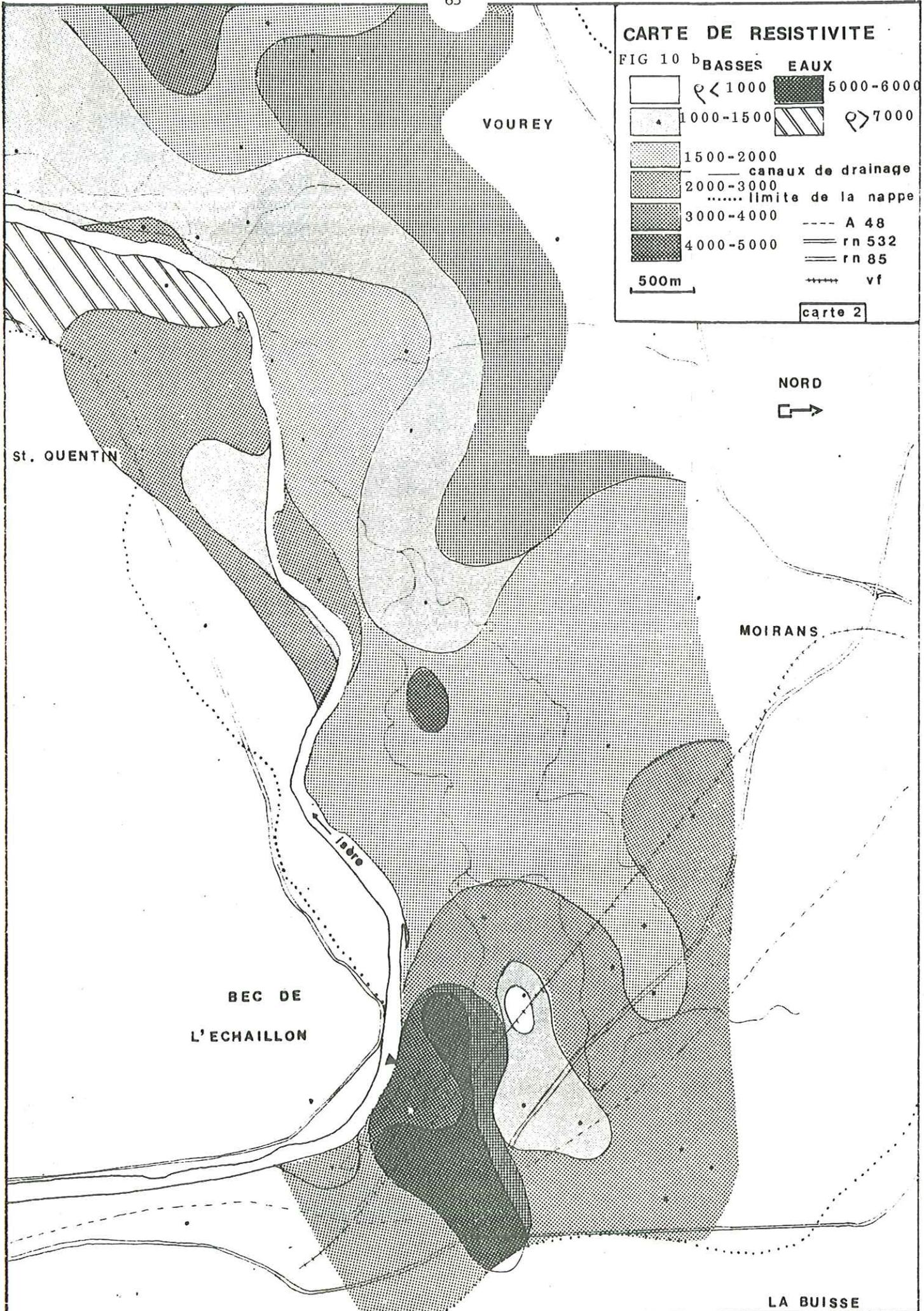
NORD

MOIRANS

BEC DE
L'ECHAILLON

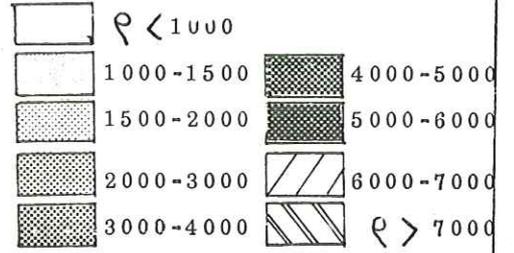
Isère

LA BUISSE



CARTE DE RESISTIVITE

FIG 10 c BASSES EAUX



— canaux de drainage

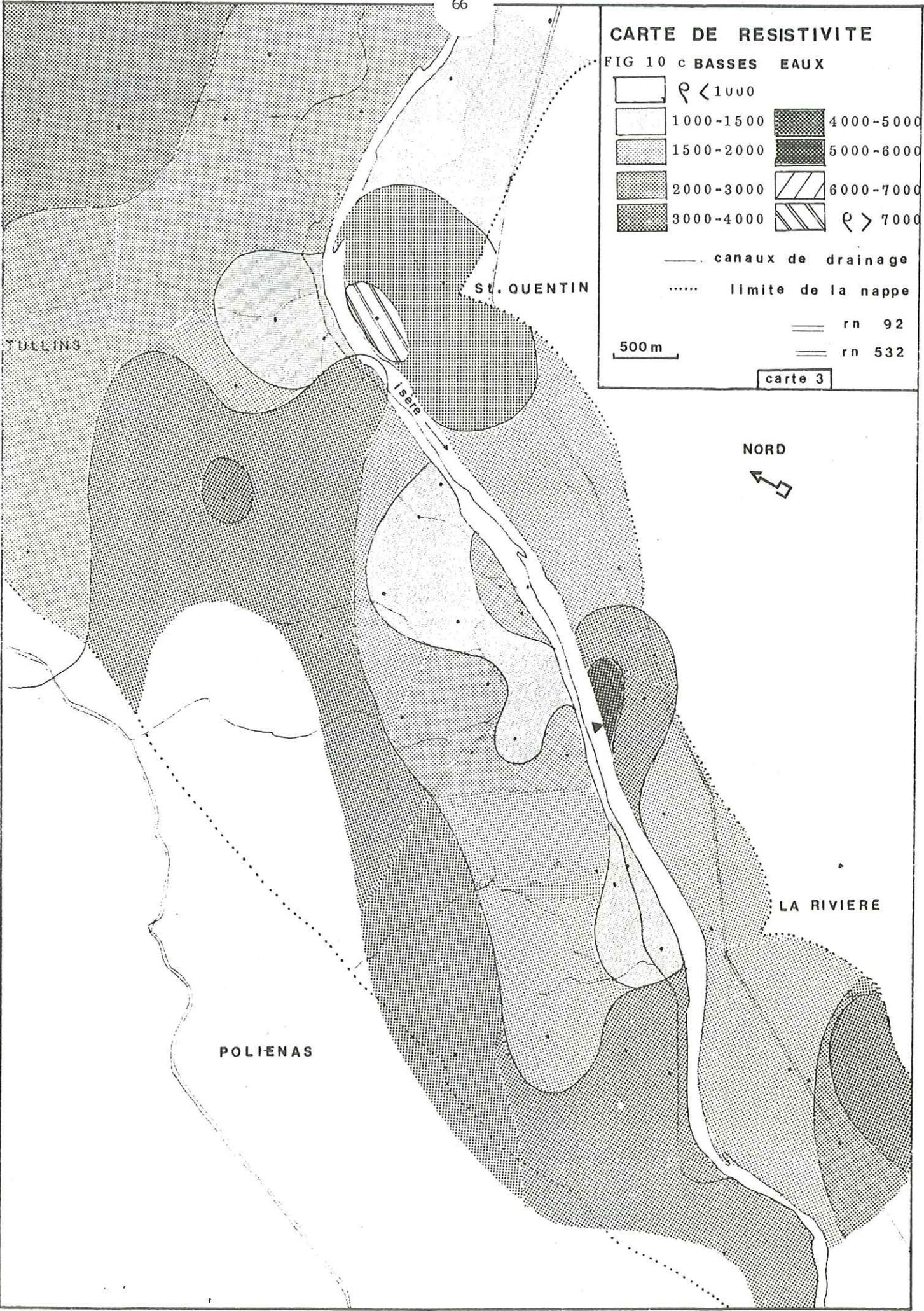
..... limite de la nappe

== rn 92

== rn 532

500 m

carte 3



NORD



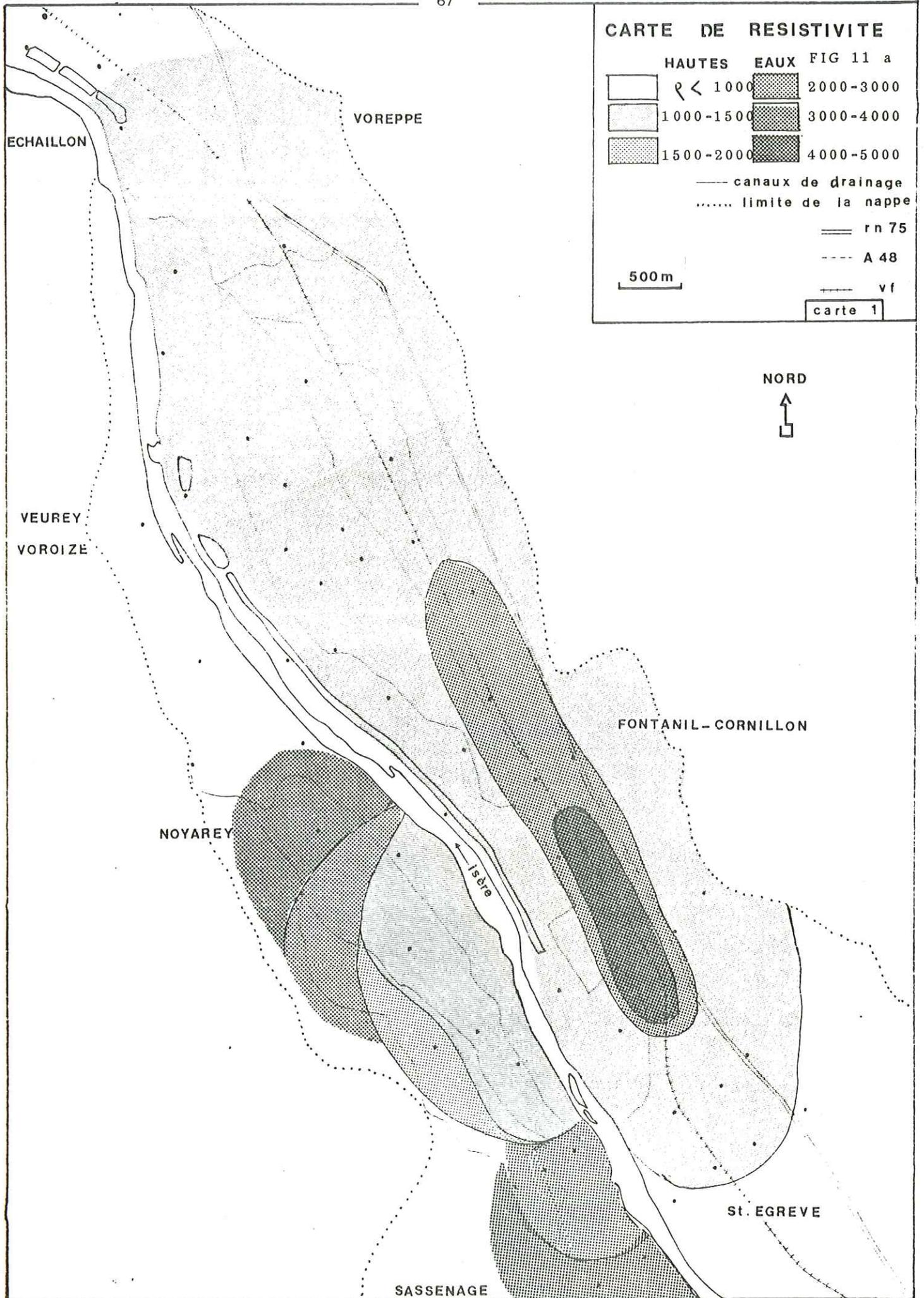
TULLINS

ST. QUENTIN

Isère

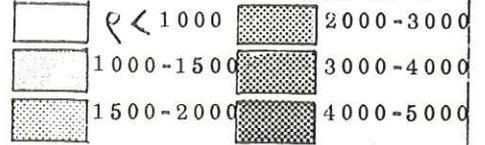
POLIENAS

LA RIVIERE



CARTE DE RESISTIVITE

HAUTES EAUX FIG 11 b



— canaux de drainage

..... limite de la nappe

--- A 48

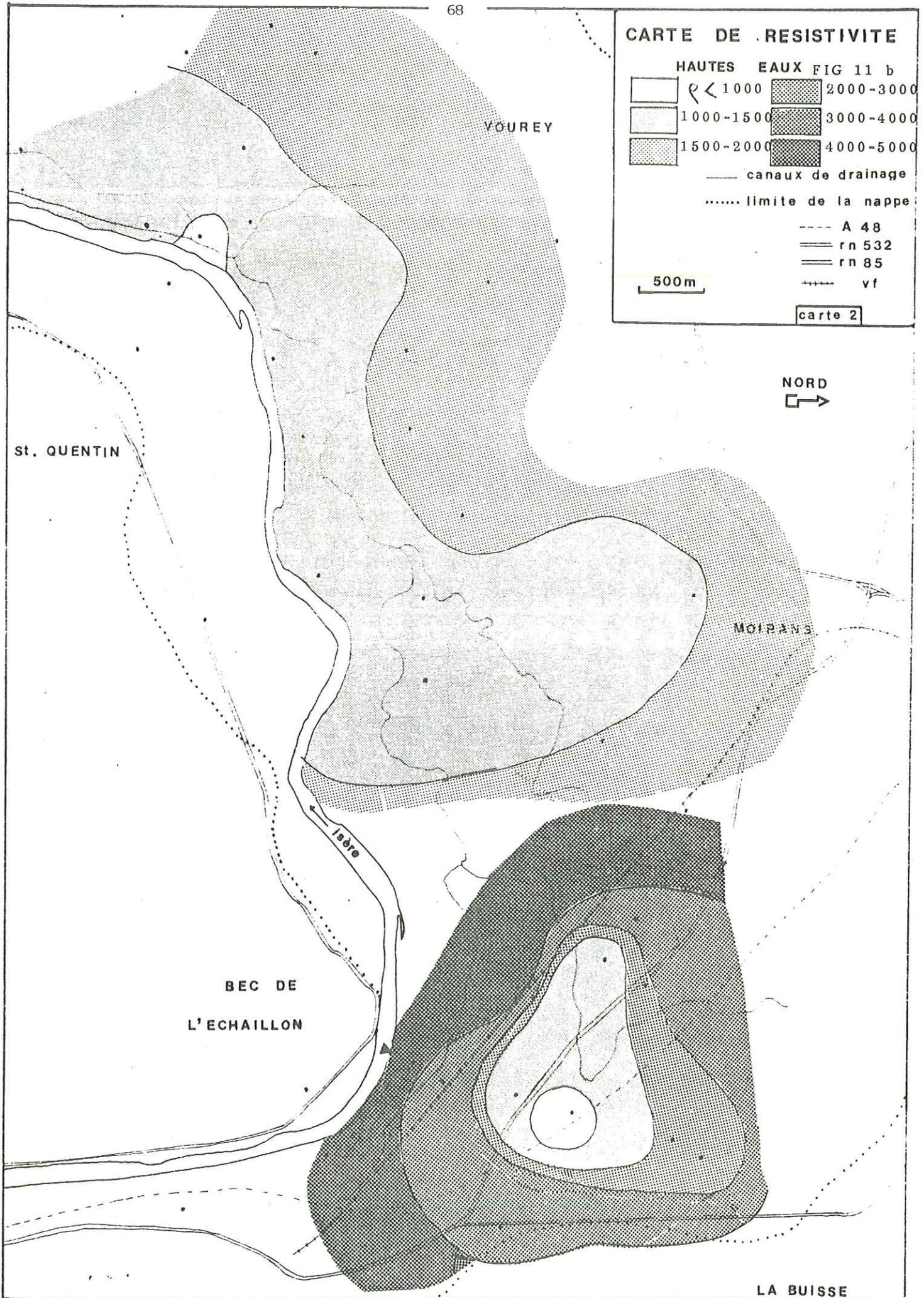
==== rn 532

==== rn 85

++++ vf

500m

carte 2



NORD



St. QUENTIN

VOUREY

MOIRANS

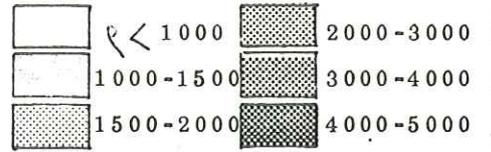
BEC DE
L'ECHAILLON

LA BUISSE

CARTE DE RESISTIVITE

HAUTES EAUX

FIG 11 c



— canaux de drainage

..... limite de la nappe

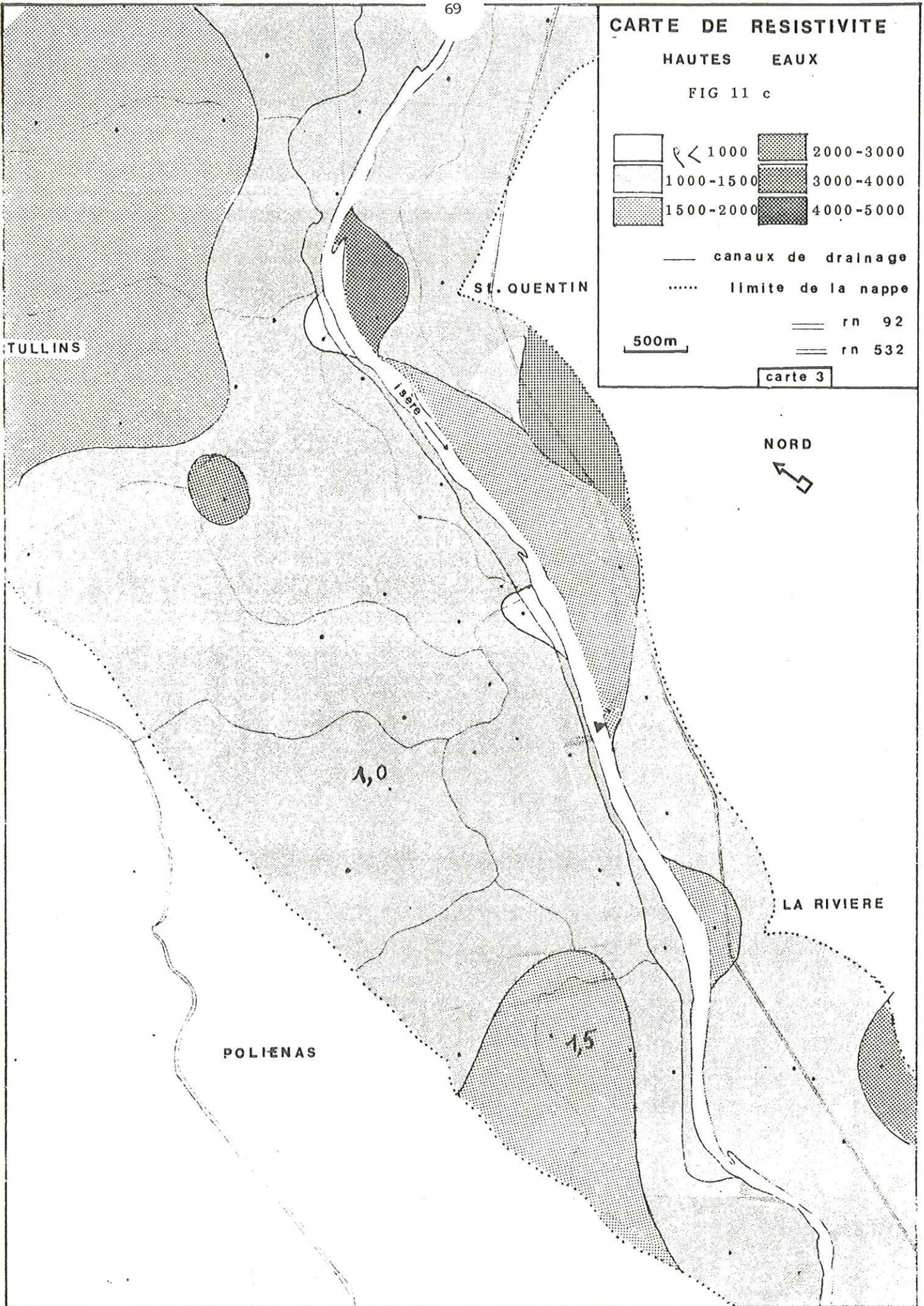
500m

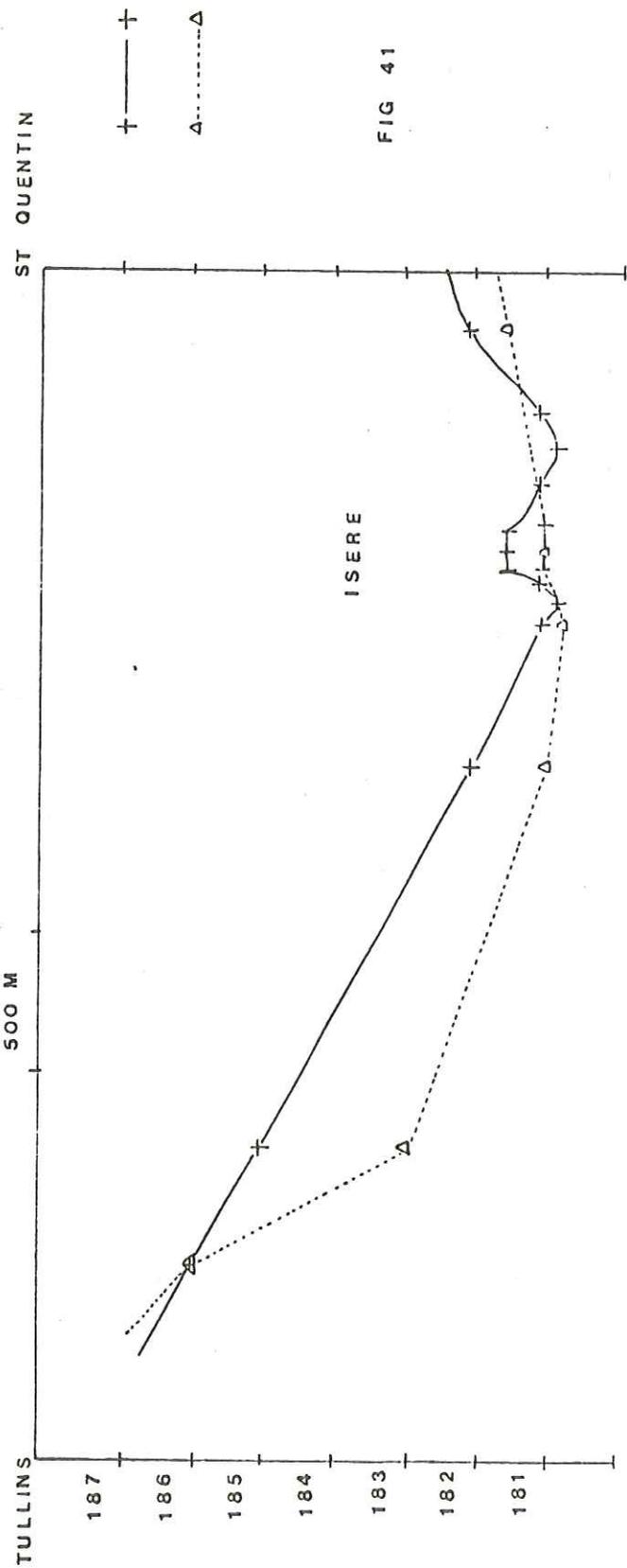
== rn 92

== rn 532

carte 3

NORD





Coupe de la nappe
de l'Isère dans la
plaine de Moirans

FIG 41

L'aquifère est en relation étroite avec l'Isère, au niveau du pont reliant St Quentin à Tullins (Fig. 41).

L'Isère alimente la nappe en hautes eaux, ainsi qu'en basses eaux, mais pour la rive droite seulement et faiblement.

Si l'on essaye d'obtenir les mêmes déductions à partir des cartes de résistivité, on s'aperçoit qu'en hautes eaux, la nappe en rive droite est à moins de 1 500 Ω .cm et en rive gauche entre 1 000 Ω .cm et 3 000 Ω .cm; alors que l'Isère est à 2 600 Ω .cm.

En basses eaux, le même problème apparaît. La minéralisation ne traduit pas les apports venant de l'Isère par un gradient, comme elle marque ceux des versants. Il semble que cela vienne, d'une part de la trop faible différence entre les valeurs de résistivité de l'Isère et de la nappe, d'autre part de la trop petite largeur sur laquelle l'alimentation a lieu (150 m à 250 m).

3.3.2- Dans la cluse de l'Isère les courbes d'isorésistivité n'indiquent une alimentation de la nappe par l'Isère qu'au niveau du Bec de l'Echaillon en rive droite. Elle est évidemment prépondérante en basses eaux. Mais dans tous les cas il n'est pas possible de compléter ces données par une corrélation avec la minéralisation car celles-ci ne décrivent pas ce phénomène.

Contrairement au cas précédent, les gradients chimiques que l'on observe sur ces cartes de résistivité ne sont pas liés de façon directe à des circulations latérales de versant.

Ils correspondent à des auréoles concentriques à coeur peu minéralisé, axées sur le sens d'écoulement de la nappe mais "refermées à l'amont" ; c'est à dire qu'à l'amont d'une zone peu minéralisée se situe une série de piézomètres très minéralisés. (fig. 10 a, 11 a).

Si ces gradients suivaient l'écoulement naturel de la nappe, un tel cas ne devrait pas se produire car il correspond à une perte de minéralisation importante ($2000 \xrightarrow{\Omega \times cm} 7000$) au fur et à mesure du cheminement souterrain (St Egrève au Fontanil).

Cette observation est effectuée en rive droite et rive gauche, en basses eaux et hautes eaux (bien qu'amortie), et enfin pour tous les ions étudiés (Fig. 27 a, b, c ; 28 a, b, c ; 29 a, b, c).

Nous avons pensé que cela pouvait provenir d'une structure particulière des alluvions de la Cluse de l'Isère, comme une poche d'alluvions grossières au sein de sédiments plus fins. D'après les coupes de H Marghalan-Ferrat (fig.30)

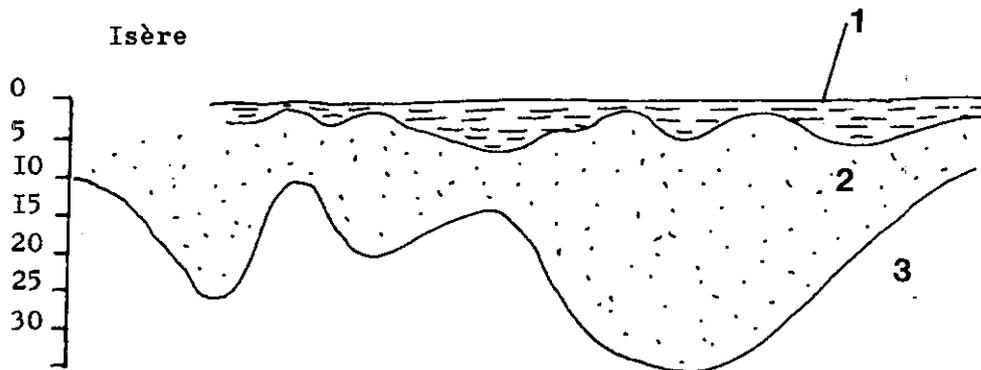


Fig. 30 : Coupe type de la vallée de l'Isère entre le Fontanil et Voreppe

la formation aquifère II présente effectivement un approfondissement local dans l'axe de la vallée, et sur une étendue de presque 5 km pour la rive droite.

Cette structure s'aligne sur les cartes de battements maximaux (fig. 31 a, b, c).

Cette zone de faible minéralisation ($7000 \Omega \times \text{cm}$ en basses eaux) peut être due à plusieurs facteurs :

- une profondeur minimale de la nappe sous le sol.
- une forte épaisseur des graviers permettant une circulation verticale de l'eau rapide, ainsi qu'une éventuelle relation avec les couches profondes de la nappe.

Tenir compte de la profondeur minimale sous le sol implique que l'on considère l'apport d'eau peu minéralisée comme venant de la pluie, avec infiltration très rapide ralentissant l'augmentation de la minéralisation.

Les données statistiques de la quantité d'eau tombée sur la région les mois d'été sont trop faibles pour que cette hypothèse soit envisageable.

De plus il faut noter que cette zonation, très marquée en basses eaux (où il pleut peu), s'atténue pour être inexistante en rive gauche en hautes eaux.

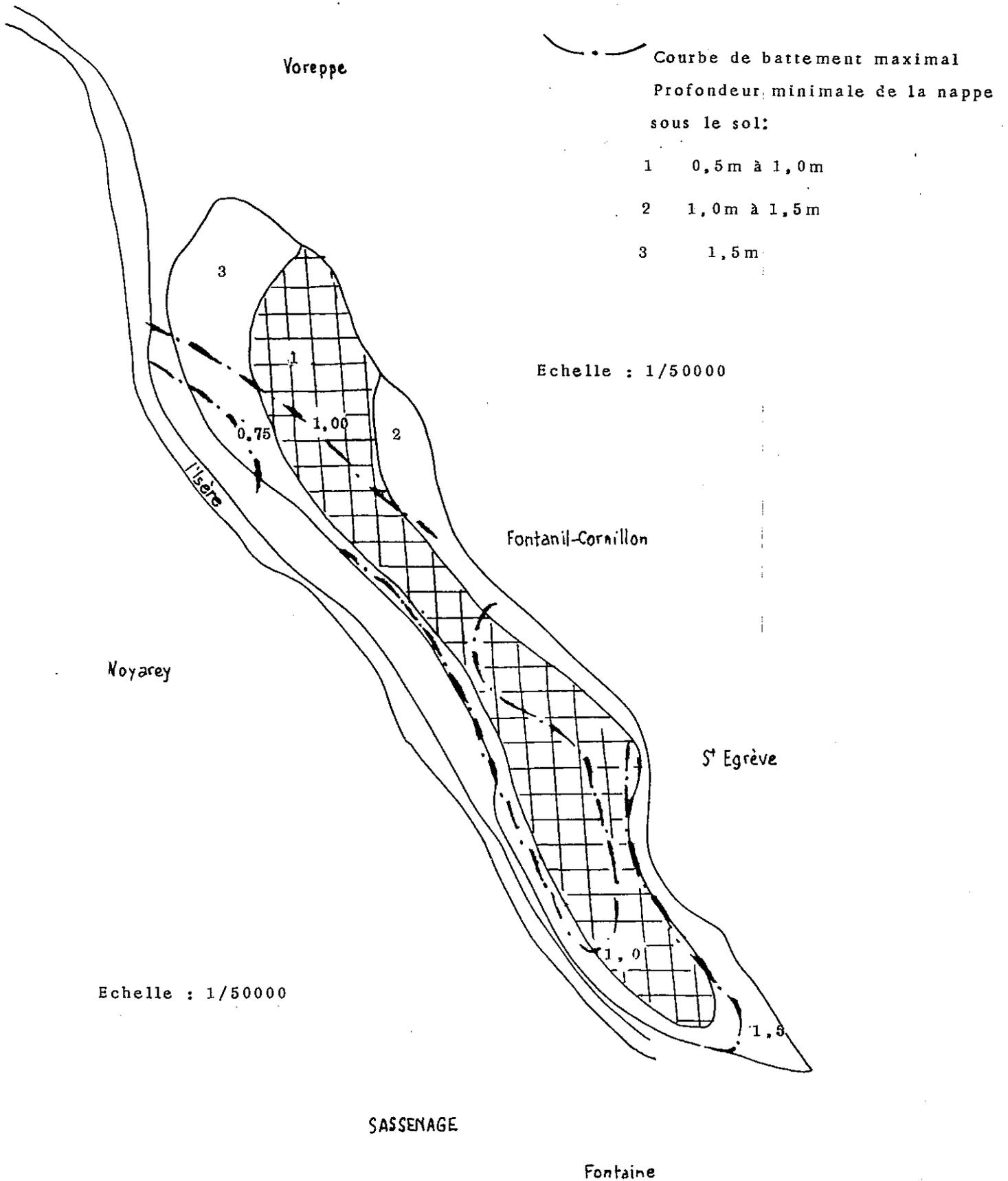


FIG 31 a

Voreppe

Echelle : 1/50000

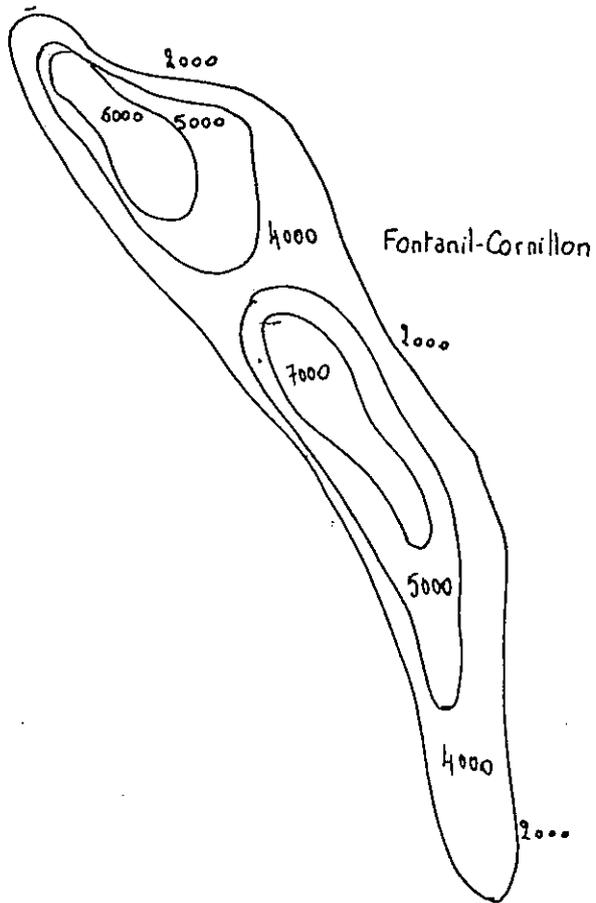


FIG 31 b : Carte d'isorésistivité en basses eaux.

SASSENAGE

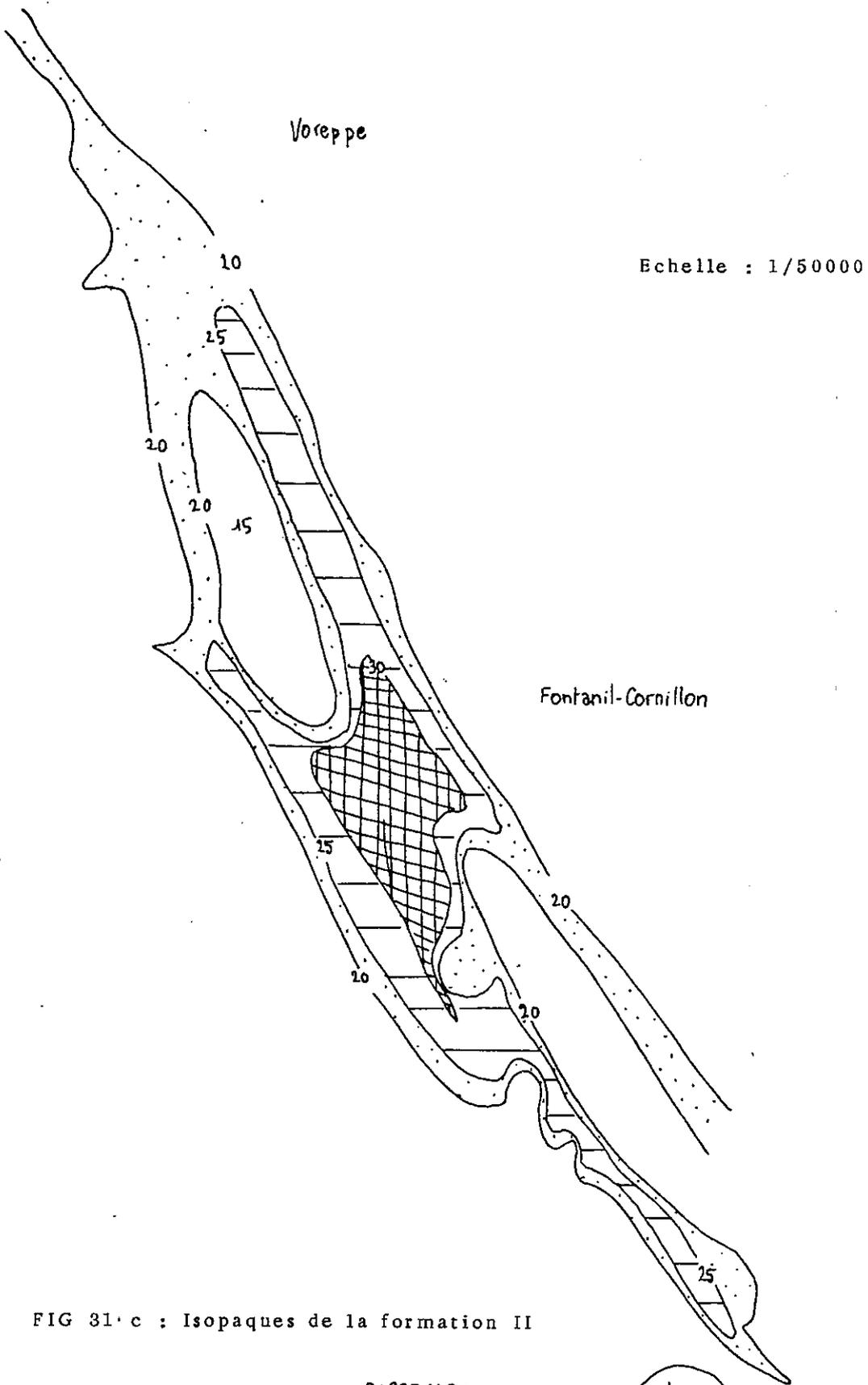
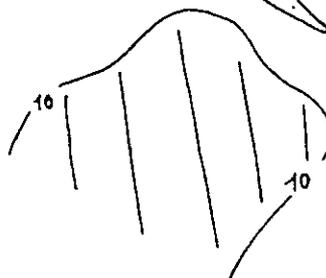


FIG 31·c : Isopaques de la formation II

SASSENAGE



Nous avons donc été conduits à avancer l'hypothèse de contacts avec des eaux profondes moins minéralisées, dans cette poche d'alluvions grossières. L'existence de ces nappes profondes, de qualité physico-chimiques différentes, a été mise en évidence dans la plaine de Sassenage, par C. LEGUY (1979).

Ces eaux profondes pourraient provenir d'un ancien cône de déjection du Lanfray, enseveli sous les alluvions postérieures, lors d'une divagation de l'Isère ; le nouveau cône étant venu recouvrir les alluvions.

L'eau des versants arriverait dans la nappe profonde par l'intermédiaire d'un cône ancien, et serait rapidement transmise en surface à travers la masse des alluvions grossières dont nous avons indiqué l'existence. Ensuite, de part et d'autre de cet apport central, l'eau se chargerait en éléments dissous en circulant au sein des alluvions.

Le phénomène est d'autant plus marqué en basses eaux, que le contraste entre les différentes eaux est grand. L'été, toute la nappe a une minéralisation uniforme, et relativement forte.

Un apport à faible concentration, laisse donc une "trace" nette se traduisant lors de l'établissement des cartes hydrochimiques par une auréole analogue à celles que l'on a obtenues.

Le rapport avec les cartes piézométriques est cependant nettement moins évident à établir. En effet, en basses eaux, l'écoulement est surtout marqué par l'influence des canaux de drainage.

Les courbes piézométriques matérialisent la forme de l'écoulement en surface de la nappe, mais un apport peu minéralisé, provenant d'un écoulement profond non négligeable, ne perturbe pas nécessairement la surface piézométrique.

Le débit transitant en profondeur, perturbe la portion de nappe profonde, mais cette perturbation s'amortit en progressant verticalement en raison de l'inertie de la masse d'eau mise en jeu. Si bien que l'onde de pression est invisible. Par contre, l'onde de matière reste intacte et se traduit par cette très faible résistivité.

Tous ces phénomènes sont liés à la structure de l'aquifère. Le dépôt d'un aquifère alluvial peut être considéré comme un empilement de lentilles

à perméabilités différentes. Les vitesses de propagation du flux de pression et du flux de matière sont différentes.

Dans son ensemble, l'aquifère alluvial est constitué de sables grossiers et de graves. Les passages argileux sont rares. Ces périodes de sédimentation fine créent des obstacles aux mélanges et ralentissent le flux de matière mais sont très souvent insuffisants pour s'opposer à la transmission des pressions.

Les mélanges se font au niveau des interfaces de 2 lentilles d'alluvions, dans la mesure où les perméabilités sont voisines. Si non il n'y a pas mélange mais éventuellement passage à sens unique de l'une vers l'autre.

Ces mélanges sont importants car ils permettent d'expliquer les amortissements des ondes de minéralisation des eaux de la rivière, observées dans la nappe.

Si le passage de l'onde de pression permet de penser à l'homogénéité de l'aquifère, le flux de matière participant aux échanges eau/milieu est conditionné par la vitesse de circulation de l'eau au sein de ces lentilles d'argile.

Il permet donc de déceler l'hétérogénéité de l'aquifère à petite échelle.

Cette différence d'appréhension des deux phénomènes explique le décalage observé entre les cartes de résistivité et piézométrique. Une analyse plus détaillée va permettre d'en dégager les grands traits.

CHAPITRE 3

EXAMEN DES RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

EXAMEN DES RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

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

Une maille serrée de points de prélèvements (110) a été utilisée lors de la campagne estivale en vue de l'analyse spatiale de la nappe. Les prélèvements ont tous été effectués en une semaine afin d'éviter toutes perturbations de celle-ci entre le début et la fin des manipulations.

Pour l'analyse des variations dans le temps, 60 points seulement ont été conservés et suivis régulièrement, tous les 15 jours puis une fois par mois en étiage d'été car la minéralisation ne variait pas.

Sur place, les caractères physiques ont été mesurés (T°C, résistivité). En laboratoire et dans la semaine qui suivait, les échantillons ont été dépouillés par analyse des ions majeurs. Avec toutes ces données, nous avons essayé de définir les mécanismes d'acquisition de la minéralisation de la nappe.

I- VARIATIONS DANS L'ESPACE DE LA MINERALISATION

1/ ACQUISITION DE LA MINERALISATION AU COURS DE SON TRANSFERT DANS LA NAPPE

L'alimentation de la nappe provient soit des précipitations, soit des apports par les versants, soit des échanges avec les cours d'eau. Mais pour étudier l'augmentation de la minéralisation de l'eau au cours de son trajet dans la nappe, il faut disposer d'une eau peu minéralisée au départ. La quantité d'eau reçue par les précipitations étant trop faible pour être ainsi utilisée, et celle des cours d'eau trop minéralisée, il fallait disposer d'un piézomètre implanté, soit sur un cône de déjection, soit à proximité d'arrivées profondes très peu minéralisées venant des chaînes subalpines, et d'un autre point proche dans la nappe.

1.1. La première série de points réunissant les conditions désirées se situe au hameau du Moulin, près de La Rivière, en rive gauche de l'Isère. Plan de situation (fig. 21).

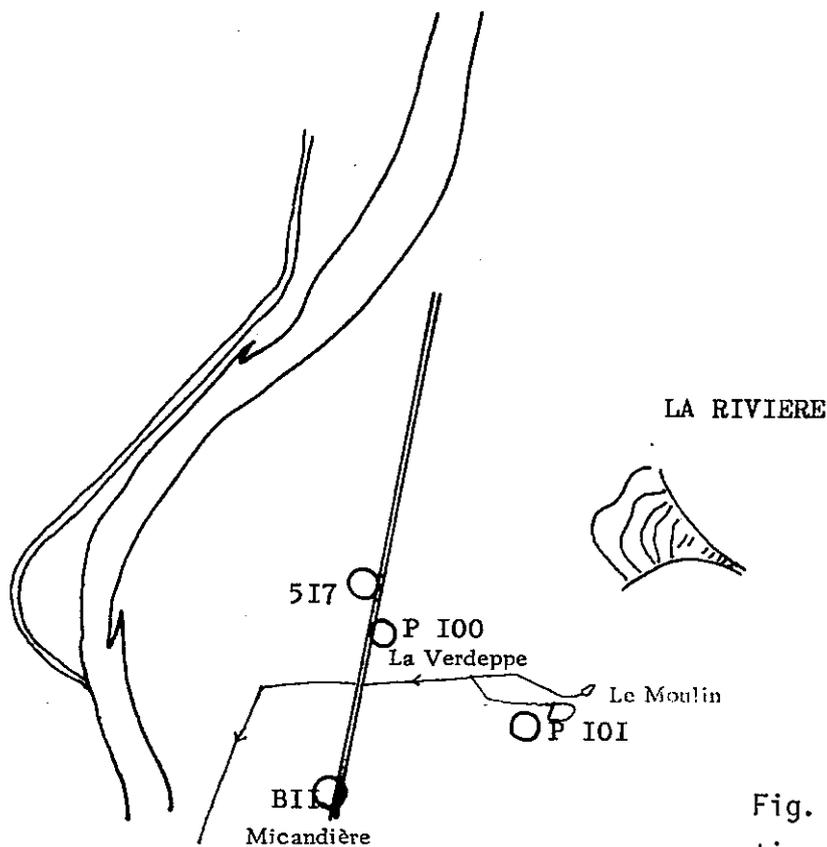


Fig. 21 : Plan de situation des piézomètres à La Rivière

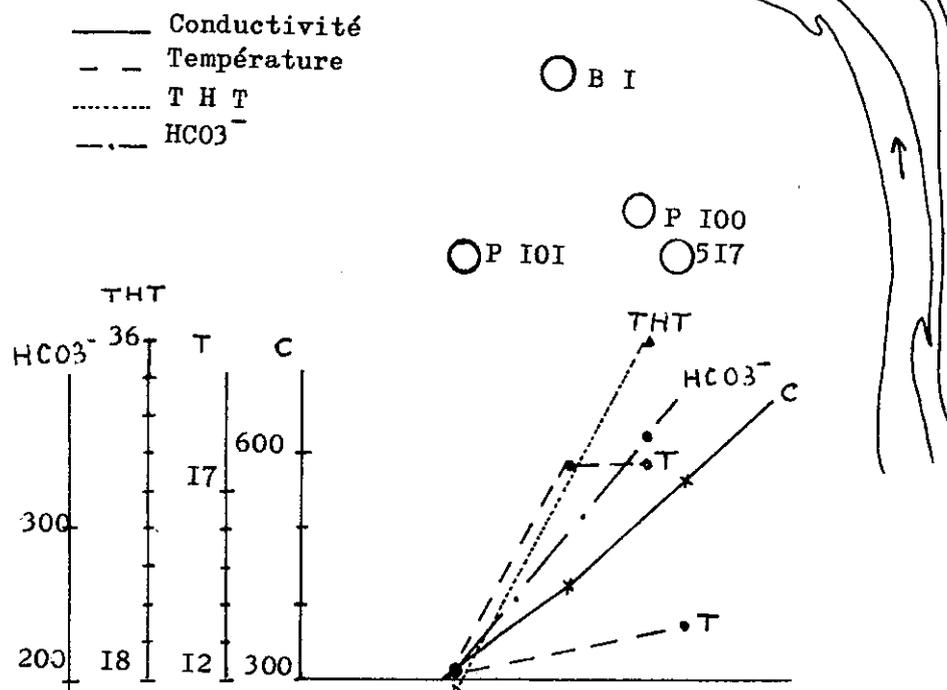
Contre le massif du Vercors, le piézomètre P101, du hameau du Moulin, voisine un plan d'eau et une source formant le ruisseau de la Verdeppe. Très froide, cette eau traverse un horizon de galets et de sable et atteint en se réchauffant le piézomètre B1, au hameau de la Micandière, puis les forages 517 et P100 au bord de la RN Grenoble-Valence.

Les prélèvements en basses eaux présentent une faible minéralisation pour le P101 qui augmente en (B1) pour rejoindre celle de la nappe au P100 (ou 517) (Tab. 4, fig. 22).

Tab. 4 : Variations de la minéralisation au cours du trajet de l'eau dans la nappe

Piézomètres	P 101	B 1	P 100	517
Résistivités à 18°C	3560	2590	1920	1970
Côte NGF de la nappe	181,43	178,45	178,25	177,84
Températures en °C	12,1	17,7	17,7	13,3
T H T en °F	17,5	-	36,3	-
Calcium en mg/l	62	-	41	-
Magnésium en mg/l	4,9	-	63	-
Carbonates en mg/l	207,4	-	-	361,12
Chlorures en mg/l	10,6	10,6	-	49,6
Sulfates en mg/l	16,9	-	-	3,2
Conductivités à 20°C	308	424	570	560

Fig. 22 : Courbes d'augmentation de la minéralisation en fonction du trajet de l'eau



Pensant que cette augmentation n'était peut être valable que pour un prélèvement isolé, nous avons dressé le même tableau (tab. 5, tab. 6) pour toute l'année pour la résistivité et les ions majeurs, et calculé la différence de teneurs en ions exprimées en mg/l entre la valeur au P101 et celle au P100 de façon à voir si cette différence était constante dans le temps.

Date	14/10/81	13/01/82	15/02/82	15/03/82	15/04/82	15/05/82	15/06/82	24/07/82	18/08/82
P 101	2950	3220	2600	2650	2680	2580	2650	3560	2660
P 100	1210	1500	1120	1210	1390	1190	1470	1920	1500
Différence	1740	1720	1480	1440	1290	1390	1180	1640	1160
Date	20/10/82	04/11/82	01/02/82	01/03/82	01/04/82	01/05/82	01/06/82	23/09/82	
P 101	2280	1930	2680	2620	2630	2570	2930	2650	
P 100	1330	1070	1770	1140	1220	1470	1570	1500	
Différence	950	860	910	1480	1410	1100	1360	1150	

Tab. 5 : Variations annuelles de la résistivité de 2 piézomètres à La Rivière

Le tableau 5 permet de constater que cette augmentation ne se produit pas uniquement en basses eaux. Mais une longue période pluvieuse (01 février 1982 et 01 novembre 1982) provoque une diminution de cette différence.

Cet apport est donc constant bien que de fortes pluies entraînent une diminution de minéralisation des eaux au P101, accompagnée d'une augmentation au P100.

La moyenne des différences de résistivité entre P101 et P100 sur une année est de $1313 \Omega \times \text{cm}$ (à 18°C) ; cela correspond, d'après les calculs de corrélation faits sur 160 analyses, à une variation de minéralisation totale de 567 mg/l, ce qui est important.

Nous pouvons calculer de quel ion elle provient en faisant pour chacun le rapport : Moyenne des différences/Moyenne du P101 (Moyennes annuelles). Cela donne ainsi le pourcentage acquis pour chaque ion.

Moyenne des différences = M_1		$R = \frac{M_1}{M_2}$
Moyenne des ions du P101 = M_2		
$\text{HCO}_3^- = M_1 = 263,4$	$M_2 = 188,66$	$R = 139,61 \%$
$\text{Ca}^{2+} = M_1 = 86,1$	$M_2 = 49,66$	$R = 173,4 \%$
$\text{Cl}^- = M_1 = 5,36$	$M_2 = 12,2$	$R = 43,93 \%$
$\text{SO}_4 = M_1 = 7,4$	$M_2 = 24,89$	$R = 29,73 \%$
$\text{Mg}^{2+} = M_1 = 3,23$	$M_2 = 10,79$	$R = 29,92 \%$
Résistivité = $M_1 = 131,3$	$M_2 = 269,5$	$R = 48,73 \%$

Dans le détail, il faut cependant noter que, si les teneurs en ions HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} augmentent toujours au cours du cheminement de l'eau, les teneurs en ions SO_4^{2-} et Mg^{2+} sont soit en augmentation soit en diminution suivant l'époque de l'année ; mais il n'est pas possible de lier ces variations aux saisons.

D'après Hermann (1971), les eaux bicarbonatées se chargent suivant la profondeur en HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Dans la vallée de l'Isère, elles se chargent en Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , et Mg^{2+} .

Si les résultats concernant les teneurs en Sulfates sont moins représentatifs, cela vient de l'origine de sa mise en solution. D'après (H. SCHOELLER, 1962), les ions Ca^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} , Na^+ proviennent de l'interaction eau/roche, alors que les ions Cl^- , SO_4^{2-} ont une origine diversifiée (pluie, lessivage du sol).

1.2. Une deuxième série de prélèvements en de nombreux points destinée à confirmer cette hypothèse, a été choisie à St Egrève (fig. 23).

Le P75 (quartier St Robert à St Egrève) est caractérisé par une eau très peu minéralisée prise dans la nappe, en relation étroite avec le cône de déjection de la Vence. Cette eau arrive en profondeur, puis circule et atteint le P73 (situé à la ferme de l'Hôpital à St Egrève), zone de mélange des 2 eaux, et

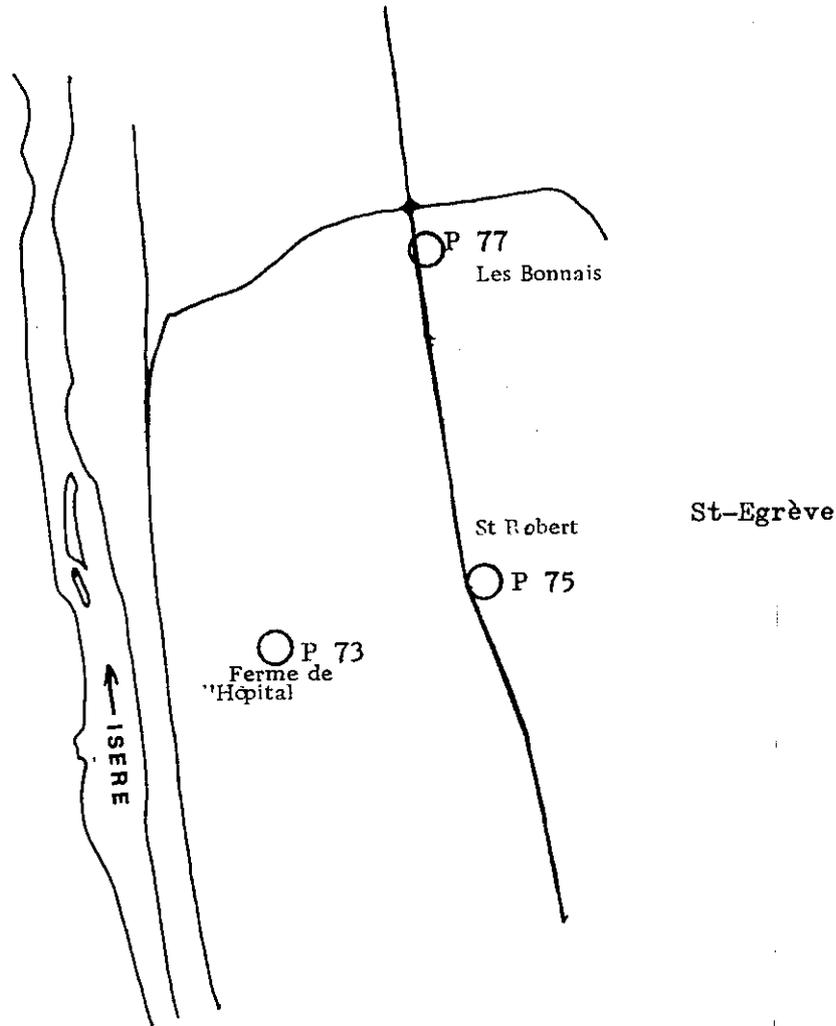


Fig. 23 : Plan de situation des piézomètres à St Egrève

enfin rejoint la nappe alluviale au P77 (quartier Les Bonnais à St Egrève) avec une augmentation nette de sa minéralisation.

Une variation de granulométrie entre les différents points, combinée à ce cheminement, tend à compliquer les résultats.

Les variations observées proviendront, d'une part du cheminement de l'eau à travers l'aquifère, d'autre part de sa vitesse de circulation.

Le Tab. 7 prouve que toutes les valeurs des teneurs en ions augmentent lorsqu'on s'éloigne de la zone d'apport, c'est à dire du P75 au P77. La température a servi de traceur, car l'écart entre les 2 points cités est de 3°C.

Piézomètres	P 73	P 75	P 77	
Résistivité à 18°C	1720	1840	1610	
Côte de la nappe NGF	198,79	199,26	195,70	
Température en °C	15,8	12,5	15,3	
T H T en °F	12,1	10,3	12,1	
Ca ²⁺ en mg/l	41,4	35,0	41,3	
Mg ²⁺ en mg/l	4,2	3,9	4,3	
HCO ₃ ⁻ en mg/l	324,5	344,05	378,20	
Cl ⁻ en mg/l	14,2	14,2	21,3	
SO ₄ ⁼ en mg/l	3,9	1,9	31,4	
Conductivité à 20°C	531	495	565	

Tab. 7 : Variations de la minéralisation au cours du trajet dans la nappe à St Egrève

Dans la zone de mélange (ferme de l'Hôpital), il y a diminution des teneurs en bicarbonates au cours du cheminement de l'eau. Cela pourrait provenir du réchauffement de l'eau (3°C d'écart) qui provoque la précipitation du Carbonate de Calcium.

Comme pour l'étude faite à La Rivière, les différences de teneurs en ions, entre le point le moins minéralisé (P75) et le point le plus minéralisé (P77), et leurs variations annuelles ont permis de calculer la minéralisation acquise (Tab. 8 - Tab. 9).

Les variations annuelles des teneurs en HCO₃⁻, Ca²⁺ ainsi que celles de la résistivité sont positives (augmentation) contrairement à celles de Cl⁻, SO₄⁼, Mg²⁺

Les teneurs en ces 3 ions sont plus soumises à des causes anthropiques (pluie, lessivage du sol, apports par la rivière), qu'à la circulation de l'eau sur les sédiments alluviaux (H. SCHOELLER, 1962 - CANCEIL.LANDREAU, 1978). Il est

Diff.	6,5	7,4	6,2	11,2	-2	13	16	1,6	12
P 73	132,3	132,0	136,5	138,4	170	143,5	173	174,4	172
P 75	138,8	139,4	142,7	149,6	168	156,5	189	176	184
P 77	117,4	117,8	123,2	123,8	-	130,7	157	152,3	161
Diff.	21,4	21,6	19,5	15,8	-	25,8	32	23,7	23
Diff.	7,8	11,1	12,2	12	-5,5	-11,6			
P 73	163,8	179,8	151,3	145	144,7	135,4			
P 75	171,6	190,9	165,3	157	139,2	123,8			
P 77	154,6	170,4	141,2	139	139,2	137,7			
Diff.	17	20,5	24,1	18	0	-3,9			

Tab. 8 : Variations annuelles de la résistivité de 3 piézomètres à St Egrève (valeurs à multiplier par 10)

donc normal qu'ils ne présentent pas une augmentation constante dans le temps au cours du trajet de l'eau dans le sol.

Cette variation dans le temps de l'augmentation de la teneur en ions de l'eau, a été mise en évidence en calculant la différence de minéralisation entre les piézomètres P75 (St Robert) et P73 (ferme de l'Hôpital) d'une part et entre les puits P75 et P77 (sortie de St Egrève, près de Thomson). Ensuite nous avons fait la moyenne de ces différences de minéralisation obtenues sur une année puis nous avons calculé le rapport de la moyenne des différences sur la moyenne des teneurs en ions des piézomètres P73 (pour le rapport R1) et P77 (pour le rapport R2).

R1 = P75/P73	5,5	18,0	- 4,3	- 16,7	- 60,5	4,3
R2 = P75/P77	6,5	24,5	48,2	- 41,0	- 31,2	12,3
	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Mg ²⁺	Résistivité

Les résultats positifs obtenus montrent que, toute l'année, il y a augmentation, au cours du trajet de l'eau dans la nappe, de la teneur en bicarbonate et en Calcium, alors que les résultats négatifs témoignent soit d'une

augmentation soit d'une diminution des teneurs en chlorure , Sulfate et Magnésium de l'eau.

En basses eaux le tableau 7 manifeste une augmentation des concentrations en ces 3 ions, du piézomètre P75 vers les piézomètres P73 et P77 que l'on ne retrouve donc pas toute l'année.

En basses eaux la nappe associée au cône de déjection de la Vence se différencie bien de la nappe de la vallée, ceci à cause des écarts plus importants entre les niveaux piézométriques.

L'alimentation de la nappe de la vallée par les apports latéraux est très visible en basses eaux sur les courbes isopièzes.

De ce fait, l'eau du cône de déjection de la Vence a plus de trajet à parcourir dans les alluvions pour atteindre la plaine, ce qui entraîne forcément une augmentation de la teneur en tous les ions.

Par contre, en hautes eaux, la nappe de la vallée plus haute, diminue le trajet à effectuer. Un trajet plus court entraîne un accroissement de la minéralisation plus faible et ce, de façon différente selon l'ion considéré.

De plus, il semble y avoir une deuxième source entraînant des difficultés à visualiser cette augmentation de minéralisation. La qualité de l'eau du cône de la Vence peut être contestée comme eau faiblement minéralisée de référence.

En effet, l'eau de P101 à La Rivière avait une résistivité de $3500 \Omega \cdot \text{cm}$, alors que celle du P75 à St Egrève n'est que de $2000 \Omega \cdot \text{cm}$. La différence de résistivité du P75 avec celle des piézomètres voisins est moins parlante.

L'amplitude des variations de températures pour ces 3 points indique bien cependant un contact avec des eaux plus froides pour le P75. Les mesures ayant été effectuées en été, ces eaux froides ne peuvent provenir que des arrivées d'eau par le cône de déjection de la Vence (tab. 10).

P 73	8,7	15,8	7,1
P 75	10,2	12,5	2,3
P 77	9,3	15,8	6,5
Date	15/01/82	19/07/82	Amplitude

Tab. 10 : Amplitude des températures entre l'eau de la nappe et celle issue du cône de déjection de la Vence

Toutes les courbes représentées par les fig. 24 (a, b, c, d) présentent un même aspect d'ensemble : l'amplitude des variations temporelles diminue au fur et à mesure que l'eau chemine au coeur de la nappe.

La nappe joue le rôle d'amortisseur des variations chimiques ; cela est dû au frein que représente la quantité d'eau stockée par rapport à un volume plus faible possédant une vitesse de circulation plus élevée.

1.3. Conclusions

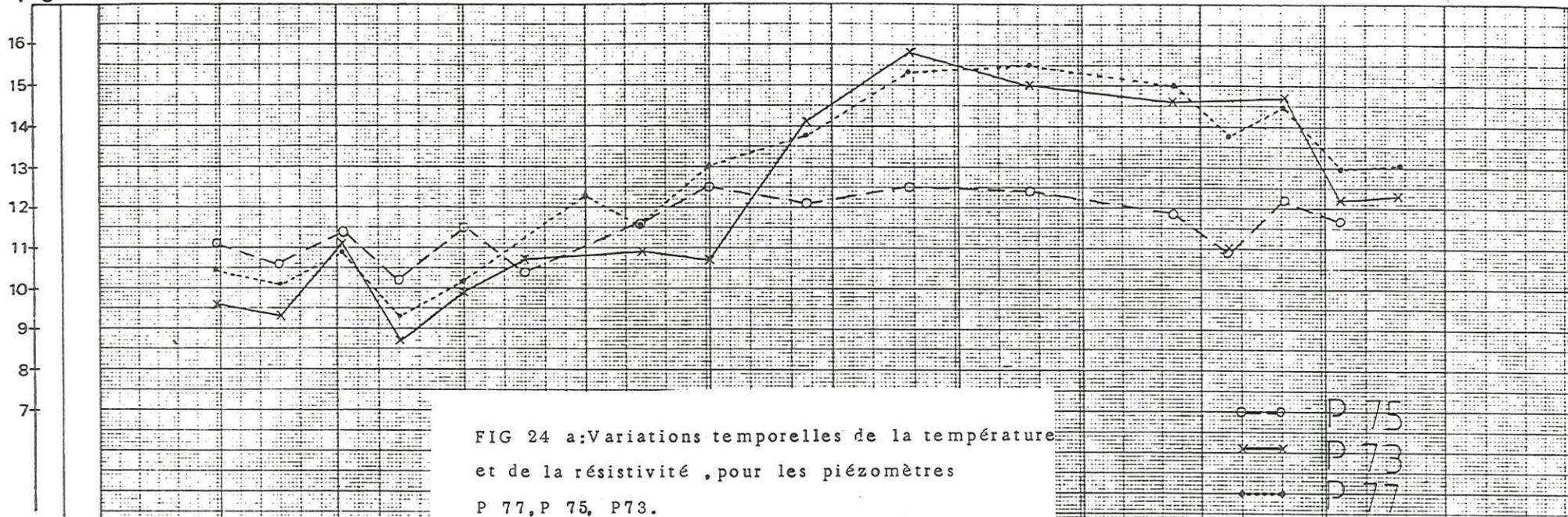
Une eau peu minéralisée, provenant des torrents des Chaînes Subalpines s'infiltré dans un cône de déjection, rejoint la nappe de la plaine par l'intermédiaire d'une "nappe de cône". Au fur et à mesure de son passage dans le cône, elle se charge en éléments dissous pour atteindre une résistivité moyenne de $2700 \Omega \times \text{cm}$ correspondant à une minéralisation totale de 276 mg/l.

Lorsque la nappe du cône rejoint celle de la plaine, il y a augmentation de la minéralisation par mélange avec la nappe de la plaine et par contact avec l'aquifère. Elle atteint une résistivité moyenne de $1400 \Omega \times \text{cm}$ soit une minéralisation totale de 537 mg/l.

L'acquisition de la minéralisation dépend de différents facteurs dont : l'éloignement entre les 2 points étudiés, la vitesse de circulation entre ces points, la minéralisation déjà acquise dans la nappe du cône. Toutes ces causes étant étroitement liées, il devient difficile de déterminer les effets de chacune d'elles.

ρ Ω.cm

T °C



ρ

2000

1500

1000

Januar
Janvier
Gennaio

Februar
Février
Febbraio

März
Mars
Marzo

April
Avril
Aprile

Mai
Mai
Maggio

Juni
Jun
Giugno

Juli
Juillet
Luglio

August
Août
Agosto

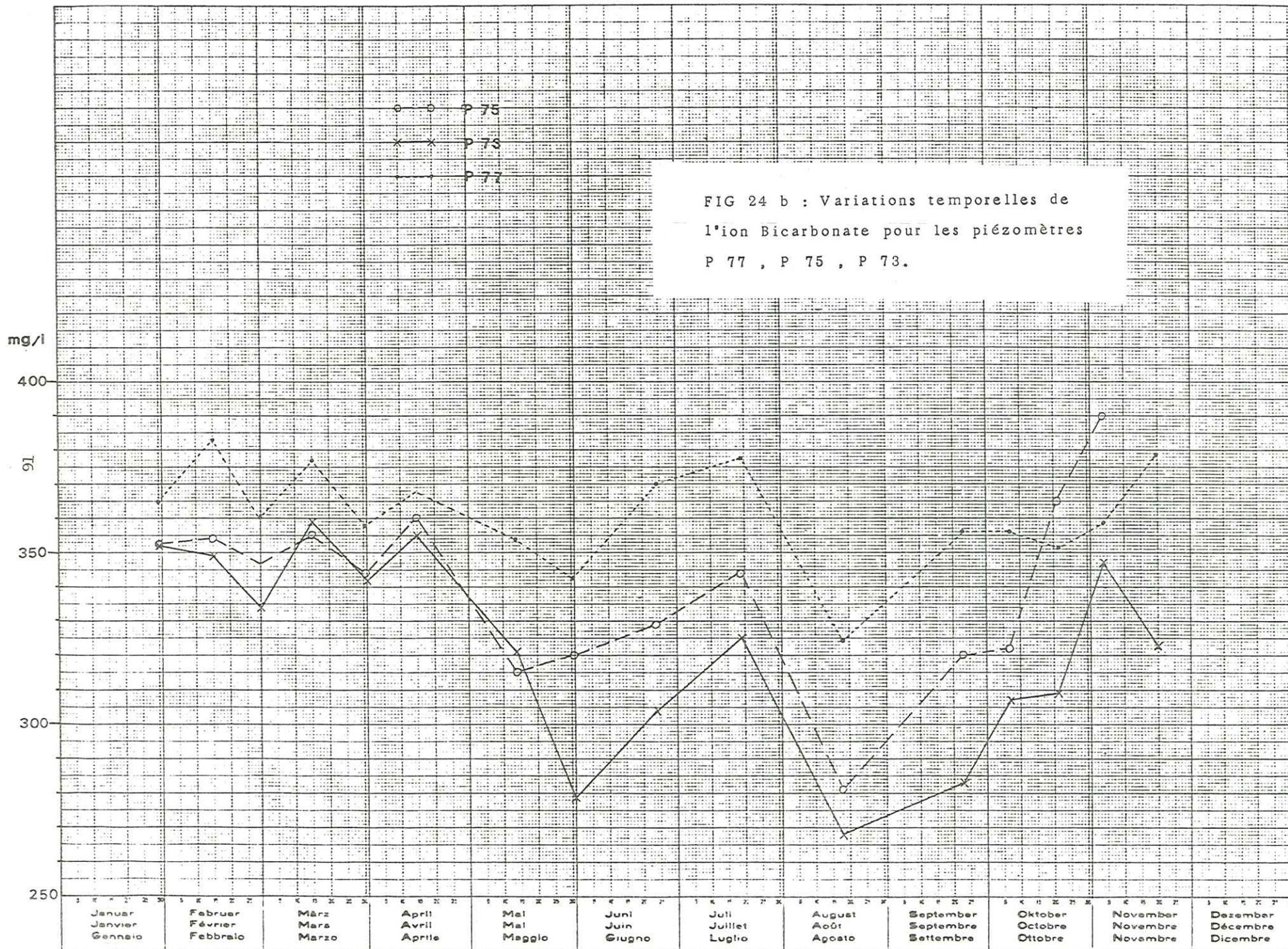
September
Septembre
Settembre

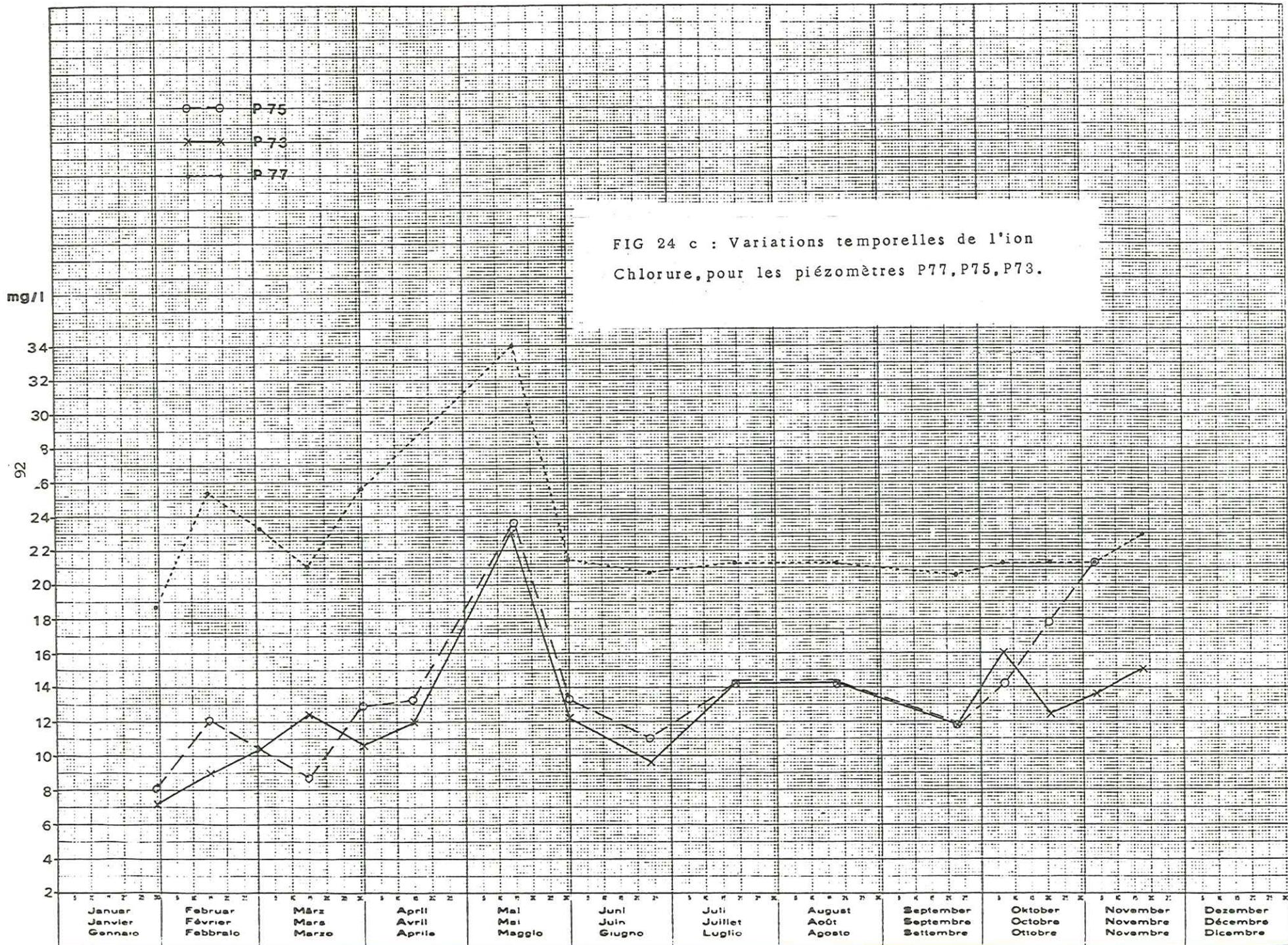
Oktober
Octobre
Ottobre

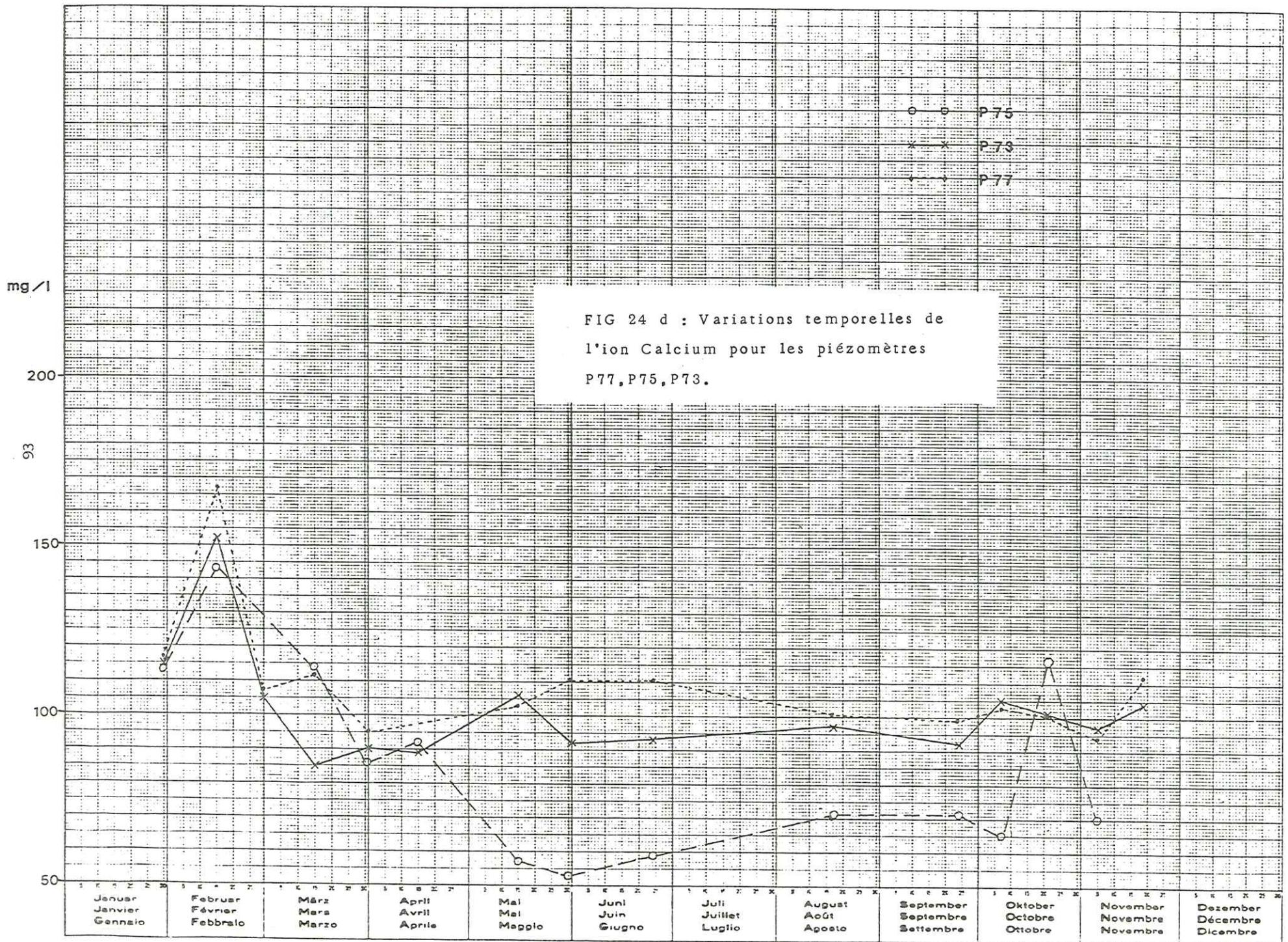
November
Novembre
Novembre

Dezember
Décembre
Dicembre

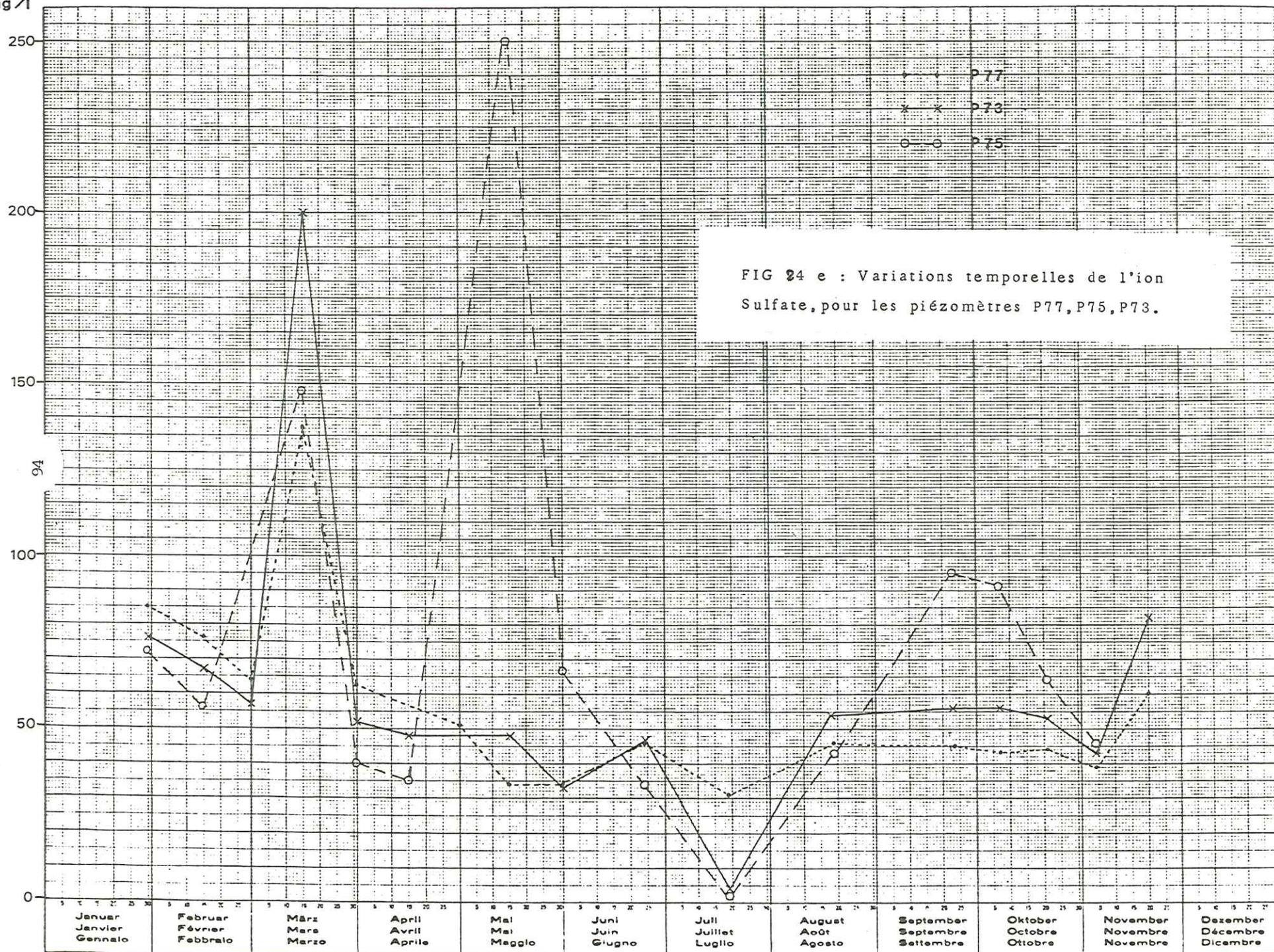
FIG 24 b : Variations temporelles de l'ion Bicarbonate pour les piézomètres P 77 , P 75 , P 73.







mg/l



Si la minéralisation de l'eau d'origine est moyenne (2000 $\Omega \times \text{cm}$) l'acquisition varie de 4 % à 12 % Si elle est faible (3500 $\Omega \times \text{cm}$) l'acquisition peut atteindre jusqu'à 50 % pour un trajet de 500 m seulement.

Vu l'hétérogénéité du milieu, il est cependant impossible de définir un coefficient global d'acquisition de la minéralisation en fonction du trajet de l'eau au sein de la nappe.

2/ ACQUISITION DE LA MINERALISATION EN FONCTION DU TEMPS DE SEJOUR

DE LA NAPPE

La minéralisation acquise par l'eau, c'est à dire celle qui s'ajoute à la minéralisation "héritée", dépend étroitement du temps de contact eau/milieu, donc de la vitesse de circulation de l'eau. Celle-ci varie en fonction de la compacité de la roche et du diamètre des grains qui détermine une interface eau/milieu proportionnelle à ce diamètre, ainsi qu'avec le gradient.

Plus le diamètre des grains diminue (argile), plus le passage de l'eau est lent (ce qui permet un accroissement de la minéralisation), plus le temps de contact eau/milieu est grand, et donc plus les échanges ioniques se font intensément.

Ces 2 effets combinés entraînent une augmentation nette de la minéralisation dans les zones à relativement forte proportion d'argile (fig. 25).

Au niveau du bec de l'Echaillon, mais en rive droite, un site de 8 points nous a permis d'étudier ce phénomène.

Une campagne de mesure de résistivité, en été 1981, avait permis de noter une zone à forte minéralisation autour des points (P86 - P85) en rive droite de l'Isère, en aval de Voreppe.

Les coupes géologiques des piézomètres (fig. 26) données par EDF ont permis de montrer la correspondance de ces 2 points à forte minéralisation avec une zone à forte teneur en argile.

Fig. 25 : Plan de situation des piézomètres de Voreppe-Moirans

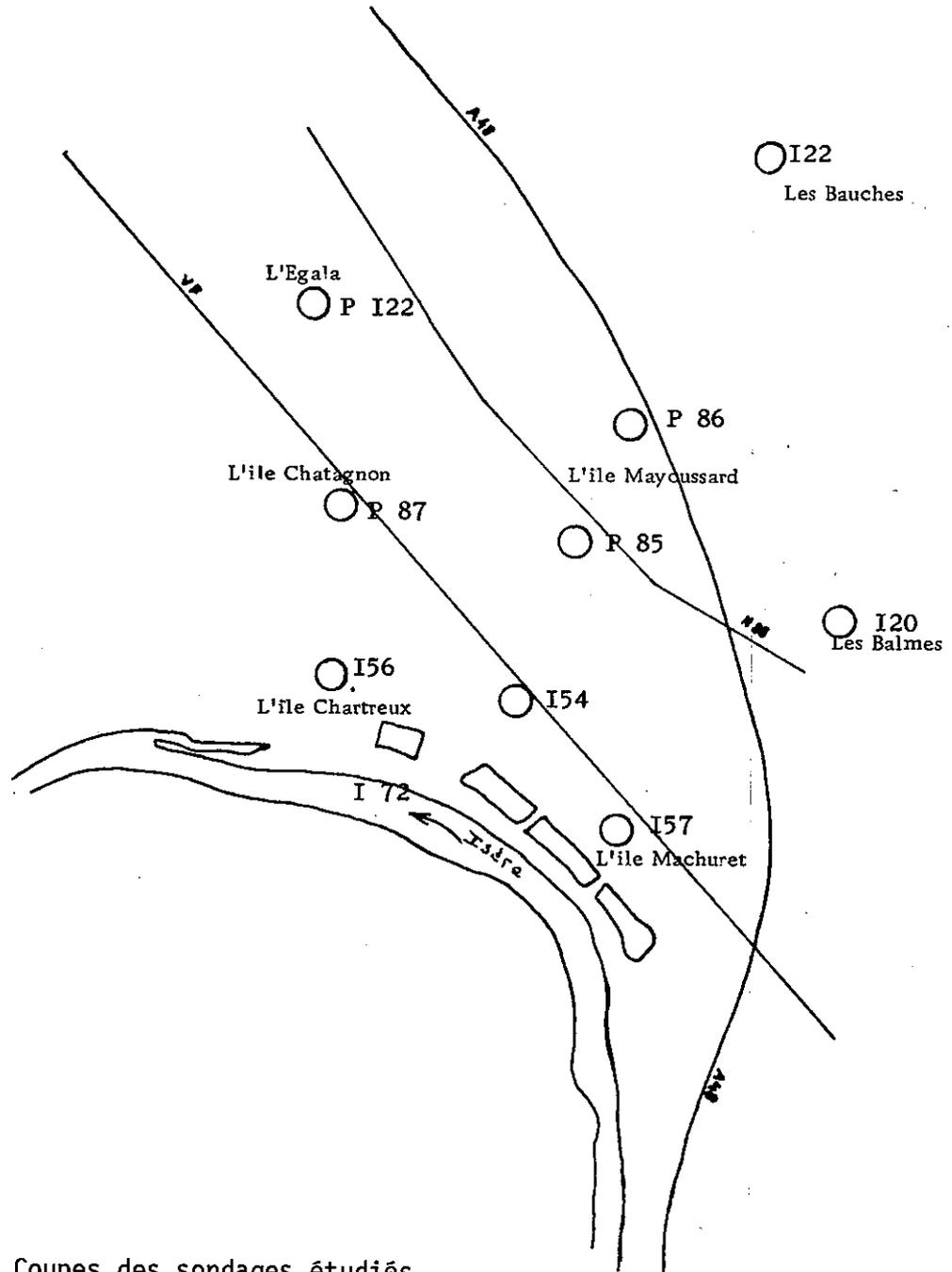
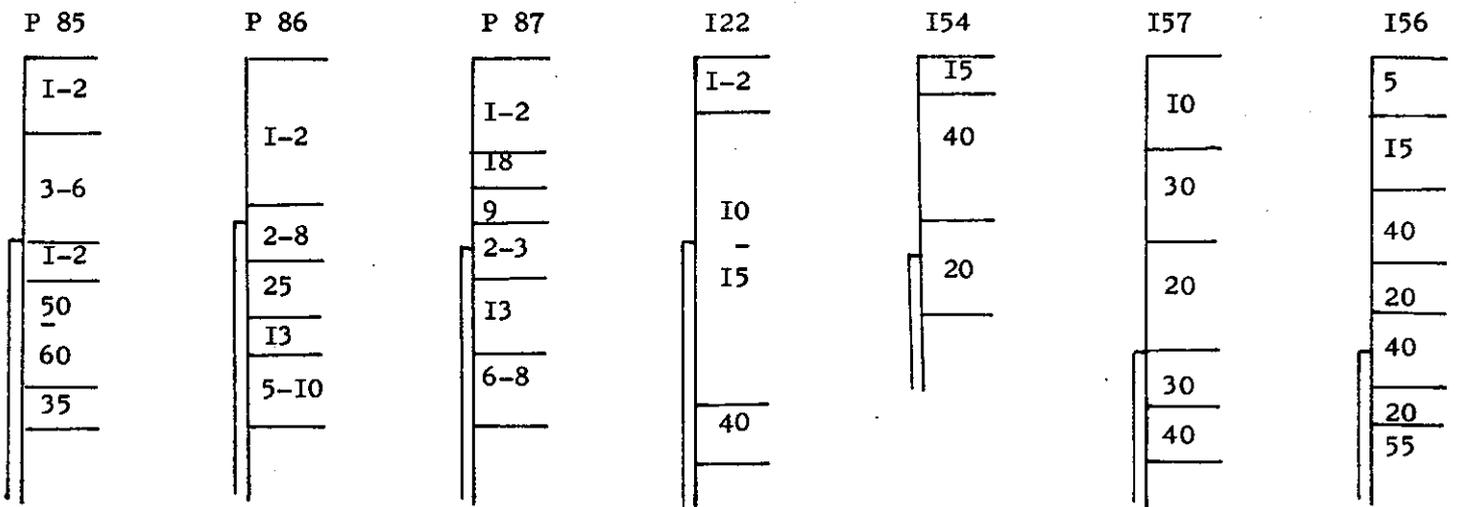


Fig. 26 : Coupes des sondages étudiés



L'examen des résultats de cette campagne et de celle de l'été 1982 (tab. 11) montre une diminution progressive de la minéralisation lorsque l'on s'éloigne de ces 2 points, et ce, dans toutes les directions, en cercles concentriques.

Piézos	Ω.cm	Côte	ToC	THT	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	C _{μs/cm}	Na ⁺	K ⁺
P 85	990	185,17	15,8	21	55,2	17,6	346,5	99,3	96,2	920	11,6	0,5
P 86	1130	185,68	14,0	20,5	54,9	16,4	377,0	56,7	24	804	11,6	0,5
P 87	1540	184,68	15,4	20,2	51,3	18,0	235,5	39	107	688	3,9	0,65
P 122	1700	185,61	16,3	18,2	52,5	12,2	244,0	10,6	32,7	535	5	1,85
I22	2380	186,69	14,9	16,8	46,5	12,6	230,6	28,4	2	382	4	0,4
I54	3630	185,63	17,4	13,4	31,6	13,5	133	35,5	4,6	250	6,8	2,1
I56	4620	186,01	16,6	5,9	17,5	3,8	124,4	14,2	1,6	197	6,8	2,4
I57	5360	186,26	14,0	11,7	20,9	15,7	111,0	14,2	1,5	170	11,6	1,8

Tab. 11 : Résultats des prélèvements effectués en Juillet 1982

Le point central (P85) est crépiné entièrement dans les argiles, le P86 dans une zone mixte et tous les autres piézomètres dans des horizons sableux ou graveleux.

Les chiffres donnés sur la figure 26 correspondent au nombre de coups de marteau donnés pour enfoncer "l'hammer grab" de la foreuse. Les fortes valeurs (50 - 60) correspondent aux argiles. Les faibles valeurs (1 - 2) correspondent aux sables. Ces chiffres ont été tirés des archives EDF (1963 - 1980).

Des prélèvements effectués en hautes eaux (Tab. 12) et en basses eaux (Tab. 13) confirment ces résultats.

Comme il fallait s'y attendre, ces tableaux montrent une minéralisation forte dans les zones à forte teneur en argile, et une minéralisation faible dans les zones sableuses, avec un gradient progressif entre les 2.

Piézos	Q. cm	ToC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	THT	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
P 85	921	11,6	209,6	15,8	52,3	433,1	72,6	107,5
P 86	735	10,8	260,5	12,4	65	473	159	90
P 87	1034	9,6	210	20,2	52,4	432	33	128
P I22	1315	9,6	149	10,2	37,2	333	7,4	57,5
I22	-	-	-	-	-	-	-	-
I54	2896	9,3	53,7	10,5	13,4	122	30	6
I56	3775	8,1	40,5	11,2	10,1	128	15	7,4
I57	4026	11,9	40,5	11,7	10,1	112	15,6	7,3

Tab. 12 : Résultats des prélèvements effectués en hautes eaux

Piézos	Q. cm	ToC	Ca ²⁺	Mg ²⁺	THT	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
P 85	1190	14,7	111	39	43,7	387	91	54
P 86	1300	13,9	102	41	42,3	460	49,6	30
P 87	1480	14,5	122	25	40,6	379,4	33	56
P I22	2065	15	30,5	42,5	25	264	6,7	33
I22	2260	13,6	64,1	18	23,5	250	21	6,6
I54	3360	15,6	29,3	12	12,2	107	31	7,2
I56	4620	13,8	16,8	13,6	9,8	128	11,1	45
I57	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 13 : Résultats des prélèvements effectués en basses eaux

Ce phénomène est bien marqué pour les ions Ca^{2+} et HCO_3^- , car leurs variations dépendent des conditions hydrodynamiques du milieu. Pour les autres ions des variations plus locales de composition du sous-sol (présence d'ancien dépôt d'ordures, rejets industriels, épandages agricoles) amènent des perturbations de la composition des eaux de la nappe.

L'amplitude des variations de la minéralisation pour tous ces piézomètres varie selon les ions et selon le régime de la nappe.

Pour la majeure partie des ions (Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^-) et pour la température, la différence entre la concentration la plus forte et la plus faible est maximale en hautes eaux. Seul Mg^{2+} réagit inversement, en partie parce que ses variations sont opposées à celles de Ca^{2+} .

Lorsque des pluies importantes rechargent la nappe, les eaux remontent à des vitesses différentes suivant la nature du terrain dans lequel la nappe se trouve et en liaison avec les variations de transmissivité.

Dans les argiles, il y a interaction entre le fluide et la roche. Les particules argileuses absorbent l'eau avec augmentation de volume donc diminution de perméabilité et diminution de la vitesse de circulation horizontale et verticale de l'eau, ce qui se traduit par une remontée du fluide plus lente. L'équilibre géochimique s'y établit avec retard.

A un instant donné, aux points situés dans les sables, à vitesse de circulation rapide, la nappe est réalimentée rapidement par les eaux de pluie moins minéralisées, et la résistivité augmente donc mais aux points situés dans les argiles, à vitesse de circulation lente, la nappe n'est réalimentée que beaucoup plus tardivement.

Cette eau plus chargée accentue encore la différence de minéralisation entre le piézomètre dans l'argile et celui dans le sable.

D'après H. SCHOELLER (1962) : "on observe une augmentation de la concentration totale des sels dissous au cours du trajet de l'eau dans la nappe, sous l'effet des nouvelles dissolutions".

Plus le trajet est long, la circulation lente, le temps de contact grand, les pores petits, autrement dit plus les surfaces de contact entre eau et roche sont grandes, plus alors l'augmentation de la concentration générale est sensible.

"L'intensité de l'échange dépend non seulement de la longueur du trajet, mais aussi de la lenteur du cheminement et de la grandeur des surfaces de contact eau-terrain" (H. SCHOELLER, 1962).

Malheureusement, ce ralentissement ne peut pas être mis en évidence par les cartes d'équibattelements de la nappe, établies avec les mesures de relevés mensuels d'EDF.

Si dans une zone argileuse, la nappe remonte lentement après un épisode pluvieux, le niveau le mois suivant pourra être semblable à celui du piézomètre voisin crépiné dans une zone à perméabilité meilleure. La différence de temps, mis pour atteindre le même niveau dans les 2 piézomètres, ne peut pas être appréhendée par des mesures mensuelles. De ce fait, elle ne se traduit pas sur les cartes de battements maximaux.

En été, le passage progressif hautes eaux - basses eaux, se fait par évapotranspiration, par écoulement naturel de la nappe et par baisse de la ligne d'eau de la rivière. Ces 3 facteurs entraînent lentement une uniformisation de son chimisme sur toute son étendue. Des cartes de résistivité d'été l'ont illustré.

Ces zones à vitesse de circulation lente amortissent les variations dans le temps de la minéralisation. Les réactions aux pluies s'y font avec retard.

3/ ETUDE DE QUELQUES RAPPORTS CARACTERISTIQUES

La géochimie des eaux de la nappe dépend de son alimentation. Différentes sortes d'alimentation donnent des variations dans la composition chimique de l'eau. Les données chimiques recueillies permettent de regrouper les échantillons en familles.

D'après l'observation des cartes des teneurs en ions, nous avons pu distinguer 2 zones dans la nappe de l'Isère : La Cluse de l'Isère et la plaine de Moirans-Rovon. Les rapports caractéristiques entre les différents ions permettent un autre mode de comparaison.

La quantité de sels présents dans l'eau en mg/l est ramenée en méq/l de façon à pouvoir comparer les ions entre eux.

CARTE DU RAPPORT

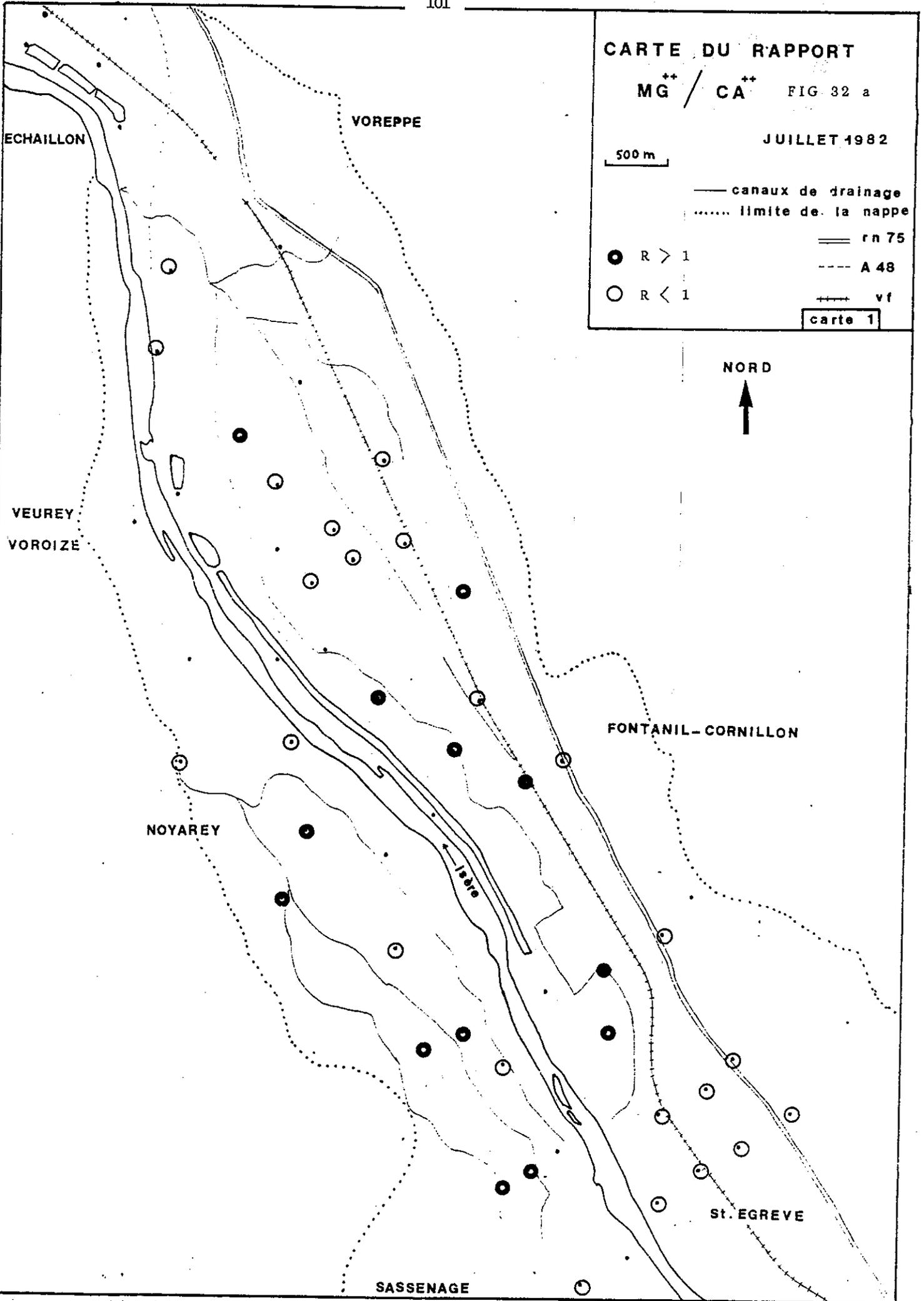
MG⁺⁺ / CA⁺⁺ FIG 32 a

JUILLET 1982

500 m

- canaux de drainage
 - limite de la nappe
 - R > 1
 - R < 1
 - == rn 75
 - A 48
 - ++++ vf
- carte 1

NORD



Cinq rapports peuvent être utilisés qui n'ont pas tous le même intérêt :

$$r_1 = \frac{r \text{ HCO}_3^-}{r \text{ SO}_4^{2-} + r \text{ Cl}^-} \quad r_2 = \frac{r \text{ SO}_4^{2-}}{r \text{ Cl}^-} \quad r_3 = \frac{r \text{ Mg}^{2+} + r \text{ Ca}^{2+}}{r \text{ Na}^+ + r \text{ K}^+}$$

$$r_3 = \frac{r \text{ SO}_4^{2-}}{r \text{ HCO}_3^-} \quad r_5 = \frac{r \text{ Mg}^{2+}}{r \text{ Ca}^{2+}}$$

$$3.1. \quad r_5 = \frac{r \text{ Mg}^{2+}}{r \text{ Ca}^{2+}} \quad r_3 = \frac{r \text{ Mg}^{2+} + r \text{ Ca}^{2+}}{r \text{ Na}^+ + r \text{ K}^+}$$

Comme il a été établi précédemment, l'eau circulant au sein d'un aquifère alluvial constitué d'éléments de roches sédimentaires acquiert une composition minéralogique dominée par le Calcium et les bicarbonates.

Les rapports r_3 et r_5 doivent être respectivement supérieurs et inférieurs à 1 pour que cette règle soit vérifiée.

C'est ce qui se passe dans la plaine de Moirans-Rovon. Quelques anomalies locales mises à part, la concentration en Ca^{2+} est toujours plus forte que celle en Mg^{2+} , traduisant ainsi le fait que l'eau a circulé en majeure partie sur des terrains calcaires.

Le même résultat a été obtenu en 1968 dans le Grésivaudan (*J.C. FOURNEAUX, 1968*) et pour la nappe sous Grenoble entre l'Isère et le Drac étudiée en 1971 (*B. LACROIX, 1971*) (fig. 32 a).

Par contre, dans la Cluse de l'Isère, pour la moitié des points d'observation, le rapport R_5 est supérieur à 1. Pensant qu'il pouvait s'agir d'une zone à fort indice d'échange de base (i. e. b), ce dernier (donné par Schoeller en 1938) a été calculé pour tous les points de prélèvement dans la Cluse de l'Isère.

·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	
·	Piézos	·P69	·P70	·P71	·P73	·P74	·P75	·164	·165	·P77	·104	·169	·172	·171	·175
·	i e b	·0,3	·0,7	·0,1	·0,4	·0,6	·0,3	·0,5	·0,6	·0,5	·0,5	·0,3	·0,6	·0,4	·0,4
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	Piézos	·105	·178	·179	·113	·180	·P82	·182	·183	·P83	·	·	·	·	·
·	i e b	·0,1	·0,02	·-0,24	·0,6	·0,05	·0,2	·0,8	·0,6	·0,9	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·

RIVE DROITE

·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	Piézos	·	·	·	·	·	·	·	·
·	:508	:54	:P114	:P112	:P113	:503	:510	:505	:P107
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	i e b	:1,0	:0,6	:-1,2	:0,6	:0,2	:0,6	:0,8	:0,8
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·	·	·	·

RIVE GAUCHE

$$i e b = \frac{r Cl^- - r (Na^+ + K^+)}{r Cl^-}$$

Sur tous les points, les indices sont positifs, sauf 2, ce qui peut être considéré comme un événement ponctuel non représentatif de l'ensemble de la nappe.

Les eaux échangent donc toujours des ions Na^+ contre des ions Ca^{2+} , Mg^{2+} . Il y a enrichissement en Ca^{2+} , Mg^{2+} au cours du trajet de l'eau, ce qui est confirmé par le rapport r_3 toujours positif.

Na^+ et K^+ sont apportés uniquement lors d'échanges en milieu argileux. Uniquement ceci ne permet pas de résoudre le problème d'une concentration en Mg^{2+} supérieure à celle de Ca^{2+} dans ce secteur.

La moitié des analyses effectuées sur les échantillons de la Cluse de l'Isère ont été dépouillées en volumétrie, le reste en spectrométrie.

Pensant qu'une mauvaise corrélation était à l'origine de ces résultats, nous avons essayé de lier les rapports supérieurs à une famille précise d'échantillons correspondant à une des manipulations.

Dans la Cluse de l'Isère, où les rapports sont supérieurs à 1, la rive droite a été analysée en spectrométrie, la rive gauche en volumétrie. Dans la plaine de Moirans-Rovon, toutes les mesures ont été faites en spectrométrie, or tous les r_5 sont inférieurs à 1. Cette hypothèse n'est donc pas envisageable.

H. SCHOELLER, 1963 et R. FREY, 1933 ont montré que les eaux de lacs et de rivières ont un $r_5 \ll 1$ mais "Les eaux de bassins fermés où l'évaporation empêche une augmentation aussi rapide de la concentration de Ca^{2+} que celle de Mg^{2+} ont un $r_5 > 1$ ". Cela tient à la solubilité relativement faible de $Ca CO_3$ et $Ca SO_4$.

"C'est ce même processus qui amène une augmentation du rapport Mg/Ca lorsque les eaux se concentrent par évaporation ou par dissolution... Le phénomène est très sensible dans une nappe libre située à faible profondeur".

La nappe de la Cluse de l'Isère est relativement fermée au niveau du bec de l'Echaillon par un rétrécissement de sa largeur, elle subit une forte évaporation estivale du fait de sa faible distance par rapport à la surface.

L'examen conjoint des variations annuelles de la résistivité et du niveau de la nappe montre qu'effectivement, entre juillet et septembre, il y a diminution du niveau associée à une diminution et uniformisation de la résistivité. Cette nappe présenterait donc les conditions idéales pour cette explication de H. SCHOELLER et R. FREY.

Dans le détail, l'évaporation entraîne à la fois une diminution du niveau et une concentration en sels jusqu'à saturation. Les solubilités de Ca CO_3 , Ca SO_4 étant inférieures à celles de Mg SO_4 et Mg CO_3 , Ca^{2+} précipite alors que la teneur en Mg^{2+} augmente encore, inversant le rapport r_5 .

Lorsque reviennent les hautes eaux, il y a à la fois dilution et remise en solution des Ca^{2+} réajustant le rapport.

3.2. Rapports $r_2 \cdot r_3$

Ces 2 rapports présentent des variations analogues et sont étudiés ensemble. Globalement, aux faibles variations de r_3 correspondent des faibles variations de r_2 , ce qui s'explique par le fait que les ions Mg^{2+} et K^+ sont plus spécifiquement liés à l'ion SO_4^- et l'ion Na^+ aux chlorures. Si l'ion HCO_3^- n'a pas été pris en compte ici c'est que ses variations de par leur amplitude et leur intensité masquent celles de Cl^- et SO_4^- .

Si cette corrélation $r_2 \cdot r_3$ se fait sans équivoque, il n'est pas possible de le mettre en relation avec une carte piézométrique et de résistivité dans la Cluse de l'Isère.

Dans la plaine de Moirans-Rovon, il y a diminution de $r_2 \cdot r_3$ dans le sens de l'écoulement de la nappe (apport latéral des versants). La nappe se charge en Na Cl au cours de son cheminement, parallèlement en $\text{Ca (HCO}_3)_2$. Cela peut être pris comme un lessivage progressif de terrains fortement chargés en produits divers.

Dans la Cluse de l'Isère, cette zone se situe "au coeur" de la nappe à l'endroit où toutes les courbes d'ions se referment.

Dans la mesure où nous ne sommes pas en présence d'un aquifère fortement argileux, nous ne pouvons pas dire que cet affaiblissement des apports est dû à un échange de base ; mais tout simplement à une concentration préférentielle en certains ions.

L'augmentation de minéralisation se faisant par lessivage, elle est progressive et à peu près constante sur toute la largeur de la nappe ; dans ce cas r_2 ne permet pas de déterminer les rejets massifs de $SO_4^{=}$ ou Cl^- , si ceux-ci ne sont pas localisés.

$$3.3. r_1 = \frac{r \text{ HCO}_3^-}{r \text{ Cl}^- + r \text{ SO}_4^{=}}$$

Ce rapport peu important permet simplement de confirmer que la nappe est totalement bicarbonatée ($r_1 > 1$) et que les seuls points à $r_1 < 1$ sont soit ceux proches des berges de l'Isère, soit ceux soumis à une pollution en Cl^- très locale.

$$3.4. r_4 = \frac{r \text{ SO}_4^{=}}{r \text{ HCO}_3^-} \quad (\text{fig. 35 a, b, c}) \quad (\text{Tab. 14, Tab. 15})$$

Piézos	I 8I	I 72	P 106	P 8I	P 87	I78	P 89	RDA		P 70	I7I	RDM	I05
$SO_4^{=}$	1,9	2,6	6,2	3,1	2,2	1,9	2,7	2,4		1,2	0,7	0,7	0,03
HCO_3^-	1,94	1,56	5,86	3,66	3,86	3,4	4,76	5,56		3,36	3,68	7,54	3,49
R4	0,99	1,66	1,05	0,85	0,58	0,58	0,56	0,42		0,35	0,18	0,09	0,008

Tab. 14 : Rapports R 4 établis en hautes eaux pour différents points de la nappe

Piézos	I 8I	I 72	B	P 8I	P 87
$SO_4^{=}$	0,44	2,54	1,7	3,27	2,25
HCO_3^-	2,26	2,53	2,42	7,23	5,29
R4	0,19	1,004	0,72	0,45	0,42

Tab. 15 : Rapports R 4 établis en basses eaux pour différents points de la nappe. I 82 et I 72 : Isère B
Plan d'eau EDF

CARTE DU RAPPORT

SO_4^{2-} / HCO_3^- FIG 35 a.

JUILLET 1982

500 m

— canaux de drainage
..... limite de la nappe

☆ R=1,1

● R=0,8

○ R=0,25

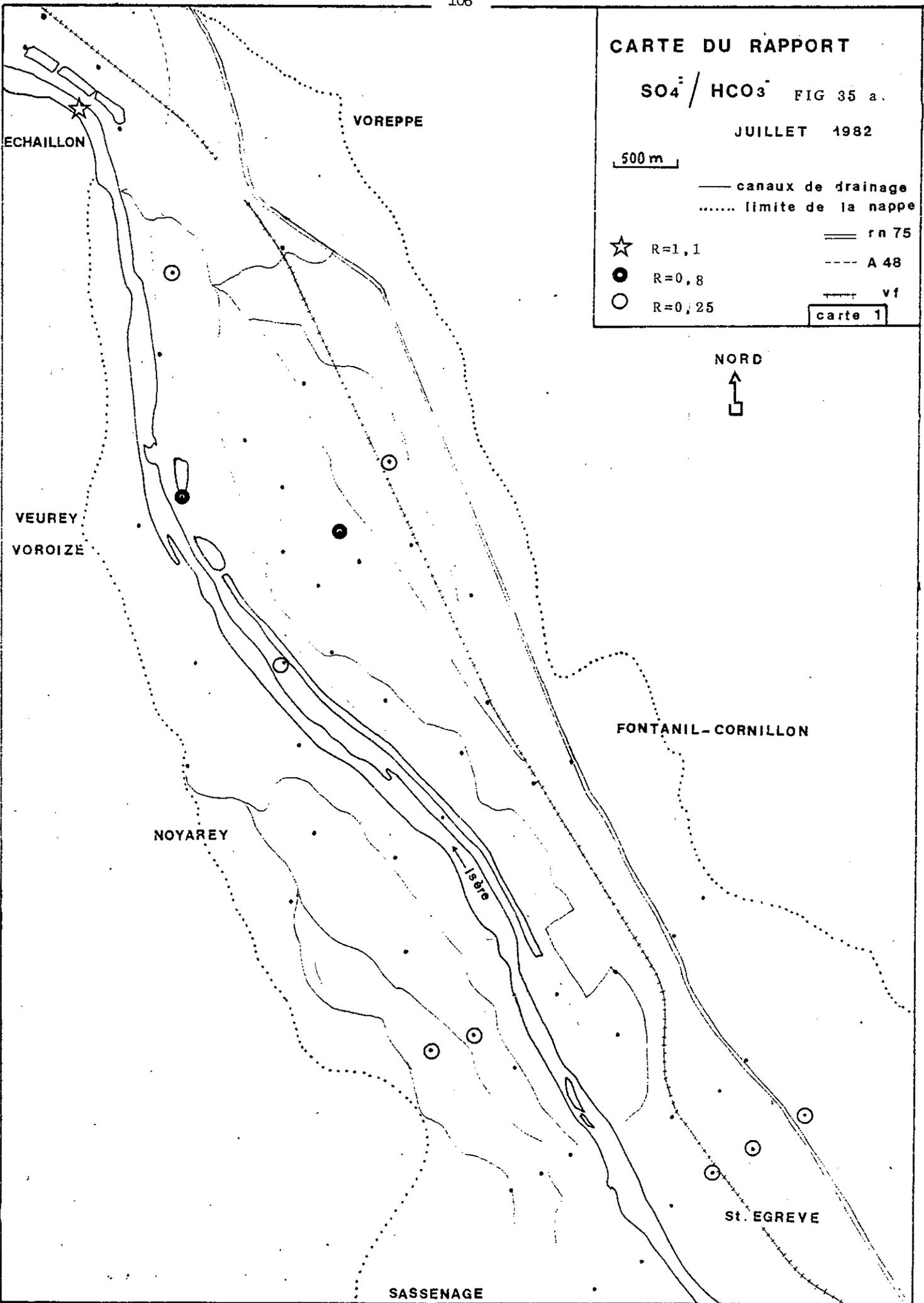
== rn 75

--- A 48

--- vf

carte 1

NORD



CARTE DU RAPPORT

SO_4^{2-} / HCO_3^- FIG 35 b

500m

JUILLET 1982

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

★ R=1,1

● R=0,8

○ R=0,25

--- A 48

==== rn 532

==== rn 85

++++ vf

carte 2

NORD



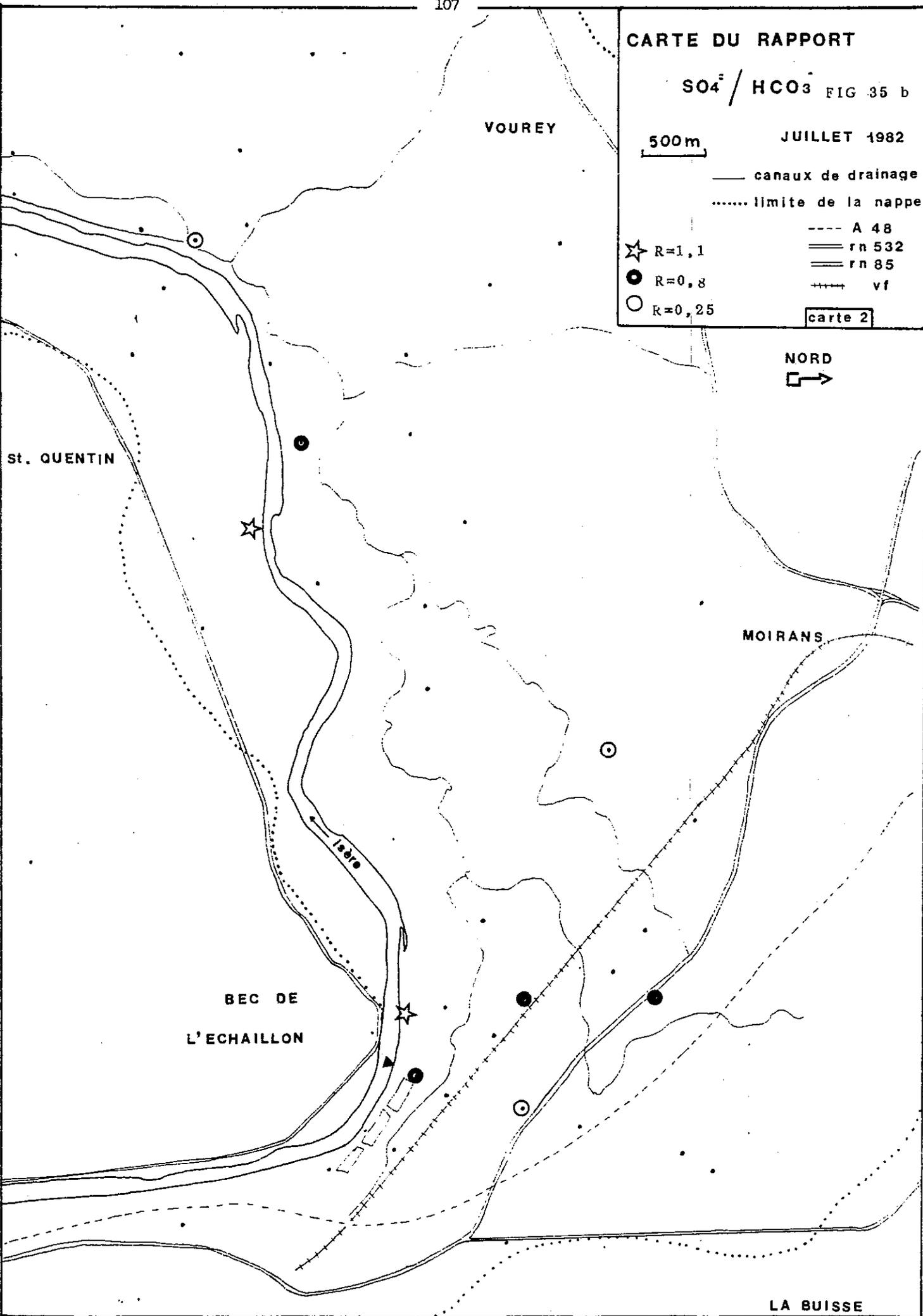
St. QUENTIN

VOUREY

MOIRANS

BEC DE
L'ECHAILLON

LA BUISSE



CARTE DU RAPPORT

SO₄²⁻ / HCO₃⁻ FIG 35 c

- ☆ R=1,1
- R=0,8
- R=0,25

JUILLET 1982

— canaux de drainage

..... limite de la nappe

== rn 92

== rn 532

500 m

carte 3

NORD



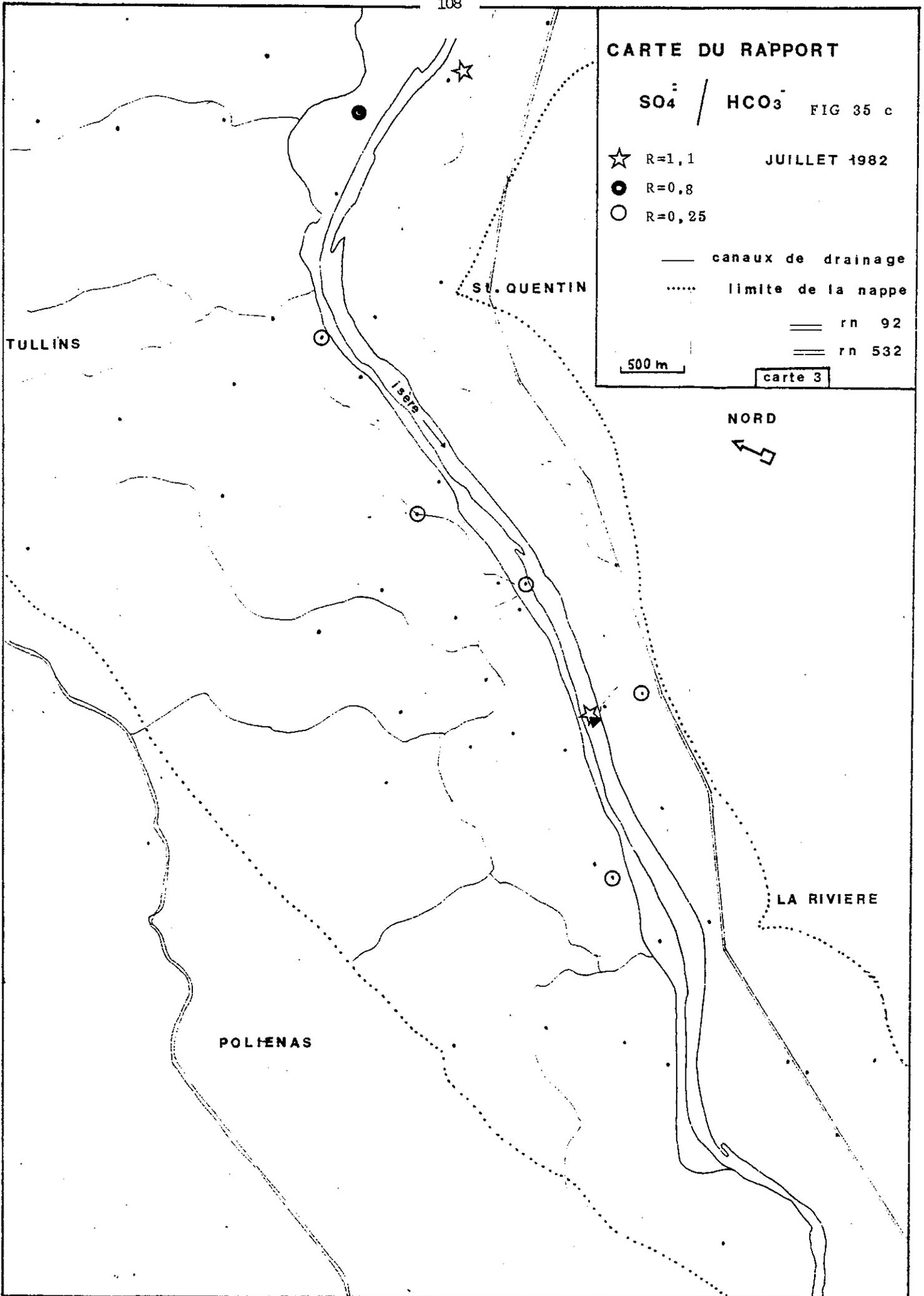
TULLINS

ST. QUENTIN

Isère

LA RIVIERE

POLHENAS



L'évolution de la minéralisation de l'eau pendant son parcours souterrain est telle que l'eau agressive, en traversant les alluvions, se charge en Bicarbonates, ce qui entraîne une diminution relative du taux de Sulfates ; le tout est accompagnée d'une augmentation de la minéralisation totale et d'une diminution de l'agressivité.

La minéralisation des eaux de l'Isère varie avec son débit.

En basses eaux, la rivière a un taux de Sulfates de 2,50 méq/l (I 72, prélèvement dans l'Isère au bec de l'Echailon en rive droite), alors qu'en hautes eaux il est de 2,54 méq/l. Après avoir reçu plusieurs canaux collecteurs d'eau pluviale, ces valeurs diminuent jusqu'à 1,90 en basses eaux et 0,44 en hautes eaux (I 81, Isère en amont de St Gervais, Le Port).

Les apports par les canaux, peu chargés en $SO_4^{=}$ diluent les eaux du cours d'eau dans la zone où le 2ème prélèvement a été effectué.

En basses eaux, r_4 est supérieur à un pour l'Isère et pour les piézomètres alimentés en partie par la rivière, avec diminution progressive lorsque l'on s'éloigne de la zone d'apport.

En hautes eaux, aucune zone d'alimentation de la nappe par la rivière n'a pu être mise en évidence ; d'une part parce que ce rapport est plus faible dans l'Isère, et d'autre part parce que le phénomène est inversé ; la nappe la plus haute aurait tendance à être drainée par le cours d'eau.

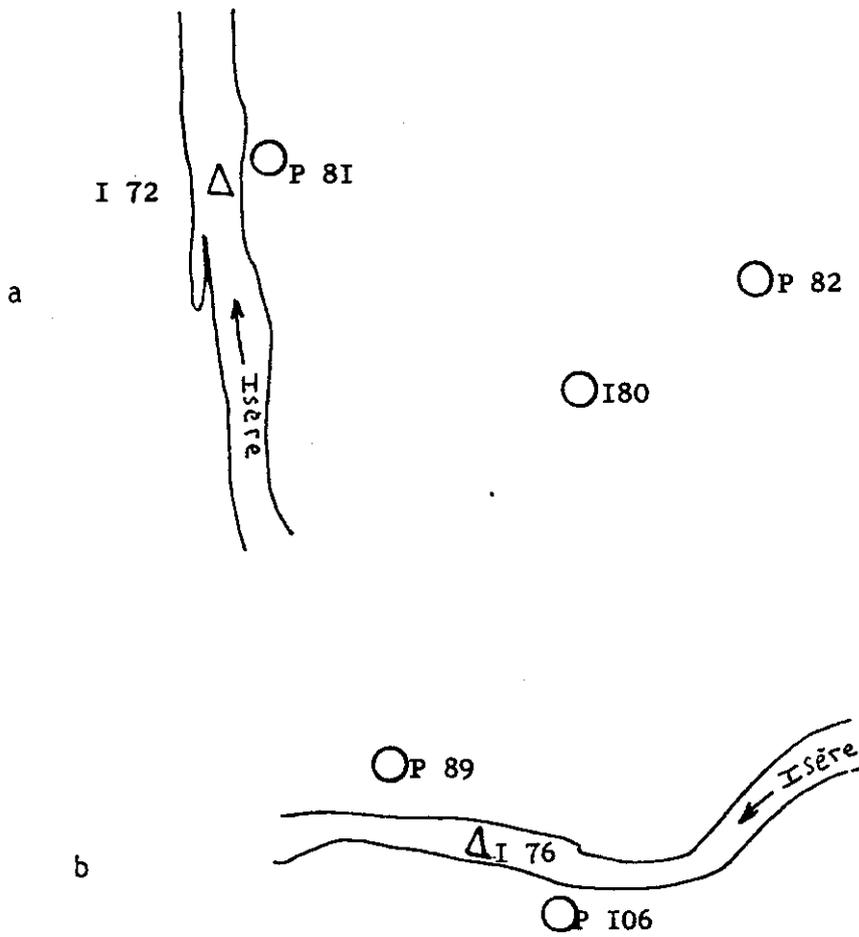
Aucune valeur de r_4 sur la nappe n'est supérieure à 1 en hautes eaux (fig. 36).

Il y a donc grossièrement 3 zones possibles d'alimentation de la nappe par l'Isère.

Les piézomètres proches de la rivière, et en relation avec celle-ci, devraient correspondre à des zones de fort battement de la nappe. En effet, les zones à forts battements correspondent aux zones d'alimentation latérale.

A Veurey, les 2 hypothèses se recoupent. Les points P81, 180, P82 (rive droite de l'Isère, du pont de Veurey au Chevalon) sont dans une zone à fort battement de la nappe (1,0 m à 2,2 m) et l'infiltration le long de la berge a pu être quantifiée par le rapport $\frac{SO_4^{=}}{HCO_3^{-}}$ qui varie de 0,85 à 0,37.

Fig. 36 : Plans de situation des zones d'apport d'eau par l'Isère a au Fontanil, b à La Rivière



Dans la zone du futur barrage de Voreppe, l'infiltration en provenance de l'Isère, atténuée par la présence de plans d'eau en rive droite semble être masquée par les apports latéraux venant de La Buisse. Les points à rapport voisin de 0,5 se situent effectivement sur une zone à fort battement ($\gg 1,5$ m), mais ces battements doivent plus être dûs aux apports latéraux qu'aux apports de l'Isère, vu la forme des courbes d'équibattement.

A St Quentin sur Isère, l'effet est contraire. Si le P106 (rive gauche de l'Isère dans la plaine entre St Quentin et St Gervais) est le point qui marque le mieux le passage de l'eau par la berge ($r = 1,05$), il se situe dans une zone à faible battement (0,65). Il en va de même pour le P89 situé en rive droite, au même endroit.

Dans toute la zone de Tullins à Rovon, la zone proche de l'Isère est en faible battement et correspond à une zone où la nappe est drainée par la rivière, lorsqu'on examine les cartes piézométriques.

Les liaisons entre la nappe alluviale et son cours d'eau sont caractérisées par la forme des courbes isopièses :

- soit la nappe, plus haute que l'Isère, l'alimente ;
- soit il y a équilibre dynamique entre les 2 ;
- soit la nappe, plus basse que l'Isère, est alimentée par elle.

Cette dernière situation ne se retrouve actuellement qu'en basses eaux et dans quelques points isolés entre Vourey et le Fontanil. Cela est dû au creusement progressif du lit de l'Isère en particulier à cause des prélèvements de graviers.

La situation médiane est présente dans le même secteur que précédemment à chaque passage hautes-basses eaux, pendant un court laps de temps.

La lère situation représente la nappe en hautes eaux telle que l'on peut l'observer presque partout, toute l'année.

Si l'on veut appréhender cette situation dans le détail, une étude hydrochimique à maille plus serrée s'avère nécessaire.

L'étude du rapport $r_3 = \frac{SO_4^{2-}}{HCO_3^-}$ permet de confirmer ce qui se passe au Fontanil, c'est à dire l'alimentation en basses eaux de la nappe par la rivière. Par contre, dans les deux autres secteurs, l'examen simultané des cartes de battement et du rapport SO_4^{2-}/HCO_3^- n'a pas pu mettre en évidence, sans équivoque, une telle alimentation.

Cependant, il est fort possible dans ce secteur que les courbes isopièzes traduisent effectivement une arrivée d'eau de la rivière dans la nappe, mais située en profondeur et de telle sorte que le flux de matière ne se propage pas dans le sens vertical.

Dans ce cas, il ne serait alors pas matérialisé par des teneurs plus fortes en Sulfates que celles de la nappe.

Cela peut se produire ainsi lorsque la moitié supérieure de la berge est colmatée. L'infiltration a lieu seulement dans la partie inférieure et atteint seulement les couches profondes de la nappe.

4/ CONCLUSIONS SUR LES VARIATIONS SPATIALES

D'après H. SCHOELLER, 1962, le trajet de l'eau dans les terrains comporte un trajet général à l'intérieur duquel il y a des trajets irréguliers, plus rapides ou plus lents, ou les deux à la fois.

Ils traduisent des vitesses plus ou moins grandes à l'intérieur du même conduit.

Comme un terrain aquifère n'est pas toujours homogène, des filets liquides assez voisins, circulant dans des matériaux différents, peuvent dissoudre différemment les substances, et modifier la composition chimique de l'eau.

De plus, l'eau circule le plus souvent le long de zones privilégiées, dans un milieu aquifère, ce qui permet une individualisation des filets liquides et empêche la masse fluide d'avoir une composition homogène.

De ce fait, les observations réalisées sur un trajet donné ne sont pas généralisables à l'ensemble de l'aquifère.

On peut noter cependant que, dans tous les cas, deux zones ont été individualisées tant des points de vue morphologique, hydrodynamique qu'hydrochimique. Elles correspondent à :

a : La Cluse de l'Isère. La nappe étroite a un écoulement rapide selon l'axe de la vallée. Les canaux de drainage influencent les tracés des isopièzes. Les conditions hydrochimiques ne se superposent pas aux conditions hydrodynamiques.

b : La plaine de Moirans-Rovon La nappe élargie entre le Vercors et le bassin molassique du Bas-Dauphiné a un écoulement axial et latéral. La qualité de l'eau est homogène et les variations de minéralisation suivent assez bien les variations de pression.

L'acquisition de la minéralisation, qui se traduit par l'augmentation des teneurs en sels (dans l'ordre décroissant : Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+}) est fonction :

- de la minéralisation initiale ou héritée ;
- du trajet effectué dans la nappe ;
- de la vitesse de circulation de l'eau ;
- de l'importance du battement de la nappe ;
- de la profondeur de la nappe ;
- des arrivées d'eau latérales, profondes, et par la rivière.

Toutes ces conditions, réunies pour un point, empêchent de définir un gradient de minéralisation uniforme pour l'ensemble de la nappe, et ne permettent pas de définir des lois applicables à tout autre aquifère alluvial.

5/ CORRELATION ENTRE LES CARTES DE BATTEMENT ET LA RESISTIVITE

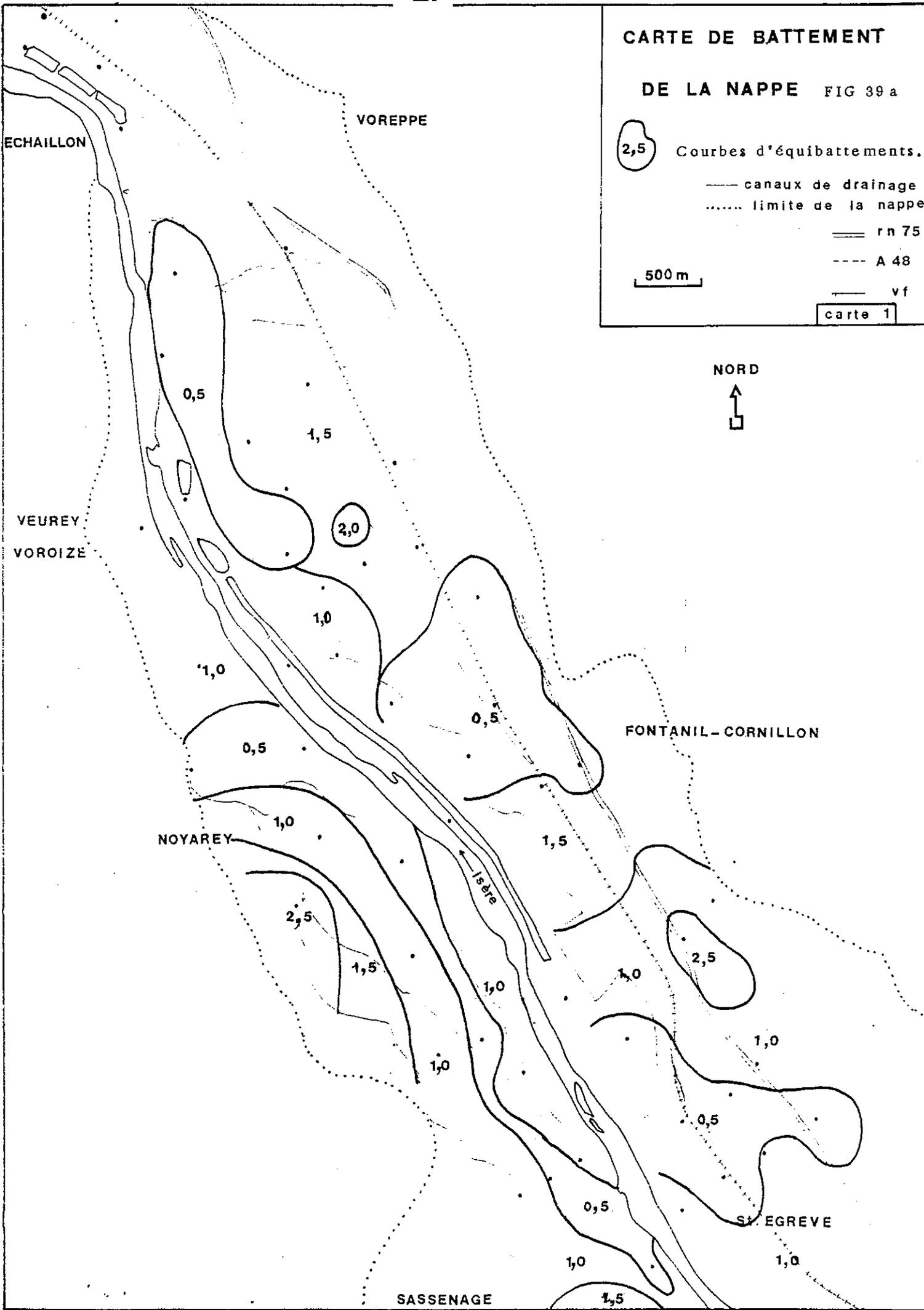
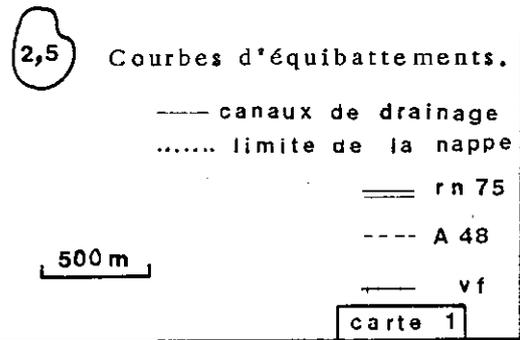
La carte des battements du toit de la nappe permet de bien mettre en évidence les zones d'apports latéraux par les versants ou par l'Isère (fig. 39 a, b, c) qui devraient correspondre aux zones à plus fortes variations de concentration.

Si l'acquisition de la minéralisation des eaux dans la nappe se fait essentiellement dans la zone où les battements sont les plus importants, leur mise en évidence n'est pas toujours aisée.

Le tableau 16 figure deux exemples d'alimentation latérale par les versants pour trois piézomètres à battements différents.

CARTE DE BATTEMENT

DE LA NAPPE FIG 39 a



CARTE DE BATTEMENT DE LA NAPPE FIG 39 b

2,5 Courbes d'équibattements.

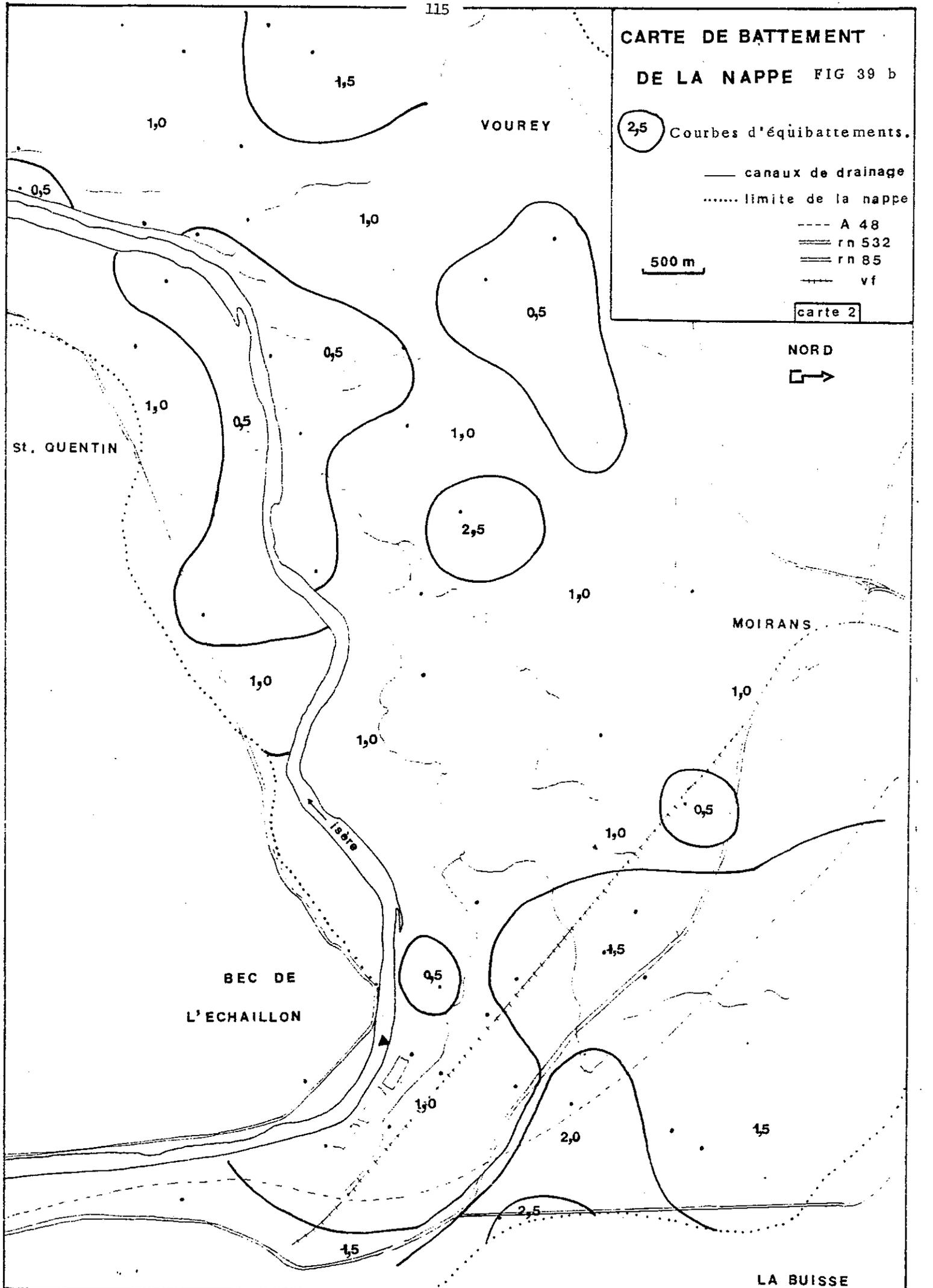
— canaux de drainage
 limite de la nappe

--- A 48
 === rn 532
 === rn 85
 +++ vf

500 m

carte 2

NORD



St. QUENTIN

VOUREY

MOIRANS

BE C DE
L' ECHAILLON

LA BUISSE

CARTE DE BATTEMENT

DE LA NAPPE FIG 39 c



Courbes d'équibattements.

— canaux de drainage

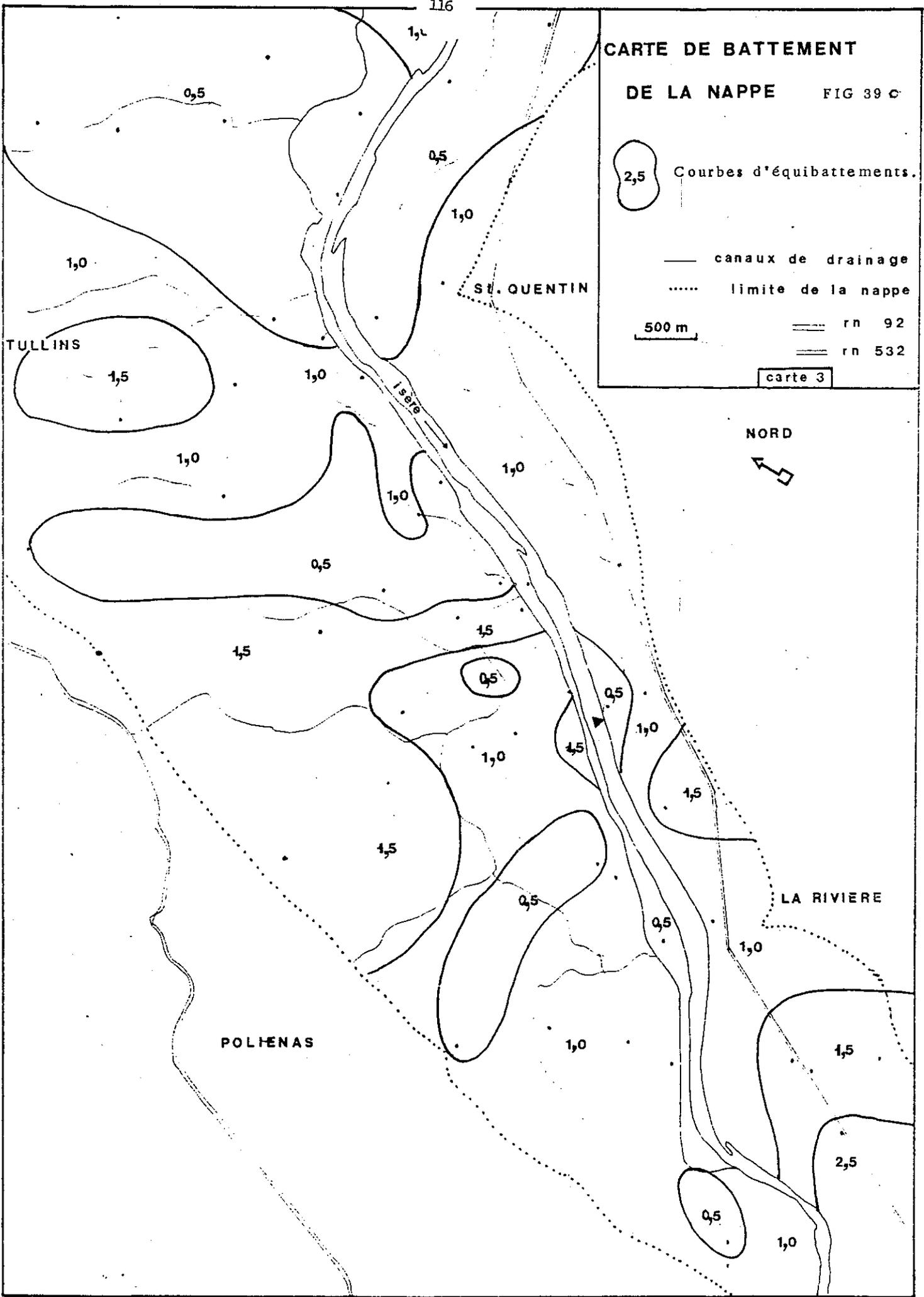
..... limite de la nappe

500 m

== rn 92

== rn 532

carte 3



NORD



Piézos	Battement	Résistivité	HCO ₃ ⁻	THT	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
P 92	1,88	1150	35	22	200	120
P 91	1,25	750	180	18	20	110
P 120	0,95	750	120	18	15	120
P 86	2,36	600	250	27	110	80
P 87	1,52	540	200	15	35	190
P 85	1,00	300	140	10	75	120

Tab. 16 : Corrélations entre les indices de battement et les variations de résistivité en basses eaux

Les piézomètres à fort battement, traduisent des apports de versant peu minéralisés donc une résistivité plus forte.

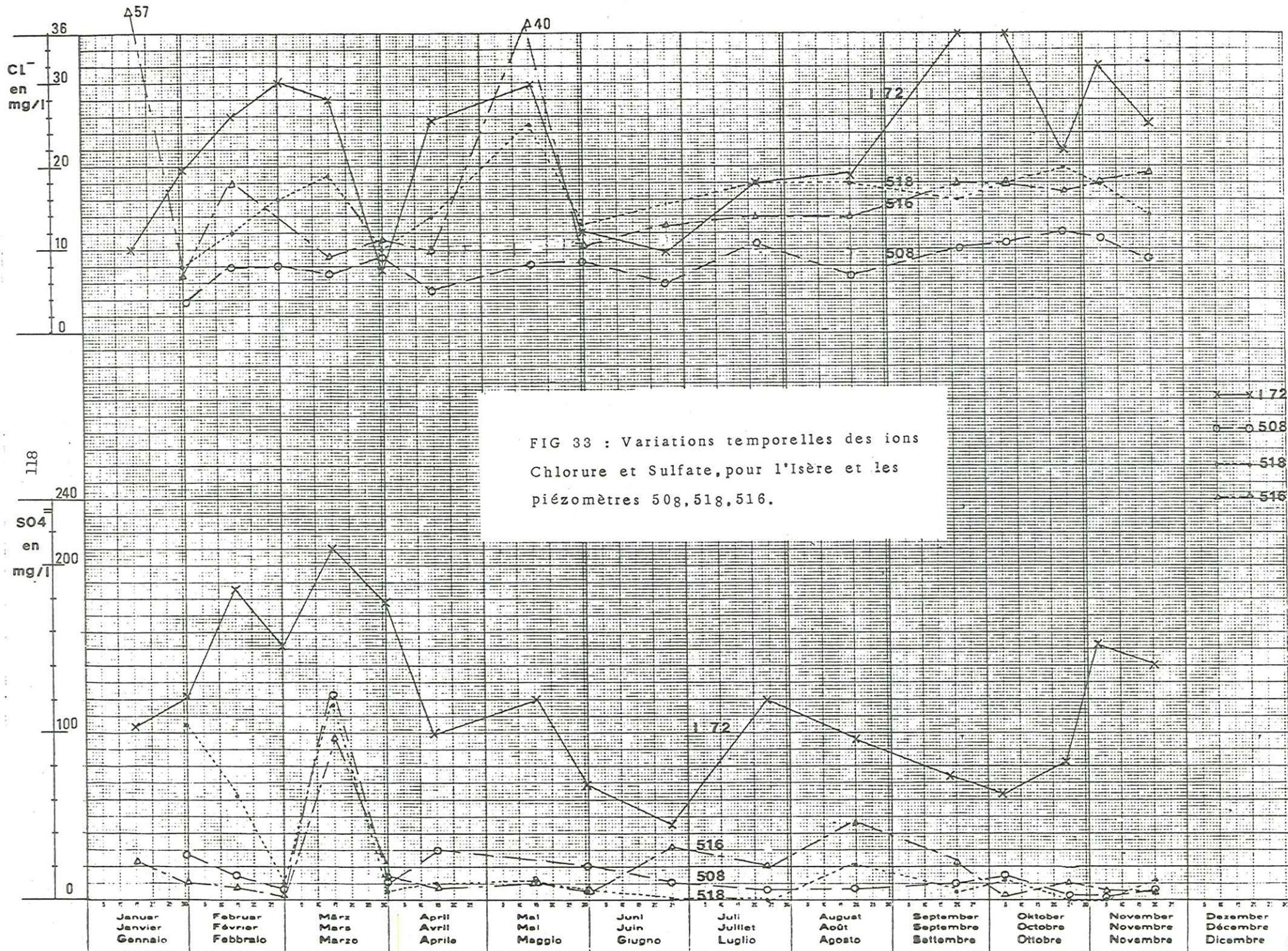
Du P92 (à Tullins) influencé par les apports latéraux, mis en évidence par les cartes piézométriques, vers le P91 et le P120 (rive droite de l'Isère au hameau du Fay à Vourey), la résistivité décroît ce qui dénote bien une augmentation de la minéralisation.

De la même façon les 3 piézomètres, pris sur la zone industrielle de Voreppe, en rive droite de l'Isère, présentent la même corrélation entre fort battement et forte résistivité (relativement aux autres), mais ces différences sont moins évidentes car les apports sont moins marqués.

Lorsque l'on passe du tableau à l'échelle plus grande de la carte, le problème se complique et une telle corrélation n'est plus réalisable. Si de plus on y intègre les valeurs de chaque ion, on note que ce qui pouvait s'expliquer par la résistivité, ne s'explique plus pour chaque ion pris séparément, même à petite échelle sur le tableau. Cela tient au fait que les variations des teneurs en ions sont trop détaillées par rapport à la précision des cartes de battement.

II - VARIATIONS DANS LE TEMPS DE LA MINÉRALISATION

La composition des eaux a été contrôlée en 55 points régulièrement toutes les 2 semaines de façon à mieux appréhender leurs variations saisonnières.



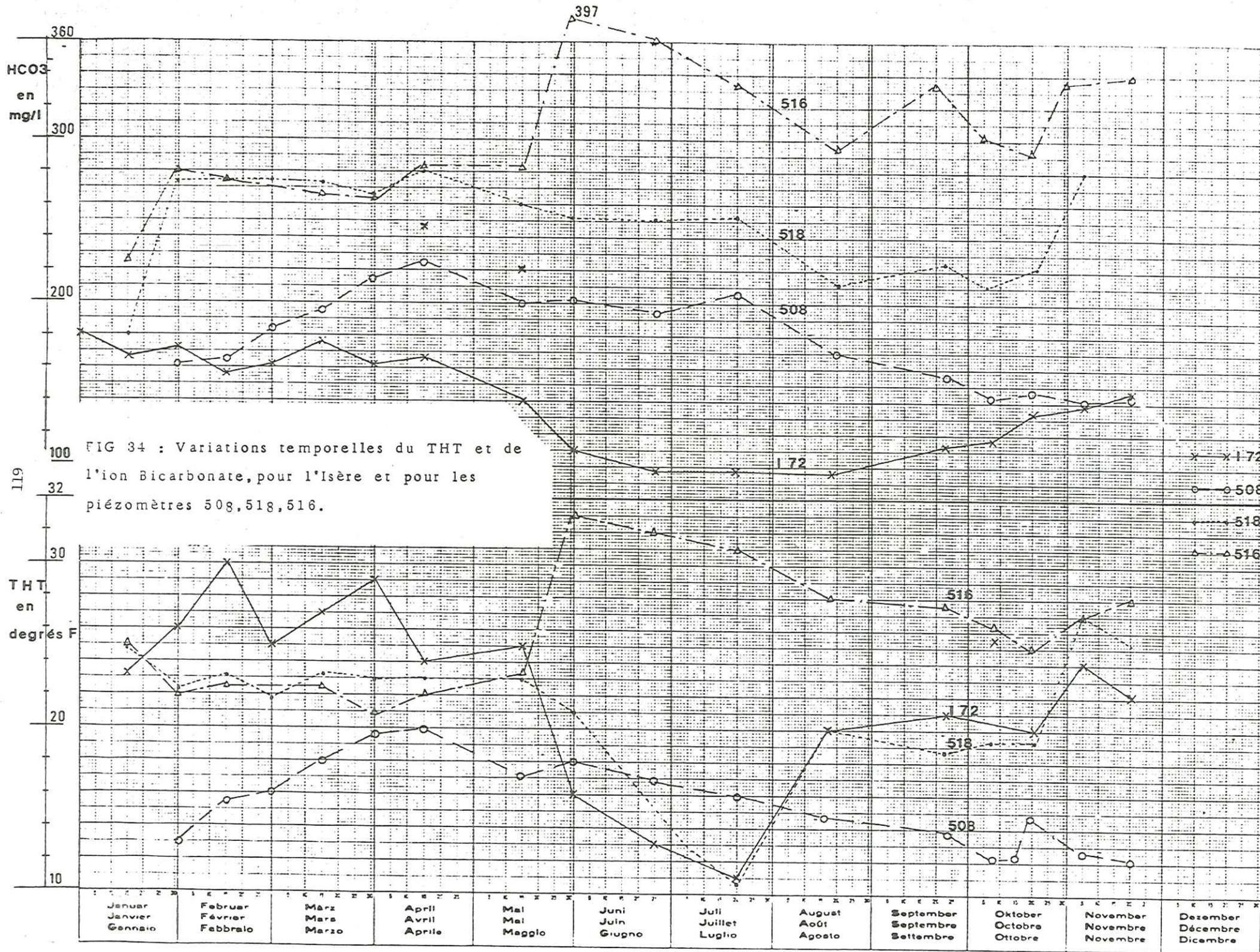
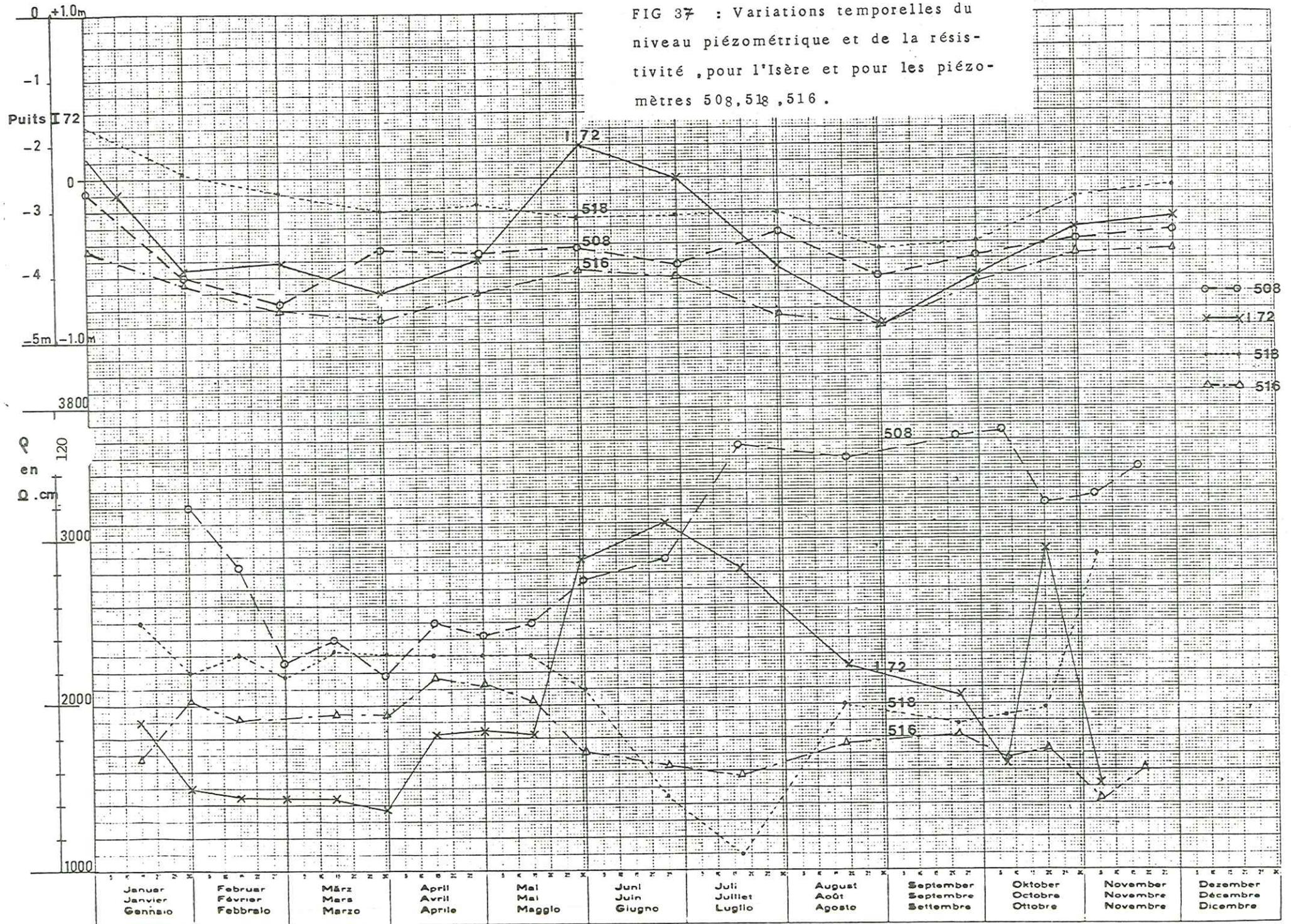


FIG 34 : Variations temporelles du THT et de l'ion Bicarbonate, pour l'Isère et pour les piézomètres 508, 518, 516.

119

FIG 37 : Variations temporelles du niveau piézométrique et de la résistivité, pour l'Isère et pour les piézomètres 508, 518, 516.



T°C

20.0

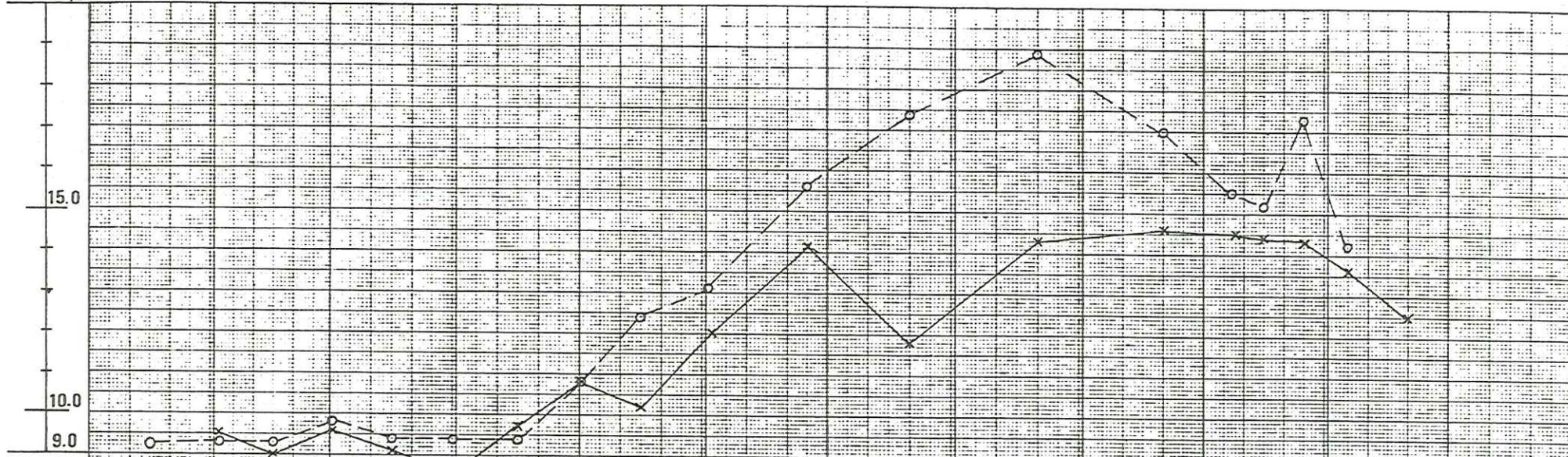
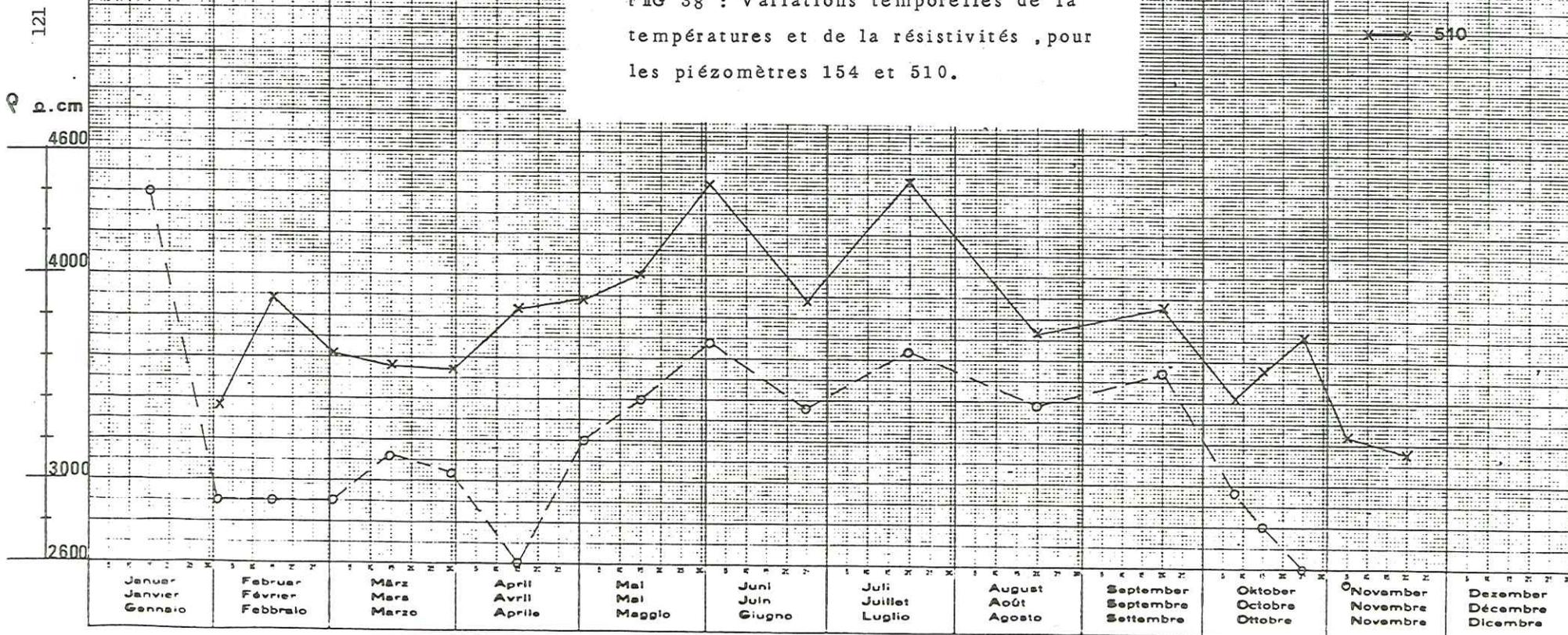


FIG 38 : Variations temporelles de la température et de la résistivité, pour les piézomètres 154 et 510.

○ ○ 154

× × 510



S'il s'est avéré très délicat d'obtenir des informations générales sur les variations spatiales de la minéralisation, il a été impossible d'en tirer à partir des variations saisonnières de ces points.

La comparaison des variations de la minéralisation des eaux de ces piézomètres permet de les diviser en 2 groupes (fig. 33. 34. 37.38) : Une partie suit les variations du cours d'eau superficiel avec un phénomène d'amortissement proportionnel à l'éloignement, une autre a des variations complètement indépendantes, voire même opposées.

Dans ce 2ème groupe, tout au plus la résistivité de la nappe augmente en été et diminue en hiver, en phase ou indépendamment des variations de la cote du plan d'eau.

Une pluie va provoquer une hausse rapide du niveau de l'Isère, suivie d'une hausse du niveau piézométrique mais amortie et décalée dans le temps. Pour cette raison, la comparaison des variations du niveau de l'eau dans l'Isère et dans les piézomètres en fonction du temps montre beaucoup de différences.

La complexité s'accroît si l'on intègre dans l'analyse, le niveau de l'eau, la résistivité, les teneurs en ions, pour l'Isère et pour chaque piézomètre.

Plusieurs cas se présentent alors :

* Les variations de résistivité du piézomètre sont analogues à celles de l'Isère, mais elles ne correspondent pas du tout au niveau piézométrique (165 = rive droite de l'Isère, à St Egrève).

* Les variations de résistivité suivent celles de l'Isère et sont liées au niveau piézométrique. Une forte minéralisation correspond aux basses eaux et inversement (516 = rive gauche à La Rivière).

* Les variations de résistivité sont identiques aux précédentes, mais une forte minéralisation correspond aux hautes eaux (508 = rive gauche à Sassenage).

Si du point de vue dynamique, il n'existe qu'une seule nappe dans la couche superficielle des alluvions de la Cluse de l'Isère et de la Plaine de Moirans, la présence de lentilles de perméabilités et de tailles variables crée des zones où se superposent et se juxtaposent des couches d'eau de qualités physico-chimiques différentes.

Autour de ces lentilles, l'équilibre dynamique s'établit beaucoup plus rapidement que l'équilibre chimique, ce qui explique le décalage existant entre les variations du niveau piézométrique et celles de la résistivité.

Plusieurs phénomènes existant simultanément doivent être mis en cause : un décalage temporel, existant pour un point donné, entre l'arrivée de l'onde chimique et l'arrivée de l'onde dynamique ; une série de mélanges des eaux accompagnée très souvent d'une dilution de soluté par dispersion.

2.1. Décalage temporel entre l'onde chimique et l'onde dynamique :

La structure même de l'aquifère alluvial, composé d'un empilement de lentilles de perméabilités, d'orientations et de tailles différentes, fait que la vitesse de circulation de l'eau dépend de la nature de la lentille traversée.

Dans les lentilles à circulation rapide, l'onde dynamique se propage à la même vitesse que l'onde chimique, si bien qu'à une impulsion donnée, correspond simultanément une augmentation du niveau piézométrique et une arrivée d'eau moins minéralisée entraînant une augmentation de la résistivité. C'est ce qui se passe dans le 2^{ème} cas présenté (piézomètre 516 à La Rivière).

Dans les lentilles à circulation lente, l'onde chimique arrive avec retard au piézomètre par rapport à l'onde dynamique. Si le retard est suffisamment important, une succession d'impulsions entraînant une succession d'ondes chimiques et dynamiques, toutes décalées, il pourra arriver que les hautes eaux associées à une 2^e impulsion correspondent dans le piézomètre à une forte minéralisation, associée elle à la 1^{ère} impulsion. Ce cas est donc l'opposé du précédent lorsqu'on regarde les variations de la minéralisation en fonction du temps pour tous les piézomètres et il représente la 3^{ème} série de piézomètres observés sur la vallée de l'Isère.

* Un 4^e groupe de points, dont les variations de minéralisation étaient indépendantes de l'Isère, et du niveau piézométrique, a posé quelques problèmes pour connaître les causes des pics de minéralisation observés indépendamment de toute impulsion.

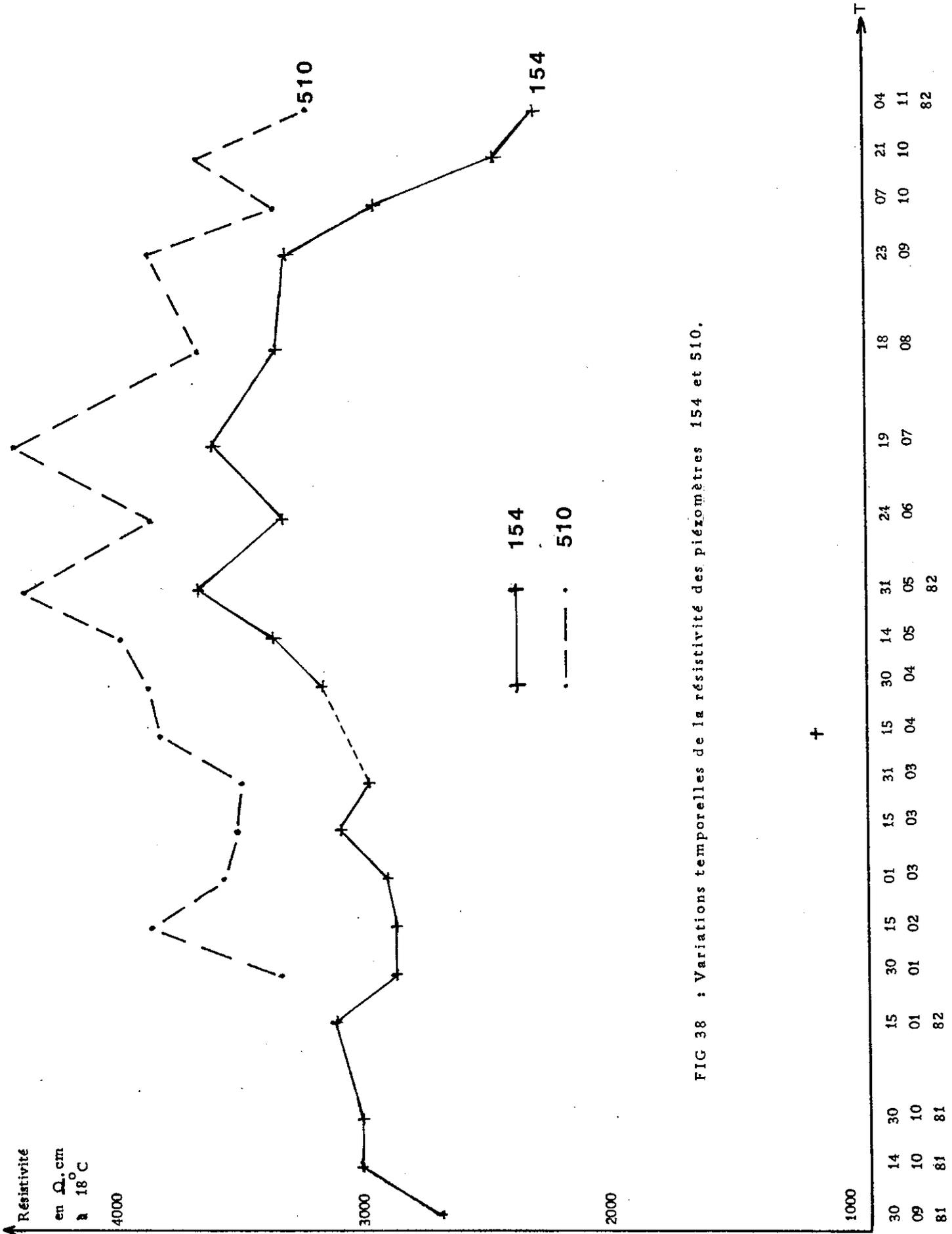


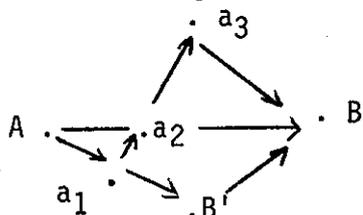
FIG 38 : Variations temporelles de la résistivité des piézomètres 154 et 510.

(Fig. 38). Ce phénomène ne semble pas lié à une quelconque situation géographique, car les piézomètres cités sont répartis un peu partout dans la nappe, à savoir : rive droite de l'Isère à l'aval de St Egrève (P82), rive droite au bec de l'Echaillon (154), rive gauche de l'Isère, plaine de Noyarey (510. P113), rive droite à St Quentin (P105). Il a cependant déjà été observé en amont de Grenoble sur la vallée de l'Isère (J.C. FOURNEAUX, 1975).

2.2. Phénomène de mélange-dispersion :

La circulation de l'onde chimique se fait de façon sinueuse, selon un cheminement à maille carrée avec mélange de plusieurs eaux à chaque noeud du réseau.

Pour un trajet AB donné :



* Le trajet direct AB correspond à l'onde dynamique ainsi qu'aux piézomètres implantés dans les lentilles très perméables. Les hautes eaux correspondent à une faible minéralisation.

La migration de l'eau ne se fait que par convection, ou mouvement piston sans interaction eau/roche. Il y a entraînement des éléments en solution dans le mouvement du fluide qui se déplace, mais suffisamment rapidement pour qu'il n'y ait pas de nouvelles dissolutions (V.M. SHESTAKOV et D.N. BASHKATOV).

* Le trajet A a₁, a₂, a₃ B correspond aux piézomètres implantés dans des lentilles peu perméables. Le trajet n'est pas direct et de plus, il est ralenti par de mauvaises conditions de circulation. De ce fait, les hautes eaux correspondent à une forte minéralisation. A ce phénomène s'ajoute des interactions eau/roche non négligeables, avec mise en solution des substances solubles fixées sur la roche (DE MARSILY, 1981). Il peut y avoir modification des propriétés physico-chimiques des eaux.

* Le trajet AB'B correspond à l'itinéraire pris par les molécules qui circulent dans des lentilles à perméabilité située entre les 2 cas précédents. Au décalage temporel se superpose un transfert des éléments, conservatif ou non (dans ce cas, il y a des interactions entre le milieu et les éléments transportés) dont il sera question plus loin.

En B arriveront successivement AB, puis AB'B et enfin Aa₁ a₂ a₃ B, donnant chaque fois un petit pic de concentration, (fig. 38) et ce, pour une impulsion donnée.

Cependant, si l'impulsion n'est pas isolée, et si chacune d'elles provoque une série de pics, le nombre de pics arrivant au piézomètre sera tellement important qu'on ne pourra plus les isoler, la variation de la minéralisation se fera en continu.

Au décalage temporel, lié aux différentes vitesses de propagation des ondes, se superpose un transport d'éléments au sein du fluide.

Jusqu'ici il a été question des différentes façons dont la qualité chimique d'une eau souterraine évoluait en fonction du chemin parcouru, principalement par augmentation de sa teneur en éléments dissous et que G. de Marsily appelle un transfert d'éléments non conservatif.

Les interactions entre le milieu et les éléments transportés se traduisent par des mécanismes physiques, comme la filtration, ou géochimiques, comme la précipitation, la dissolution, l'adsorption, etc...

Cependant la minéralisation acquise par l'eau ne reste pas constante dans le temps et dans l'espace, elle évolue naturellement mais sans nouvelles interactions eau/milieu. Il y a alors transfert conservatif des éléments (G. DE MARSILY, 1981) ou dispersion.

Cette dispersion permet de propager un caractère chimique, à partir de l'endroit où il est apparu, et sur des distances très variables.

Elle a été abondamment décrite et étudiée sur le plan théorique, depuis les expériences de traçage réalisées "in situ" (B. GAILLARD, 1977 ; A.A. ROSHAL ET V.M. SHESTAKOF, 1978 ; LALLEMAND, A. BARRES, P. PEAUDECERF, 1978 ; G. DE MARSILY, 1981).

Il est cependant plus délicat de la mettre en évidence à partir de simples relevés des teneurs en ions de la nappe, surtout lorsque celle-ci n'est pas affectée par une source ponctuelle et unique de pollution.

Si cela est le cas (J.F. BUSSE, 1980), le polluant sert alors de traqueur naturel et permet de clarifier cette dispersion.

Le terme dispersion englobe trois différents modes de propagation des éléments en solution :

* Une migration par convection ou entraînement des éléments en solution dans le mouvement du fluide qui se déplace. S'il existe des interactions entre l'eau et le milieu, cela traduit ce qui a été décrit auparavant.

Si ces interactions n'existent pas, ce déplacement "piston" dépend des conditions de circulation du fluide dans le milieu poreux; plus les vitesses seront grandes, plus le fluide se déplacera loin sans variation de ses qualités chimiques.

* Une dispersion physicochimique ou diffusion des éléments en solution uniquement par mouvement Brownien ou agitation en tous sens des molécules qui composent cette solution.

Cette diffusion, caractérisant les fluides au repos, se poursuit cependant en milieu poreux lorsque le fluide est mobile.

Il y a transfert des particules du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré.

Il est possible que cette diffusion participe à la propagation de la minéralisation dans des secteurs où, en basses eaux, les vitesses de circulation sont faibles, comme par exemple en rive droite de l'Isère sur le secteur allant de la zone industrielle de Voreppe à la Buisse (niveau bec de l'Echaillon).

Mais ce n'est qu'une hypothèse, car à l'échelle de la vallée de l'Isère, celle-ci est trop faible pour pouvoir être mise en évidence.

* Une dispersion cinématique, de loin la plus importante, qui est un phénomène de mélange lié à l'hétérogénéité des vitesses microscopiques au sein du milieu poreux.

Il s'établit une zone de transition qui évolue entre 2 domaines de phases fluides de compositions chimiques différentes.

C'est ce que C. LEGUY (1979) a décrit sur la plaine de Sassenage, en fondant son étude sur les teneurs en tritium des différentes couches d'eau au sein de la nappe alluviale de l'Isère.

Uniquement en observant les teneurs en tritium de plusieurs piézomètres, à différentes profondeurs, il a décrit :

- des mélanges d'interface par diffusion verticale entre 2 "couches d'eau" superposées ;

- des mélanges de débit, ou diffusion dans les 3 dimensions d'un élément de volume très concentré au sein d'une masse fluide moins concentrée (exp : rejet ponctuel d'un polluant au sein d'une nappe au repos).

En fait, la principale raison du mélange des eaux provient des différents chemins empruntés par le fluide pour passer d'un point à un autre. A l'intersection de chacun des chemins, les fluides se mélangent et engendrent une dilution du soluté.

Ces mélanges se font soit transversalement (Dispersion transversale), soit longitudinalement (Dispersion longitudinale), par rapport à la direction d'écoulement. Cela est dû en partie à la stratification des lentilles.

En résumé, au point considéré et à un instant donné, arrivent des eaux infiltrées à des moments différents, ayant parcouru des trajets différents à des vitesses différentes.

Deux cas extrêmes se produisent lors de la recharge d'une nappe par apports de la rivière :

* soit le mélange est parfait et la minéralisation des eaux du piézomètre varie très faiblement au cours de l'année par rapport à la rivière ;

* soit la recharge est composée de multiples recharges élémentaires, ne se mélangeant pas, qui arrivent les unes après les autres au point considéré. Il y a effet "piston". Chaque arrivée donne son propre pic de minéralisation.

Si les apports de l'Isère sont situés en profondeur, ou s'ils viennent de très loin à l'amont, il n'y aura alors pas de pics mais un flux constant car les mélanges auront pu avoir lieu.

Tous les intermédiaires existent entre ces 2 cas.

D'une façon générale, l'aquifère est constitué d'un réseau de lentilles d'orientations, de tailles et de granulométries variables. Chaque lentille peut être assimilée à un tube de courant.

La dispersion sera d'autant plus importante que le nombre de lentilles sera élevé car il augmentera la dispersion transversale. La dispersion longitudinale a lieu au sein de chaque lentille.

Plus il existera de trajets possibles, plus la dilution sera importante.

Lorsque les possibilités de cheminement diminuent (zone à circulation préférentielle ou ancien méandre), le faible nombre de lentilles entraîne une absence de dispersion. Le mélange ne se fait plus et le déplacement est de type piston.

3.2-CONCLUSIONS

Les variations dans le temps de la minéralisation des eaux des 55 points étudiés ont permis d'observer 4 situations différentes :

- . un 1er groupe présente une minéralisation qui varie de façon analogue à celle de la rivière mais elle est indépendante du niveau piézométrique ;
- . un 2e groupe en basses eaux a une forte minéralisation ;
- . un 3e groupe en basses eaux a une faible minéralisation ;
- . un 4e groupe a une minéralisation dont les variations forment des pics de concentration tout au long de l'année, indépendamment du niveau piézométrique.

Toutes ces différences ont une seule et même origine : la structure lenticulaire de l'aquifère alluvial.

L'existence de ce réseau de lentilles empilées a plusieurs conséquences sur le cheminement de l'eau dans l'aquifère :

- . existence de plusieurs "couches d'eau" superposées ou juxtaposées ;
- . présence d'un décalage entre l'arrivée de l'onde chimique par rapport à l'onde dynamique, dans les lentilles à vitesse de circulation lente (décalage inexistant dans les lentilles à vitesse de circulation rapide) ;
- . circulation de l'onde chimique selon un réseau à mailles carrées avec mélange des eaux à chaque noeud du réseau ; celle-ci permet d'expliquer la répartition des piézomètres en 4 groupes dans la nappe ;
- . migration de l'eau par convection, s'il existe une zone à faible nombre de lentilles entraînant un déplacement "piston", sans dilution par mélanges ;
- . diffusion des particules en suspension dans l'eau, vers les zones les moins concentrées, dans les portions de nappe à faible circulation de l'eau ;
- . prépondérance de mélanges liés à l'hétérogénéité des vitesses au sein du milieu poreux, dûs à des mélanges d'interface ou de débit. La diffusion est longitudinale au sein d'une lentille, et transversale au passage d'une lentille à l'autre (ce qui peut être analogue au mélange d'interface).

Plus le nombre de trajets possibles sera important, plus il y aura dispersion et dilution par mélange des différentes eaux.

Bien entendu, tous ces phénomènes se produisent au même instant en différents points de la nappe ou pour la même impulsion de telle sorte qu'il est difficile de les dissocier si l'on ne dispose pas de traceur pour matérialiser ce qui se passe. C'est cependant pour ces raisons que l'examen des courbes, obtenues en fonction du temps, et pour toute l'étendue de la nappe, offre tant de disparité.

CONCLUSIONS

CONCLUSIONS

Au terme de ce travail, il convient de donner, dans les grandes lignes ce qui a été acquis au bout de deux ans.

Une étude préliminaire de la chimie de l'eau de la nappe de l'Isère, établie lors d'une campagne de mesures de la résistivité et du niveau de l'eau pendant l'été 1980 pour EDF, avait permis de se faire une première idée sur les différences existant entre les conditions hydrochimiques et hydrodynamiques qui régissent l'aquifère.

La présence d'une seule nappe dans l'aquifère alluvial de la vallée de l'Isère n'implique pas l'uniformité de la qualité de l'eau sur les plans verticaux et horizontaux.

Le milieu alluvial semble donc être homogène et isotrope pour la transmission des pressions, mais pas pour la transmission de matière.

Il doit donc exister des conditions de mélange des eaux et des interactions eau/milieu liées à la structure de l'aquifère.

Ces premiers résultats ont servi de motivation et de point de départ à notre étude.

La nappe de la vallée de l'Isère, site retenu comme secteur de travail, est limitée à l'amont par la confluence Isère-Drac en aval de Grenoble, à l'aval par une remontée du mur de la nappe au seuil de Rovon (35 km à l'aval de Grenoble, en direction de Valence).

Elle est alimentée par les apports de versant, par la rivière, et par la pluie; mais cette dernière est négligeable par rapport aux précédentes.

Dans l'aquifère de la vallée de l'Isère, nous retrouvons deux secteurs bien définis du point de vue morphologique (largeur de la nappe), hydrodynamique (type et vitesse d'écoulement), hydrochimique (gradients de minéralisation différents): la Cluse de l'Isère et la plaine de Moirans.

1/ LA CLUSE DE L'ISERE

La faible largeur de la vallée (1,25 km en rive gauche et 1,5 km en rive droite), imposée par la présence des massifs du Vercors et de la Chartreuse, entraîne simultanément une circulation axiale prédominante (visible sur les cartes piézométriques) et une pente de la nappe supérieure à la moyenne de la vallée (1,37 % au lieu de 0,65 % dans le Grésivaudan et à l'aval de Voreppe). Elle s'y écoule du Sud Est au Nord Ouest.

La minéralisation, observée sur les cartes d'isorésistivité et d'isoteneurs en ions, rend compte de l'existence de gradients chimiques formant des auréoles concentriques autour d'un secteur très faiblement minéralisé (résistivité de l'ordre de $7\ 000\ \Omega \cdot \text{cm}$).

Cette observation est valable pour la résistivité et pour chaque ion majeur (HCO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}).

Cependant, ces gradients ne sont pas les témoins d'apports par la rivière ou par les versants, car dans ce cas il n'y aurait pas diminution de la minéralisation au fur et à mesure du trajet de l'eau dans l'axe de la nappe ainsi que des versants et de la rivière en direction du coeur de l'aquifère.

De plus les courbes d'isoteneurs en ions ne se superposent pas aux courbes isopièzes qui dessinent l'écoulement superficiel de la nappe.

Cette eau peu minéralisée pourrait provenir d'apports profonds alimentés par un ancien cône de déjection de la Vence, situé sous les alluvions récentes. L'arrivée de l'eau se ferait donc par l'intermédiaire d'un chenal à forte perméabilité directement dans les couches profondes de la nappe. Ce secteur étant de plus à forte perméabilité, la remontée de l'eau se ferait très facilement sans interactions avec l'aquifère.

Pour vérifier cette hypothèse, il faudrait disposer d'un sondage profond, situé au Château de Huradière (à mi-chemin entre St Egrève et le Fontanil), différenciant par granulométrie les alluvions et les dépôts dûs au cône de déjection ainsi qu'un crépinage de ce piézomètre sur toute l'épaisseur de la nappe destiné à matérialiser par différence de résistivité les couches d'eau superposées si elles existent.

2/ LA PLAINE DE MOIRANS

D'extension latérale plus importante (3,5 km en rive droite et 1 km en rive gauche), la vallée après le bec de l'Echaillon change d'orientation (du Nord-Est vers le Sud-Ouest), sa pente diminue et les apports de versant se matérialisent sur le type d'écoulement et la pente de la nappe.

La circulation axiale de pente 0,68 ‰ (moyenne annuelle de Voreppe à Rovon) est doublée d'une circulation latérale, venant des rebords du Bas-Dauphiné, de pente 1,74 ‰ .

Cette circulation latérale est matérialisée par un gradient de résistivité traduisant une augmentation de la minéralisation des versants vers le centre de la nappe. Cependant, ce gradient, visible pour la minéralisation totale, n'est pas marqué pour chacun des ions étudiés.

Si la minéralisation totale augmente au fur et à mesure du trajet souterrain de l'eau, il n'y a pas augmentation simultanée des teneurs en chacun des ions de façon semblable.

Seuls Ca^{2+} et HCO_3^- ont une variation qui traduit celle de la minéralisation totale.

Cela vient du fait qu'ils sont acquis par échanges eau/milieu, alors que les ions SO_4^{2-} , Cl^- proviennent de plusieurs facteurs : le lessivage de la zone non saturée, l'infiltration de l'eau de pluie, l'activité bactérienne, etc... De ce fait, ils n'imposent pas leurs variations à celle de la minéralisation totale.

Les cartes de résistivité traduisent des conditions de mélange entre les différents apports, qui n'apparaissent pas sur les cartes piézométriques. Celles-ci sont liées à la structure lenticulaire de l'aquifère qui transmet les pressions de façon homogène mais pas le flux de matière. Celui-ci traduit plus dans le détail la structure interne de l'aquifère alluvial.

La notion d'homogénéité correspond à une hypothèse indispensable, sans laquelle aucune théorie de l'écoulement souterrain ne serait possible, mais elle est étroitement liée à l'échelle du plus petit volume élémentaire représentatif considéré.

Ainsi, un massif de sable, dont les grains les plus gros ont un diamètre de un millimètre, ne pourra pas être considéré comme homogène à l'échelle du millimètre, mais il le sera à celle du décimètre.

Il y a de nombreuses nuances en ce qui concerne l'homogénéité des terrains naturels. En raison de l'irrégularité des dépôts, les alluvions fluviales ne seront considérées homogènes qu'à grande échelle.

Dire qu'un terrain poreux est homogène, équivaut à dire qu'il présente en tout point, dans une direction donnée, la même résistance à un écoulement de filtration. Si, de plus, celle-ci est la même quelque soit la direction, le terrain est isotrope.

La plupart des terrains rencontrés sont anisotropes. Cela provient de la structure même de celui-ci. Ainsi toutes les formations alluviales sont plus perméables dans le sens horizontal que vertical en raison de leur nature lenticulaire. De même, il peut arriver qu'il existe une anisotropie horizontale. Elle correspond en général à une orientation des dépôts parallèle au cours d'eau qui leur a donné naissance.

Dans le cas qui nous préoccupe, les conditions hydrodynamiques définissent une homogénéité en grand qu'il est impossible de retrouver lors de l'examen des conditions hydrochimiques.

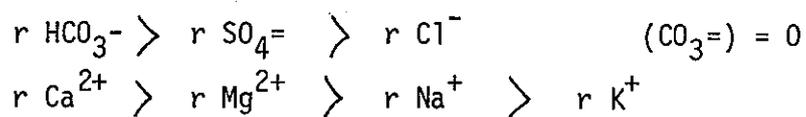
Le transfert de matière ne se fait pas toujours selon la direction des lignes de courant. Les eaux peuvent circuler très obliquement par rapport aux lignes de courant, en raison de la disposition des formations alluviales. Le transfert de matière dépend étroitement des caractéristiques de chaque lentille.

3/ CARACTERISTIQUES DES EAUX SOUTERRAINES

Une analyse statistique sur 160 échantillons a donné une idée de la minéralisation "moyenne" de la nappe.

L'eau fortement minéralisée, est bicarbonatée calcique, témoin d'une circulation en milieu alluvial à dominante calcaire.

Elle est caractérisée par la formule ionique suivante :



Tous les autres ions, exprimés en milliéquivalents par litre, sont en quantité négligeable. Nous obtenons les valeurs moyennes suivantes :

Résistivité = 2483 Ω x cm	(Cl ⁻) = 0,7 mēq/l	
Température = 13,8°C	(Ca ²⁺) = 3,5 mēq/l	pour une nappe
(HCO ₃ ⁻) = 5 mēq/l	(Mg ²⁺) = 1,5 mēq/l	en basses eaux
(SO ₄ ⁼) = 0,8 mēq/l	(Na ⁺ , K ⁺) = 0,5 mēq/l	

Une matrice de corrélation établie avec ces 160 points confirme ces résultats et associe la résistivité à Ca²⁺ et HCO₃⁻ (indice de corrélation de 0,38).

Les Bicarbonates sont liés principalement au Calcium (i = 0,73) ;
 Les Sulfates sont associés au Calcium (0,38) et au Sodium (0,31) ;
 Les Chlorures sont uniquement présentes avec du Sodium (0,38).

Les associations suivantes seront présentes dans l'eau :
 Ca (HCO₃)₂ puis Ca SO₄ , Na₂ SO₄ , Na Cl et enfin en faible proportion :
 Mg SO₄ , Mg (HCO₃)₂ , Mg Cl₂ , Ca Cl₂ ainsi que toutes les combinaisons
 faisant intervenir nitrites, nitrates, etc..., dont les quantités sont trop
 faibles n'ont pas été prises en compte.

4/ L'AUGMENTATION DE LA CONCENTRATION EN IONS DEPEND DE PLUSIEURS

FACTEURS

la vitesse de circulation de l'eau dans l'aquifère,
 la nature des terrains traversés, donc leur perméabilité,
 la distance du toit de la nappe par rapport à la surface du sol,
 les rapports avec le cours d'eau superficiel,
 les conditions d'écoulements de la nappe (nappe en bassin fermé ou
 exutoire large).

Dans le détail, nous avons pu lier une partie des résultats obtenus
 aux observations de BONNET - LANDREAU (1977) faites sur site expérimental.

La progression de la minéralisation est régulière au fur et à mesure du transit de l'eau au sein de l'aquifère, mais elle est compliquée par la présence de lentilles de perméabilités différentes entraînant des variations verticales et horizontales de la vitesse de circulation de l'eau, donc des variations dans le taux de minéralisation acquise par l'eau.

BONNET et LANDREAU ont obtenu un résultat similaire en étudiant la percolation de l'eau à l'intérieur de 3 couches différentes (limon, sable, argile), et ont observé notamment l'augmentation régulière de la minéralisation au fur et à mesure de la percolation est un phénomène répétitif dans le temps.

Cette augmentation de la minéralisation se fait différemment selon qu'il s'agit d'un limon, d'un sable, ou d'une argile. Leurs résultats montrent une accumulation d'ions dans le milieu argileux dûe à une concentration plus intense. C'est ce que nous avons mis, dans le cadre de la vallée de l'Isère, sur le compte d'une zone à faible circulation de l'eau, entraînant un temps de contact eau/milieu très grand, qui favorise des échanges de matière importants.

Evaluer la variation de la minéralisation d'une eau par le calcul des rapports caractéristiques revient à traiter le même problème d'une façon différente.

Pendant 2 d'entre eux ont apporté des renseignements importants, d'une part sur la qualité de l'eau souterraine après une longue période sèche et dans un bassin peu ouvert, d'autre part sur une autre façon de détecter les apports par le cours d'eau superficiel. Ces rapports sont respectivement

$$\frac{\text{Mg}^{2+}}{\text{Ca}^{2+}}, \quad \frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{HCO}_3^-}$$

5/ INFLUENCE D'UN ETIAGE ESTIVAL SUR LA CHIMIE DE L'EAU

Le rapport $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$, habituellement toujours inférieur à 1 sur la nappe de l'Isère, s'est inversé pour la majorité des points de prélèvements dans la Cluse de l'Isère lors des 160 prélèvements de l'été 1982.

Le calcul des indices d'échange de base n'ayant pas fourni de réponse à cette inversion du rapport des teneurs en Magnésium et Calcium nous avons recherché une solution dans les différences de solubilité des ions présents dans l'eau. H.SCHOELLER (1962) a écrit que dans un bassin fermé où les circulations d'eau sont faibles, la concentration progressive en différents ions atteint un maximum au delà duquel il y a précipitations des associations obtenues. Ces précipitations se font plus ou moins vite et leur rapidité est liée au produit de solubilité de chacun des éléments. D'après lui, l'ion Calcium ayant un produit de solubilité plus faible que l'ion Magnésium la teneur de ce dernier continuera d'augmenter dans l'eau bien après la précipitation de l'ion Calcium, ce qui entraînera une augmentation de l'un par rapport à l'autre, donc une inversion du rapport.

La Cluse de l'Isère, par sa faible largeur et son resserrement au bec de l'Echaillon, peut être considérée comme une nappe peu ouverte.

La plaine de Moirans par contre, d'extension plus large, avec d'importants apports latéraux, ne possède pas de piézomètres où le taux de Magnésium soit supérieur au taux de Calcium. Ce qui confirme le raisonnement de H. Schoeller.

6/ MISE EN EVIDENCE DES APPORTS PAR LA RIVIERE

Les cartes piézométriques, nous l'avons vu, ont décelé 2 zones principales où ces apports étaient visibles : l'une en rive droite au bec de l'Echaillon, mais uniquement en basses eaux ; l'autre sur les 2 rives au niveau du pont reliant St Quentin à Tullins, en hautes comme en basses eaux.

Les valeurs du rapport SO_4/HCO_3^- , supérieur à un dans les eaux superficielles et inférieur à un dans les eaux souterraines, en bordure de l'Isère, n'ont pas permis de confirmer les observations faites sur les cartes piézométriques.

Au bec de l'Echaillon le chiffre le plus fort observé est de 0,58 à l'Ile Chatagnon, donc fort différent de celui observé pour les eaux de l'Isère.

A St Quentin sur Isère, il est de 0,25 donc l'apport d'eau par l'Isère n'est absolument pas matérialisé par des teneurs en Sulfates prépondérantes.

Cependant, en rive droite de l'Isère, dans la Cluse, au niveau du pont de Veurey, le piézomètre P81 situé à 10 mètres de la rivière a un rapport de 0,85 ; il témoigne donc bien d'un passage de l'eau de l'Isère vers la nappe.

De la même façon, dans la plaine de Moirans, en rive gauche en amont de St Quentin, le piézomètre P106 a un taux de Sulfates supérieur à celui des Bicarbonates ($r = 1,05$). L'Isère alimenterait donc localement la nappe, mais sur une étendue si faible que cela ne se remarquerait pas sur les courbes isopièzes.

Cette différence entre les conditions hydrochimiques et hydrodynamiques reflète une fois de plus l'hétérogénéité verticale de l'aquifère. Elle proviendrait probablement d'apports plus profonds donnant des variations uniquement dans la chimie de l'eau alors qu'à d'autres endroits, les apports plus superficiels se traduiraient sur les isopièzes, sans changer la qualité de l'eau.

7/ VARIATIONS DANS LE TEMPS DE LA MINERALISATION

L'examen simultané de la résistivité, du niveau piézométrique, en fonction du temps pour les 60 points retenus, ainsi que pour l'Isère offre une grande disparité des résultats.

La distance Isère-piézomètre et la nature du terrain ont une influence très importante sur ces variations.

Plusieurs réactions à une même impulsion ont été observées :

+ les variations de la résistivité et du niveau piézométrique sont analogues pour l'Isère et pour le piézomètre.

Dans ce cas, ce dernier est proche de la rivière, et sous son influence directe.

+ les variations du puits et de l'Isère sont indépendantes, mais pour le piézomètre la variation de minéralisation traduit la variation du niveau piézométrique. Le puits est implanté dans une lentille à forte perméabilité permettant une réponse presque immédiate aux précipitations. Les hautes eaux correspondent à une faible minéralisation.

+ les variations du puits et de l'Isère sont indépendantes mais la variation de minéralisation du piézomètre est de sens opposé à celle du

niveau piézométrique. Les hautes eaux correspondent à une forte minéralisation. Le piézomètre est situé dans une lentille à faible perméabilité entraînant une réponse lente aux impulsions. Il y a alors un décalage temporel entre l'impulsion (matérialisée par le cote de l'eau) et la réponse (donnée par la résistivité).

+ la minéralisation du piézomètre varie indépendamment de la cote de l'eau et présente des pics tout au long de l'année.

Ces différences de réaction à une même impulsion pour les piézomètres de la nappe de l'Isère proviennent de la structure lenticulaire de l'aquifère.

+ La présence de lentilles entraîne l'existence de couches d'eau superposées ou juxtaposées. Autour de ces lentilles, l'équilibre dynamique est plus rapide à s'établir que l'équilibre chimique.

+ Dans les lentilles, il existe différentes vitesses de circulation de l'eau liées à la perméabilité de celles-ci. De ce fait, il existe un décalage temporel entre l'arrivée de l'onde dynamique et de l'onde chimique.

+ Une fois la minéralisation acquise, l'eau circule et il se produit des phénomènes de mélange des différentes couches ainsi qu'une variation de la concentration par transport des éléments ou par dispersion. Le mouvement de l'eau se fait :

- soit par convection sans variation de la qualité de l'eau (le déplacement est de type piston) car sans interaction eau/milieu ; avec variation de la qualité de l'eau si il existe des interactions entre l'eau et la roche.

- soit par diffusion due au mouvement brownien des particules au sein d'un fluide, mais cet effet n'est pas prépondérant ;

- soit par mélange lié à l'hétérogénéité des vitesses au sein d'une lentille.

La dispersion sera longitudinale au sein d'une lentille et, plus il y aura de lentilles, plus la dispersion transversale sera importante, donc plus les mélanges seront intenses.

Sur un plan plus général, l'acquisition de la minéralisation de l'eau d'un aquifère alluvial fait intervenir plusieurs facteurs, dont le principal est la structure lenticulaire d'un tel milieu, ainsi que les perméabilités associées à ces lentilles.

Ces deux éléments, à eux seuls, conditionnent le transport et le mélange des différentes eaux.

Tel est le résultat global qui a pu être tiré de cette étude ; il serait peut être bon de la compléter par un travail similaire, exécuté sur un autre milieu alluvial plus simple pour mieux lier les effets aux causes, doublé d'une investigation détaillée d'un secteur précis par un réseau de points dense pour obtenir des résultats fins pour chaque ion ; ce qui n'a pas pu être réalisé ici.

ANNEXES

DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

© après H. SCHÖLLER
et E. BERNALUFF

L E G E N D E

Figure	n°	Rés. sac (mg/l)	P (mg/l)	SM	pH
72					
15/02/82	X	X	1441		
30/09/81	O	O	2326		
Isère.					

Teneur en mg/l

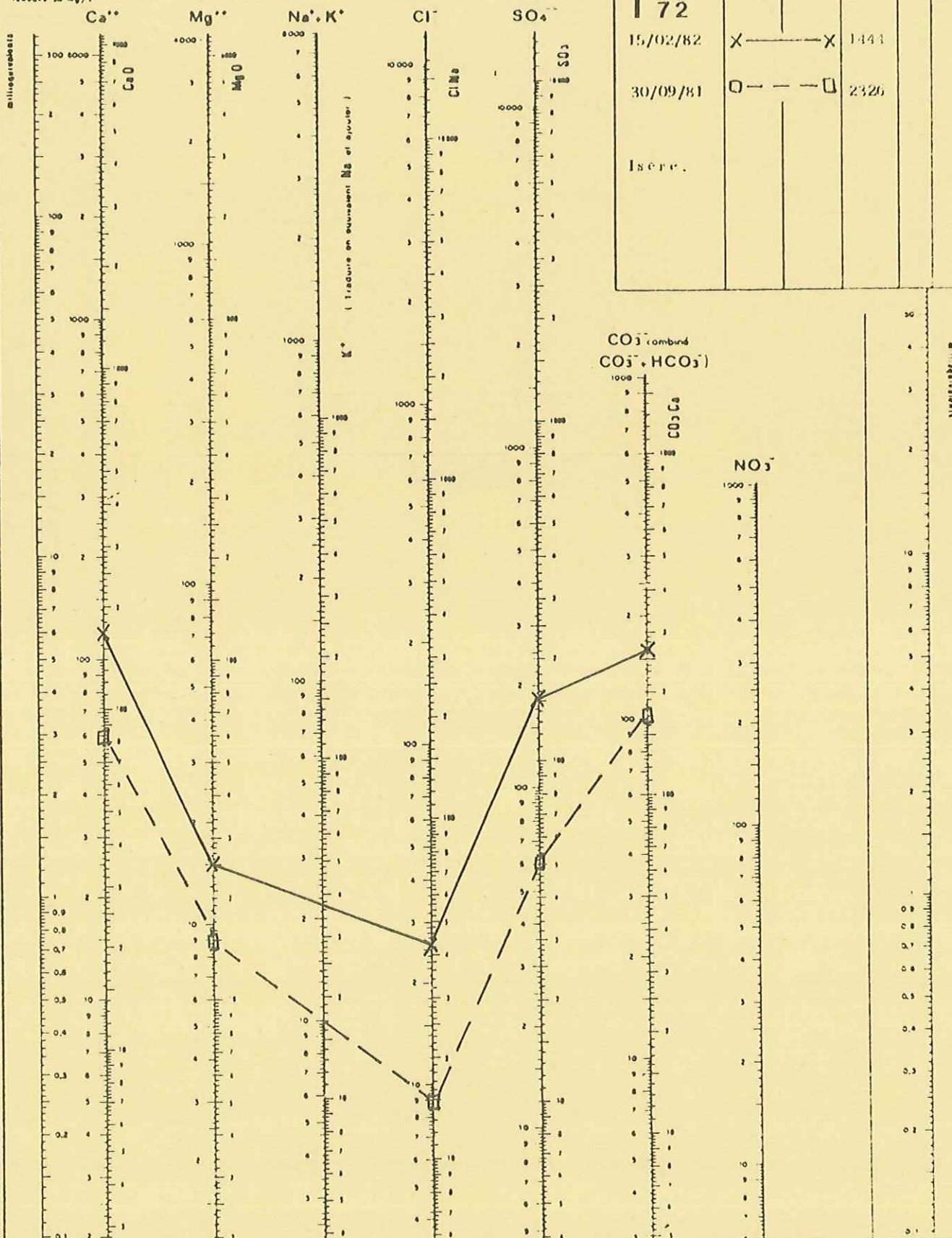


DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHÖLLER
et E. BERKALOFF

L E G E N D E

Figuré	n°	Rés sec mg/l	p ohms/cm	dH	pH
P 101					
14/05/82	X	X	2578		
30/10/81	D	D	3005		
Eau peu minéralisée issue d'un cône de déjection.					

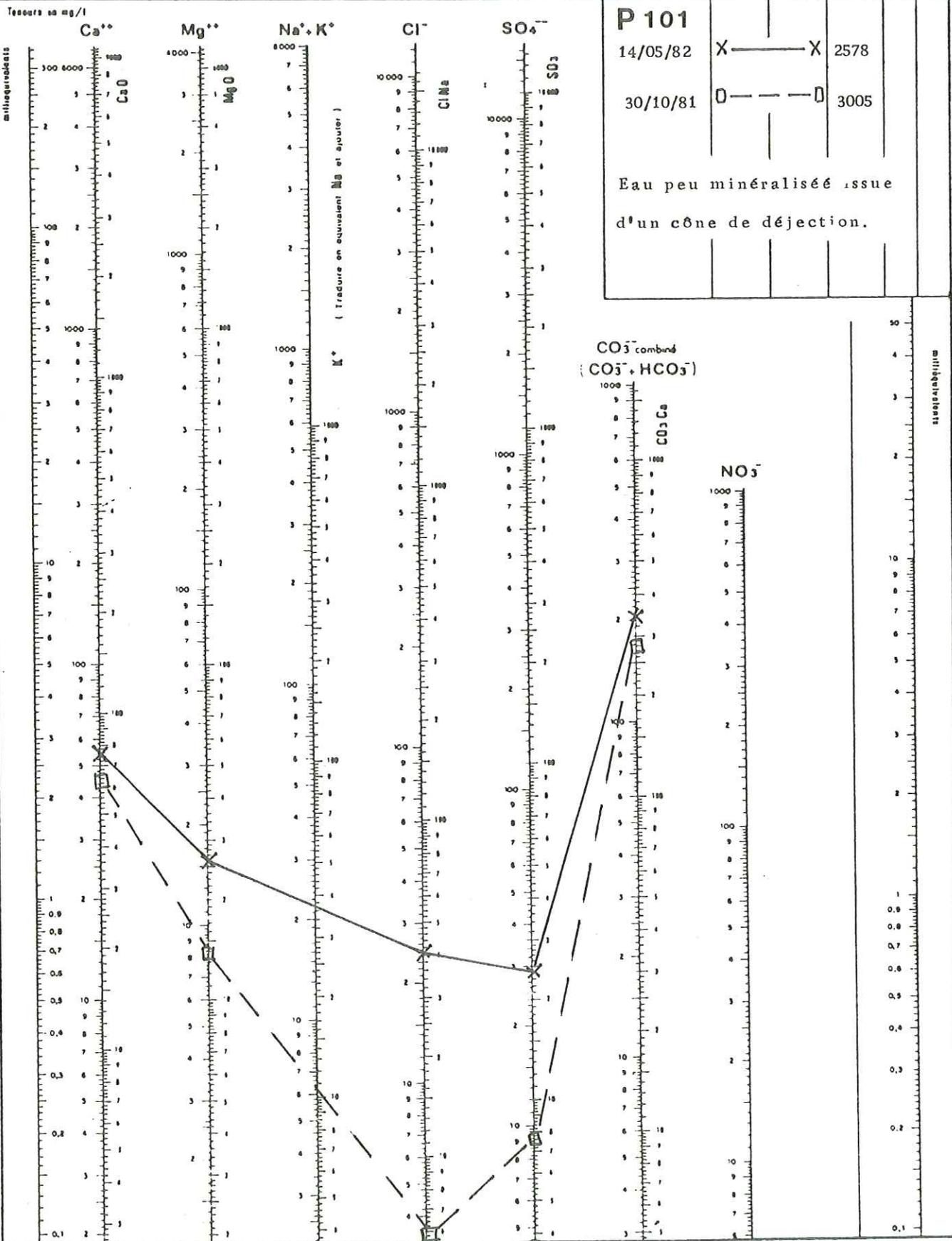


DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHÖLLER
et E. BERKALOFF

L E G E N D E

Figuré	n°	Rés sac mg/l	p ohms/cm	dH	pH
B					
	15/02/82	X ——— X	1960		
	23/09/82	□ — — — □	2547		
Eau issue d'un plan d'eau EDF.					

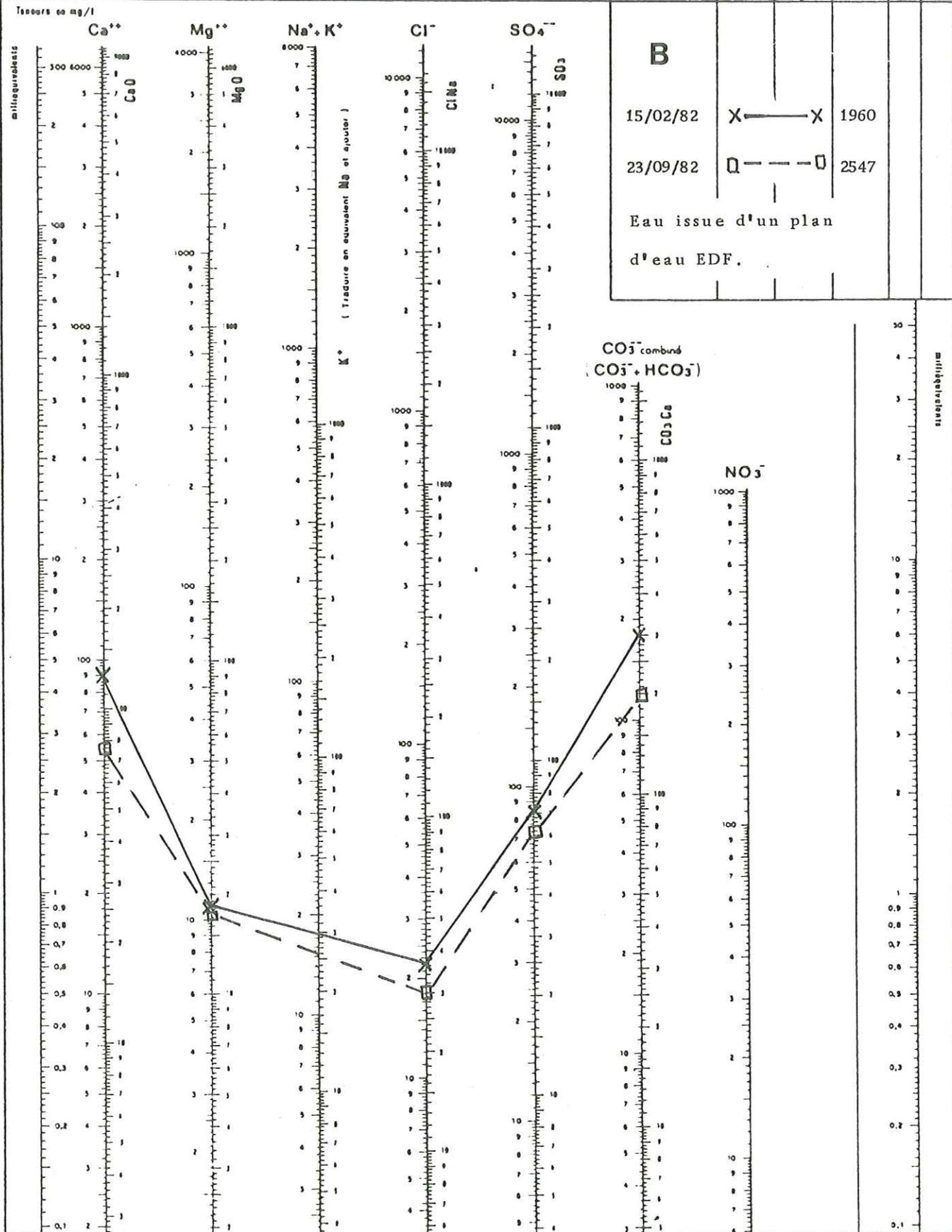


DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHOELLER
et E. BERKALOFF

L E G E N D E

Figuré	n°	Rés sac mg/l	P ohms/cm	dH	pH
P 48					
04/11/82	X	X	950		
01/03/82	□	□	1091		
Eau d'une berge de l'Isère.					

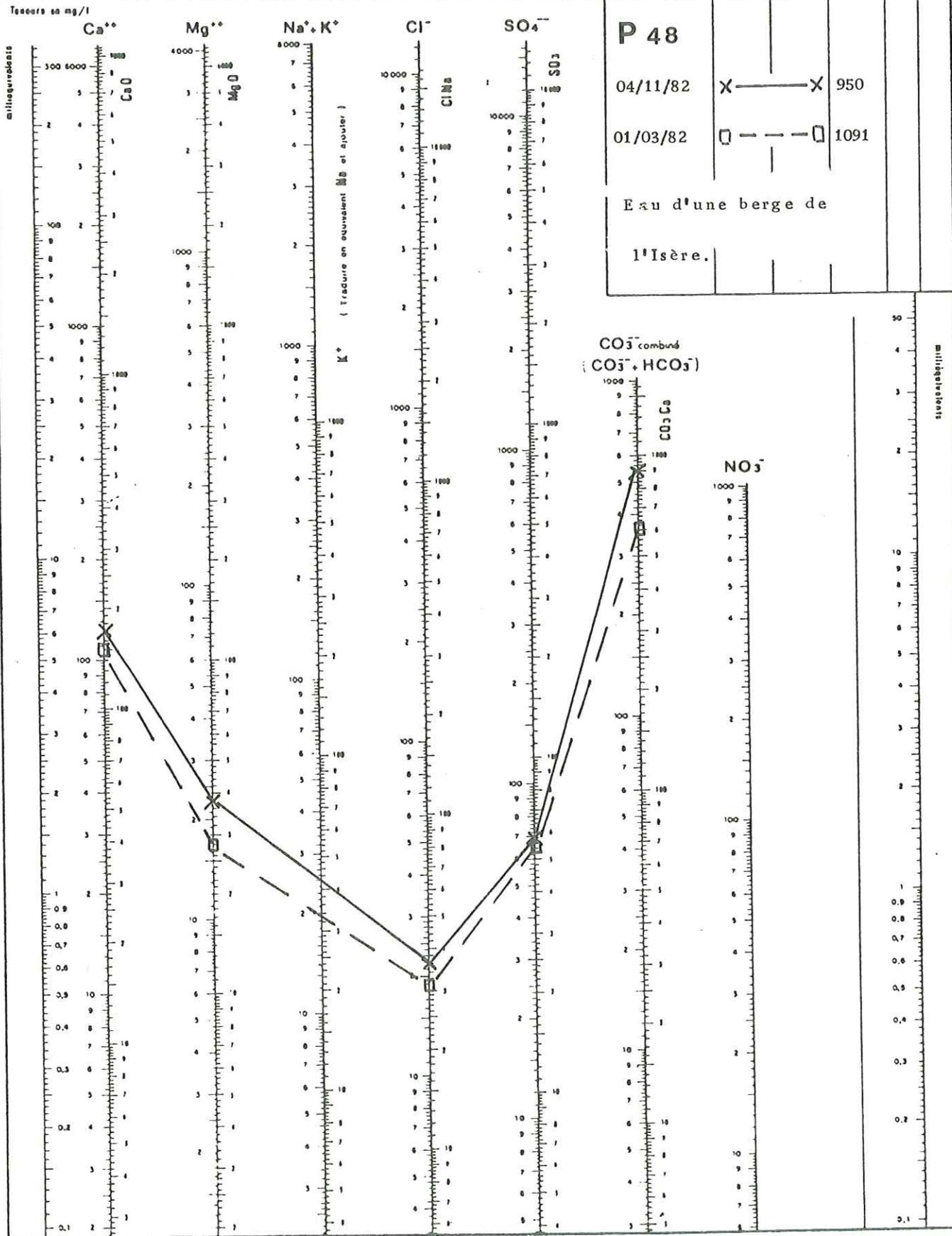


DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHOELLER
et E. BERKALOFF

L É G E N D E

Figuré	n°	Rés sec mg/l	P ohms/cm	dH	pH
P 85					
15/05/82	X ——— X		921		
23/09/82	□ — — — □		1211		
Eau très minéralisée.					

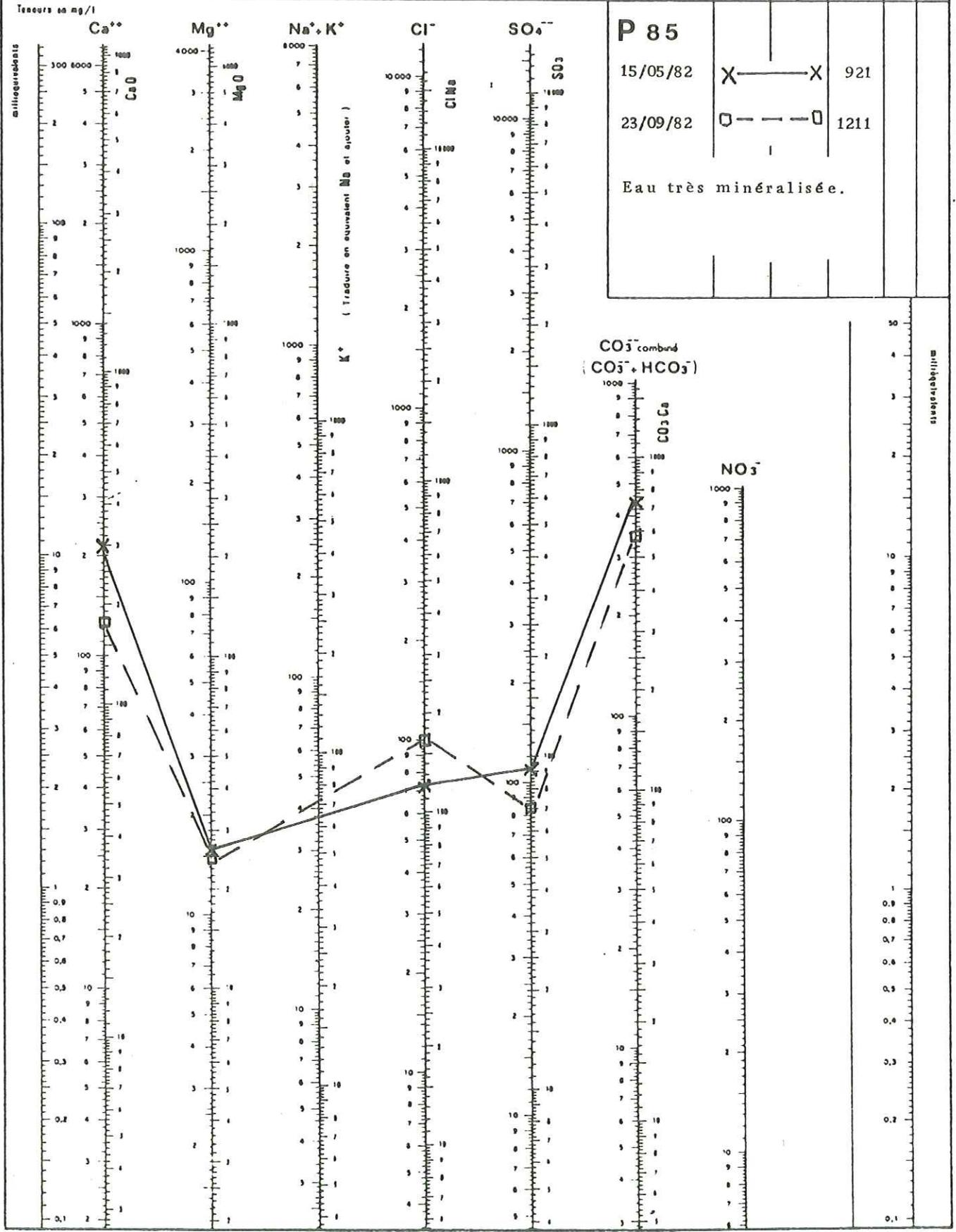
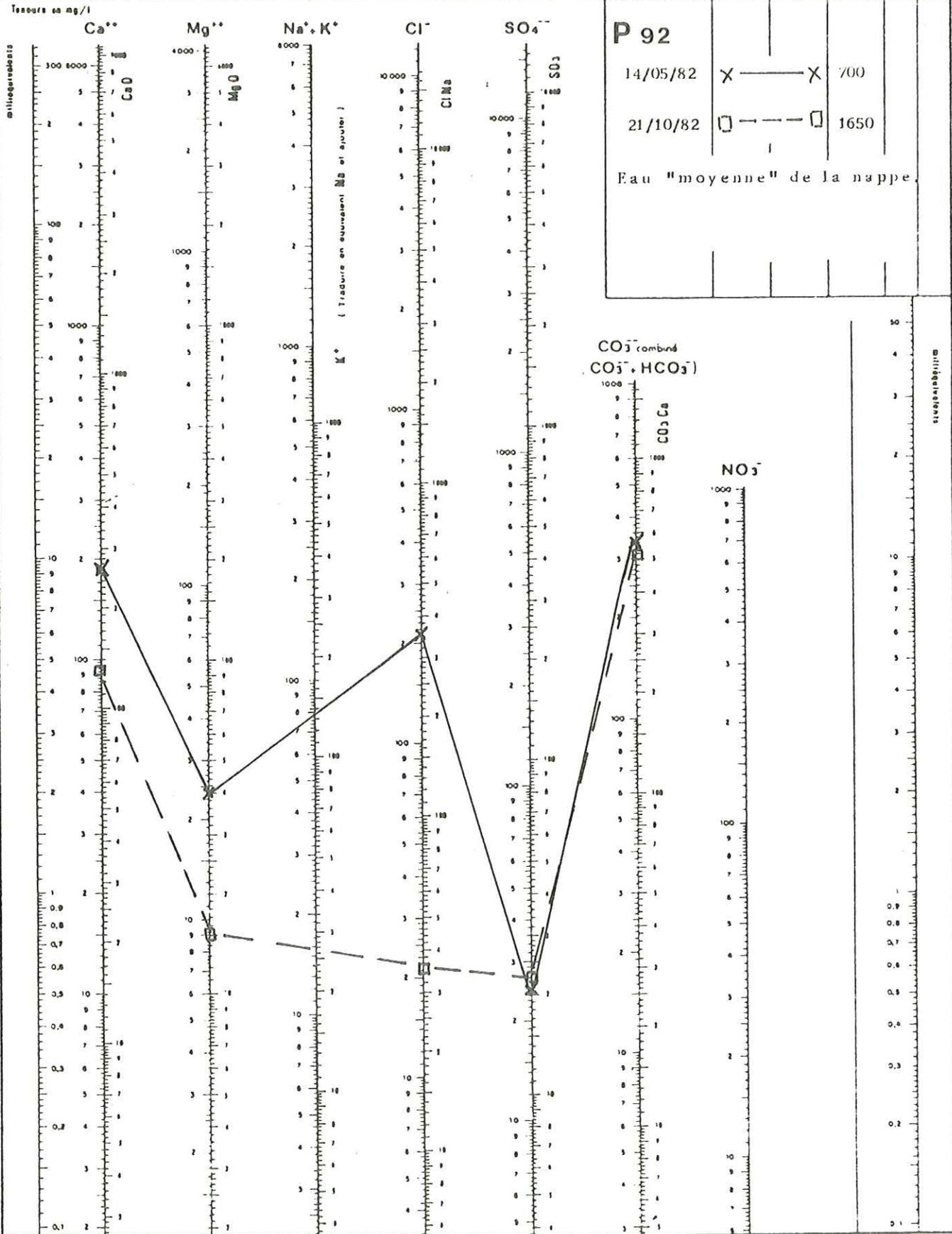


DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHÖLLER
et E. BERKALOFF

L E G E N D E

Figure	n°	Res. sec. mg/l	p ohms cm	dH	pH
P 92	14/05/82	X ——— X	700		
	21/10/82	□ - - - □	1650		
Eau "moyenne" de la nappe.					



Piézomètres	Températures Degrés C	Réactivités Ω cm à 18°C	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	T.H.P. Degrés P	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Piézomètres	Températures Degrés C	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	T.H.P. Degrés P
RELEVES DU 01 OCTOBRE 1981											RELEVES DU 16 SEPTEMBRE 1981							
I 76	11,8	2101	41,7	19,5	1,2	1,1	39,2	6,5	120,8	0,4	I 59b	13,5	58,5	10,7	29,4	48,0	104,9	19,0
P 89 R,0	12,4	1285	18,0	81,9	1,7	3,2	38,2	13,5	322,1	1,3	180 5,0	14,7	9,6	14,8	18,4	0	87,8	8,5
P 89 4,0	13,2	1293	47,3	63,5	0,9	3,1	37,9	13,2	312,3	0,4	180 2,4	16,5	12,0	13,6	18,8	2,5	91,5	9,0
P 120 7,0	14,1	1336	125,1	19,5	1,2	1,1	38,9	6,5	447,8	0,2	178 5,0	13,9	112,2	21,9	10,4	27,0	346,4	37,0
P 120 2,5	16,1	1530	119,8	8,5	1,3	1,2	33,4	6,3	378,2	0,4	178 2,5	14,8	78,2	14,6	5,6	28,5	258,6	25,5
140 5,0	15,2	1540	78,2	28,9	1,4	5,2	31,4	7,7	348,9	0,3	P 82 6,0	14,4	102,6	28,9	17,2	43,0	359,9	37,5
140 1,5	16,1	1591	74,6	27,9	1,4	5,3	30,1	8,1	345,3	0,2	P 82 3,0	15,8	104,2	23,8	14,3	40,0	335,5	35,8
142	13,8	1930	55,3	28,2	0,6	2,6	25,4	6,2	294,0	0,4	183 6,0	14,0	13,2	11,9	21,7	1,5	92,7	8,2
P 101	11,5	2856	45,3	10,5	0,5	0,6	15,6	3,5	167,1	0,3	183 3,0	15,4	12,4	12,9	20,5	5,5	90,3	8,4
P 100 5,0	11,6	1234	143,1	6,1	1,0	0,8	38,2	9,3	462,4	0,4	501 6,0	14,8	21,6	16,3	13,7	3,5	133,0	12,1
P 100 3,5	12,1	1285	152,3	7,1	0,7	0,7	41,0	5,9	458,7	0,4	501 3,0	16,1	22,0	15,6	12,5	0	135,4	11,9
P 105 7,0	13,0	1367	131,1	11,9	0,7	2,2	37,6	8,0	408,7	0,4	P 112 7,0	15,9	77,8	21,6	10,4	32,0	262,3	28,3
P 105 2,0	14,5	1612	101,4	14,3	0,8	2,2	31,2	8,0	325,7	0,4	P 112 3,0	16,7	88,6	12,4	10,2	33,0	262,3	27,2
P 112 7,0	14,7	1836	83,8	11,2	0,8	3,4	25,5	7,4	252,5	0,9	P 113 6,0	14,1	89,8	14,6	10,9	31,0	278,2	28,4
P 112 3,0	15,3	1980	80,9	8,8	0,9	3,5	23,8	6,6	236,7	0,9	P 113 3,0	15,2	78,6	13,9	10,9	30,0	239,1	25,3
P 113 7,0	13,5	1642	100,2	12,9	1,1	1,8	30,3	8,7	297,7	0,3	508 7,0	13,7	36,9	3,6	7,2	11,5	115,9	10,7
P 113 3,0	14,5	1714	87,0	16,3	1,1	1,6	28,4	8,1	286,7	0,05	508 4,0	14,5	34,5	5,6	8,0	3,0	108,6	10,9
I 71	12,1	2326	59,7	8,8	1,1	1,0	18,5	8,7	115,9	0,3	524 5,0	14,8	28,9	21,1	9,8	5,0	189,1	15,9
B	18,7	2183	62,1	9,9	1,4	2,6	19,6	10,9	158,6	0,05	524 2,0	16,5	31,7	19,5	10,5	4,0	195,2	15,9
P 84 5,0	16,5	1887	78,2	12,2	1,4	2,5	24,5	10,9	203,7	0,5	RELEVES DU 20-24 JUILLET 1981							
P 84 3,0	16,0	1948	70,9	12,6	1,4	2,7	22,9	10,7	187,9	0,5	P 81 7,0	12,4	149,1	24,6	56,2	54,0	394,1	47,3
154	15,9	2728	34,9	7,5	1,1	2,0	11,8	18,4	129,3	0,35	P 81 4,0	13,2	164,7	21,2	51,4	68,0	435,5	49,8
P 85 8,0	15,8	1081	156,3	18,2	1,9	6,3	46,5	26,4	440,4	0,3	P 82 6,0	13,6	118,8	25,5	30,7	39,0	363,6	38,4
P 85 4,0	17,1	1142	147,5	13,9	1,9	7,0	42,5	24,5	405,0	0,4	P 82 3,0	14,5	110,6	22,6	31,0	39,0	352,6	36,9
P 86 8,0	14,6	1032	179,2	17,0	1,8	0,8	49,9	36,4	508,7	0,3	172 7,0	12,5	21,6	19,2	44,6	3,5	145,2	13,3
P 86 5,0	15,4	1040	173,9	12,6	2,0	0,8	50,4	39,3	505,1	0,4	172 3,0	13,6	17,6	21,4	41,9	0	141,5	13,2
P 86 3,0	15,9	1071	170,7	9,5	2,0	0,8	46,5	39,4	474,6	0,35	510 7,0	12,1	21,6	9,6	73,3	2,0	56,1	9,4
122 8,0	11,0	2285	69,7	8,0	0,6	0,9	20,7	8,9	233,0	0,3	510 3,0	12,6	18,0	10,5	68,1	2,5	61,0	8,8
122 5,0	15,3	2285	68,9	9,5	0,8	1,0	21,1	9,8	234,2	0,3	169 5,0	13,5	24,9	12,1	27,5	5,5	122,0	11,2
122 3,0	15,6	2652	54,5	4,6	0,7	1,7	15,5	8,1	190,3	0,3	169 2,5	14,4	30,0	8,3	25,1	8,0	126,9	10,9
165 6,0	14,3	5345	20,0	4,6	0,7	1,2	6,6	17,4	51,2	0,4	104 4,0	13,6	81,8	6,8	4,0	7,0	280,6	23,2
165 5,0	15,3	-	20,8	3,4	-	-	6,9	17,8	50,0	0,4	104 2,5	14,1	76,6	6,8	5,7	6,0	269,6	21,9
165 3,0	14,8	6352	12,0	2,7	1,0	2,2	4,1	10,7	57,2	0,3	P 86 8,0	12,7	157,1	-	218,7	17,0	480,7	35,8
P 77 7,0	15,0	1415	119,8	14,6	1,2	5,0	35,9	12,3	386,7	0,7	P 86 3,0	14,1	164,5	6,1	246,5	16,5	444,1	43,5
P 77 5,0	14,5	-	127,9	16,5	-	-	38,7	12,7	397,7	1,0	P 85 8,0	14,6	136,9	10,1	77,8	20,0	409,9	38,3
P 77 -	15,5	1514	115,8	11,4	1,2	4,7	33,6	12,1	370,9	0,3	P 85 -	15,4	147,1	14,1	81,2	22,5	435,5	43,5

RELEVES DU 14 OCTOBRE 1981

P 77	13,9	1413	116,6	12,9	34,4	8,6	377,0	2,5	P 77	13,0	1230	136,7	15,0	40,3	10,7	398,9	7,0
165	13,9	5853	17,2	2,9	5,5	11,4	43,9	3,0	165	12,8	3705	35,7	5,4	11,1	12,0	114,7	7,0
122	14,2	2721	47,3	10,7	16,2	7,9	185,4	2,5	122	13,1	2218	59,7	12,6	20,1	7,5	229,4	6,8
P 86	14,8	1056	161,1	15,8	46,7	35,7	484,3	3,0	P 86	13,2	1006	159,1	13,9	45,4	37,9	500,3	6,5
P 85	16,0	1116	155,1	14,3	44,6	23,0	422,1	4,0	P 85	14,3	1043	166,3	14,1	47,3	29,4	451,4	7,0
154	14,8	3146	32,1	7,8	11,2	23,6	125,7	3,0	2	13,9	1468	62,5	9,0	19,3	48,1	181,8	3,0
I 71	9,4	2390	48,9	14,1	18,0	7,4	120,8	-	B	14,9	2199	54,5	14,3	19,5	10,8	157,4	-
P 89	12,3	1434	39,3	63,7	36,0	14,1	283,0	4,0	P 89	11,9	1419	87,4	28,2	33,4	14,1	278,2	8,0
P 120	15,2	1413	121,0	16,3	36,9	6,7	419,7	2,5	P 120	12,7	1282	137,1	13,6	39,8	7,7	461,2	7,0
140	15,0	1592	95,4	8,5	27,3	8,6	331,8	1,5	140	14,5	1544	104,2	10,5	30,3	8,3	358,7	5,0
142	12,7	1721	91,4	13,9	28,5	5,5	347,7	7,0	I 76	9,5	2398	48,1	15,8	18,5	8,4	122,0	-
P 100	12,0	1250	144,3	10,5	40,3	13,9	447,7	3,5	P 100	11,4	1213	141,5	1,7	36,0	16,2	458,7	5,0
I 84	9,6	2365	48,1	12,4	17,1	7,4	136,6	-	P 101	11,2	2951	45,7	9,5	15,3	2,8	180,6	12,
P 105	14,0	1453	103,8	19,2	33,8	8,1	402,6	2,0	P 105	12,6	1358	116,2	17,8	36,3	6,7	438,0	7,0
P 112	15,1	1924	83,4	8,8	24,4	6,7	256,2	3,0	P 112	13,6	1880	85,8	8,8	25,0	7,1	248,9	7,0
P 113	13,9	1667	94,6	13,1	29,0	9,8	309,9	3,0	P 113	12,2	1613	85,8	22,9	31,0	9,1	323,3	7,0
E 16	10,5	2423	67,3	4,9	18,8	6,4	214,7	-	E 15	11,4	2188	80,2	2,4	21,0	5,3	231,8	-
Piézomètres		Températures Degrés C		Résistivités Ω .cm à 18°C		Ca ⁺⁺ mg/l		Mg ⁺⁺ mg/l		T H T Degrés F		Cl ⁻ mg/l		HCO ₃ ⁻ mg/l		Profondeur Prélèvement	

RELEVES DU 30 OCTOBRE 1981

P 77	12,8	1443	113,4	14,3	34,2	13,2	377,0	2,5		P 77	12,4	1272	129,5	15,8	38,8	28,2	402,6
165	13,5	5220	18,4	6,8	7,4	16,5	67,1	3,0		165	12,9	4229	28,1	7,8	10,2	17,2	100,0
2	13,5	1778	61,3	8,3	18,7	56,4	141,5	2,0		E I	8,4	1823	80,2	12,2	25,0	5,2	278,2
122	13,1	2705	52,1	8,0	16,3	9,1	198,9	2,5		122	11,8	1819	70,9	19,4	25,7	8,0	300,1
P 86	14,3	1080	163,1	10,7	45,1	43,0	502,6	3,0		P 86	12,5	1004	186,4	-	-	51,9	557,5
P 85	15,5	1132	143,5	21,9	44,8	29,8	448,9	4,0		P 85	13,5	1095	159,5	14,8	45,9	47,3	441,6
B	11,7	2129	59,3	12,6	20,0	11,1	175,7	-		I 54	13,9	3044	34,5	8,5	12,1	24,0	137,9
P 89	12,7	1528	82,2	27,0	32,0	13,3	269,5	4,0		I 71	8,2	1891	65,7	84,3	22,3	12,0	180,1
P 120	14,6	1429	119,8	13,9	35,6	7,3	430,7	2,5		P 120	12,4	1298	137,5	12,6	39,5	3,8	481,9
P 131	12,7	1106	90,2	7,8	25,7	63,9	297,7	2,5		P 131	13,4	1155	88,2	12,2	27,0	63,9	303,8
140	13,8	1681	84,6	15,3	27,4	6,2	317,2	5,0		140	13,4	1692	91,0	11,0	27,2	6,6	328,2
142	12,8	1391	115,4	19,5	36,8	6,0	423,3	7,0		I 76	9,4	2109	60,1	10,2	19,2	9,8	140,3
I 84	9,2	1979	69,7	7,5	20,5	15,1	140,3	-		P 101	12,4	3005	48,5	8,3	15,5	2,9	175,7
P 100	13,0	1274	149,5	7,8	40,5	16,0	436,7	3,5		P 100	12,3	1251	151,9	10,2	42,1	16,4	458,7
P 105	13,8	1492	86,6	12,6	26,8	8,4	296,5	2,0		P 105	13,7	1371	134,3	11,4	38,2	9,6	453,8
P 112	14,4	1929	83,4	9,5	24,7	8,2	256,2	3,0		P 112	12,9	1536	101,8	15,6	31,8	10,7	314,1
P 113	13,9	1703	77,4	16,8	26,2	10,0	266,0	3,0		P 113	12,5	1633	89,8	19,5	30,4	9,8	323,3
E 16	10,0	2415	67,7	5,8	19,3	5,6	219,6	-		E 15	11,2	2259	79,8	2,9	21,1	6,6	245,2
										<p>Piézos. S:Surface P:Profondeur</p> <p>Température Degrés C</p> <p>Résistivité D.cm à 18°C</p> <p>Ca⁺⁺ mg/l</p> <p>Mg⁺⁺ mg/l</p> <p>T H T Degrés F</p> <p>Cl⁻ mg/l</p> <p>HCO₃⁻ mg/l</p> <p>Profondeur Prélèvement</p>							
										<p>Piézos. S:Surface P:Profondeur</p> <p>Température Degrés C</p> <p>Résistivité D.cm à 18°C</p> <p>Ca⁺⁺ mg/l</p> <p>Mg⁺⁺ mg/l</p> <p>T H T Degrés F</p> <p>Cl⁻ mg/l</p> <p>HCO₃⁻ mg/l</p>							

Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	T H T Degrés F	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	
518	9,7	1641	88,2	6,3	24,6	-	183,0	0	
P 105	9,8	1171	130,3	14,6	38,5	-	322,1	32,0	
514	10,1	1605	80,2	12,6	25,2	-	231,8	5,5	
P 102	8,5	1299	119,0	11,4	34,4	-	285,5	-	
516	8,4	1681	80,2	11,9	24,9	57,4	225,7	23,0	
P 101	9,5	2347	53,5	11,7	18,1	54,6	112,2	23,0	
P 48	11,0	1020	156,7	17,3	46,2	26,1	448,9	60,0	
140	7,9	1361	112,6	10,5	32,4	31,5	281,8	180,0	
144	9,1	1134	127,5	15,8	38,3	40,1	346,5	3,3	
P 94	10,4	1201	140,7	19,5	43,1	24,6	429,4	36,0	
135	11,0	1287	127,5	23,8	41,6	31,5	329,4	5,3	
DDA2	8,1	1661	91,0	6,3	25,2	37,8	164,7	40,0	
P 42	9,4	1242	127,5	14,3	37,7	23,6	320,8	40,5	
P 120	9,3	1642	102,2	16,8	32,4	5,9	322,1	17,0	
128	8,7	1459	128,7	10,7	36,5	8,4	372,1	25,0	
1 72	6,4	1880	70,9	13,6	23,3	9,8	165,9	105,5	
157	12,6	4290	16,4	13,6	9,7	5,9	172,0	-	
P 87	9,4	4492	171,5	-	-	16,5	-	109,0	
P 85	11,4	1161	151,9	-	-	25,1	318,4	-	
122	9,8	2405	73,7	-	-	7,2	218,4	31,0	
RELEVES DU 13 JANVIER 1982									
Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	T H T Degrés F	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l		
526	8,4	3112	17,2	20,2	12,6	-	67,1		
527	9,0	2165	21,2	3,9	6,9	-	0		
528	9,7	1536	71,3	21,9	26,8	-	220,8		
515	9,4	1276	120,6	12,9	35,4	-	307,4		
P 100	8,6	1074	158,7	8,5	43,1	65,8	398,9		
P 53	10,1	1458	98,2	29,1	34,8	40,0	298,9		
142	9,6	1808	79,8	18,5	27,5	26,0	248,9		
P 97	11,1	1028	149,1	19,2	45,1	30,6	457,5		
P 46	9,6	871	186,7	21,2	55,3	40,2	483,1		
134	9,6	2165	65,3	10,5	20,6	21,9	202,5		
P 92	10,3	561	103,8	7,5	29,0	41,0	256,2		
P 91	10,0	1134	138,3	11,4	39,2	36,7	368,4		
P 90	11,4	627	155,5	17,5	46,0	112,0	397,7		
127	9,7	1995	66,1	18,7	24,3	6,4	273,3		
P 122	9,0	1642	107,4	8,8	30,4	-	267,2		
156	7,9	4070	16,4	16,1	10,7	6,2	130,5		
B	5,5	2198	55,7	12,6	19,1	8,0	268,4		
154	9,2	3154	32,9	-	-	15,7	139,1		
P 86	10,8	845	203,6	-	-	57,7	289,2		
120	10,0	3935	32,9	6,3	10,8	8,5	119,6		

Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω -cm à 18°C	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	T H T Degrés F	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l		Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω -cm à 18°C	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	T H T Degrés F	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
518	9,6	2100	67,3	13,1	22,2	7,6	272,1	105,0		508	9,5	3204	51,7	0,2	13,0	3,5	158,6	28,0
526	8,8	3650	15,6	14,8	10,0	6,9	132,9	17,5		54	10,1	2000	87,4	1,7	22,5	6,3	248,9	99,0
P 105	9,7	1337	125,1	13,9	36,9	7,1	422,1	80,0		510	9,5	3375	29,7	9,9	11,5	16,8	100,1	51,0
514	10,4	1887	64,1	14,3	21,9	8,5	274,5	2,8		P 112	9,9	1356	127,5	9,7	35,8	8,5	326,9	99,0
528	11,0	3147	19,3	17,5	12,0	2,1	163,5	44,0		P 113	8,8	1612	93,8	13,1	28,7	5,7	288,9	80,0
P 102	9,4	1482	107,4	12,9	32,1	2,9	379,4	135,0		503	9,6	2446	51,3	12,6	18,0	5,9	215,9	14,6
515	10,3	1602	65,3	28,9	28,2	7,2	324,5	17,0		502	8,3	1251	122,2	3,2	31,9	130,2	87,8	16,1
516	9,7	2019	58,1	17,7	21,8	6,6	279,4	10,4		I 81	6,8	1545	97,0	5,1	26,3	16,8	159,8	21,0
P 100	9,8	1776	151,9	14,6	43,9	5,4	499,0	71,5	RELEVES DU 01 FEVRIER 1982	P 48	11,1	1242	121,1	19,5	38,2	8,3	411,2	150,5
P 101	11,4	2683	47,4	11,7	16,6	2,4	183,0	47,5		I 42	9,4	2010	63,3	14,1	21,6	5,7	256,2	76,0
P 53	10,9	1896	74,9	13,9	24,4	1,1	275,7	56,5		I 40	7,6	1469	110,6	7,3	30,6	5,9	368,4	99,5
156	8,1	3806	19,6	10,7	9,3	6,8	131,8	38,5		P 97	11,3	1081	142,7	15,3	41,9	13,1	549,0	100,0
157	12,3	4032	22,5	10,5	9,9	6,6	122,0	35,0		I 44	9,1	1422	78,6	27,2	30,8	3,2	380,2	141,0
B	5,0	1935	62,9	9,9	19,8	10,6	170,8	82,5		P 46	9,5	1299	101,4	27,7	36,8	6,6	380,7	120,5
P 87	10,4	1015	140,7	12,2	40,1	21,7	374,5	108,0		P 94	10,5	-	105,8	20,4	34,8	6,6	389,2	141,0
154	9,3	2896	36,1	7,1	11,9	19,8	125,7	8,7		I 34	9,3	1308	62,5	10,7	20,0	5,9	244,0	59,0
P 85	11,7	975	153,5	11,9	43,2	40,2	427,0	92,5		I 35	10,4	1394	123,4	4,1	32,5	16,0	383,1	2,6
P 86	10,5	686	217,6	10,9	58,5	142,1	459,9	81,0		P 92	9,0	1356	102,6	6,1	28,1	27,6	330,6	35,5
I 20	9,5	3381	37,7	5,6	11,7	9,9	131,8	40,5		DDA2	8,5	1538	106,2	8,0	29,8	6,5	330,6	55,5
105	9,5	2262	36,1	20,4	17,4	10,6	215,9	18,0		P 91	10,0	1200	98,7	18,5	32,2	20,4	362,3	39,0
P 82	9,0	1229	112,2	22,6	37,3	10,9	373,3	93,5		P 42	9,5	1507	89,4	17,8	29,6	10,4	296,5	61,5
2	8,6	1074	65,3	8,8	19,9	37,3	373,3	31,0		P 90	11,2	699	122,6	20,4	39,0	145,6	395,3	70,0
165	10,6	4150	25,3	6,1	8,8	14,9	89,1	140,5		P 120	9,1	1297	95,8	16,8	30,8	6,9	348,9	28,0
P 77	10,5	1174	117,4	17,3	36,4	18,7	364,8	85,1	I 27	9,4	1620	78,2	14,8	25,6	4,7	320,9	0,5	
P 75	11,1	1388	113,0	9,5	32,1	8,2	352,6	71,5	I 28	8,6	1137	130,7	9,5	36,5	9,4	419,7	25,5	
P 73	9,6	1323	114,6	12,2	33,6	7,3	352,6	76,0	P 122	9,6	1339	113,4	9,0	32,0	3,6	322,1	51,5	
P 71	11,7	983	149,1	11,4	41,9	31,0	348,9	112,0	I 72	6,5	1507	81,8	13,4	25,9	19,5	172,0	122,0	

Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	ECO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l		Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	ECO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l
54	10,6	1884	23,9	95,8	8,8	255,5	6,6	46,0		508	9,8	2850	15,4	61,7	7,5	165,9	7,6	13,0
P 100	9,4	1123	43,4	173,9	13,1	489,2	9,0	53,0		P 112	9,4	1267	37,7	151,1	21,2	332,1	16,6	115,5
P 101	10,7	2604	16,8	67,3	9,5	176,9	4,4	29,0		P 113	9,0	1562	29,3	117,4	14,1	311,1	14,9	66,5
P 53	10,4	1955	23,3	93,4	14,8	247,7	2,2	31,5		503	9,5	2278	19,5	78,2	10,9	225,7	10,7	19,5
P 48	10,4	1089	42,8	171,5	27,2	428,2	16,1	85,0		502	8,5	1406	27,5	110,2	2,9	61,0	178,8	8,0
142	9,1	1807	24,8	99,4	20,3	285,5	11,2	10,0		I 81	7,0	1598	26,7	107,0	9,7	201,3	19,8	135,0
140	7,8	1415	31,9	127,9	21,6	359,9	7,8	35,0		518	9,7	1820	23,0	92,2	4,9	274,5	12,4	62,5
P 97	10,5	1050	47,1	188,8	34,8	510,0	17,8	17,2		526	9,1	3475	10,5	42,1	15,3	128,9	15,6	12,5
144	8,9	1279	35,6	142,7	15,8	440,4	2,7	1,8		P 105	9,9	1286	37,9	151,9	16,8	419,7	9,3	43,0
P 46	8,6	1066	43,4	173,9	23,8	441,6	7,8	71,5		514	10,4	1807	22,8	91,4	17,7	268,4	14,4	19,5
P 94	9,5	1103	41,1	164,7	20,2	445,3	9,5	51,5		510	9,0	3886	10,9	43,7	11,2	87,8	27,8	14,5
134	9,6	2049	22,2	88,9	13,9	251,3	8,8	5,5		528	10,6	3079	12,8	51,3	18,9	161,1	5,1	6,5
135	10,9	1264	37,2	149,1	10,7	409,9	22,2	3,5		P 102	9,3	1375	36,2	145,1	14,1	403,8	5,6	35,0
P 92	10,2	1336	32,8	131,5	12,8	331,8	46,6	29,0		515	9,9	1441	32,0	128,2	35,5	356,2	10,2	36,5
154	9,3	2896	13,4	53,7	10,5	122,0	30,0	6,0		DDA2	9,6	1428	36,3	145,5	16,5	346,4	10,5	67,0
P 85	11,6	921	52,3	209,6	15,8	433,1	72,6	107,5		P 91	10,3	1208	38,0	152,3	20,7	375,8	43,9	41,5
P 86	10,8	725	60,5	260,5	12,4	473,4	159,0	90,0		P 42	9,1	1329	35,2	141,1	27,2	307,4	19,3	47,0
120	9,5	3493	12,6	50,5	6,3	122,0	17,4	10,6		P 90	12,0	707	43,4	173,9	20,2	383,1	105,6	7,8
105	9,5	2210	18,5	74,2	22,5	213,5	16,6	9,5		P 120	9,5	1263	38,0	152,3	14,8	389,2	9,8	16,0
104	9,3	1763	26,2	105,0	14,6	296,5	9,8	41,5		127	9,7	1602	30,8	123,4	17,0	329,4	10,0	0,5
P 82	9,1	1218	42,0	168,3	24,6	378,2	20,6	125,0		128	8,9	1098	46,3	185,6	10,7	462,4	12,8	45,0
516	9,4	1917	22,5	90,2	17,3	274,5	16,1	8,5		P 122	9,6	1315	37,2	149,1	10,2	333,1	7,4	57,5
165	10,2	3952	9,8	39,3	6,1	87,8	33,0	13,1		I 72	6,4	1444	29,8	119,4	15,3	158,6	26,0	187,5
P 77	10,1	1178	41,8	167,5	16,5	383,1	25,4	76,5		156	8,1	3775	10,1	40,5	11,2	128,1	15,0	7,4
P 75	10,6	1394	35,8	143,5	12,2	253,8	12,2	56,0		157	11,9	4025	10,1	40,5	11,7	112,2	15,6	7,3
P 73	9,3	1320	37,6	150,7	12,4	348,9	9,0	67,0		B	6,1	1960	22,0	88,2	11,2	169,6	22,6	83,0
P 71	11,2	1096	45,8	183,6	15,1	380,6	15,4	91,0		P 87	9,6	1034	52,4	210,0	20,2	431,9	33,0	128,0

RELEVES DU 15 FEVRIER 1982

P 71	14,1	1184	33,8	120,2	9,2	351,4	16,3	68,0												
P 73	11,1	1328	30,8	105,0	11,3	334,3	10,4	57,0												
P 77	10,9	1188	33,9	107,4	17,2	359,9	23,3	64,0												
I04	10,5	1794	22,2	73,4	9,2	274,5	3,6	86,0												
P 82	9,5	1207	35,2	98,2	26,0	373,3	15,3	100,5												
I05	11,0	2273	16,4	32,5	20,2	211,1	11,9	27,0												
I20	10,2	3247	11,4	32,1	8,3	128,1	17,8	71,0												
P 85	12,2	893	45,8	144,7	23,6	444,1	82,3	124,0												
P 86	11,5	765	48,8	185,6	6,0	473,4	129,4	97,0												
I22	10,7	1855	21,4	28,0	35,0	259,9	13,4	137,0												
P 87	10,6	996	41,0	129,5	21,1	407,5	27,9	128,0												
I54	9,8	2907	15,0	26,0	23,1	124,4	35,6	83,0												
B	5,7	1893	19,8	46,9	19,7	176,9	16,8	96,0												
I44	9,4	1299	31,0	80,9	26,3	403,8	7,8	9,6												
P 97	10,6	1079	40,0	139,1	12,9	553,8	14,2	13,6												
I40	7,3	1447	26,5	92,6	8,3	341,6	16,3	17,6												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2	50,5	8,8	179,3	6,4	4,2												
I42	9,1	1735	19,8	61,3	10,9	253,8	12,5	2,0												
P 48	11,0	1091	35,3	113,8	16,8	379,4	19,6	66,0												
P 100	9,6	1138	36,9	133,9	8,5	447,7	11,8	2,6												
P 101	10,5	2622	16,2</																	

Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités $\Omega \cdot \text{cm}$ à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
P 92	10,6	1237	33,6	115,0	11,9	344,1	46,5	142,5
P 91	10,6	1237	34,5	96,2	25,5	379,4	24,7	129,5
P 90	12,2	746	37,6	89,7	36,9	375,7	176,3	147,0
P 120	10,1	1268	33,9	104,6	18,9	394,1	8,8	130,0
127	9,5	1578	27,8	78,5	19,9	334,3	7,3	200,0
128	8,6	1074	41,6	150,3	9,9	470,9	11,7	200,0
P 122	10,0	1414	32,3	100,6	17,5	305,0	6,2	140,0
I 72	7,2	1421	27,3	87,7	13,1	176,9	27,9	210,0
156	8,6	3826	10,4	18,4	14,1	120,8	9,4	130,0
157	10,7	4077	9,6	17,2	12,9	109,8	9,5	134,0
B	6,5	1969	20,8	61,7	13,2	170,8	13,3	122,0
P 87	10,0	1036	42,8	144,7	16,3	440,4	25,2	200,0
154	9,4	3119	13,5	34,1	12,2	118,3	24,0	122,5
P 85	10,8	917	41,8	148,7	11,4	440,4	71,1	160,0
P 86	10,3	864	46,6	164,3	13,6	473,4	78,7	-
122	9,3	1664	26,8	83,4	14,6	298,9	17,8	71,5
120	8,5	3319	14,8	35,3	14,6	131,8	15,1	96,0
P 82	8,2	1248	37,1	92,6	34,0	383,0	11,4	166,0
105	8,5	2366	17,9	30,8	24,8	213,5	10,2	155,0
104	8,3	1896	23,6	70,5	14,6	278,2	3,8	130,0
165	9,0	3846	13,1	26,1	16,1	102,5	17,3	76,0
P 77	9,3	1232	35,8	111,6	19,2	376,9	20,8	137,5
P 75	10,2	1427	33,9	114,2	13,1	355,0	8,7	148,0
P 73	8,7	1368	32,4	84,6	27,5	358,7	12,4	200,0
P 71	10,1	1218	36,5	120,2	15,8	376,9	11,4	171,0
RELEVES DU 15 MARS 1982								
Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités $\Omega \cdot \text{cm}$ à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
508	9,9	2393	17,9	56,9	8,5	195,2	6,5	127,0
54	10,9	1892	23,0	70,1	13,4	261,1	7,8	142,0
P 112	8,8	1268	37,0	108,2	24,3	339,1	16,9	182,0
P 113	9,5	1328	33,0	62,5	42,3	280,6	36,8	151,5
503	9,5	2133	20,5	66,5	9,5	251,3	6,5	127,0
502	9,6	1307	28,7	118,2	-	42,7	196,6	112,0
510	9,1	3574	12,2	29,2	11,9	96,4	33,6	124,0
518	9,7	1868	23,3	84,2	5,6	273,3	19,4	117,0
526	9,3	3536	11,4	14,4	18,9	125,6	12,4	124,0
P 105	9,5	1304	25,2	60,1	24,8	295,2	15,7	139,0
514	10,0	1575	38,7	123,0	19,5	398,9	9,3	127,0
I 81	7,9	1428	29,3	72,1	27,5	185,4	33,9	187,5
528	10,7	3053	12,9	31,3	12,4	169,6	3,8	120,0
P 102	9,3	1400	35,8	117,8	15,6	401,4	4,1	170,0
515	10,9	1431	32,2	51,7	47,2	333,1	6,0	-
516	9,8	1954	22,5	66,9	13,8	265,9	9,5	97,5
P 100	10,8	1210	39,9	147,9	7,3	446,5	6,3	142,5
P 101	11,9	2649	16,3	56,9	5,1	183,0	3,9	-
142	9,6	1686	25,8	77,7	15,6	253,7	9,8	113,0
140	8,6	1476	29,4	93,8	14,6	336,7	9,4	151,5
P 97	11,8	1133	45,2	145,9	21,4	544,1	14,1	167,5
144	9,8	1315	34,6	111,8	16,3	742,9	6,5	133,6
P 94	10,2	1123	39,8	123,8	21,6	466,1	9,2	142,5
134	9,1	1998	21,2	62,9	13,4	257,3	8,5	85,0
135	10,5	1224	33,8	126,6	5,3	402,6	23,2	125,5

Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l		Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	
508	9,0	2188	19,6	47,9	18,6	215,9	9,1	6,9											
P 112	8,3	1266	32,8	88,9	25,8	289,2	20,8	45,5		54	10,3	1915	20,7	36,7	28,1	237,9	9,1	9,2	
P 113	8,3	1577	28,5	70,9	26,3	309,8	14,4	28,0		503	9,2	1931	22,4	67,8	13,3	274,5	9,1	5,6	
P 42	9,0	1522	25,9	59,8	26,7	234,2	22,4	38,0		502	8,5	1296	32,7	91,0	24,3	147,6	118,5	13,5	
P 90	11,5	756	33,9	77,4	35,5	353,8	193,0	58,0		510	8,5	3553	11,4	7,5	23,2	100,0	33,5	3,3	
P 120	9,3	1296	29,1	73,9	25,9	348,9	6,5	12,2		505	8,8	2665	20,5	48,1	20,7	192,8	20,8	19,1	
I27	9,2	1564	26,8	64,7	25,9	333,1	8,8	29,5		518	9,4	1868	23,0	47,6	27,1	265,9	10,2	5,6	
I28	9,2	1109	39,2	120,4	22,3	444,1	7,7	7,6		526	9,3	3584	11,8	5,4	25,4	134,2	11,6	4,6	
P 122	9,6	1323	33,6	97,9	22,3	342,8	10,6	103,0		P 105	9,3	1344	35,7	102,4	24,7	414,8	6,5	23,5	
I 72	8,1	1366	28,8	78,1	26,3	161,1	7,3	177,0		514	10,3	1596	25,3	59,5	25,4	307,4	17,6	4,0	
I56	8,3	3776	10,5	1,2	24,8	125,6	11,1	3,7		I 81	6,3	1411	29,7	73,2	27,8	185,4	18,7	145,0	
I57	10,8	4270	10,2	-	-	113,5	13,0	-		528	10,5	3192	14,1	15,6	24,8	165,9	5,7	34,0	
B	7,9	2019	20,1	41,3	23,8	168,4	17,6	72,5		P 102	8,9	1406	34,0	94,1	25,6	408,7	6,6	20,6	
P 87	10,9	1038	43,1	128,8	26,8	390,4	30,3	6,0		515	9,9	1424	31,0	84,0	24,4	356,2	7,9	12,0	
I54	9,3	3040	12,6	13,9	22,2	122,0	30,9	81,0		516	10,5	1952	20,8	45,9	22,7	263,5	12,2	12,4	
P 85	11,6	929	44,8	136,2	26,3	418,5	72,1	63,0		P 100	10,2	1222	38,6	117,1	22,8	444,1	9,8	23,5	
P 86	10,8	867	47,7	149,6	25,5	458,7	86,5	60,0		P 101	12,9	2631	17,7	32,1	23,6	186,6	4,3	20,6	
I22	9,8	1665	23,9	61,5	20,8	278,2	18,4	11,9		P 53	12,0	2491	19,5	50,6	27,7	197,6	2,1	26,0	
I20	9,1	3025	12,3	16,8	19,7	139,1	17,6	14,6		P 48	11,9	1330	35,1	98,8	25,4	378,2	16,2	55,0	
P 81	9,7	922	51,0	157,9	28,2	512,4	9,1	157,5		I42	10,0	1689	20,4	43,7	23,1	237,9	9,2	3,3	
P 82	8,6	1254	35,8	100,5	28,5	384,3	6,4	83,0		I40	9,1	1441	29,6	73,8	27,2	339,2	7,9	29,5	
I79	8,9	1256	34,1	93,0	26,5	325,7	20,8	97,5		P 97	11,6	1100	40,8	137,5	26,1	479,5	15,2	4,5	
I05	9,3	2376	16,9	21,6	28,0	207,4	13,3	5,6		144	9,8	1348	28,6	67,6	28,5	358,7	7,1	2,0	
I72	9,0	2466	16,4	19,3	28,2	190,3	15,1	4,0		P 46	11,2	1104	-	-	-	408,7	9,2	60,0	
I04	8,9	1935	20,5	47,8	20,8	265,9	4,8	5,1		P 94	11,6	1168	32,8	85,6	27,8	359,9	10,9	32,0	
I65	9,5	3582	10,7	11,4	19,1	107,4	20,2	3,0		I34	9,9	1978	18,7	37,4	22,8	229,4	11,7	5,6	
P 77	10,2	1238	34,5	94,6	26,5	357,5	25,7	62,5		I35	10,8	131,8	32,3	104,6	15,1	394,1	26,7	7,1	
P 75	11,5	1496	31,0	85,7	23,4	344,0	13,0	40,0		P 92	10,2	1197	34,5	102,3	21,8	324,5	70,5	21,0	
P 73	9,9	1384	32,7	90,1	24,9	341,6	10,6	51,5		DDA2	8,9	1382	29,9	83,1	22,3	276,9	51,4	46,0	
P 71	13,0	1230	31,3	84,9	24,6	314,7	14,9	52,0		P 91	9,9	1253	29,1	74,9	25,3	316,0	36,6	27,0	

RELEVES DU 28 MARS 1982

Piezomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	EC03 ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO4 ⁼ mg/l		Piezomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	EC03 ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO4 ⁼ mg/l	
528	10,3	3380	12,2	4,6	26,9	166,0	9,7	7,8											
P 102	9,8	1630	33,0	93,3	23,7	403,0	4,8	24,5		508	10,4	2470	20,0	-	-	220,0	5,3	-	
515	10,8	1570	33,1	95,0	22,9	414,0	8,9	19,5		54	10,4	2070	23,4	57,8	21,9	271,0	9,5	70,5	
516	11,0	2180	22,0	50,9	22,6	283,0	8,9	8,5		P 112	9,7	1460	37,2	103,9	27,4	348,0	18,1	99,0	
P 100	10,8	1390	38,0	118,8	20,4	512,0	9,1	38,5		P 113	9,8	1830	27,8	69,6	25,4	309,0	15,7	55,0	
P 101	11,7	2680	17,0	52,5	9,5	202,5	5,2	26,0		503	10,3	1930	25,3	50,6	25,9	315,0	8,1	24,5	
P 53	10,9	2670	17,3	41,4	16,2	206,0	5,8	26,5		502	9,8	1470	26,7	81,6	15,4	210,0	158,0	49,5	
P 48	10,8	1300	43,3	140,0	20,4	498,0	12,8	60,5		510	9,7	3840	10,0	23,6	10,0	91,5	31,4	19,6	
I42	9,7	1740	27,8	70,0	25,2	354,0	10,2	10,5		505	10,3	2960	14,3	18,4	23,6	171,0	19,3	15,0	
I40	9,8	1650	31,0	90,0	20,8	384,0	6,9	30,0		518	9,4	2020	22,8	56,3	21,3	279,0	14,3	9,6	
P 97	11,1	1260	43,0	135,0	22,7	549,0	9,6	12,3		P 105	9,7	1480	36,8	107,6	24,2	438,0	11,1	34,0	
I44	10,3	1500	35,3	98,0	26,4	446,5	7,9	28,0		514	10,1	1700	24,2	57,9	23,8	312,0	21,2	2,8	
P 46	10,8	1280	45,7	145,0	23,2	525,0	11,9	63,0		I 81	9,8	1900	23,7	54,5	24,6	190,0	9,2	97,5	
I54	9,4	1180	11,5	31,5	8,8	112,0	34,6	16,5		P 94	11,6	1330	41,7	122,0	27,4	515,0	10,2	38,5	
P 87	9,3	3310	43,7	147,0	17,3	443,0	25,7	90,0		I34	9,8	2160	21,7	53,0	20,6	266,0	11,3	4,0	
P 86	10,0	1040	49,1	155,5	25,1	529,5	85,8	57,5		I35	10,1	1380	33,3	120,0	8,2	406,0	27,5	54,0	
I22	8,8	1800	26,5	85,0	12,9	305,0	22,6	6,9		P 92	10,7	1055	45,6	145,0	23,0	351,0	174,0	14,5	
I20	9,0	3310	13,1	45,0	4,6	130,5	24,6	15,3		P 91	10,3	1410	35,6	118,0	15,0	411,0	32,2	35,6	
P 81	10,9	1075	41,9	122,3	27,7	525,0	19,8	300,0		P 42	9,9	1700	29,5	89,0	17,8	303,0	21,9	51,0	
P 82	10,2	1450	37,1	102,9	27,8	394,0	17,9	80,5		P 90	11,5	900	37,7	90,0	37,1	390,0	221,8	58,5	
I79	9,5	1400	34,6	95,0	26,5	348,0	18,3	111,0		P 120	10,7	1480	35,5	120,0	13,6	439,0	12,8	16,0	
I05	10,1	265,0	16,7	21,7	27,4	216,0	15,8	2,3		I27	10,0	1740	28,1	79,0	20,4	356,0	14,3	11,5	
I04	9,4	2100	22,7	57,7	20,3	294,0	6,6	14,0		P 122	9,6	1710	29,0	85,0	19,0	284,0	11,3	48,0	
I65	9,5	3830	22,7	58,9	19,5	122,0	23,1	3,5		I 72	8,0	1820	24,0	74,0	12,9	167,0	25,4	100,0	
P 75	10,4	1680	32,2	92,0	22,5	360,0	13,3	35,5		156	8,6	4000	9,6	21,1	10,5	127,0	13,9	3,5	
P 73	10,7	1700	32,0	89,0	23,8	355,0	11,9	48,0		B	10,2	2160	21,0	57,7	16,1	174,5	17,2	75,0	

RELEVES DU 15 AVRIL 1982

Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l		Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	
DDA2	12,2	497	53,5	214,0	0,5	396,5	210,0	5,3											
P 91	12,8	1214	33,7	124,0	6,8	378,0	55,6	31,0		508	10,7	2515	17,1	41,0	16,8	200,0	8,2	-	
P 42	12,1	1523	29,0	92,0	14,6	298,0	21,8	34,0		54	11,5	2055	21,6	55,0	18,9	239,0	9,9	-	
P 90	13,7	6305	36,3	96,0	54,2	355,0	210,0	53,0		P 112	11,6	1258	36,8	47,0	60,8	322,0	19,9	-	
P 120	12,6	1293	34,4	120,0	10,7	409,0	22,9	15,5		P 113	10,4	1626	31,8	68,0	36,2	333,0	34,6	-	
I 27	12,8	1657	27,0	72,0	21,8	348,0	24,5	6,0		503	11,3	1759	28,1	83,0	18,2	311,0	13,1	74,0	
P 122	12,7	1701	35,0	94,0	28,0	246,0	20,5	41,0		510	10,2	4003	11,8	28,0	11,4	117,0	34,7	11,0	
I 72	11,0	1820	25,0	15,0	51,8	140,0	29,7	121,0		505	11,2	3032	14,8	45,0	8,8	165,0	28,0	4,5	
B	16,1	2160	20,3	9,0	43,7	173,0	30,6	71,0		518	10,7	2011	22,9	76,0	9,5	260,0	25,4	10,5	
I 56	11,2	4236	8,9	0	21,6	67,0	31,1	15,0		P 105	11,1	1308	42,6	139,0	19,2	437,0	25,4	42,0	
P 87	11,7	1071	44,2	67,0	66,6	420,0	51,6	84,0		514	11,1	1603	25,4	72,5	17,5	303,0	41,1	25,0	
I 54	12,4	3390	11,7	14,0	19,9	124,0	50,9	7,0		I 81	10,7	1963	24,0	67,0	17,5	143,0	32,4	79,0	
P 85	12,7	1023	49,5	93,0	63,7	454,0	98,0	80,0		528	10,9	3565	13,0	18,0	20,9	163,0	23,1	6,0	
P 86	12,6	908	46,5	105,0	49,3	483,0	74,6	44,0		P 102	10,5	1339	39,5	133,0	15,5	433,0	26,1	60,0	
I 22	11,5	1763	23,3	58,0	21,4	285,5	37,8	7,0		515	11,1	1408	35,5	84,0	35,2	409,0	30,1	30,0	
I 20	11,7	3566	13,5	29,0	15,1	134,0	30,9	13,6		516	10,4	2039	23,4	58,0	21,8	283,0	39,9	4,0	
P 81	11,9	857	37,2	102,0	28,7	371,0	20,6	120,0		P 100	10,9	1188	43,3	149,5	14,6	501,0	32,7	35,0	
P 82	10,8	1297	35,8	96,0	28,7	355,0	19,8	95,0		P 101	12,6	2578	20,0	54,5	15,6	202,5	23,6	27,0	
I 79	10,6	1192	54,6	182,0	22,1	443,0	40,8	300,0		P 53	12,5	2743	18,5	52,0	13,4	200,0	26,8	27,0	
I 05	11,5	2698	17,4	28,0	25,5	205,0	24,5	6,5		I 40	12,0	1582	27,8	87,0	14,6	323,0	32,7	19,0	
I 72	10,4	2843	16,0	26,0	22,8	183,0	31,3	8,0		P 48	11,8	1102	48,0	144,0	29,2	483,0	45,5	54,0	
I 04	11,4	2076	21,6	71,0	9,2	272,0	20,1	13,5		I 44	11,8	1342	37,0	116,0	19,7	437,0	20,8	12,0	
I 65	10,0	3788	11,3	31,0	8,5	122,0	35,5	3,5		P 46	12,8	1102	46,2	136,0	29,6	474,0	35,2	51,0	
P 77	11,6	1307	33,1	103,0	17,7	354,0	33,8	51,0		P 94	13,7	1122	43,8	136,0	23,8	459,0	34,1	42,0	
P 75	11,6	1565	28,8	57,0	35,2	315,0	23,6	250,0		I 34	12,0	2076	21,5	70,5	9,5	266,0	27,1	13,0	
P 73	10,9	1435	30,8	106,0	10,4	321,0	23,1	48,0		I 35	11,9	1221	33,5	131,5	1,7	403,0	27,1	22,0	
P 71	12,0	1265	34,8	119,0	12,4	344,0	20,5	65,0		P 92	13,0	791	46,6	186,0	0,2	323,0	210,0	25,0	

RELEVES DU 15 MAI 1982

Piezomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l		Piezomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
P 91	12,4	1500	34,1	111,4	15,3	379,4	30,5	26,4		508	13,6	2750	17,9	56,5	9,2	204,9	8,3	12,7
P 42	11,8	1800	28,8	90,2	15,3	300,1	18,5	29,8		54	12,4	2500	20,3	60,5	12,6	235,5	9,8	19,8
P 90	13,3	840	33,6	18,0	70,7	340,4	267,0	53,9		P 112	12,4	1920	28,5	47,3	40,6	285,5	12,8	46,1
P 120	12,2	1580	33,4	90,2	26,5	406,3	12,2	10,2		P 113	11,4	1990	28,5	52,3	37,4	305,0	11,8	45,7
127	12,0	2010	26,0	58,5	26,9	333,1	8,7	5,8		503	12,5	2100	25,4	56,9	27,2	302,6	7,0	27,8
I 72	12,9	2870	16,1	47,3	10,5	112,2	11,8	66,5		510	12,0	4430	11,0	25,3	11,4	103,7	25,2	2,8
B	18,3	2160	19,2	51,7	15,3	162,3	16,3	48,4		505	12,8	3480	13,2	38,1	9,0	157,4	15,7	4,9
156	11,9	4580	9,0	18,8	10,5	122,0	13,7	2,8		518	11,5	2380	21,0	64,1	12,2	256,2	12,8	6,0
P 87	12,3	1340	42,9	140,7	18,9	411,1	36,3	56,4		P 105	11,7	1640	34,9	108,6	18,9	418,5	11,8	29,2
154	13,1	3680	12,4	30,8	11,4	112,2	31,8	7,4		514	11,9	1940	24,4	66,5	18,9	290,4	21,1	13,6
P 85	10,4	1120	47,1	161,1	16,8	436,8	91,9	44,3		I 81	12,4	2780	17,4	49,7	12,2	130,5	11,5	65,8
I 22	12,5	2100	23,8	81,4	8,5	273,3	22,2	21,6		528	11,4	3890	13,2	15,2	22,8	164,7	7,6	2,4
120	13,0	4120	12,2	38,8	6,1	126,9	18,5	6,7		P 102	11,7	1740	33,0	94,6	22,9	387,9	10,0	24,4
P 81	12,9	1130	47,7	160,3	18,7	414,8	40,1	182,0		515	11,7	1620	37,8	117,4	20,7	414,8	16,1	37,4
P 82	12,5	1520	36,4	65,7	48,6	355,0	17,8	88,3		516	10,7	1710	33,1	93,8	23,6	396,5	10,7	34,9
I 79	12,0	1470	36,4	98,2	28,9	364,8	23,7	98,7		P 100	11,0	1570	34,8	126,3	8,0	459,9	5,6	17,3
105	10,2	2890	15,7	30,8	19,5	201,3	15,4	4,9		P 101	12,3	2930	17,5	48,9	12,9	211,1	7,4	22,5
172	12,4	3180	14,7	24,5	20,9	176,9	19,2	9,0		I 40	13,0	1910	28,6	72,1	25,7	330,6	11,5	30,7
I 04	10,2	2290	22,0	53,5	21,1	259,8	5,4	13,6		P 48	11,3	1440	40,9	138,3	15,6	475,8	18,3	50,2
I 65	11,3	4040	10,3	30,1	6,8	118,3	18,5	4,4		I 44	11,6	1640	33,5	106,6	16,8	436,8	5,6	25,0
P 77	13,0	1570	34,4	111,4	16,0	342,8	21,5	33,7		P 46	12,5	1280	45,0	139,1	25,0	507,5	12,9	53,9
P 75	12,5	1890	29,0	52,5	38,6	319,6	13,3	66,5		P 94	11,9	1210	43,6	155,9	11,4	575,8	23,7	55,3
P 73	10,7	1730	29,5	92,2	15,8	279,4	12,2	33,3		I 34	12,2	2330	21,5	59,7	16,0	358,6	15,4	6,7
P 71	12,7	1480	35,4	123,8	10,9	335,5	15,2	57,8		P 92	12,6	1100	41,3	144,3	12,9	331,8	15,7	19,8

RELEVÉS DU 01 JUIN 1982

Piezómetros	Temperatures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l		Piezómetros	Temperatures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
P 91	14,0	1443	35,8	121,0	13,6	387,9	30,2	26,0		508	12,9	2886	16,8	53,3	8,5	194,0	6,2	10,2
P 42	14,4	1736	31,3	42,9	50,1	336,7	16,3	27,6		54	13,6	2405	20,3	52,1	17,8	212,3	7,4	25,3
P 90	13,3	840	31,7	20,0	64,9	335,5	273,2	41,8		P 112	13,4	1774	28,6	35,3	48,1	275,7	13,0	57,0
P 120	13,5	1667	33,9	103,4	19,7	409,9	11,1	15,5		P 113	13,3	1828	27,8	35,3	46,2	297,7	11,0	50,7
127	13,9	2053	25,8	63,7	24,1	328,2	5,6	5,9		503	14,5	2095	25,0	52,1	29,2	296,5	6,0	23,3
P 122	15,0	2065	25,1	30,5	42,5	263,5	6,7	33,0		510	14,1	3880	11,6	22,1	14,8	95,2	26,0	5,6
I 72	12,8	3070	13,4	38,1	9,5	97,6	9,4	46,0		505	14,5	3250	12,2	30,5	11,2	141,5	13,0	5,9
B	22,9	2744	17,9	46,9	15,1	146,4	10,9	54,0		P 105	13,2	1636	33,5	103,8	18,5	379,4	9,8	29,2
156	13,8	3780	9,8	16,8	13,6	127,7	11,1	4,5		514	12,8	1935	24,4	72,9	15,1	301,3	19,6	10,7
P 87	14,5	1477	40,6	121,8	24,8	379,4	33,1	56,0		I 81	14,2	2876	15,6	41,3	12,9	125,7	9,4	54,8
154	15,6	3360	12,2	29,3	11,9	107,4	30,9	7,2		528	12,6	3453	12,4	18,0	19,2	156,2	6,8	7,0
P 85	14,7	1188	43,7	110,6	39,1	386,7	91,0	54,0		P 102	14,4	1882	28,0	92,6	11,9	309,9	7,2	42,7
P 86	13,9	1300	42,3	101,8	41,1	459,9	49,6	29,7		515	13,0	1692	33,6	102,2	19,7	358,7	13,2	32,2
122	13,6	2257	23,5	64,1	18,2	250,1	20,9	6,6		516	12,1	1636	31,8	103,4	14,6	359,9	12,8	30,8
120	14,5	386,6	10,4	31,7	6,1	114,7	16,5	8,4		P 100	12,3	1471	32,6	127,5	1,9	452,6	9,4	24,0
P 82	14,7	1501	35,1	52,5	53,5	348,9	15,7	60,0		P 101	13,2	2654	18,0	52,1	12,2	200,1	6,2	22,6
179	13,3	1426	35,8	46,6	16,3	346,5	18,3	64,7		P 53	12,9	2382	21,1	52,9	19,2	236,7	3,0	27,4
105	15,4	2743	15,9	31,3	19,7	200,1	12,9	11,4		140	17,7	1871	26,0	34,5	42,3	323,3	10,0	13,4
104	14,6	2311	21,8	66,1	12,9	281,8	3,9	9,8		P 48	12,5	1294	36,9	129,5	11,2	488,0	16,2	48,4
172	13,0	3078	14,7	22,5	22,1	167,1	19,1	5,2		144	14,5	1604	33,6	96,6	23,1	429,4	3,2	9,3
165	12,0	4212	9,0	24,5	7,1	100,1	17,9	4,7		P 46	13,9	1187	44,6	159,9	11,4	547,8	12,4	47,5
P 77	13,8	1523	33,8	111,4	14,6	369,7	20,7	45,7		P 94	13,8	1293	44,6	134,3	27,0	514,8	11,4	27,0
P 75	12,1	1761	29,1	59,3	34,8	329,4	10,9	34,0		134	14,8	2920	21,0	52,5	19,2	244,0	9,6	5,4
P 73	14,1	1764	28,7	93,4	13,1	303,8	9,6	47,0		135	13,9	2341	34,3	123,4	8,5	402,6	26,2	1,3
P 71	12,8	1490	34,6	116,6	13,4	356,2	13,8	65,0		P 92	14,5	1486	34,6	120,2	11,2	344,0	90,2	24,4

RELEVES DU 24 JUIN 1982

Piézomètres	Cote	Température Degrés C	Résistivité Ω.cm à 18°C	T E T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	I ⁻ mg/l	Fe mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁼⁼ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼⁼ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Conductivité µs.cm-1
I62	185,85	15,8	2330	15,2	31,4	17,8	5,2	1,5	0,03	242,7	0	21,3	31,0	-	1	391
P 122	185,61	16,3	1700	18,1	52,5	12,2	5,0	1,9	0	244,0	0	10,6	32,7	-	0	535
RDA	186,31	15,0	1560	20,6	55,3	16,5	11,5	4,9	0	339,2	0	24,8	113,0	-	0	584
PC 147	184,68	14,6	1110	20,8	53,4	18,2	6,2	11,9	0	452,6	0	24,8	72,2	-	0	820
I24	186,22	14,3	2060	16,1	35,1	17,8	11,5	0,9	0	213,5	0	35,5	4,6	-	0	442
RDB	185,55	16,2	1340	19,6	55,2	14,2	8,9	5,9	0	353,8	0	31,9	96,6	-	0	680
I61	183,42	13,1	3830	12,7	20,8	18,2	11,5	1,2	0	146,4	0	28,4	8,9	-	0	238
RDC	182,74	15,8	920	20,6	52,2	18,5	11,6	13,7	0,1	592,9	0	49,6	61,6	-	0	988
P 37	182,17	12,2	2030	17,2	42,1	16,2	7,2	3,0	2,8	278,2	0	17,7	43,8	-	1	450
I27	181,39	14,6	2040	18,7	46,9	17,1	5,9	0,8	0	425,8	0	12,4	4,5	-	2	446
P 89	181,84	12,4	1630	12,4	42,2	4,5	8,2	0,9	0	290,4	0	21,3	128,3	0,1	0	559
RDD	182,22	13,9	860	21,4	54,5	19,0	11,6	11,2	0,15	642,9	0	49,6	92,2	-	0	1064
P 120	181,41	13,4	1390	20,1	52,7	16,9	4,9	0,3	0,15	326,9	0	17,7	11,5	-	0	655
P 130	183,47	14,5	1850	18,4	47,4	15,9	11,6	8,9	0,1	356,2	0	19,5	11,6	-	0	491
P 131	186,70	14,0	1890	14,3	40,4	10,2	11,6	10,7	0,35	220,8	0	65,6	2,3	-	2	482
P 39	181,65	12,9	1380	13,3	45,6	4,6	4,5	1,3	0,1	463,6	0	19,5	83,5	0,15	2,5	662
I29	190,01	14,6	1430	18,1	50,5	13,3	11,6	0,9	0,7	457,5	0	21,3	45,6	-	0	637
RDG	181,05	12,8	996	21,1	52,7	19,4	11,6	4,2	0,02	551,1	0	56,7	67,4	-	0	914
P 90	180,59	13,3	750	20,4	58,1	19,3	11,6	1,6	0	244,0	0	272,9	51,0	-	0	122
P 91	181,63	13,0	1460	18,8	48,6	16,1	11,6	0,3	0,06	441,6	0	31,9	19,1	-	0	623
P 92	181,47	13,4	1670	17,4	49,5	12,2	11,6	0,5	0,07	353,8	0	39,0	15,6	-	0	546
P 42	180,13	13,3	1730	18,7	45,1	18,1	3,0	0,3	0,25	352,6	0	14,2	27,8	-	0	528
I34	182,29	12,2	2500	16,3	42,6	13,8	4,8	0,6	0	273,2	0	12,4	0,7	-	0	364
I35	187,01	12,1	1530	16,3	51,3	8,5	9,2	0,3	0,3	408,7	0	28,4	7,4	-	0	595
I38	180,08	11,8	1690	19,4	51,2	16,0	5,2	1,8	0,12	440,4	0	7,1	7,2	-	0	537
RDK	180,92	14,2	1050	18,4	42,7	18,8	11,6	12,4	0	533,1	0	26,6	69,0	-	0	865
RDJ	180,03	13,0	1190	19,6	50,2	17,1	3,7	0,7	0,3	258,6	0	33,7	56,5	-	22,0	761
P 44	179,88	13,5	1210	19,2	49,6	16,5	3,1	0,8	0	387,9	0	60,3	20,7	-	25,0	749
RDL	179,81	14,9	1150	19,1	45,7	18,6	11,6	10,2	0,05	549,0	0	35,5	29,6	-	0	795
P 94	179,13	11,9	1290	20,0	49,3	18,8	4,7	0,6	0,03	512,4	0	15,9	27,4	-	0	709
P 45	179,24	11,5	1520	19,7	45,8	20,0	11,6	1,7	0,05	466,1	0	15,9	81,3	-	0	598
P 97	177,88	12,3	1280	21,6	58,0	17,4	3,2	7,5	0,4	469,7	0	21,3	4,6	-	0	714
I44	179,96	13,0	1550	18,4	46,6	16,4	6,1	0,5	0	574,6	0	8,9	0,4	-	0	588
RDP	180,09	17,8	1840	18,4	52,6	12,9	4,1	8,5	0	333,1	0	10,6	32,9	-	0	593
RDM	179,52	13,7	1360	20,0	53,1	16,4	6,0	2,3	0,01	459,9	0	14,2	32,9	-	0	7
P 96	179,30	14,0	1540	18,2	45,6	16,6	4,1	1,4	0,2	340,3	0	10,6	6,4	-	0	5
RDN	179,12	13,6	930	17,6	39,4	18,8	8,6	13,3	0	167,2	0	21,3	55,1	-	0	5

RELEVÉS DU 19 AU 25 JUILLET 1982

Piezómetros	Cote	Temperatures Degrés C	Resistivité Ω.cm à 18°C	T H F Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Fe mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁼⁼ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼⁼ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Conductivité µs.cm-1
P 68	199,05	14,5	3980	15,3	37,9	13,1	5,4	0,8	0	198,9	0	14,2	13,1	-	0	229
P 69	199,39	13,7	1420	20,0	48,6	19,2	8,8	1,5	0	272,1	0	21,3	79,1	-	0	642
P 70	199,88	13,3	1640	12,1	41,4	4,3	5,3	2,0	0	326,9	0	31,9	56,2	4,5	0	555
P 71	200,01	13,5	1410	11,5	39,0	4,2	7,3	4,9	2,8	391,6	0	17,7	72,2	4,5	0	646
P 73	198,79	15,8	1720	12,1	41,4	4,2	4,5	1,8	0	324,5	0	14,2	3,9	2,3	0	531
P 74	199,04	13,0	2360	9,6	32,0	3,9	1,7	0,4	0,02	298,9	0	7,1	0,1	0,6	0	386
P 75	199,25	12,5	1840	10,3	35,0	3,9	5,6	1,2	0,05	344,0	0	14,2	1,9	1,3	26,0	495
I64	196,58	19,4	4370	12,8	21,0	18,4	6,6	1,0	0	134,2	0	21,3	0,8	-	0	208
I65	196,01	14,5	5490	15,2	30,4	18,5	5,1	0,7	0,25	101,26	0	21,3	1,9	-	0	166
P 77	195,70	15,3	1610	12,1	41,4	4,3	5,9	2,1	0,3	378,2	0	21,3	31,4	0	0	165
I69	193,65	16,0	6700	9,2	15,4	13,1	6,1	0,6	0	82,9	0	14,2	2,6	-	0	136
I04	196,37	11,5	2550	17,7	48,7	13,4	3,5	0,3	0	311,1	0	10,6	7,6	-	0	357
I72	193,81	11,7	720	14,3	23,6	20,4	5,6	0,6	0,2	175,7	0	21,3	4,1	-	0	255
I71	-	14,7	2230	17,8	43,0	17,2	4,7	0,6	0,3	224,5	0	14,2	32,1	-	0	408
I75	192,91	17,4	3630	14,1	27,1	17,9	10,3	1,1	0	163,5	0	28,4	0,8	-	0	250
I05	192,35	14,5	4460	14,5	25,8	19,7	9,0	3,1	0	212,9	0	17,7	1,4	-	0	204
I79	191,93	15,9	1140	21,5	56,6	18,0	3,0	4,7	0,5	528,3	0	7,1	67,1	-	0	803
I13	190,63	12,0	5760	10,3	17,4	14,5	4,6	0,3	0	85,4	0	17,7	7,2	-	0	158
I78	190,65	12,9	1550	20,8	52,8	18,5	11,6	3,1	0,5	207,4	39,6	21,3	94,5	-	0	386
I80	190,56	12,9	3760	12,7	18,8	19,5	11,6	2,3	0	117,1	0	21,3	2,7	-	0	242
I82	190,65	12,5	3510	14,6	27,6	18,7	11,6	0,9	0	58,6	0	69,1	4,9	-	0	259
P 82	189,95	14,0	565	21,2	51,5	20,2	10,7	1,1	0	372,1	0	24,8	79,1	-	0	616
P 81	191,01	13,3	1390	21,7	58,0	17,6	11,7	1,5	0,21	345,3	0	28,4	149,0	-	0	651
I83	189,54	14,2	4760	8,4	6,3	16,6	5,3	5,6	0	95,2	0	31,9	2,6	-	0	191
P 83	-	13,2	1640	19,7	49,2	18,0	11,6	0,8	0,21	318,4	0	17,7	88,2	-	0	555
I20	185,88	13,3	4460	13,0	32,5	11,9	2,8	0,2	0,02	137,9	0	21,3	1,1	-	0	204
I22	186,69	14,9	2380	16,8	46,5	12,6	4,0	0,4	0	230,6	0	28,4	2,1	-	0	387
I23	185,82	13,0	1890	18,1	50,6	13,3	11,1	0,4	0	262,3	0	69,6	2,5	-	0	480
P 86	185,68	14,0	1130	20,5	54,9	16,4	11,6	0,5	0,31	376,9	0	56,7	24,0	-	0	804
P 85	185,17	15,8	990	21,0	55,2	17,6	11,6	6,5	0,28	346,5	0	99,3	96,2	-	0	920
P 32	187,05	17,0	1760	12,5	26,5	14,4	11,5	10,1	0	422,1	0	12,8	9,7	-	25,0	518
I57	186,26	14,0	5360	11,7	20,9	15,7	11,6	1,8	0	111,0	0	14,2	1,5	-	0	170
P 87	184,68	15,4	1540	20,2	51,4	18,0	3,9	0,7	0	235,5	0	39,0	107,0	-	0	688
I58	185,02	13,6	3780	15,1	34,3	15,9	5,0	0,4	0	133,0	0	31,9	6,9	-	2	241
I54	185,63	17,4	3630	13,4	31,6	13,5	6,8	2,1	0	133,0	0	35,5	4,6	-	0	251
B	-	27,0	3700	16,5	40,1	15,8	11,6	1,4	0	141,5	0	17,7	75,1	-	0	246
I56	186,01	16,6	4620	5,9	17,5	1,9	6,3	2,4	0	124,4	0	17,7	75,1	-	0	246

RELEVES DU 19 AU 25 JUILLET 1982

Piézomètres	Cote	Températures Degrés C	Sensitivité Ω.cm à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Fe mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁼⁼ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼⁼ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Conductivité µm.cm-1
P 95	178,54	12,5	1250	18,7	45,9	17,6	4,4	1,8	0	575,8	0	21,3	26,9	-	0	729
P 47	178,15	11,6	1180	20,6	51,0	19,2	3,4	0,9	0,08	384,3	0	7,1	80,2	-	0	774
B 4	178,8	19,3	1470	18,2	47,5	15,5	3,2	2,5	0	614,9	0	14,2	31,4	-	0	618
140	-	12,1	1720	18,2	50,5	13,6	7,1	2,8	0	469,7	0	14,2	13,1	-	0	529
P 48	177,33	12,3	1210	19,9	51,8	17,0	3,5	0,6	0,02	528,3	0	21,3	46,3	-	0	753
B 5	178,16	13,2	1720	18,4	53,5	12,6	2,6	8,4	0	425,8	0	10,6	41,6	-	0	531
BC	177,23	12,8	2000	18,2	47,9	15,3	2,2	0,4	0,32	523,3	0	24,8	5,6	-	5	456
P 53	177,07	12,4	2370	17,2	46,2	13,9	2,1	0,3	0	483,1	0	7,1	15,6	-	2	384
P 101	181,43	12,1	2950	17,8	62,1	4,9	2,2	1,5	0,15	207,4	0	10,6	16,9	-	0	308
P 100	178,25	17,7	1590	36,3	41,7	63,0	2,3	2,8	3,5	-	-	-	-	4,6	45,0	572
517	177,84	13,3	1640	-	-	-	10,0	0,7	0	361,1	0	49,6	3,2	-	32,0	558
516	177,56	11,3	1585	31,2	60,9	38,9	6,5	1,8	0,4	333,1	0	14,2	20,0	-	0	573
515	177,06	12,2	1640	35,0	119,8	12,4	2,6	0,6	0,05	341,6	0	17,7	19,1	0,1	1,0	538
P 102	178,54	11,5	1680	28,7	9,6	63,9	2,9	0,3	1,8	362,3	0	10,6	72,6	-	0	544
528	178,92	12,0	4100	12,5	18,1	19,5	5,1	3,2	0	176,9	0	7,1	2,2	0,15	2	222
514	178,99	11,9	1480	25,3	28,9	44,0	7,2	1,1	2,3	345,3	0	21,3	1,8	-	85,0	617
526	180,99	12,0	6030	4,3	9,6	4,6	8,3	2,2	0	122,0	0	14,2	1,0	0,05	0	151
P 105	181,44	11,3	1870	12,5	43,3	4,1	2,9	0,9	0,05	439,2	0	35,5	17,8	0,05	0	485
P 106	182,52	11,9	970	14,5	50,3	4,7	11,6	1,2	0,02	357,5	0	39,0	296,0	0,1	0	916
518	183,26	14,0	3150	10,6	37,0	3,4	3,5	1,4	0,22	257,4	0	17,7	0	0,22	0	289
P 107	190,37	14,0	2480	9,7	33,2	3,5	1,6	0,9	0	251,3	0	10,6	13,6	1,35	0	367
505	191,98	15,6	3860	13,1	30,9	13,1	4,1	2,0	0,35	108,5	0	17,7	-	-	0	236
P 109	192,79	13,9	1530	-	-	-	4,7	0,6	0	247,7	0	17,7	147,0	-	0	596
510	193,05	11,8	4440	12,6	26,1	14,8	2,5	0,2	0,25	119,6	0	21,3	3,8	-	0	205
503	192,34	14,0	2300	25,7	64,5	23,3	2,6	0,7	0,05	287,9	0	10,6	7,6	-	0	396
501	195,03	15,1	4320	-	-	-	5,0	0,4	0	165,9	0	17,7	2,7	-	0	211
P 113	195,93	14,5	1980	28,7	32,5	50,1	6,6	0,5	0,05	273,3	0	14,2	47,4	-	0	459
P 112	196,24	14,5	1780	29,5	33,3	51,5	3,8	1,3	0	287,9	0	17,7	64,9	1,7	38,0	512
521	196,81	15,1	4710	-	-	-	6,8	3,9	0	107,4	0	29,0	2,7	-	0	193
P 114	197,51	13,6	2570	30,3	116,6	2,7	4,7	0,7	0,9	486,8	0	3,5	0,7	-	8	681
54	197,81	13,6	2440	21,5	57,3	17,5	3,6	1,1	0	242,8	0	14,2	16,7	-	0	373
508	200,61	13,7	3570	15,7	47,3	9,5	0	0,4	0,9	207,4	0	10,6	6,0	-	0	255
I 72	-	14,7	2360	11,1	38,2	3,8	5,5	0,4	0	95,2	0	17,7	124,3	0,6	1,0	385
P 79	193,93	13,6	2640	-	-	-	-	-	-	148,8	0	14,2	83,5	-	-	345
P 80	192,40	24,0	1830	11,1	38,0	3,9	9,5	1,2	0	308,7	0	21,3	55,8	0	0	496
B'	-	26,5	3290	17,9	44,6	16,6	5,7	1,5	0	167,1	0	7,1	5,5	-	30	277
I 81	-	15,4	2290	18,0	52,0	11,7	5,8	0,3	0	118,1	0	17,7	91,1	-	0	343

RELEVÉS DU 19 AU 25 JUILLET 1982

Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités $\Omega \cdot \text{cm}$ à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l		Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités $\Omega \cdot \text{cm}$ à 18°C	T H T Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l
P 90	15,9	866	34,0	28,5	65,4	323,3	255,6	62,7		508	14,6	1485	14,6	48,1	6,3	170,8	14,2	7,7
P 120	16,8	1557	32,5	97,0	20,2	348,9	15,9	15,7		54	12,7	2274	22,5	74,5	9,5	226,9	14,2	39,8
127	16,9	1901	26,4	73,3	19,7	294,0	10,6	10,6		P 112	16,7	1949	28,0	79,3	19,9	248,9	17,7	63,4
P 122	17,6	1893	25,7	88,6	8,8	247,7	10,6	40,1		P 113	14,5	1939	27,6	78,9	19,2	262,3	17,7	64,0
I 72	14,9	2246	20,0	54,5	15,6	92,7	19,5	96,0		503	14,5	2214	23,3	65,7	16,8	252,5	7,1	27,3
B	24,3	2482	17,8	47,3	14,6	118,3	17,8	70,2		510	14,3	373,3	12,4	30,1	11,9	107,4	28,4	7,9
157	16,7	4850	8,5	9,6	14,8	95,2	14,2	3,6		518	16,3	232,8	19,9	65,7	8,5	212,3	17,7	23,2
P 87	16,3	1347	39,7	129,8	17,7	317,2	42,6	74,7		P 105	15,2	163,8	31,7	102,2	15,1	319,6	19,5	39,8
154	18,9	3386	11,5	24,8	12,9	102,5	35,5	6,1		514	15,1	184,0	26,4	30,1	45,9	300,1	23,1	31,3
P 85	17,4	1134	43,8	141,1	20,9	337,9	99,4	51,1		I 81	16,5	2278	21,5	54,1	19,5	103,7	21,3	101,5
P 86	15,7	1261	40,4	136,3	15,6	386,7	56,8	31,3		528	13,4	3732	11,3	9,6	21,6	97,6	8,8	4,2
123	16,8	1965	22,6	66,1	14,8	195,2	46,3	7,4		P 102	15,4	1713	32,0	78,1	30,4	134,2	12,4	42,3
122	15,6	2183	22,0	67,3	12,6	207,4	28,4	4,7		515	14,5	1728	31,0	67,3	34,5	313,5	21,3	32,9
120	15,9	4198	11,0	28,8	9,2	95,2	17,8	10,9		516	13,1	1783	27,8	73,7	22,8	295,2	14,2	45,5
P 81	13,6	1232	39,3	125,8	19,2	308,7	35,5	111,4		P 100	13,1	1499	38,7	134,7	12,4	384,3	23,1	31,6
P 82	16,0	1459	36,4	90,2	33,8	309,9	24,8	79,0		P 101	14,3	2663	18,3	58,1	9,2	185,5	10,6	24,6
179	14,7	1432	34,0	101,8	20,9	280,6	28,4	91,6		140	19,7	2003	24,7	27,3	43,5	268,4	15,9	13,3
104	16,9	2174	24,1	74,9	13,2	245,2	7,1	33,7		144	16,6	1675	30,5	78,1	26,7	352,6	10,6	15,2
172	14,4	2935	15,3	25,6	21,6	148,8	24,8	16,8		P 45	15,5	1556	36,0	41,7	62,2	341,6	17,8	65,6
165	14,2	5012	7,5	17,2	7,8	70,8	21,3	5,3		P 97	13,0	1336	52,4	147,8	37,7	490,5	24,8	3,9
P 77	15,5	1546	33,5	101,0	20,2	324,5	21,3	46,0		135	16,2	1486	32,6	120,2	6,3	353,8	33,7	44,1
P 75	12,4	1716	28,6	71,3	26,2	280,6	14,2	43,4		134	15,5	226,3	20,5	60,1	13,4	220,8	15,9	10,1
P 73	15,0	1638	29,6	97,0	13,1	268,4	14,2	54,1		P 92	17,1	1713	28,0	60,1	31,6	308,7	42,6	30,2
P 71	12,5	1353	33,1	96,3	22,1	285,5	17,8	278,2		P 91	16,6	1491	33,7	86,2	29,6	328,4	28,4	29,4

RELEVES DU 18 AOUT 1982

Piezomètres	Températures Degrés C	Résistivités $\rho_{cm @ 18^{\circ}C}$	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
P 92	17,4	1844	33,0	92,6	24,1	322,0	23,1	24,9
P 91	16,5	1573	28,6	75,4	23,8	293,0	30,9	-
P 42	14,2	1653	29,0	81,4	21,1	296,5	19,5	38,1
P 122	15,6	1862	26,0	94,2	16,1	265,9	13,5	45,1
I 72	12,9	2057	21,0	59,7	14,8	113,5	35,5	73,9
B	20,5	2547	19,0	55,4	12,6	131,7	18,1	75,2
I 57	17,0	4611	13,5	20,0	20,7	87,8	9,9	-
P 87	16,0	1431	38,3	127,0	16,0	325,7	39,1	88,9
I 54	17,0	3351	12,7	31,7	11,7	109,8	33,0	2,3
P 85	17,0	1211	41,2	138,7	16,0	356,2	101,2	85,4
I 22	15,3	238,3	19,7	62,1	10,2	223,3	24,1	5,3
I 20	16,4	4526	9,5	30,5	4,6	103,7	15,9	4,2
P 81	13,9	1377	41,0	133,5	18,7	351,4	33,7	143,0
P 82	15,8	1625	34,2	75,0	37,7	340,4	21,3	89,5
I 79	14,2	1643	31,4	95,0	18,7	278,2	29,1	111,8
I 04	15,2	2162	23,4	91,4	1,4	292,8	8,2	30,6
I 72	14,4	3127	15,8	23,2	24,3	169,6	19,2	5,6
I 65	14,6	5818	6,8	17,6	5,8	69,5	19,5	2,1
P 77	15,0	1704	31,8	99,4	17,0	356,2	20,6	44,6
P 75	11,9	1909	28,8	71,0	26,9	319,6	11,7	95,4
P 73	14,6	1798	29,0	90,6	15,6	283,0	11,7	55,8

RELEVES DU 23 SEPTEMBRE 1982

Piezomètres	Températures Degrés C	Résistivité $\rho_{cm @ 18^{\circ}C}$	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
I 34	15,9	2399	20,0	55,3	15,1	241,6	12,1	5,6
508	14,2	3606	13,8	35,3	12,2	157,4	9,9	8,8
54	12,3	2207	22,3	63,3	15,8	241,6	12,4	45,9
P 113	14,9	1967	25,6	40,9	37,4	261,1	15,9	60,1
503	14,6	2388	21,6	49,7	22,4	244,0	8,9	16,3
510	14,6	3863	12,3	24,4	15,1	114,7	24,1	10,1
518	15,3	2392	18,8	61,3	8,5	229,4	15,6	5,3
P 105	14,5	1682	31,2	62,1	38,2	341,6	16,0	36,8
514	13,8	1916	24,0	67,3	17,5	300,1	21,3	14,9
I 81	13,2	2109	20,6	55,3	16,5	128,1	31,9	69,3
528	11,9	3758	11,5	24,1	13,4	151,3	10,7	1,0
P 102	14,9	1983	28,4	88,2	15,6	319,6	10,3	41,3
515	13,1	1827	28,4	73,9	20,9	335,5	17,8	15,5
516	12,0	1802	27,6	78,2	19,7	334,3	17,8	21,4
P 100	11,9	1496	39,0	143,1	8,0	412,4	24,1	28,7
P 101	12,2	2653	17,8	57,7	8,3	202,5	11,4	29,8
P 53	12,6	2032	24,8	82,2	10,5	282,3	6,1	34,1
I 40	17,7	1758	29,0	99,0	10,5	323,3	15,6	50,5
P 48	12,6	1366	39,9	119,4	24,6	417,2	23,1	71,5
P 94	13,3	1436	35,7	102,2	24,8	390,4	18,1	37,3
I 44	15,6	1966	24,0	53,3	26,0	295,2	8,5	0
P 97	12,0	1353	34,3	105,4	19,5	433,0	24,5	4,7
I 35	15,6	1625	32,1	111,4	10,5	366,0	27,7	9,1

Piezomètres	Cote	Température Degrés C	Élévation Q.cm à 19°C	T.E.T. Degrés P	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Fe mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁼⁼ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼⁼ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	Conductivité µs.cm-1
P 95	178,54	12,5	1250	18,7	45,9	17,6	4,4	1,8	0	575,8	0	21,3	26,9	-	0	729
P 47	178,15	11,6	1180	20,6	51,0	19,2	3,4	0,9	0,08	384,3	0	7,1	80,2	-	0	774
B 4	178,8	19,3	1470	18,2	47,5	15,5	3,2	2,5	0	614,9	0	14,2	31,4	-	0	618
I40	-	12,1	1720	18,2	50,5	13,6	7,1	2,8	0	469,7	0	14,2	13,1	-	0	529
P 48	177,33	12,3	1210	19,9	51,8	17,0	3,5	0,6	0,02	528,3	0	21,3	46,3	-	0	753
B 5	178,16	13,2	1720	18,4	53,5	12,6	2,6	8,4	0	425,8	0	10,6	41,6	-	0	531
BC	177,23	12,8	2000	18,2	47,9	15,3	2,2	0,4	0,32	523,3	0	24,8	5,6	-	5	456
P 53	177,07	12,4	2370	17,2	46,2	13,9	2,1	0,3	0	483,1	0	7,1	15,6	-	2	384
P 101	181,43	12,1	2950	17,8	62,1	4,9	2,2	1,5	0,15	207,4	0	10,6	16,9	-	0	308
P 100	178,25	17,7	1590	36,3	41,7	63,0	2,3	2,8	3,5	-	-	-	-	4,6	45,0	572
517	177,84	13,3	1640	-	-	-	10,0	0,7	0	361,1	0	49,6	3,2	-	32,0	558
516	177,56	11,3	1585	31,2	60,9	38,9	6,5	1,8	0,4	333,1	0	14,2	20,0	-	0	573
515	177,06	12,2	1640	35,0	119,8	12,4	2,6	0,6	0,05	341,6	0	17,7	19,1	0,1	1,0	558
P 102	178,54	11,5	1680	28,7	9,6	63,9	2,9	0,3	1,8	362,3	0	10,6	72,6	-	0	544
528	178,92	12,0	4100	12,5	18,1	19,5	5,1	3,2	0	176,9	0	7,1	2,2	0,15	2	222
514	178,99	11,9	1480	25,3	28,9	44,0	7,2	1,1	2,3	345,3	0	21,3	1,8	-	85,0	617
526	180,99	12,0	6030	4,3	9,6	4,6	8,3	2,2	0	122,0	0	14,2	1,0	0,05	0	151
P 105	181,44	11,3	1870	12,5	43,3	4,1	2,9	0,9	0,05	439,2	0	35,5	17,8	0,05	0	485
P 106	182,52	11,9	970	14,5	50,3	4,7	11,6	1,2	0,02	357,5	0	39,0	296,0	0,1	0	916
518	183,26	14,0	3150	10,6	37,0	3,4	3,5	1,4	0,22	257,4	0	17,7	0	0,22	0	289
P 107	190,37	14,0	2480	9,7	33,2	3,5	1,6	0,9	0	251,3	0	10,6	13,6	1,35	0	367
505	191,98	15,6	3860	13,1	30,9	13,1	4,1	2,0	0,35	108,5	0	17,7	-	-	0	236
P 109	192,79	13,9	1530	-	-	-	4,7	0,6	0	247,7	0	17,7	147,0	-	0	596
510	193,05	11,8	4440	12,6	26,1	14,8	2,5	0,2	0,25	119,6	0	21,3	3,8	-	0	205
503	192,34	14,0	2300	25,7	64,5	23,3	2,6	0,7	0,05	287,9	0	10,6	7,6	-	0	396
501	195,03	15,1	4320	-	-	-	5,0	0,4	0	165,9	0	17,7	2,7	-	0	211
P 113	195,93	14,5	1980	28,7	32,5	50,1	6,6	0,5	0,05	273,3	0	14,2	47,4	-	0	459
P 112	196,24	14,5	1780	29,5	33,3	51,5	3,8	1,3	0	287,9	0	17,7	64,9	1,7	38,0	512
521	196,81	15,1	4710	-	-	-	6,8	3,9	0	107,4	0	29,0	2,7	-	0	193
P 114	197,51	13,6	2570	30,3	116,6	2,7	4,7	0,7	0,9	486,8	0	3,5	0,7	-	8	681
54	197,81	13,6	2440	21,5	57,3	17,5	3,6	1,1	0	242,8	0	14,2	16,7	-	0	373
508	200,61	13,7	3570	15,7	47,3	9,5	0	0,4	0,9	207,4	0	10,6	6,0	-	0	255
I 72	-	14,7	2360	11,1	38,2	3,8	5,5	0,4	0	95,2	0	17,7	124,3	0,6	1,0	385
P 79	193,93	13,6	2640	-	-	-	-	-	-	148,8	0	14,2	83,5	-	-	345
P 80	192,40	24,0	1830	11,1	38,0	3,9	9,5	1,2	0	308,7	0	21,3	55,8	0	0	496
B'	-	26,5	3290	17,9	44,6	16,6	5,7	1,5	0	167,1	0	7,1	5,5	-	30	277
I 81	-	15,4	2290	18,0	52,0	11,7	5,8	0,3	0	118,1	0	17,7	91,1	-	0	398

RELEVES DU 19 AU 25 JUILLET 1982

Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l		Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
P 90	15,9	866	34,0	28,5	65,4	323,3	255,6	62,7		508	14,6	1485	14,6	48,1	6,3	170,8	14,2	7,7
P 120	16,8	1557	32,5	97,0	20,2	348,9	15,9	15,7		54	12,7	2274	22,5	74,5	9,5	226,9	14,2	39,8
127	16,9	1901	26,4	73,3	19,7	294,0	10,6	10,6		P 112	16,7	1949	28,0	79,3	19,9	248,9	17,7	63,4
P 122	17,6	1893	25,7	88,6	8,8	247,7	10,6	40,1		P 113	14,5	1939	27,6	78,9	19,2	262,3	17,7	64,0
I 72	14,9	2246	20,0	54,5	15,6	92,7	19,5	96,0		503	14,5	2214	23,3	65,7	16,8	252,5	7,1	27,3
B	24,3	2482	17,8	47,3	14,6	118,3	17,8	70,2		510	14,3	373,3	12,4	30,1	11,9	107,4	28,4	7,9
157	16,7	4850	8,5	9,6	14,8	95,2	14,2	3,6		518	16,3	232,8	19,9	65,7	8,5	212,3	17,7	23,2
P 87	16,3	1347	39,7	129,8	17,7	317,2	42,6	74,7		P 105	15,2	163,8	31,7	102,2	15,1	319,6	19,5	39,8
154	18,9	3386	11,5	24,8	12,9	102,5	35,5	6,1		514	15,1	184,0	26,4	30,1	45,9	300,1	23,1	31,3
P 85	17,4	1134	43,8	141,1	20,9	337,9	99,4	51,1		I 81	16,5	2278	21,5	54,1	19,5	103,7	21,3	101,5
P 86	15,7	1261	40,4	136,3	15,6	386,7	56,8	31,3		528	13,4	3732	11,3	9,6	21,6	97,6	8,8	4,2
123	16,8	1965	22,6	66,1	14,8	195,2	46,3	7,4		P 102	15,4	1713	32,0	78,1	30,4	134,2	12,4	42,3
122	15,6	2183	22,0	67,3	12,6	207,4	28,4	4,7		515	14,5	1728	31,0	67,3	34,5	313,5	21,3	32,9
120	15,9	4198	11,0	28,8	9,2	95,2	17,8	10,9		516	13,1	1783	27,8	73,7	22,8	295,2	14,2	45,5
P 81	13,6	1232	39,3	125,8	19,2	308,7	35,5	111,4		P 100	13,1	1499	38,7	134,7	12,4	384,3	23,1	31,6
P 82	16,0	1459	36,4	90,2	33,8	309,9	24,8	79,0		P 101	14,3	2663	18,3	58,1	9,2	185,5	10,6	24,6
179	14,7	1432	34,0	101,8	20,9	280,6	28,4	91,6		140	19,7	2003	24,7	27,3	43,5	268,4	15,9	13,3
104	16,9	2174	24,1	74,9	13,2	245,2	7,1	33,7		144	16,6	1675	30,5	78,1	26,7	352,6	10,6	15,2
172	14,4	2935	15,3	25,6	21,6	148,8	24,8	16,8		P 45	15,5	1556	36,0	41,7	62,2	341,6	17,8	65,6
165	14,2	5012	7,5	17,2	7,8	70,8	21,3	5,3		P 97	13,0	1336	52,4	147,8	37,7	490,5	24,8	3,9
P 77	15,5	1546	33,5	101,0	20,2	324,5	21,3	46,0		135	16,2	1486	32,6	120,2	6,3	353,8	33,7	44,1
P 75	12,4	1716	28,6	71,3	26,2	280,6	14,2	43,4		134	15,5	226,3	20,5	60,1	13,4	220,8	15,9	10,1
P 73	15,0	1638	29,6	97,0	13,1	268,4	14,2	54,1		P 92	17,1	1713	28,0	60,1	31,6	308,7	42,6	30,2
P 71	12,5	1353	33,1	96,3	22,1	285,5	17,8	278,2		P 91	16,6	1491	33,7	86,2	29,6	328,4	28,4	29,4

RELEVÉS DU 18 AOUT 1982

Piézomètre	Température Degrés C	Résistivité Ω.cm à 18°	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
P 92	17,0	1600	27,4	99,8	6,1	323,3	21,3	24
P 91	16,1	1310	34,8	116,6	13,8	376,9	31,9	28
P 90	-	2060	38,8	120,2	21,4	412,4	42,6	51
I 56	13,7	3930	10,1	24,4	9,7	122,0	17,8	6
I 72	9,5	1650	25,6	102,6	14,1	115,9	35,5	63
B	15,6	2610	19,4	46,5	19,0	131,8	17,8	66,5
I 57	16,3	1598	10,4	18,1	14,3	115,9	14,2	3,5
P 87	13,5	1160	39,7	121,4	22,9	346,5	42,6	85
I 54	15,5	2980	11,6	32,5	8,5	109,8	35,5	5
P 85	15,9	907	42,9	145,1	16,3	358,7	99,4	80,5
P 86	14,6	1054	39,8	141,5	10,9	402,6	60,4	33,5
I 22	14,0	2210	19,5	63,3	9	214,7	24,9	16,0
P 81	11,7	1140	39,5	119,4	23,6	346,5	28,4	151,5
P 82	14,5	1350	34,3	36,1	61,5	325,7	17,8	82
I 79	13,2	1470	30,8	87,4	21,9	270,8	28,4	112,5
I 04	13,9	1760	27,2	82,6	16,1	319,6	7,1	19,5
I 72	13,5	2920	14,5	22,8	21,4	161,3	17,8	7
I 65	14,0	5560	7,0	17,6	6,3	64,7	17,8	3
P 77	13,8	1412	32,3	103,4	15,8	356,2	21,3	43
P 75	10,9	1651	30,4	65,3	34,3	322,1	14,2	91
P 73	11,0	153,1	30,3	105,0	10,0	307,4	16,0	55,5
P 71	11,4	1246	35,4	125,8	9,7	351,4	24,9	76

RELEVES DU 07 OCTOBRE 1982

Piézomètre	Température Degrés C	Résistivité Ω.cm à 18°	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
508	14,4	3620	12,3	49,3	24,3	141,5	10,7	14,0
54	12,8	2320	20,6	50,1	19,7	224,5	12,4	6,6
P 112	16,1	1870	24,7	48,1	30,9	239,1	14,2	64,5
P 113	15,1	1750	28,2	84,2	17,5	257,4	14,2	75
503	14,4	2320	21,4	58,1	16,8	253,8	12,4	22,5
510	14,5	3410	11,8	21,6	15,6	114,7	24,9	42
518	15,4	2140	19,5	53,7	14,8	211,1	17,8	11,5
P 105	14,2	1240	33,3	109,4	14,6	330,6	15,9	66
514	13,7	1790	23,2	58,1	21,2	298,9	21,3	31,5
I 81	10,0	1660	24,4	71,3	16,1	151,3	24,9	110
528	11,7	3070	10,8	14,8	17,3	151,3	10,7	17,5
P 102	13,5	1500	31,8	111	10,0	335,5	7,1	68
515	12,8	1620	28,1	80,2	19,7	291,6	17,8	10
516	13,0	1660	26,4	79,4	16,1	302,6	17,8	3
P 101	11,9	2130	18,0	52,1	12,2	209,8	10,7	31,5
I 40	15,3	1500	28,2	98,1	9	295,2	14,2	47,0
P 48	12,0	1100	43,2	144,3	17,5	381,9	21,3	61
P 94	12,4	1110	41,6	133,2	20,4	480,7	14,2	49
P 45	10,8	1630	27,7	45,3	39,9	329,4	21,3	-
P 97	11,7	1080	44,7	150,3	17,5	528,3	24,9	0
I 44	15,1	1920	24,6	58,1	24,6	341,6	10,7	4
I 35	15,0	1390	32,0	119,4	5,3	378,2	24,9	0
I 34	15,2	2320	19,6	57,7	12,6	236,7	14,2	1

Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités $\Omega \cdot \text{cm}$ à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
P 92	17,4	1844	33,0	92,6	24,1	322,0	23,1	24,9
P 91	16,5	1573	28,6	75,4	23,8	293,0	30,9	-
P 42	14,2	1653	29,0	81,4	21,1	296,5	19,5	38,1
P 122	15,6	1862	26,0	94,2	16,1	265,9	13,5	45,1
I 72	12,9	2057	21,0	59,7	14,8	113,5	35,5	73,9
B	20,5	2547	19,0	55,4	12,6	131,7	18,1	75,2
I 57	17,0	4611	13,5	20,0	20,7	87,8	9,9	-
P 87	16,0	1431	38,3	127,0	16,0	325,7	39,1	88,9
I 54	17,0	3351	12,7	31,7	11,7	109,8	33,0	2,3
P 85	17,0	1211	41,2	138,7	16,0	356,2	101,2	85,4
I 22	15,3	238,3	19,7	62,1	10,2	223,3	24,1	5,3
I 20	16,4	4526	9,5	30,5	4,6	103,7	15,9	4,2
P 81	13,9	1377	41,0	133,5	18,7	351,4	33,7	143,0
P 82	15,8	1625	34,2	75,0	37,7	340,4	21,3	89,5
I 79	14,2	1643	31,4	95,0	18,7	278,2	29,1	111,8
I 04	15,2	2162	23,4	91,4	1,4	292,8	8,2	30,6
I 72	14,4	3127	15,8	23,2	24,3	169,6	19,2	5,6
I 65	14,6	5818	6,8	17,6	5,8	69,5	19,5	2,1
P 77	15,0	1704	31,8	99,4	17,0	356,2	20,6	44,6
P 75	11,9	1909	28,8	71,0	26,9	319,6	11,7	95,4
P 73	14,6	1798	29,0	90,6	15,6	283,0	11,7	55,8
P 71	12,6	1513	22,1	104,2	14,8	330,6	19,2	69,8

RELEVES DU 23 SEPTEMBRE 1982

Piézomètres	Température Degrés C	Résistivité $\Omega \cdot \text{cm}$ à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
I 34	15,9	2399	20,0	55,3	15,1	241,6	12,1	5,6
S 08	14,2	3606	13,8	35,3	12,2	157,4	9,9	8,8
S 4	12,3	2207	22,3	63,3	15,8	241,6	12,4	45,9
P 113	14,9	1967	25,6	40,9	37,4	261,1	15,9	60,1
S 03	14,6	2388	21,6	49,7	22,4	244,0	8,9	16,3
S 10	14,6	3863	12,3	24,4	15,1	114,7	24,1	10,1
S 18	15,3	2392	18,8	61,3	8,5	229,4	15,6	5,2
P 105	14,5	1682	31,2	62,1	38,2	341,6	16,0	36,8
S 14	13,8	1916	24,0	67,3	17,5	300,1	21,3	14,9
I 81	13,2	2109	20,6	55,3	16,5	128,1	31,9	69,3
S 28	11,9	3758	11,5	24,1	13,4	151,3	10,7	1,0
P 102	14,9	1983	28,4	88,2	15,6	319,6	10,3	41,3
S 15	13,1	1827	28,4	73,9	20,9	335,5	17,8	15,5
S 16	12,0	1802	27,6	78,2	19,7	334,3	17,8	21,4
P 100	11,9	1496	39,0	143,1	8,0	412,4	24,1	28,7
P 101	12,2	2653	17,8	57,7	8,3	202,5	11,4	29,8
P 53	12,6	2032	24,8	82,2	10,5	282,3	6,1	34,1
I 40	17,7	1758	29,0	99,0	10,5	323,3	15,6	50,5
P 48	12,6	1366	39,9	119,4	24,6	417,2	23,1	71,5
P 94	13,3	1436	35,7	102,2	24,8	390,4	18,1	37,3
I 44	15,6	1966	24,0	53,3	26,0	295,2	8,5	0
P 97	12,0	1353	34,3	105,4	19,5	433,0	24,5	4,7
I 35	15,6	1625	32,1	111,4	10,5	366,0	27,7	9,1

Piezomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l		Piezomètres	Températures Degrés C	Résistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
I 28	14,3	1894	34,3	121,0	9,7	407,5	21,3	6,7		508	13,9	4495	14,8	36,9	13,6	146,4	11,7	1,7
P 112	14,4	2580	24,2	58,1	23,6	252,5	19,9	41,2		54	12,7	2864	21,4	61,7	38,9	240,3	15,6	26,2
P 113	14,7	2545	27,5	64,9	27,5	274,5	18,1	56,5		503	14,0	2534	20,8	52,5	18,7	248,9	15,3	10,9
P 90	14,0	708	37,6	118,2	28,4	405,0	218,4	62,4		510	14,3	3708	11,9	24,4	14,1	122,0	24,8	0,7
P 120	15,6	1501	32,2	101,4	16,8	374,5	19,5	14,4		518	15,4	2122	19,4	58,5	11,7	226,9	19,5	0,2
I 27	16,0	1858	25,7	70,5	19,7	289,1	13,8	0		P 105	14,3	1486	31,9	104,6	14,1	353,8	20,6	34,2
P 122	14,9	1687	28,0	99,0	8,0	274,5	13,5	46,2		514	13,4	1771	23,5	74,5	11,9	167,1	20,6	0
I 72	11,9	2968	19,4	61,3	9,9	131,8	21,3	83,9		I 81	10,8	1954	21,7	72,1	9,0	167,1	19,5	88,4
I 56	14,7	2062	13,5	28,9	15,3	142,7	17,1	39,6		528	12,3	3096	11,2	14,8	18,2	158,6	9,6	0
I 57	17,5	2968	10,8	23,2	12,2	134,2	17,1	1,4		P 102	14,5	1687	30,4	107,4	8,8	341,6	8,9	34,2
B	14,7	2151	19,3	58,1	16,7	141,6	19,2	74,2		515	13,3	1687	27,8	54,5	34,5	335,5	18,8	8,4
P 87	15,0	1348	35,0	115,4	15,1	284,3	46,2	77,6		516	13,0	1727	24,8	39,3	36,5	292,8	17,1	9,7
I 54	17,3	2475	13,3	38,5	9,0	117,1	33,7	0,4		P 100	12,9	1327	37,6	137,8	7,8	392,8	26,6	29,4
P 85	17,6	978	42,6	144,7	15,8	363,6	95,8	79,1		P 101	12,9	2282	18,6	55,3	11,7	207,4	12,1	20,4
P 86	16,3	1117	41,0	143,5	12,6	428,2	58,2	30,2		P 53	14,0	1771	24,3	43,3	32,8	283,0	7,1	31,9
I 22	14,8	2302	19,9	55,7	14,6	213,5	25,6	0,9		I 40	14,5	1516	29,2	75,4	25,3	322,1	15,6	47,2
I 20	15,8	1434	9,0	26,1	6,1	103,7	20,2	0,2		P 48	13,3	1198	40,4	133,1	17,5	441,6	23,4	53,6
P 81	13,8	1102	40,0	124,2	21,8	357,5	35,5	98,6		P 97	12,6	1143	43,1	150,3	13,6	512,4	24,1	0,9
P 82	14,4	1294	37,0	78,2	42,5	351,4	19,5	85,1		I 44	14,7	1516	28,7	83,8	18,9	363,6	9,9	0
I 79	14,4	2302	31,3	89,8	21,6	272,1	28,4	97,6		P 46	13,4	1092	43,7	145,5	17,9	501,4	18,5	54,2
I 04	14,6	1638	30,3	102,2	11,7	351,4	8,2	53,4		I 05	16,4	2302	18,2	37,7	21,4	218,4	12,8	15,4
I 72	14,1	2841	16,3	24,8	24,6	175,7	20,2	0,2		P 94	13,2	1198	40,1	129,8	18,7	461,2	17,1	39,4
I 65	15,7	4092	6,6	14,8	7,1	63,4	21,3	2,2		I 35	15,2	1548	30,6	114,2	5,1	347,7	26,9	13,4
P 77	14,5	1392	32,1	100,6	17,0	351,4	21,3	43,6		I 34	14,7	2189	19,5	64,1	8,5	237,9	13,2	0
P 75	12,2	1392	33,8	115,8	11,9	364,8	17,8	63,6		P 92	16,2	1652	27,4	95,4	8,8	317,2	23,1	26,9
P 73	14,7	1447	31,6	101,4	15,3	308,7	12,4	52,4		P 91	16,3	1402	31,3	48,1	46,9	341,6	33,0	30,6
P 71	13,1	1174	41,9	145,1	13,9	390,4	19,5	94,6		P 42	13,5	1279	33,4	70,9	38,2	336,0	24,9	38,6

RELEVES DU 21 OCTOBRE 1982

RELEVES DU 19 NOVEMBRE 1982

P 73	12,3	1582	30,2	104,2	10,2	323,3	14,9	82,0	128	13,0	1232	39,2	148,3	5,4	491,7	19,5	16,6
P 77	13,1	1347	34,2	112,2	15,1	379,4	23,4	60,0	127	14,0	1652	28,3	86,6	16,3	348,9	12,8	5,5
I72	12,0	2393	18,0	43,3	17,5	209,8	16,7	2,5	P 120	13,6	1347	37,8	128,3	14,1	456,3	14,9	18,3
I04	12,3	1485	33,2	122,6	6,3	370,9	9,2	90,5	P 91	14,3	1323	35,7	117,8	15,3	390,4	36,2	38,6
I05	13,8	2141	19,7	46,1	19,9	241,6	14,9	20,2	P 92	13,9	1583	29,0	100,2	9,7	336,7	19,2	29,8
I79	12,1	1323	35,3	105	22,1	313,5	29,1	146,5	I34	13,5	1940	25,8	74,2	17,7	296,5	14,9	19,6
P 81	11,8	909	-	184,4	-	561,2	22,7	181	I35	14,0	1454	33,4	125,5	5,1	402,6	29,1	23,2
P 82	11,7	1253	36	90,2	32,8	361,1	19,9	117,3	I44	13,1	1645	30,2	100,2	12,6	384,3	10,3	0,9
I20	12,5	3639	9,2	28,1	5,4	104,5	18,5	1,9	I40	13	1436	32,2	118,2	6,6	369,7	15,9	78
I22	12,0	2256	20,8	69,3	8,5	240,3	19,5	6,5	515	13,1	1611	28,5	92,2	13,4	344,1	19,2	5,8
P 86	13,5	1155	38,8	141,1	8,8	435,5	53,3	35,3	P 102	13,4	1490	32,8	117	8,8	394,1	11,4	33,4
P 85	14,8	945	41,8	141,5	15,8	381,9	91,2	115	P 105	13,7	1410	34,6	117,8	12,6	396,5	14,2	34
P 87	11,0	1231	39	54,9	61,5	319,6	38,3	137,2	510	12,5	3159	11,8	25,3	13,4	113,5	24,9	7,1
B	8,9	1964	19,6	61,3	10,5	152,5	18,5	109,5	503	12,2	2323	20,7	55,3	16,8	250,1	9,6	13,7
I57	15,9	3389	11,0	28,1	9,7	137,9	17,8	8,1	P 113	12,8	1716	36,4	138,3	4,6	274,5	15,6	62,2
I56	11,5	3929	9,4	20,0	13,1	126,9	15,9	3,2	54	11,4	2078	21,0	70,1	8,5	244,0	12,8	28,4
I 72	7,6	2020	22,3	74	9,2	146,4	21,3	139,6	508	12,8	3434	12,2	38,5	6,3	143,9	10,7	3,2
Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités P. cm à 18°C	T H F Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	Piézomètres	Températures Degrés C	Résistivités P. cm à 18°C	T H F Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l

Piezómetros	Temperatures Degrés C	Resistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l		Piezómetros	Temperatures Degrés C	Resistivités Ω.cm à 18°C	T H T Degrés F	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l
										508	13,3	4536	12,8	35,3	9,7	140,3	11,7	1,5
P 120	14,7	1604	35,5	121,4	12,6	468,5	17,8	11,0		P 113	13,7	2243	26,4	65,7	21,3	272,1	14,9	52
I 27	15,0	2193	24,4	71,0	16,3	312,3	12,8	2,5		503	13,5	3142	22,0	48,1	24,3	247,7	8,5	8
I 28	13,1	1524	39,2	143,1	8,5	485,6	22,7	7		510	13,6	4515	12,0	26,9	12,9	113,5	23,4	3
I 72	8,0	2146	23,7	77	10,9	135,4	31,9	155		518	13,5	2243	27,0	88,2	12,2	283	15,6	0
I 56	12,7	4773	11,4	22,4	4,4	130,5	14,2	2,5		P 105	13,2	1705	37,3	128,3	12,9	433,1	17,8	26
I 57	16,7	4092	12,5	29	13	146,4	15,6	2		514	12,7	2183	24,6	78,9	11,9	320,9	21,3	1
B	11,1	2777	19,2	54,5	13,6	145,2	20,6	90,5		I 81	8,8	2304	24,2	73,7	14,1	162,3	24,9	116
154	14,3	3255	13,0	38,1	8,5	117,1	35,5	5		528	12,1	3685	12	16,8	18,9	159,8	12,1	0
P 85	16,0	1122	44,2	143,5	20,4	461,2	78,8	100		P 102	13,5	1682	38,2	132,3	12,6	439,2	14,2	23,5
P 86	14,6	1309	38,4	135	11,7	492,9	52,5	20,5		515	12,9	2058	29,9	92,2	16,8	334,3	17,8	3
122	13,6	2923	19,6	69,7	5,3	224,5	25,6	0		516	12,6	1954	26,9	77,4	18,5	336,7	17,8	5
I 20	13,5	4042	11,3	31,3	8,5	101,3	19,2	2,5		P 100	13,2	1483	35,9	134	6	491,7	25,6	27
P 81	12,3	1143	49,7	177	13,7	497,8	30,9	203		P 101	12,0	2681	18,3	59,3	8,5	211,1	12,8	26
P 82	13,0	1673	33,3	61,3	44	348,9	18,8	95		P 48	12,5	1318	41	125,1	23,8	506,3	22	66
179	11,6	1806	33,5	113	13	351,4	8,2	92		140	12,8	1902	28,6	28,9	52	500,2	22	45
I 05	13,8	2848	18,4	44,1	18	226,9	14,2	5		144	14,0	1931	29,4	53,7	38,9	378,2	8,5	1
I 04	12,1	2046	31,2	110,2	9	330,6	8,5	68		P 46	13,0	1369	44,1	145,1	19,2	514,8	17,8	43
172	11,9	3481	17,4	37,3	19,7	200,1	25,2	2		P 97	13,5	1470	42,2	137,0	19,7	512,4	25,6	3
165	13,2	4706	9,1	27,3	5,6	80,5	20,2	2		I 35	14,3	1762	34,0	126,6	5,8	403,8	29,8	2
P 77	13,0	1774	33	94	23,3	359	21,3	39		I 34	13,8	2571	21,4	65,7	12,2	264,7	16,3	1
P 75	11,7	1719	32,4	70	36,2	389,2	21,3	46		P 92	15,1	1913	28,6	97,4	10,5	333,1	21,3	22
P 73	12,2	1880	29	97	12,6	346,5	13,5	43		P 91	15,3	1430	33,0	111,0	13,1	427,0	34,1	29
P 71	12,4	1405	35	120	12,4	394,1	23,1	83		P 90	13,8	906	38,0	106,0	28,2	420,9	222,9	59

RELEVES DU 04 NOVEMBRE 1982