



**HAL**  
open science

# Simulation des écoulements souterrains dans un aquifère alluvial : contribution à l'étude de la nappe de l'Isère dans la Combe de Savoie (France) - Alpes françaises

Thierry Monier

## ► To cite this version:

Thierry Monier. Simulation des écoulements souterrains dans un aquifère alluvial : contribution à l'étude de la nappe de l'Isère dans la Combe de Savoie (France) - Alpes françaises. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1983. Français. NNT : . tel-00605814

**HAL Id: tel-00605814**

**<https://theses.hal.science/tel-00605814v1>**

Submitted on 4 Jul 2011

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

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

# THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE  
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3<sup>e</sup> CYCLE  
de Géologie Appliquée

par

Thierry MONIER

**SIMULATION DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS  
DANS UN AQUIFERE ALLUVIAL.**

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA NAPPE DE L'ISERE  
DANS LA COMBE DE SAVOIE (FRANCE).

Soutenue le 30 mars 1983 devant la commission d'examen :

R. MICHEL	PROFESSEUR A L'USMG	PRESIDENT
J. SARROT-REYNAULD	PROFESSEUR A L'USMG	RAPPORTEUR
P. JARDIN	INGENIEUR CONSEIL	EXAMINATEUR
J.C. FOURNEAUX	MAITRE ASSISTANT A L'USMG	EXAMINATEUR

## AVANT PROPOS

Il est temps pour moi d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui m'ont apporté aide et conseils durant la réalisation de ce travail, en particulier :

Monsieur le Professeur R. MICHEL qui m'a fait l'honneur de présider le jury de thèse.

Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD pour m'avoir accueilli dans son laboratoire et encadré efficacement pendant deux ans.

Monsieur P. JARDIN, Ingénieur SOGREAH qui m'a initié aux méthodes nouvelles de l'hydrogéologie et à qui je suis redevable de nombreux et fructueux conseils.

Monsieur J.C. FOURNEAUX, maître assistant, pour son soutien constant tant matériel qu'intellectuel.

Je tiens également à rappeler ici, l'aide que m'a opportunément apportée, au commencement de cette étude, Monsieur le Professeur P. BOIS de l'Ecole d'Hydraulique de Grenoble.

Qu'il me soit aussi permis de remercier Madame S. GINET (du CES de Chambéry) qui a assuré avec diligence la dactylographie de ce texte. L'impression du mémoire a été réalisée par les services d'imprimerie de l'Institut de Mécanique de Grenoble.

Enfin, je tiens à saluer l'ensemble de mes camarades de 3<sup>o</sup> cycle avec qui il m'a été agréable de vivre et de travailler durant ces deux dernières années.

A mes parents,

A Michèle.

## RESUME

Dans la Combe de Savoie, entre Albertville et Montmélian, les alluvions modernes de l'Isère recèlent une nappe en étroite liaison avec les cours d'eau qui empruntent la vallée.

L'objet de cette étude est de définir avec précision le comportement hydrodynamique de l'aquifère afin d'en déterminer les potentialités.

Une première partie sera consacrée à l'analyse des nombreuses données fournies par diverses campagnes de reconnaissance (géophysique, hydrométrie des cours d'eau, relevés piézométriques réguliers, etc...), elle portera essentiellement sur :

- la définition de la structure du remplissage alluvial,
- l'évaluation des paramètres régissant les écoulements souterrains (transmissivité, emmagasinement, etc...) à l'aide de méthodes analytiques,
- la caractérisation climatologique et hydrologique d'une période d'étiage de référence (octobre 1980).

Dans une seconde partie, nous réaliserons, à partir des résultats précédents, plusieurs simulations numériques des écoulements souterrains à l'échelle de l'ensemble de la vallée.

La mise en oeuvre de ce modèle mathématique de nappe nous a conduit à évaluer sommairement les potentialités actuelles de l'aquifère qui permettent d'ores et déjà d'envisager un premier schéma d'exploitation de cette ressource en eau.

Mots clés :

Aquifère alluvial ; Combe de Savoie ; dépôts fluviatiles ; paramètres hydrodynamiques ; simulations numériques ; ressource exploitable .

## INTRODUCTION.

Le travail qui m'a été confié consistait à reprendre une masse importante de données d'origines diverses dans le but de compléter l'étude hydrogéologique de la Combe de Savoie.

En utilisant une méthodologie nouvelle, celle du modèle mathématique, nous avons en particulier cherché à déterminer le potentiel exploitable et les conditions d'utilisation de la nappe phréatique en relation avec les eaux de surface en nous appuyant sur les résultats de plusieurs simulations numériques des écoulements souterrains.

En conséquence, ce mémoire regroupe deux exposés distincts qui correspondent aux deux étapes majeures de la démarche adoptée.

Dans un premier temps, nous reviendrons sur l'inventaire et l'exploitation des données qui ont permis de bâtir un schéma hydrogéologique simple mais aussi complet que possible de l'aquifère en d'autres termes, un modèle conceptuel du système.

Ensuite, nous exposerons dans le détail la mise au point du modèle mathématique de nappe ainsi que les conclusions que nous en avons tirées compte-tenu du degré d'évolution de son élaboration.

Notons que cette organisation du mémoire ne traduit pas vraiment le mode de travail que nous avons adopté et qui nous a conduit à effectuer de nombreux allers et retours entre les données de l'analyse naturaliste et les résultats des calculs tout au long du réglage du modèle pour en améliorer la représentativité.

Dans un souci de clarté, nous avons néanmoins opté pour un exposé structuré en deux parties.

## PREMIERE PARTIE

### CHAPITRE I

- I.1. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE.
- I.2. APERCU GEOLOGIQUE GENERAL.
- I.3. AMENAGEMENTS.
- I.4. TRAVAUX ANTERIEURS.
- I.5. AUTRES TENTATIVES DE MODELISATION DE NAPPE DANS LES ALPES.
- I.6. ORIENTATION GENERALE DU TRAVAIL.

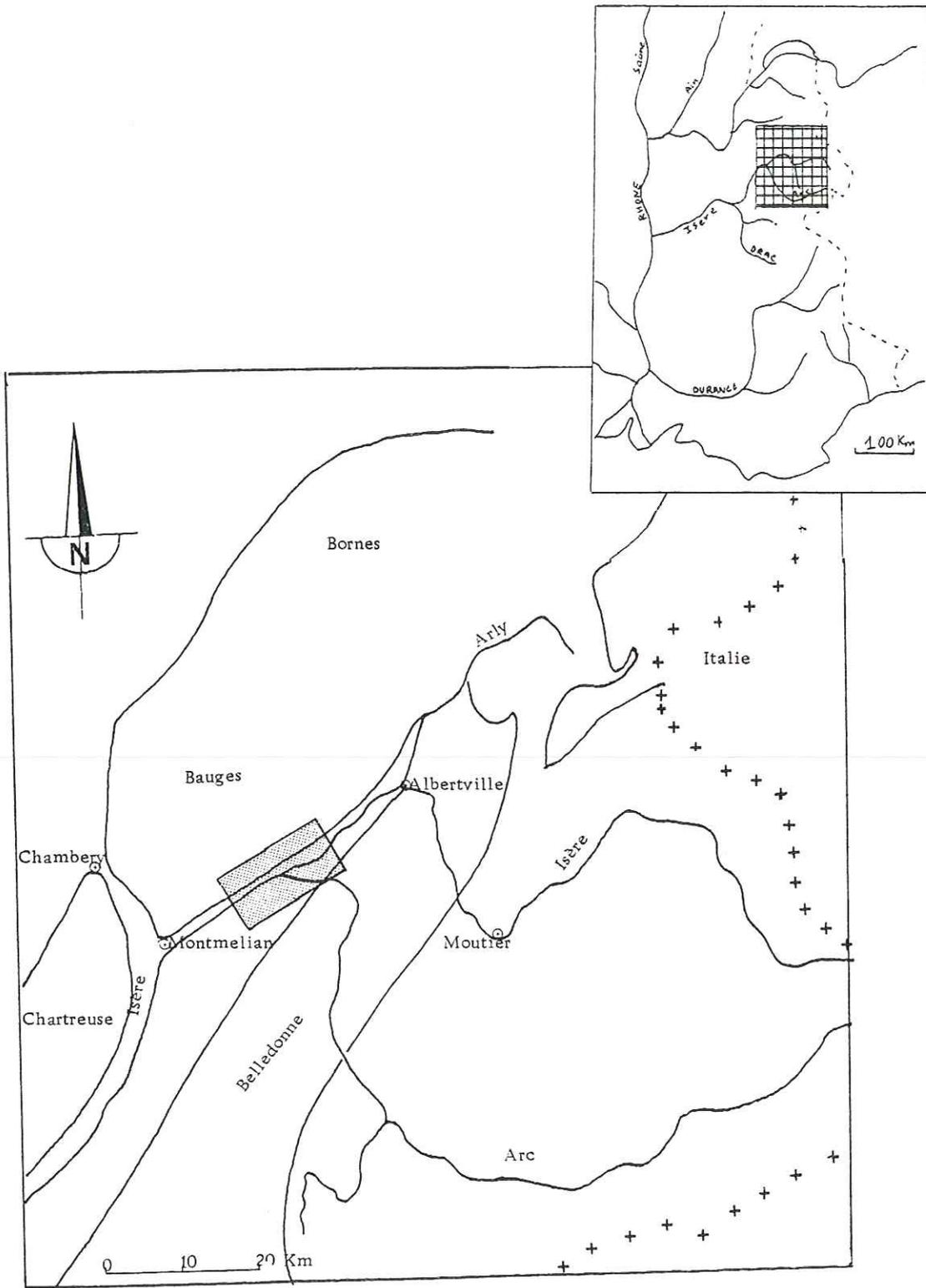


Fig. 1 Situation du secteur d'étude.

### I.1. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE.

Située entre les contreforts de la chaîne de Belledonne et les massifs des Bauges et de la Chartreuse, la Combe de Savoie longue d'environ 35 km constitue une partie de la section nord du sillon alpin.

D'Albertville à Montmélian, elle présente le paysage d'une vaste plaine alluviale aplanie par les divagations successives de l'Isère et de l'Arc dont les cours sont aujourd'hui totalement endigués.

Alors qu'en rive droite d'importantes formations de pente viennent tapisser le versant sud-est du massif des Bauges, on remarquera par endroits l'absence de recouvrement quaternaire sur le versant de la rive gauche, on passe alors sans transition de la plaine aux collines boisées constituant la couverture sédimentaire du massif cristallin de Belledonne.

De Chamousset (la confluence Arc-Isère) à Montmélian, des formations quaternaires anciennes ayant reçu le nom de "banquettes" marquent la limite sud-est de la plaine, elles provoquent le rétrécissement de la vallée à l'aval de Pont-Royal où le cours de l'Isère vient parfois les effleurer.

La pente moyenne de la plaine est de l'ordre de 2% d'amont en aval alors que l'érosion régressive est encore active à l'heure actuelle au niveau du lit de l'Isère. La Combe de Savoie apparaît donc comme une unité homogène et bien individualisée à l'intérieur du domaine alpin.

### I.2. APERCU GEOLOGIQUE GENERAL.

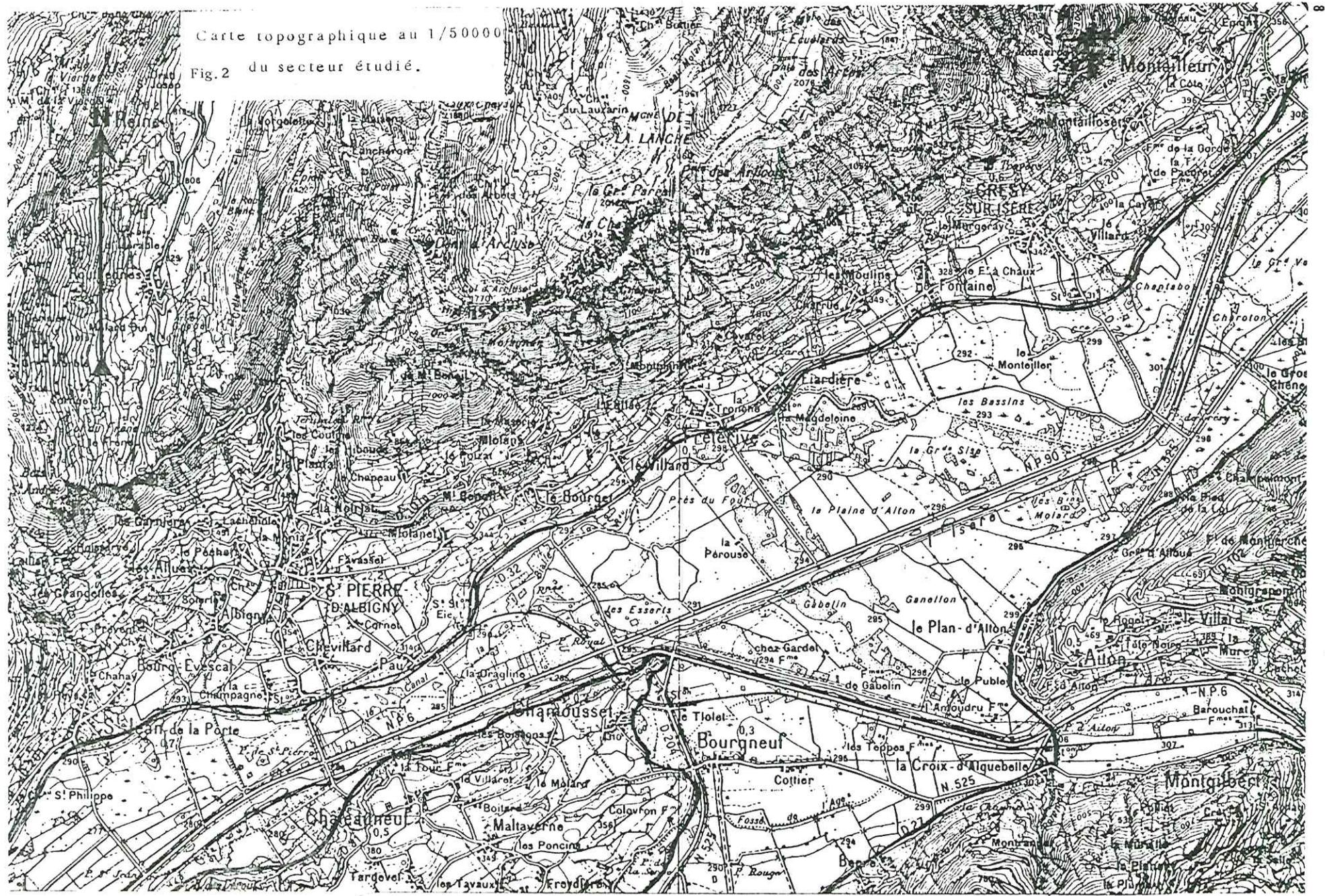
Le sillon alpin qu'emprunte la plaine de l'Isère est une dépression ancienne d'origine tectonique, résultant du glissement généralisé vers le Nord-Ouest de la couverture mésozoïque des massifs cristallins externes (fig. 4).

Son orientation coïncide avec une importante direction de fracturation N 50 (de la famille des failles cévenoles) d'origine hercynienne, soulignée par une sismicité non négligeable.

Cette situation nous permet d'observer en rive gauche la base de la série dauphinoise en position autochtone sur le socle cristallin alors qu'en rive droite, nous retrouverons la partie sommitale de la série, du Callovo-Oxfordien à l'Urgonien, affectée de grands accidents chevauchants N 15 dont l'une des terminaisons vient rejoindre la plaine à la hauteur du village de Saint-Pierre-

Carte topographique au 1/50000

Fig.2 du secteur étudié.



d'Albigny. Il serait d'ailleurs possible d'invoquer la présence de tels accidents pour expliquer certaines venues d'eau fortement minéralisées (Gidon M., Gidon P., Lunski S., 1966).

De part et d'autre de la plaine, les sédiments tertiaires font défaut ; en revanche, l'activité des glaciers quaternaires a été intense, donnant sa forme définitive à la vallée et y déposant une masse impressionnante de sédiments dont nous n'observons plus aujourd'hui que quelques traces. Entre les phases paroxysmales de l'activité glaciaire, des épisodes lacustres ou fluviaux ont pu s'intercaler contribuant progressivement au comblement de l'auge ; ce remblaiement s'est d'ailleurs prolongé jusqu'à la période récente par le dépôt d'alluvions modernes au gré des divagations successives de l'Arc et de l'Isère (c'est cet horizon qui renferme l'aquifère principal de la vallée).

Retenons que l'aspect actuel de la plaine est l'aboutissement d'une lente évolution de plusieurs millions d'années où sont intervenus, à des degrés divers, des agents tels que la tectonique, les conditions de sédimentation, l'activité des glaciers et des cours d'eau. Il en résulte une certaine hétérogénéité à l'intérieur même du système aquifère qui devra être prise en compte lors d'une analyse détaillée.

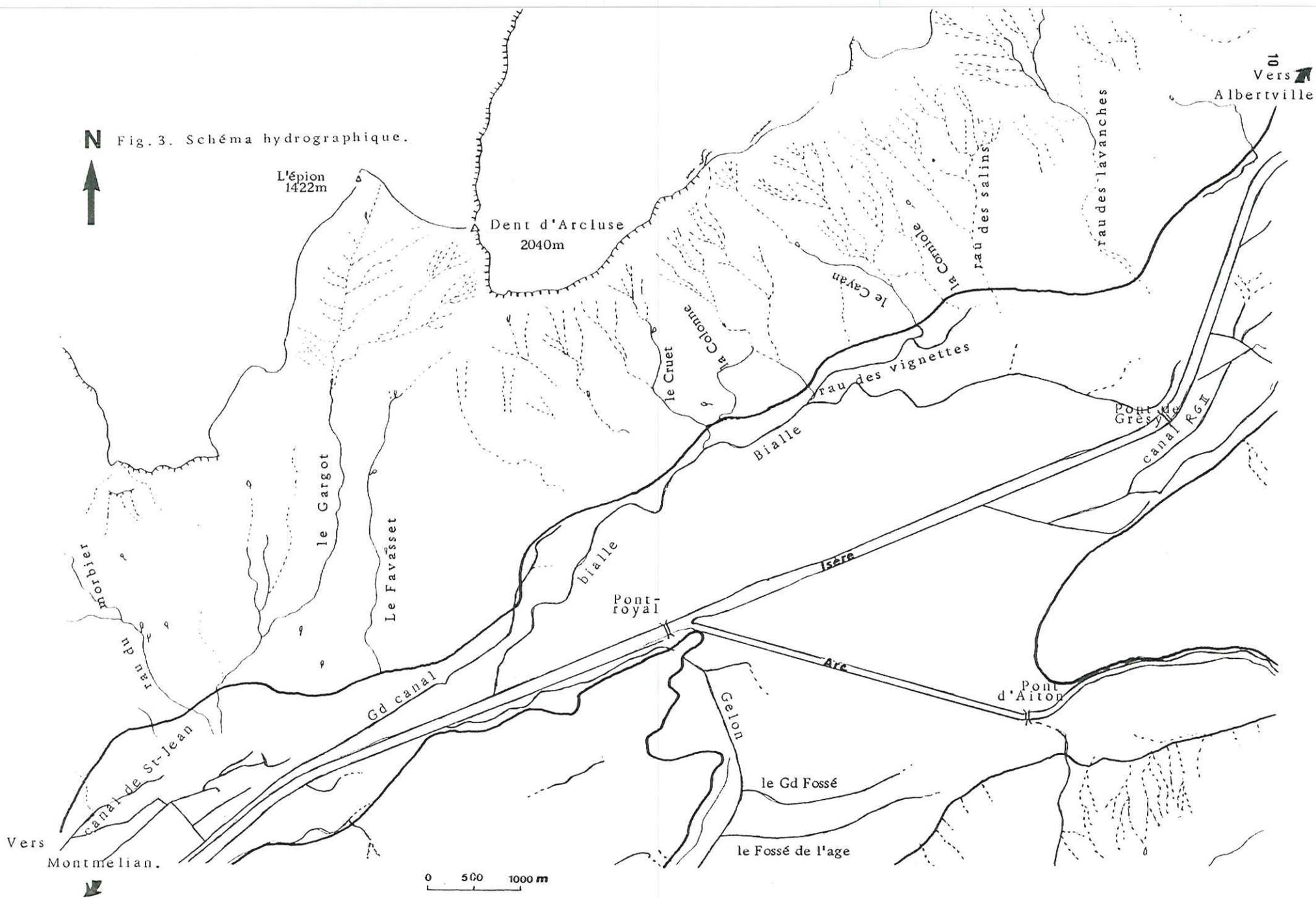
### I.3. AMENAGEMENTS.

La Combe de Savoie a été et reste aujourd'hui encore une région essentiellement agricole. Tout au long des siècles de l'histoire, son aspect a été peu à peu modifié par le travail des hommes, installant les villages sur les cônes de déjection qui la surplombent, endiguant les rivières aux cours irréguliers, creusant un réseau ténu de canaux de drainage. Tous ces aménagements ont sans doute eu un impact considérable sur l'environnement et l'hydrogéologie de la vallée tout comme la récente prolifération des gravières et sablières qui exploitent les niveaux les plus grossiers des alluvions modernes.

Il faut en revanche noter la presque totale absence d'exploitation de la nappe phréatique (hormis quelques puits paysans à l'activité épisodique et peu intense). La faible utilisation de cette ressource en eau de bonne qualité a sans doute entraîné un relatif désintérêt concernant sa protection.

Il convient cependant de savoir que si les risques d'une pollution sont sans doute très faibles et la capacité d'auto-épuration de la nappe excellente

Fig. 3. Schéma hydrographique.



(en raison de sa forte liaison avec la rivière), il sera tôt ou tard nécessaire d'envisager à titre préventif la sauvegarde d'un tel capital (l'éventualité d'une contamination par la rivière restant la plus à craindre).

#### I.4. TRAVAUX ANTERIEURS.

Dans les années 1970-1971 EDF et la Direction Départementale de l'Agriculture de Savoie ont mis en place un dispositif de surveillance complet de la nappe phréatique dans toute la Combe de Savoie. Cet équipement a permis d'entreprendre une étude hydrogéologique approfondie à l'échelle de la vallée.

C'est J.C. Fourneaux qui a le premier présenté un schéma hydrogéologique de l'ensemble de la plaine de l'Isère apportant outre une synthèse complète de la géologie du Quaternaire, la mise en évidence dans ce secteur de la relation nappe-rivière grâce à une approche statistique.

Y. Kyroussis est l'auteur d'une étude régionale de la Combe de Savoie parue en 1979 où il tente de déterminer un coefficient d'infiltration local. Enfin, la thèse de 3ème cycle de Geneviève Perroud ne concerne la zone étudiée ici que pour la partie aval de la plaine du Gelon dans les environs de Bourgneuf.

Bien évidemment, nous nous sommes volontiers appuyés sur ces diverses publications tout au long de notre travail mais il faut également signaler que toutes ces études, de même que la notre, ont bénéficié des résultats de plusieurs campagnes de reconnaissance géophysique effectuées par différents bureaux d'étude à la demande des Directions Départementales de l'Agriculture et de l'Équipement de Savoie.

#### I.5. AUTRES TENTATIVES DE MODELISATION DE NAPPE DANS LES ALPES.

La région alpine n'a, pour l'instant, fait l'objet à notre connaissance que de quelques tentatives de modélisation de nappe à l'aide d'outils numériques. On relèvera par ordre chronologique :

- les sources de Valence (Drôme) : Bourget-Zaoui-Sauty, Colloque Schoeller 1969. Mémoire BRGM n° 76 ;
- la confluence Drac-Isère (Barrage EDF de Saint Egrève), Sogreah, 1981 ;
- le Delta de la Dranse (Thonon-les-Bains) : Jean Léon, école des Mines de Paris, 9ème R.A.S.T. ;
- L'ombilic de Saint Joseph de Rivière (étude d'impact DDA de l'Isère), Sogreah, 1982.

Cette liste n'est pas exhaustive.

Toutes ces tentatives ont donné entière satisfaction aux aménageurs et ont contribué à accroître la connaissance des systèmes aquifères de la région. Elles sont donc un encouragement à de nouvelles applications de cette méthodologie aux nappes alluviales des vallées alpines.

#### I.6. ORIENTATION GENERALE DU TRAVAIL.

Dès le départ, l'optique de cette étude a été de tirer le meilleur parti possible des données existantes.

Plutôt que d'engager de nouveaux travaux de reconnaissance, nous nous sommes donc efforcés de mettre en oeuvre une méthodologie susceptible de nous apporter les éléments d'une analyse fine de l'aquifère qui, jusqu'alors, faisaient défaut.

C'est bien la nature, la qualité et la quantité des données dont nous disposions qui ont induit la marche à suivre. Par exemple, nous avons utilisé de très nombreux relevés piézométriques pour en déduire les paramètres hydrodynamiques de la nappe ; de même, c'est essentiellement à partir des résultats d'un très grand nombre de sondages électriques que nous avons pu préciser la géométrie de l'aquifère.

Notons que nous avons été amenés à nous passer de sondages mécaniques profonds et de pompes d'essai, ce qui, a priori, pourrait être considéré comme une insuffisance majeure de l'étude préliminaire.

Nous reviendrons donc successivement sur la description géologique et sur le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère dans le but d'exposer les différents modes d'acquisition des données nécessaires à l'élaboration du modèle conceptuel, base du modèle mathématique lui-même susceptible d'apporter d'importants enseignements concernant l'exploitation éventuelle de la nappe en tant que ressource en eau de la région.

## CHAPITRE II

### GEOLOGIE

II.1. GENERALITES.

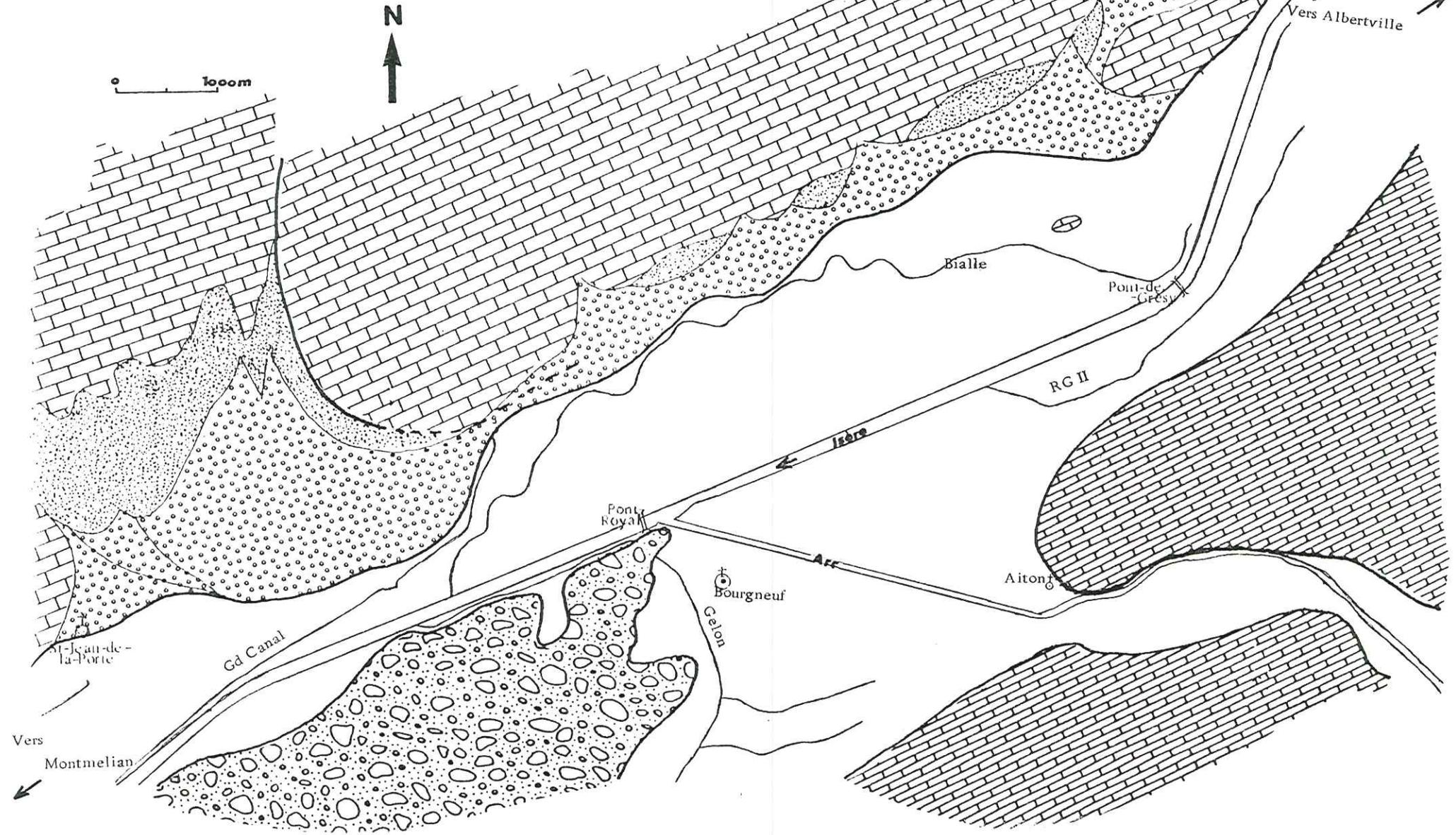
II.2. RAPPEL DES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES DES FORMATIONS RENCONTREES DANS LA COMBE DE SAVOIE.

II.3. ANALYSE DE LA STRUCTURE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL A L'AIDE DES RESULTATS DE LA GEOPHYSIQUE.

II.4. CONCLUSION.

-  Formations glaciaires.
-  Alluvions torrentielles.
-  Jurassique-Crétacé
-  Alluvions modernes.
-  Lias.
-  Formations de pente.

Fig. 4. Schéma géologique simplifié du secteur d'étude.



## II.1. GENERALITES.

Dans ce chapitre, nous nous contenterons de présenter une description sommaire des différents horizons rencontrés dans l'aquifère principal (éponges et magasin de la nappe) ainsi qu'à ses limites. Nous tenterons d'apprécier leurs caractéristiques hydrodynamiques essentielles ainsi que leur rôle dans le transfert des flux aux limites. Il sera également fait mention des niveaux karstifiés du massif des Bauges dans la mesure où ils peuvent être indirectement liés au système alluvial.

Dans le but d'aboutir à une représentation schématique de la structure hydrogéologique de la Combe de Savoie, nous avons distingué deux groupes dans l'ensemble de ces formations :

- le groupe des formations composant les versants (calcaires mésozoïques, alluvions anciennes, cônes d'éboulis, cônes de déjection) ;
- l'ensemble des niveaux constituant l'aquifère avec un substratum imperméable, un horizon intermédiaire transmissif et une couverture superficielle semi-perméable.

Le premier groupe a été décrit dans diverses monographies régionales (J.C. Fourneaux, 1975 ; J.P. Carret, 1979, etc...) alors que le second est essentiellement connu d'après les résultats de nombreuses campagnes de géophysique et par quelques levés de surface.

## II.2. RAPPEL DES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES DES FORMATIONS RENCONTREES DANS LA COMBE DE SAVOIE.

### II.2.1. Les formations latérales.

#### II.2.1.1. Les niveaux mésozoïques :

##### a- Le Lias schisteux.

Il est représenté par des calc-schistes et des calcaires marneux affleurants jusqu'en bordure de la plaine entre Aiton et Sainte-Hélène-sur-Isère. En l'absence de tout réseau hydrographique organisé, et donc de dépôts torrentiels, les circulations se concentrent dans et sur la mince pellicule d'altération superficielle qui surmonte ces formations.

Les écoulements souterrains se réduisent donc à un hypo-ruissellement ; sans possibilité d'infiltration en profondeur l'apport à la nappe sera en définitive très faible.

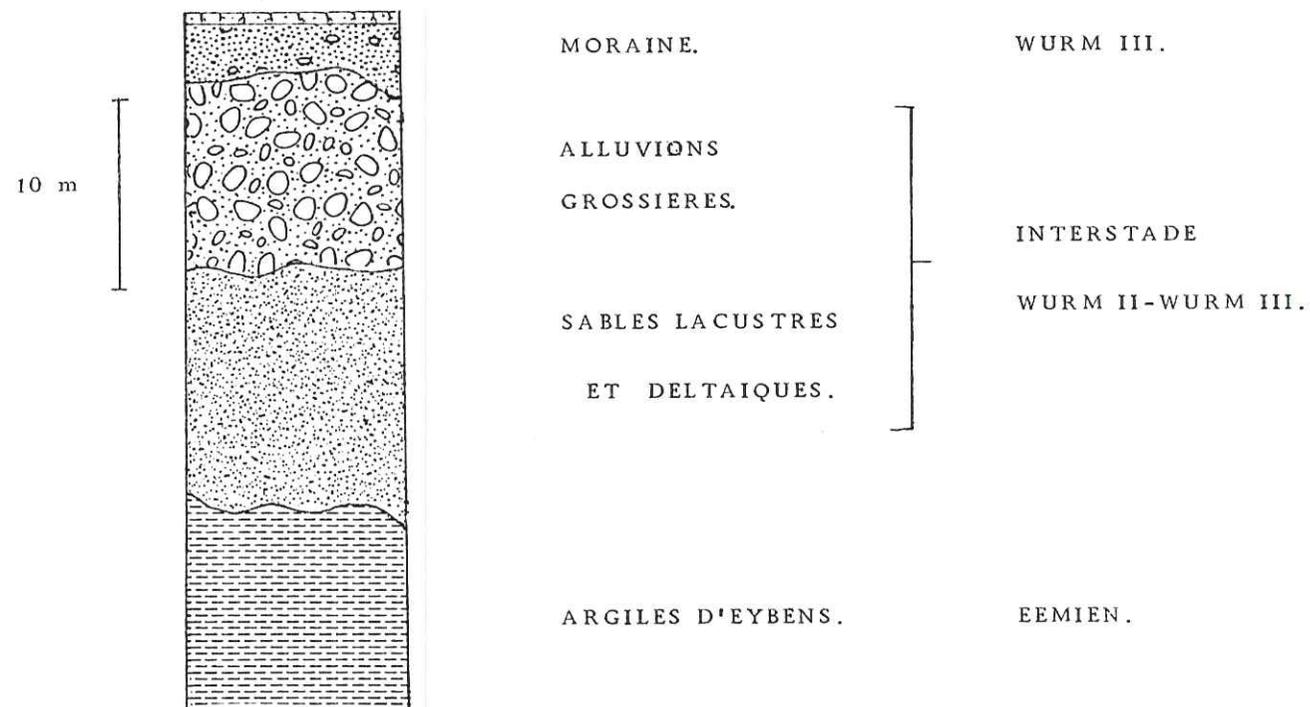


Fig. 5. COUPE LITHO-STRATIGRAPHIQUE SYNTHETIQUE DES FORMATIONS QUATERNAIRES  
RENCONTREES DANS LA BANQUETTE DE PLANAISE.

b- Les calcaires jurassiques et crétacés de la rive droite.

Ces formations constituent le rebord méridional du massif des Bauges, souvent affectées par des phénomènes de karstification (Tithonique, Urgonien), elles peuvent éventuellement abriter d'importants réservoirs dont la relation avec l'aquifère par l'intermédiaire des formations de pente n'est pas toujours aisément identifiable. Néanmoins, certaines sources du versant attestent que cette liaison existe au moins sur un mode intermittent ; il demeure cependant délicat d'en chiffrer l'importance.

Un affleurement de calcaires en petits bancs du Dogger, au droit du pont de Grésy, indique une notable remontée du substratum entre ce point (lieu-dit le Monteiller) et le cône de déjection de Grésy sur Isère.

II.2.1.2. Alluvions anciennes et moraines.

Nous avons regroupé ces deux termes dans la mesure où nous les retrouvons dans un même contexte géographique et géomorphologique, celui de la banquette de Planaise.

On y distingue de haut en bas : fig. (5)

- une moraine composée d'argiles à gros blocs, peu épaisse et donc peu susceptible de recéler une réserve importante ;

- des alluvions grossières, puissantes, d'environ 10m et aquifères comme en témoigne la présence de nombreuses sources au contact du niveau sableux sous-jacent, lui-même beaucoup moins perméable mais pouvant tout de même abriter quelques circulations de faible importance, donnant naissance à de rares sources en pied de versant ;

- le sommet de la série des argiles d'Eybens qui apparaissent lorsque les alluvions modernes de l'Isère ne les masquent pas.

Au total, l'apport effectif de ces formations reste assez limité, une partie est d'ailleurs collectée par le réseau de drainage superficiel relié à l'Isère.

Cependant, en période d'étiage, la vidange progressive de ces différents magasins secondaires représentera sans doute un terme non négligeable de l'alimentation latérale de la nappe.

#### II.2.1.3. Les cônes d'éboulis.

On les observe en rive droite de la Bialle où ils reposent sur des assises marno-calcaires du Jurassique moyen.

Ils viennent en général buter contre les cônes de déjections qui les encadrent, n'entrant pas directement en contact avec les alluvions modernes de la plaine. Ils se composent pour l'essentiel de galets et graviers calcaires enrobés dans une matrice argileuse provenant de la décomposition des niveaux marneux de la série.

Cette formation peut présenter une certaine capacité d'emmagasinement mais en l'absence d'une alimentation conséquente, elle ne saurait fournir d'apports importants à l'aquifère principal de la vallée.

#### II.2.1.4. Les cônes de déjection.

On les rencontre en rive droite de la Bialle entre Grésy à l'amont et Saint-Jean-de-la-Porte à l'aval. Ils résultent de l'activité aujourd'hui réduite des torrents descendant le versant sud-est du massif des Bauges dont ils ont hérité leurs caractéristiques lithologiques principales (galets et graviers de calcaire pur et argiles dérivant par altération des assises marneuses crétacées).

En coupe transversale, ils présentent une stratification entrecroisée de dépôts grossiers et argileux due aux divagations successives du cours d'eau sur l'édifice torrentiel. Pour la plupart d'entre-eux, l'hétérogénéité géologique induit une forte anisotropie des perméabilités qui seront en général fortes suivant une direction horizontale et faibles selon la verticale. Il est également possible de rencontrer des zones fortement perméables issues du remblaiement d'un lit mineur du torrent par un matériel grossier et bien lavé.

D'autre part, on sait que l'infiltration du torrent dans son cône est importante bien que freinée par le colmatage du fond de son lit, elle permet néanmoins l'existence d'une petite nappe propre au cône qui tend à rejoindre la nappe phréatique de la plaine mais qui donne parfois naissance à de petites sources isolées au pied de l'édifice en fonction d'accidents topographiques ou morphologiques.

En définitive, ce milieu s'avère favorable aux circulations et à la formation d'une réserve importante entretenue par les infiltrations du tor-

rent que l'on peut évaluer quantitativement (Carret- 1979) connaissant les caractéristiques morphologiques et lithologiques des cônes (pente, surface, extension latérale, etc...).

CÔNE	RUISSEAU ( crue décennale)	EXTENSION LATERALE	LONGUEUR	PENTE
GRESY	Les Lavanches (15 m <sup>3</sup> /s.)	2000 m	1400 m	7%
FONTAINE	La Corniole (7 m <sup>3</sup> /s.)	1400 m	900 m	11%
FRETTERIVE	La colonne ( ?)	1600 m	750 m	11%
LE VILLARD	Le Cruet ( ?)	1600 m	750 m	10%
St-PIERRE- D'ALBIGNY	Le Favasset (7 m <sup>3</sup> /s.) ----- Le Gargot (15 m <sup>3</sup> /s.)	3000 m	2000 m	6%
St-JEAN-de- la-PORTE.	Le Morbier. (15 m <sup>3</sup> /s.)	1200 m	1250 m	5%

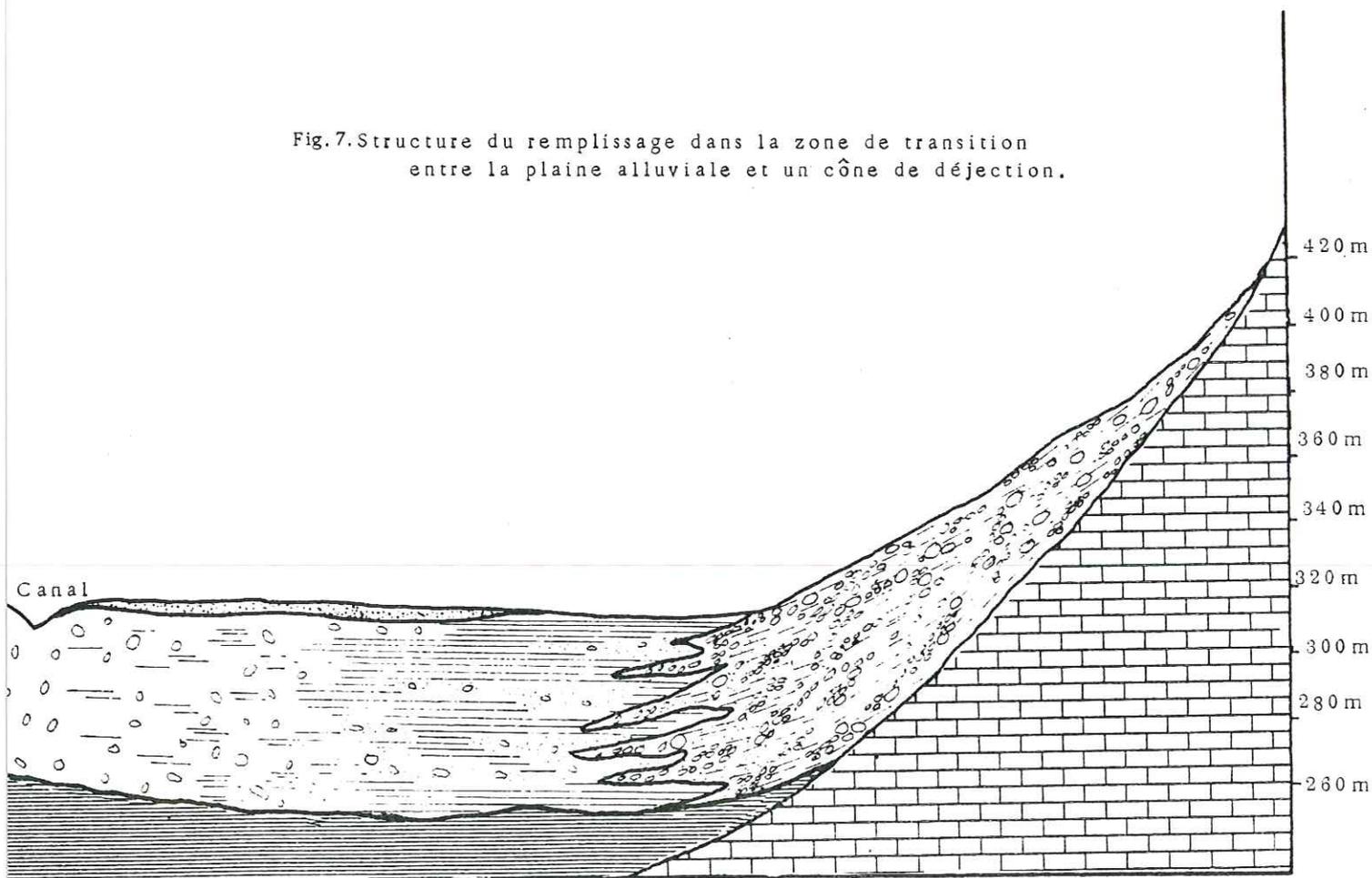
Fig. 6 CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX EDIFICES TORRENTIELS.

Nous donnerons plus loin une estimation de ces flux pour chacun des cônes importants de la rive droite de l'Isère que l'on peut globalement considérer comme des aquifères annexes de l'aquifère principal.

#### II.2.1.5. La zone de transition plaine-versant.

En bordure de la vallée, au pied des cônes de déjection du versant rive droite, le remplissage alluvial subit de fortes variations dans sa composition lithologique et granulométrique (fig. 7). On remarque, en effet, sur toute l'épaisseur de l'horizon grossier une importante augmentation de la teneur en argile des alluvions ainsi qu'une multiplication des intercalations argileuses ; cette tendance va en s'atténuant lorsque l'on s'éloigne du versant. Sans entrer dans le détail, nous pourrions envisager deux explications possibles pour un tel phénomène.

Fig.7. Structure du remplissage dans la zone de transition entre la plaine alluviale et un cône de déjection.



- 0 500m
-  Limons superficiels.
  -  Graviers sableux.
  -  Intercalations argileuses.
  -  Argiles de fond:
  -  Sédiments mésozoïques.

a- *Les particules fines* (argiles et silt), lessivées par les circulations souterraines qui ont traversé le cône sont venues s'accumuler à sa périphérie en suivant les lois d'un dépôt gravitaire.

b- *Les barrages naturels* constitués à la suite des crues importantes par du matériel torrentiel déposé au pied du cône (à la rupture de pente) ont provoqué la création de zones d'eaux mortes, alimentées temporairement par la rivière, où ont pu se déposer des particules argileuses et silteuses.

Quoi qu'il en soit, une telle structure du remplissage va considérablement influencer sur les mécanismes d'écoulement dans ce secteur de la vallée susceptible par ailleurs de recevoir une forte alimentation du versant.

## II.2.2. L'aquifère principal.

### II.2.2.1. Le substratum.

Il sera le plus souvent représenté par des argiles gris-bleues compactes qui se sont déposées à l'interstade Riss-Würm. On rencontre cet horizon plus connu sous le nom d'"argiles d'Eybens" dans une grande partie de la vallée de l'Isère où il a été reconnu soit à l'affleurement, soit par des sondages. Sa principale caractéristique est d'être totalement imperméable d'où son rôle de mur étanche de la nappe dans toute la région.

### II.2.2.2. L'horizon grossier.

Cette partie de l'aquifère assure les fonctions de conduction et de stockage de l'eau. Elle est constituée par des alluvions fluviales et torrentielles qui se sont déposées de façon continue depuis le retrait des glaces. Du point de vue granulométrique, des observations dans des gravières (jamais plus de 5 à 6m de coupe naturelle) traduisent la nette prédominance de la fraction grossière (plus de 50% de graviers et galets en volume) emballée dans une matrice sableuse plus ou moins fine. La composition pétrographique du matériel détritique varie d'un point à l'autre de la vallée en raison de la disparité géologique des deux versants (calcaréo-marneux au Nord, cristallin au Sud).

La structure générale de cet ensemble est marquée par une disposition lenticulaire caractérisant un dépôt fluvial responsable du litage en-

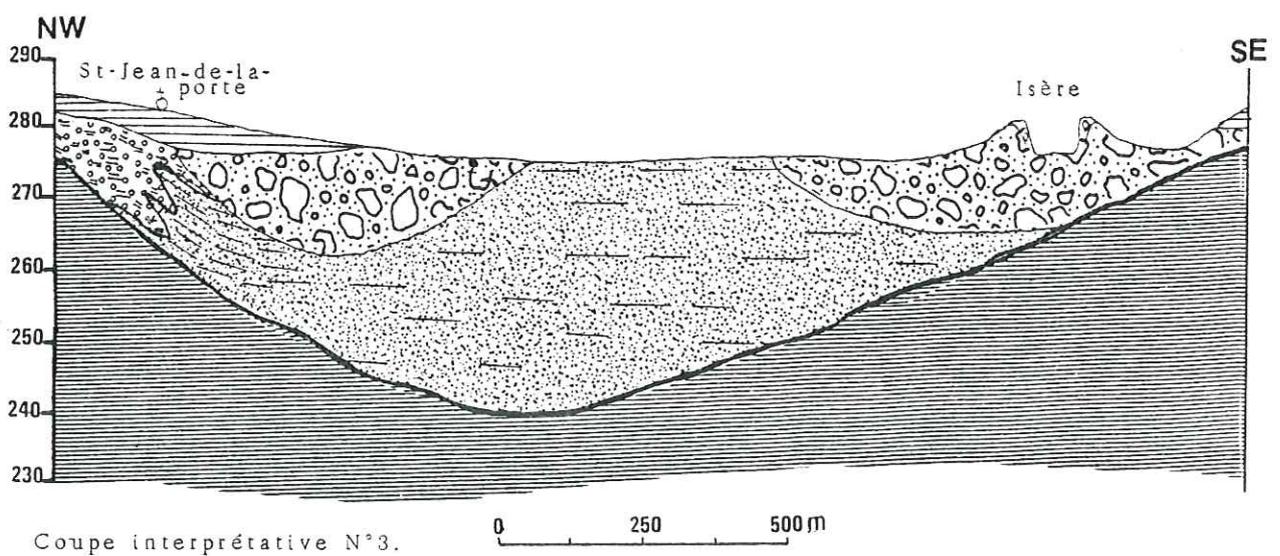
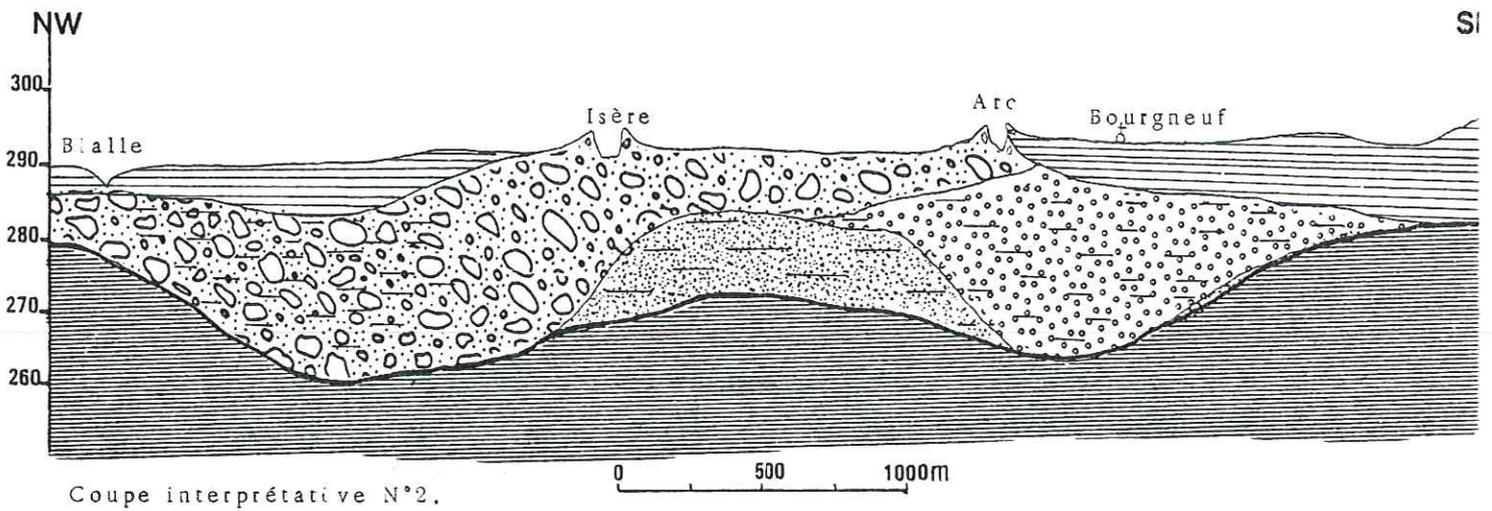
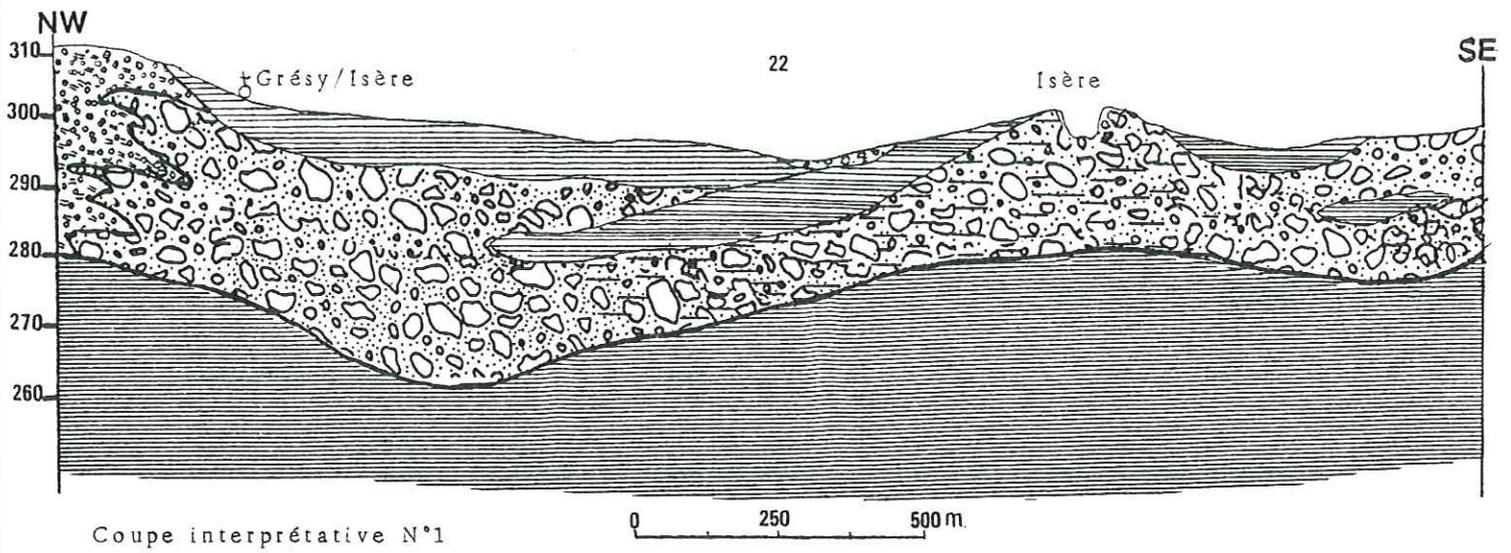


Fig. 8. Légende.

- |  |                                    |  |                  |
|--|------------------------------------|--|------------------|
|  | Limons et argiles d'intercalation. |  | Sables colmatés. |
|  | Galets et graviers sableux.        |  | Argiles de fond. |
|  | Sables et graviers argileux.       |  |                  |

tre croisé bien visible sur les coupes naturelles. Les axes d'allongement de ces lentilles indiquent d'anciennes directions de courant le plus souvent obliques par rapport aux directions actuelles ce qui aura sans doute une incidence sur la configuration des écoulements souterrains. Notons que les lentilles argileuses sont très rares ce qui permet de considérer l'horizon grossier comme une entité relativement homogène (à quelques variations latérales près) en revanche, son épaisseur varie considérablement à l'échelle locale entre un maximum de 50m à Saint-Jean-de-la-Porte et seulement 15m dans le "triangle" d'Aiton.

#### II.2.2.3. Le recouvrement.

Sur une grande partie de la plaine, les alluvions grossières sont recouvertes par une couche plus ou moins épaisse de limons de débordement qui se sont déposés là par épandage après chaque crue de l'Isère dans un passé récent.

Ils sont constitués par un matériel silteux, plus rarement argileux, leur perméabilité horizontale étant extrêmement faible alors qu'ils permettent en général le battement de la nappe qui passera alternativement d'un état libre à un état semi-libre. Au demeurant, cette couverture en contrôlant et régulant l'infiltration efficace vers la nappe, servira à la fois de protection et de réservoir d'appoint.

### I.3. ANALYSE DE LA STRUCTURE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL D'APRES LES RESULTATS DES ETUDES GEOPHYSIQUES.

L'étude géologique nous a permis de définir des caractères locaux du milieu alluvial ainsi que de mettre en évidence les différents types de dépôts en fonction de leur origine, de leur mode de mise en place et de leurs caractéristiques majeures granulométriques et pétrographiques.

Cependant, afin de préciser la géométrie du réservoir aquifère, nous avons dû utiliser les résultats d'environ sept campagnes de prospection électrique échelonnées sur dix ans (toutes ayant employé le dispositif Schlumberger à quatre électrodes ABMN). S'il s'est avéré possible d'établir une bonne stratigraphie électrique basée sur un contraste suffisant des résistivités des principaux terrains, il faut en revanche regretter que ces profils électriques ne soient, sauf exception, jamais étalonnés par des sondages mécaniques. On peut néanmoins établir de nombreuses coupes géologiques de la vallée (fig. 8).

### II.3.1. Le substratum :

Les argiles gris-bleues (argiles d'Eybens), ont une résistivité qui fluctue entre 50 et 120  $\Omega\text{m}$  avec un mode à 80  $\Omega\text{m}$ . Les marnes liasiqes fournissent des valeurs entre 100 et 150  $\Omega\text{m}$ , nous voyons donc qu'il ne sera pas toujours aisé de préciser la nature géologique exacte du substratum d'après la seule géophysique ; ceci n'aura finalement que peu de conséquences dans la mesure où ces deux formations peuvent être considérées comme également imperméables. Ajoutons qu'en tout état de cause, l'épaisseur du substratum de la nappe sera toujours suffisante pour exclure toute possibilité de drainage.

### II.3.2. Le magasin :

Les sables, graviers et galets qui constituent la fraction utile de l'aquifère, présentent des résistivités variables d'un point à l'autre de la vallée en fonction de leur teneur en argile, de la résistivité de l'eau qui les imprègne, de la granulométrie et de l'arrangement des éléments grossiers. Nous citerons néanmoins pour mémoire :

- 800 à 5000  $\Omega\text{m}$  pour des graviers hors nappe ;
- 200 à 500  $\Omega\text{m}$  pour des graviers mouillés.

Dans certains cas seulement, il sera possible de distinguer graves propres et argileuses. En revanche, la cote du mur et du toit de l'aquifère sera toujours aisément identifiable grâce à un fort contraste des résistivités (1 à 10 en moyenne).

Nous verrons plus loin comment, grâce à une méthode statistique (J.M. Barrat, 1980) on peut tenter d'établir une corrélation directe entre les résistances transversales déduites des sondages électriques et les transmissivités de la nappe calculées en seulement quelques points.

Enfin, des séries de sondages électriques rapprochés ont permis de mettre en évidence un certain nombre de chenaux entaillant le substratum jusqu'à une profondeur de 30m (ici, nous avons largement réinterprété les résultats de ces sondages, en particulier, en éliminant certaines valeurs extrêmes du surcreusement).

### II.3.3. La couverture limoneuse :

Sa configuration a pu être précisée par l'interprétation, en sus, des sondages géophysiques, d'une quarantaine de sondages mécaniques peu profonds ainsi que de quelques observations de surface. De nombreuses variations latérales de faciès affectent cet horizon ce qui se traduira, des points de vues lithologiques et granulométriques, par de fréquents passages d'une composition limono-argileuse à une composition limono-sableuse ou graveleuse. Il semble que les limons graveleux dominant dans les parties les plus étroites de la vallée alors qu'à l'aval de ces zones on trouvera des limons plus franchement argileux.

Il n'est donc pas surprenant de voir les résistivités de cette formation fluctuer entre 20 et 150  $\Omega$ m selon les points ; tout comme les perméabilités verticales qui déterminent le pouvoir infiltrant de ce niveau et qui seront amenées à varier d'une puissance de dix en fonction du faciès rencontré.

La limite entre alluvions fines et grossières apparaît toujours nettement sur les coupes géophysiques en raison du fort contraste de résistivité (la technique est donc bien adaptée à ce type de contexte géologique), sa position est d'ailleurs le plus souvent confirmée par les coupes des sondages mécaniques.

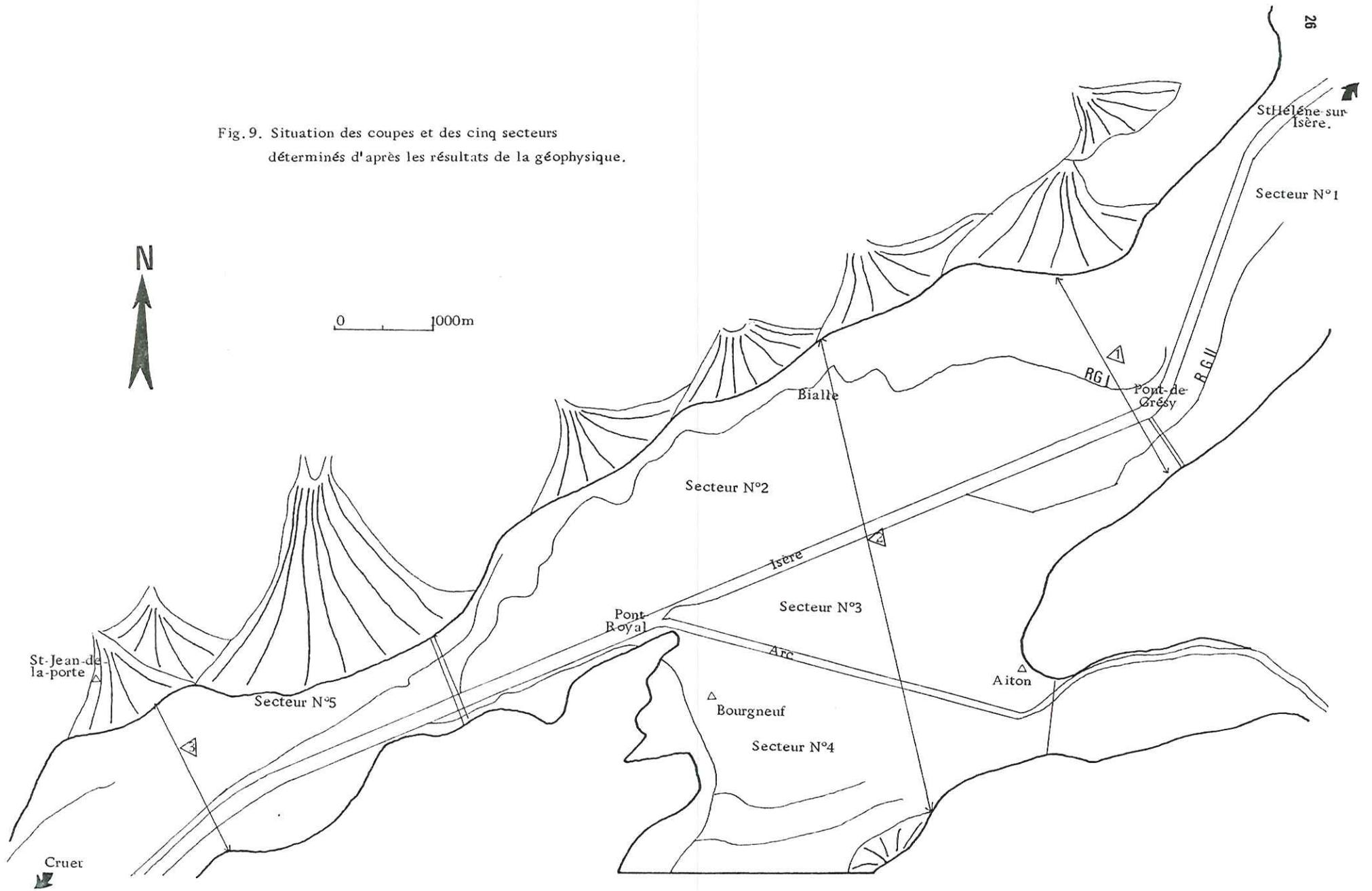
### II.3.4. Conclusion à l'étude géophysique de l'aquifère. Schéma général de la structure de la plaine :

Des éléments hydrodynamiques (limites à potentiels imposés, zones d'alimentation) et structuraux (épaisseur et granulométrie du matériel aquifère) nous ont amené à distinguer dans la plaine 5 secteurs correspondant à des sous-systèmes hydrogéologiques homogènes (fig. 9). Chacun d'eux a fait l'objet d'une à deux campagnes de reconnaissance géophysique, ce sont, d'amont en aval :

- la rive gauche de l'Isère entre Sainte Hélène sur Isère et Aiton (C.P.G.F. 1968 et 1978) ;
- le bassin de la Bialle (C.P.G.F. 1970) ;
- le "triangle" d'Aiton (C.F.E.G. 1981 et C.P.G.F. 19 ) ;
- la plaine de Bourgneuf (C.F.E.G. 1980) ;
- le secteur entre Saint-Pierre-d'Albigny et Saint-Jean-de-la-Porte (C.P.G.F. 1971).

Nous allons successivement revenir sur les caractères particuliers de chacun de ces cinq secteurs.

Fig. 9. Situation des coupes et des cinq secteurs déterminés d'après les résultats de la géophysique.



#### II.3.4.1. La rive gauche de l'Isère entre Sainte-Hélène et Aiton.

Le recouvrement limoneux est ici relativement régulier, épais de trois mètres environ alors que le remplissage sablo-graveleux, dont la composition exacte est difficile à préciser, peut atteindre 50m de puissance au pont de Grésy et suivant un axe situé à mi-distance entre la rivière et le versant (où l'on observe d'ailleurs les alluvions reposant directement sur les assises liasiques).

#### II.3.4.2. Le bassin de la Bialle.

Il s'étend de l'Isère au versant entre Grésy à l'amont et Pont-Royal à l'aval. Le recouvrement constitué par des limons sableux ou graveleux est généralement peu épais (1 à 2m) voir absent comme en rive gauche de la Bialle dans la partie amont de son cours. En revanche, on remarque une épaisseur d'environ 10m d'argiles brunes avec de minces niveaux sableux en intercalation, au droit du pont de Grésy. Les sables et graviers aquifères sont presque toujours bien lavés à proximité de l'Isère mais ils se chargent en argile dès que l'on s'approche du pied du versant.

Toute cette zone porte les traces des divagations successives de l'Isère (les photos aériennes permettant de mieux situer les anciens lits mineurs souvent en concordance avec le cours actuel de la Bialle). Le remblaiement a donc été progressif et irrégulier comme en témoignent les épaisseurs variables du matériel grossier (20 à 40m) dont la composition elle-même peut ici évoluer en quelques dizaines de mètres.

#### II.3.4.3. Le "triangle" d'Aiton.

Il correspond à l'ancien cône de déjection de l'Arc à son débouché de la Maurienne comme en atteste encore aujourd'hui sa position nettement surélevée par rapport au reste de la plaine et sa pente topographique (4%) relativement faible pour un édifice torrentiel mais supérieure à celle que l'on rencontre dans le reste de la vallée. On notera ici l'absence de toute couverture argilo-limoneuse ; au contraire, nous nous trouvons en présence de la succession verticale d'un horizon supérieur extrêmement grossier et d'un niveau basal sableux (10m environ) ce qui semble indiquer une augmentation de la capacité de transport de l'Arc dans un passé récent.

Tout comme dans le bassin de la Bialle, il est possible de repérer, d'après les photos aériennes, les traces laissées par les divagations successives de l'Arc sur son cône. On remarque en particulier un ancien lit mineur large d'environ 500m qui, partant du pont d'Aiton, s'en va rejoindre l'Isère en face de la route de Frêterive. En profondeur, cette zone correspond à un dépôt de galets et graviers des plus grossier (d'ailleurs abondamment exploité). Comme nous le verrons plus loin, ce type de paléochenal fluviatile exerce une forte influence sur les circulations souterraines et les échanges nappe-rivière.

#### II.3.4.4. La plaine de Bourgneuf.

Elle représente la terminaison orientale du sillon glaciaire de la Rochette aujourd'hui empruntée par le Gelon. C'est une zone de transition où l'on verra l'horizon grossier diminuer progressivement d'importance vers le Sud (on constate la disparition totale des alluvions de l'Arc au Sud de la départementale 525), alors que les argiles lacustres vont largement prédominer même si elles sont parfois entaillées par d'étroits chenaux à remplissage sablo-graveleux. Notons enfin qu'au niveau de Chamousset une faible épaisseur de cailloutis argileux (éboulis remaniés ?) assure la transition entre alluvions anciennes et modernes.

#### II.3.4.5. Les bassins de Saint-Pierre-d'Albigny et Saint-Jean-de-la-Porte.

Ils prolongent le bassin de la Bialle au Sud-Ouest lorsqu'après Pont Royal, la vallée se resserre et le surcreusement s'accroît pour atteindre un maximum de 50m au pied du cône de déjection de Saint-Jean-de-la-Porte. Ici, la jonction cône-plaine est marquée par un replat topographique situé à 3m environ au-dessus de la vallée.

La couverture limoneuse est, en général, peu épaisse (1 à 2m) alors que des sondages récents ont montré quelques traces d'argiles dans des graviers particulièrement riches en éléments schisteux. Pour le reste, le dépôt alluvial demeure en continuité avec celui du bassin de la Bialle.

#### II.4. CONCLUSION.

L'étude géologique et géophysique de l'aquifère permet de définir une structure schématique simple mais peut être imparfaite du système à modéliser ; celui-ci se décomposera en une partie centrale comprenant le niveau aquifère assurant la transmission et l'emmagasinement de l'eau, son substratum imperméable et éventuellement sa couverture semi-perméable. A cette partie centrale s'ajoute un domaine latéral constitué par l'ensemble des formations du versant qui contrôlent la nature et l'intensité des échanges aux limites. Un tel schéma doit permettre de choisir entre les différentes hypothèses qui doivent conduire à l'élaboration d'un modèle de nappe adapté aux conditions particulières de gisement dans la Combe de Savoie.

CHAPITRE III

HYDRODYNAMIQUE

III.1. INTRODUCTION.

III.2. CALCUL DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT.

III.3. CALCUL DE LA DIFFUSIVITE DE L'AQUIFERE.

III.4. DETERMINATION INDIRECTE DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES.

III.5. CONCLUSION.

### III.1. INTRODUCTION.

Après la géométrie et la structure de l'aquifère, il nous faut à présent analyser la distribution spatiale des paramètres hydrodynamiques de l'écoulement dans l'ensemble du secteur modélisable.

En l'absence d'essai de pompage, nous nous sommes vus dans l'obligation d'avoir recours à une approche indirecte des caractéristiques hydrauliques du milieu. Dans ce but, et en raison de la profusion des données piézométriques, nous avons choisi d'interpréter les variations naturelles du niveau des nappes à l'aide de trois méthodes pour lesquelles nous pouvions disposer de toutes les données nécessaires. Ce sont, dans l'ordre :

- la méthode de Lebedev ;
- l'étude de l'effet d'une recharge brusque (d'après R. Degallier) ;
- l'étude de l'Influence de la rivière sur la nappe (Peaudecerf).

Au niveau des résultats, ces méthodes ont pour point commun de fournir une valeur du rapport T/S (diffusivité) significative dans un secteur donné. Connaissant en certains points la valeur du coefficient d'emménagement, grâce à la méthode d'Archie, il nous sera alors possible de déterminer une première fourchette d'estimation des transmissivités de la nappe en quinze points différents, assez bien répartis sur l'ensemble de la zone étudiée (fig. 10).

A titre indicatif, nous avons tenté d'extrapoler ces premiers résultats à l'aide de différentes méthodes, statistiques ou graphiques basées sur la possibilité de corrélation entre diverses grandeurs physiques (résistivité, perméabilité, gradient hydraulique, etc...). Il s'agissait alors de déterminer une distribution spatiale des facteurs géologiques comme trame de l'interpolation des données ponctuelles sur les paramètres hydrodynamiques.

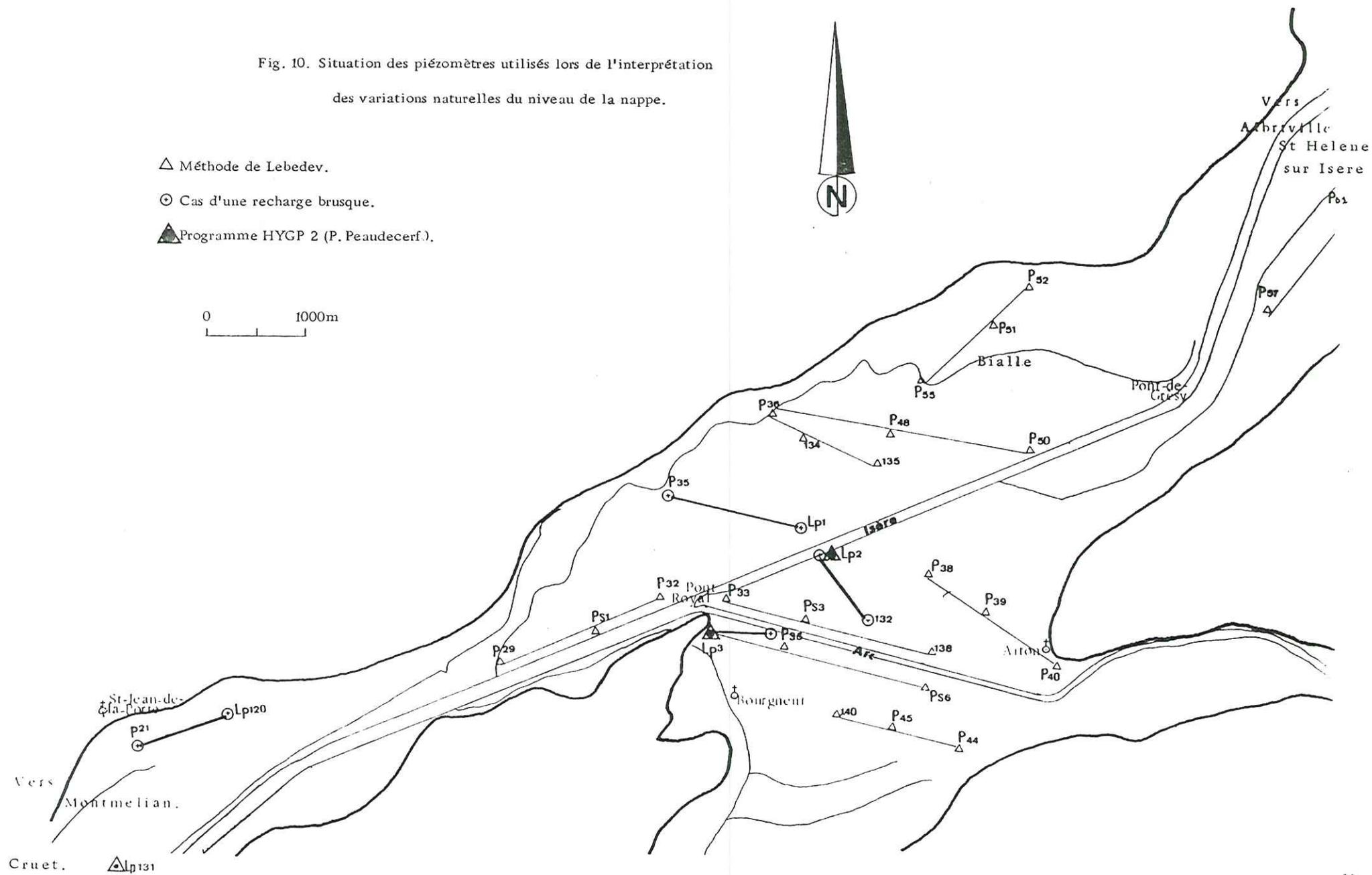
### III.2. CALCUL DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT DE LA NAPPE PAR LA METHODE D'ARCHIE.

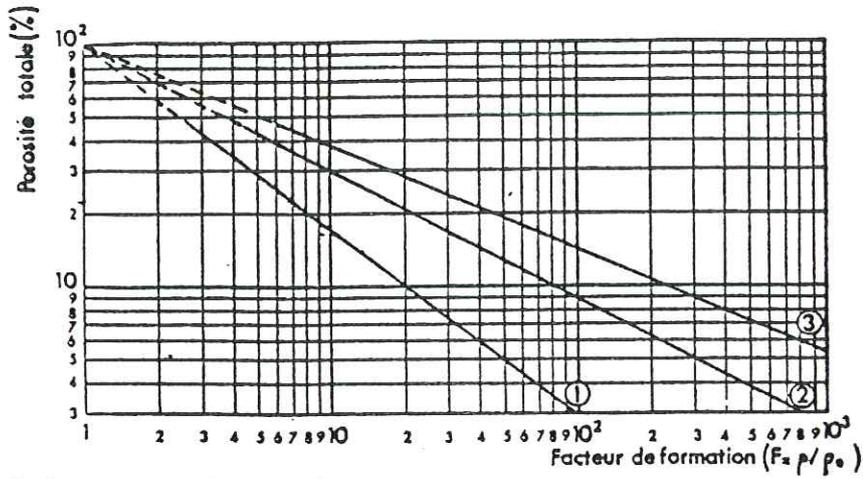
#### III.2.1. Principe.

La première étape consiste à estimer la résistivité du terrain d'après les valeurs fournies par les sondages électriques.

Lorsque l'on se trouve en présence d'intercalations argileuses, il convient de corriger la valeur de la résistivité vraie du terrain à l'aide de la formule :

Fig. 10. Situation des piézomètres utilisés lors de l'interprétation des variations naturelles du niveau de la nappe.





Courbe 1 : formation meuble.  
 Courbe 2 : roche consolidée à porosité d'interstices.  
 Courbe 3 : roche consolidée à porosité de fissures.

Fig. 11. Courbes donnant la porosité totale d'une formation aquifère saturée en fonction du facteur de formation F (d'après JL ASTIER).

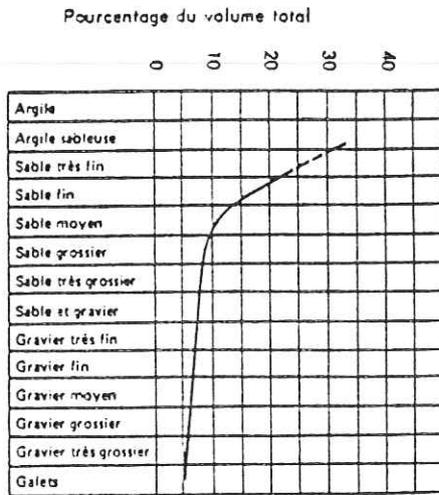


Fig. 12. Variations de la capacité de rétention spécifique des alluvions avec le diamètre des grains (d'après ECKIS).

$$\frac{1}{\rho} = \frac{a}{\rho_a} + \frac{1-a}{\rho_s}$$

Avec a : pourcentage d'argile

$\rho_a - \rho_s$  : résistivités de l'argile et du sable.

Dans un deuxième temps, il nous faut calculer une résistivité moyenne de l'eau au point considéré d'après une série de mesures périodiques (1972 à 1975) ce qui nous permettra d'obtenir le facteur de formation  $F = \frac{\rho_{\text{formation}}}{\rho_{\text{eau}}}$

Un abaque (fig. 11) permet alors de déduire la porosité totale du matériel aquifère connaissant le facteur de cimentation du terrain (1,4 dans les alluvions modernes d'après Astié ).

Pour passer ensuite de la porosité totale à la porosité efficace, il suffira d'évaluer le coefficient de rétention spécifique du terrain dont la valeur oscille entre 5% pour des graviers et 9% pour des sables (fig. 12).

Nous avons donc obtenu par cette méthode des valeurs de la porosité efficace équivalentes au coefficient d'emménagement de la nappe phréatique lorsque celle-ci peut battre librement.

### III.2.2. Exemple : Calcul de "S" au P47.

Des relevés mensuels de la résistivité de l'eau dans ce piézomètre donnent une valeur moyenne de 2000  $\Omega\text{cm}$ .

D'après les sondages électriques, la résistivité des alluvions grossières serait ici de l'ordre de 300  $\Omega\text{m}$  mais une lentille d'argile (150  $\Omega\text{m}$ ) venant s'y intercaler, la résistivité globale du terrain sera donc de :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{0,29}{150} + \frac{0,71}{300} = \frac{1}{233}$$

$$\text{Le facteur } F \text{ vaudra : } \frac{233}{20} = 11,75$$

Nous en déduisons graphiquement la porosité totale (18%) du matériel alluvial ce qui nous permet d'aboutir à un coefficient d'emménagement d'environ 11%.

Piézomètre	Secteur	$\rho_s$ en $\Omega \cdot m$	$\rho_w$ en $\Omega \cdot m$	P	S	Observations	
PI6	Cruet	250	31,5	20%	13%	Graviers et sables argileux	
I40	Bourgneuf	225	15	15%	8%		
P45	Bourgneuf	190	18	17%	9%		
PS6	Bourgneuf	160	26	24%	9%		
P38	Aiton	350	24	15%	10%		Galets et graviers sableux
P47	Aiton	250	20	17%	11%		
P49	Aiton	200	23	19%	12%	Remplissage argileux	
P61	St Hélène	280	31	19%	12%		
P63	St Hélène	300	29	18%	12%		
P54	Bialle	115	27	31%			
P51	Bialle	140	25	27%			
P50	Bialle	300	30	18%	11%		
P48	Bialle	161	23,5	22%	12%		
I61	Bialle	150	23,5	23%	13%		

TABLEAU I CALCUL DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT A L'AIDE DE LA METHODE D'ARCHIE.

$\rho_s$ : résistivité vraie des alluvions.

$\rho_w$ : résistivité de l'eau

P: porosité totale des alluvions.

S: porosité efficace des alluvions (équivalente ici au coefficient d'emménagement de l'aquifère).

### III.2.3. Résultats.

Les valeurs obtenues oscillent entre 10 et 13% (voir tableau I), ce qui correspond bien aux valeurs du coefficient d'emménagement d'une formation sablo-graveleuse telles qu'elles sont répertoriées dans diverses classifications (A.J. Johnson, N.A. de Ridder). D'autre part, ces résultats sont voisins de ceux fournis par diverses autres études antérieures à la notre dans la région (J.C. Fourneaux, J. Kyroussis).

Il a cependant été jugé préférable, en l'absence de toute confirmation par des essais *in situ*, de ne prendre en compte qu'une valeur moyenne (11%) significative pour l'ensemble du secteur considéré et largement assez précise pour déduire T du rapport T/S.

### III.3. CALCUL DE LA DIFFUSIVITE DE L'AQUIFERE.

Parmi toutes les méthodes analytiques permettant de calculer la diffusivité d'une nappe, nous en avons retenu trois sur des critères de fiabilité et de souplesse d'application. Dans toute la mesure du possible, nous avons essayé de choisir celles qui s'adaptent le mieux aux particularités de l'aquifère étudié.

#### III.3.1. Méthode de Lebedev.

##### III.3.1.1. Principe.

Cette technique consiste à analyser la déformation lente de la surface piézométrique au cours du temps. Le dispositif de mesure (fig. 13) est composé de 3 piézomètres tous situés sur une même ligne de courant et dont les niveaux seront relevés à trois reprises lors d'un étiage bien marqué.

La formule : 
$$\frac{T}{S} = \frac{2k \times l (C - D)}{(U - 2V + W) \times \Delta t}$$
 s'applique rigoureusement, même

lorsqu'intervient une recharge verticale de l'aquifère pendant le tarissement car elle effectue une analyse différentielle de la perte de charge (le terme C-D caractérisant la forme de la courbe au piézomètre central). Il sera ainsi possible d'éviter dans certains cas de surévaluer la valeur du coefficient d'emménagement (ce qui est moins évident lorsque l'on utilise certaines autres formules analytiques).

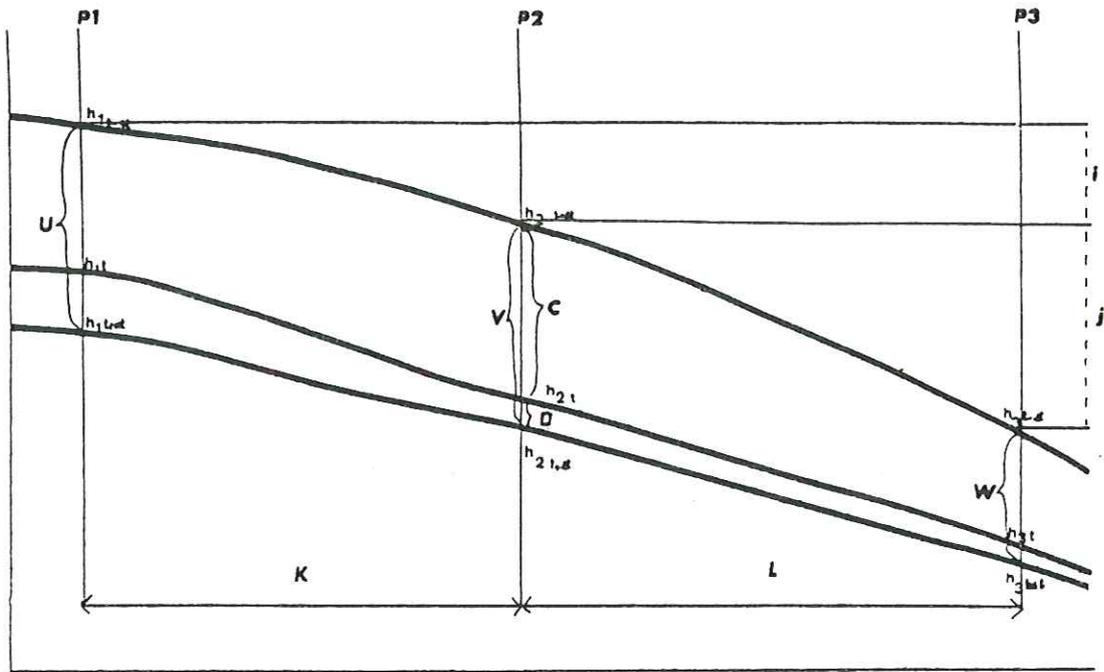


Fig. 13. Profil théorique (application de la formule de Lebedev).

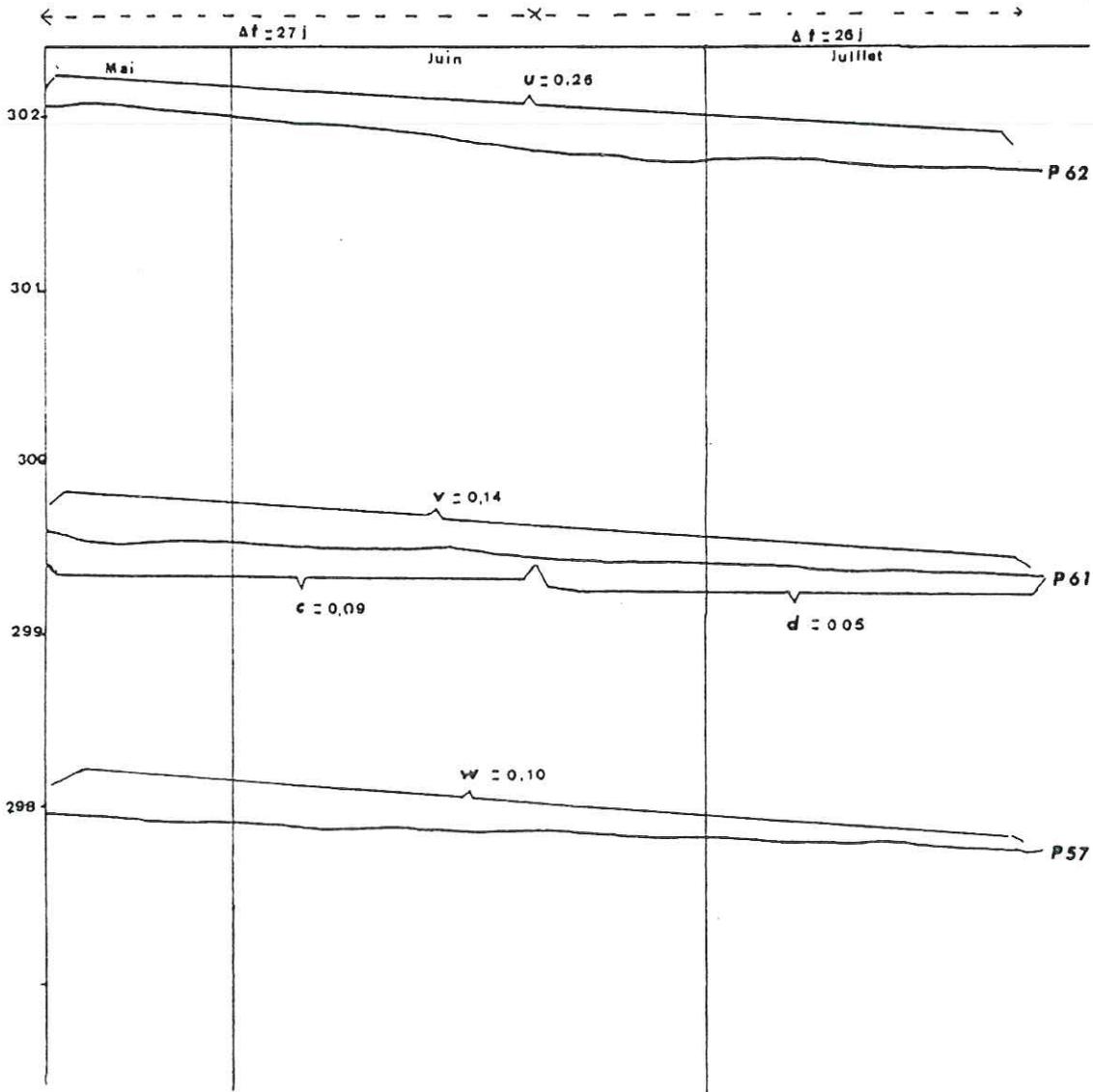


Fig. 14. Tarissement de la nappe en mai juin juillet 1976.

C et D sont des différences de niveaux enregistrées sur le piézomètre central entre le 1er et le 2ème relevé d'une part, le 2ème et le 3ème, d'autre part.

U, V, W sont des différences de niveaux enregistrées sur chacun des trois piézomètres entre le premier et le dernier relevé.

K et L sont les distances séparant les trois piézomètres.

$\Delta t$  est l'intervalle de temps séparant deux relevés successifs.

### III.3.1.3. Exemple : Calcul de T/S sur la ligne de courant P62-P61 P57 (fig. 14) durant la période mai, juin, juillet 1976.

Les valeurs numériques des différents paramètres relevés sur les courbes de tarissement sont :

$$\begin{array}{lll} U = 0,26\text{m} & C = 0,09\text{m} & K = 1375\text{m} \\ V = 0,14\text{m} & & \\ W = 0,10\text{m} & D = 0,05\text{m} & L = 900\text{m} \end{array}$$

$$\Delta t = 27 \text{ jours}$$

$$\frac{T}{S} = \frac{0,04 \times 900 \times 1375}{0,08 \times 24 \times 27 \times 3600} = 0,53 \text{ m}^2/\text{s}.$$

### III.3.1.3. Résultats.

La formule a pu être appliquée à dix lignes de courant pour des périodes d'étiage différentes, soit en définitive un apport d'environ 35 valeurs (voir tableau II).

### III.3.1.4. Interprétation.

Compte-tenu de notre connaissance du contexte géologique, cette méthode nous a permis une bonne approche des paramètres hydrodynamiques de la nappe. Cependant, les valeurs obtenues varient notablement au cours du temps sur une même ligne de courant, il semble que la nappe ne réagisse pas toujours avec la même "nervosité" en fonction de sa position par rapport au mur des limons de surface (il pourrait y avoir passage d'un état libre à un état semi-captif). En revanche, il ne paraît pas utile d'envisager une variation impor-

LIGNE DE COURANT	SECTEUR	LONGUEUR en m	T/S en m <sup>2</sup> /s	T/S moyen en m <sup>2</sup> /s
P44 -P45- 140	BOURGNEUF	1100	0,04 0,07 0,19 0,2 0,23 0,27 0,47	0,16
PS6-PS5-Lp3	BOURGNEUF	2250	0,47 0,55	0,50
138-PS3-P33	AITON	1550	0,10 0,30 0,34 0,43 0,45	0,32
P40-P39-P38	AITON	1800	0,82 0,73 0,49 0,46	0,63
PS2-PS1-P55	BIALLE	1350	0,05 0,08 0,17 0,21	0,13
P50-P48-P36	BIALLE	2500	0,28 0,26	0,27
135-134-P36	BIALLE	1075	0,20 0,11	0,16
P32-PS1-P29	BIALLE	1650	0,2 0,4 0,41 0,42 0,45 0,50	0,42
P62-P61-P57	St HELENE/ISERE	2275	0,53 0,54	0,54

TABLEAU.II DIFFUSIVITES CALCULEES PAR LA METHODE DE LEBEDEV.

tante de la transmissivité en liaison avec la hauteur mouillée sachant que les battements n'excèdent pas 1m.

Du point de vue expérimental, nous pouvons remarquer une grande sensibilité aux erreurs de mesure sur la piézométrie qui, dans certains cas, entraîneront des écarts de 100% sur le résultat final. Ceci dit, cette méthode a su nous fournir une première fourchette d'estimation tout à fait acceptable des transmissivités en une dizaine de points de la plaine, ce qui était bien le but recherché ; ainsi, nous avons pu, par la suite, mettre en oeuvre d'autres techniques nécessitant une évaluation préalable de la diffusivité de l'aquifère.

### III.3.2. Etude de la surface piézométrique après une recharge brusque.

#### III.3.2.1. Principe.

Il s'agit d'analyser un mouvement de recharge brusque de la nappe assimilé à un signal rectangulaire (Degallier, 1969) si  $h_0$  est le niveau de la nappe, initialement horizontale, mesuré juste après une recharge brusque, la charge hydraulique  $h$  mesurée en n'importe quel point situé à une distance  $X$  de l'exutoire est donnée par la relation :

$$\frac{h}{h_0} = 1 - \sum_{h=0}^{\infty} (-1)^h \operatorname{erfc} \frac{2n X + x}{2 \sqrt{tT/S}} + \operatorname{erfc} \frac{(2n+1)(X-x)}{2 \sqrt{tT/S}} \quad (1)$$

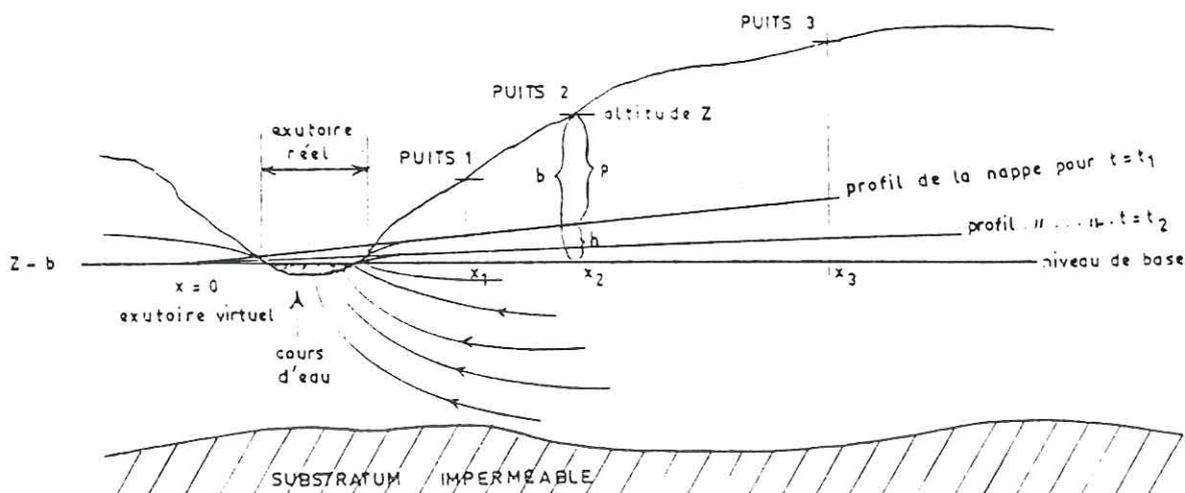
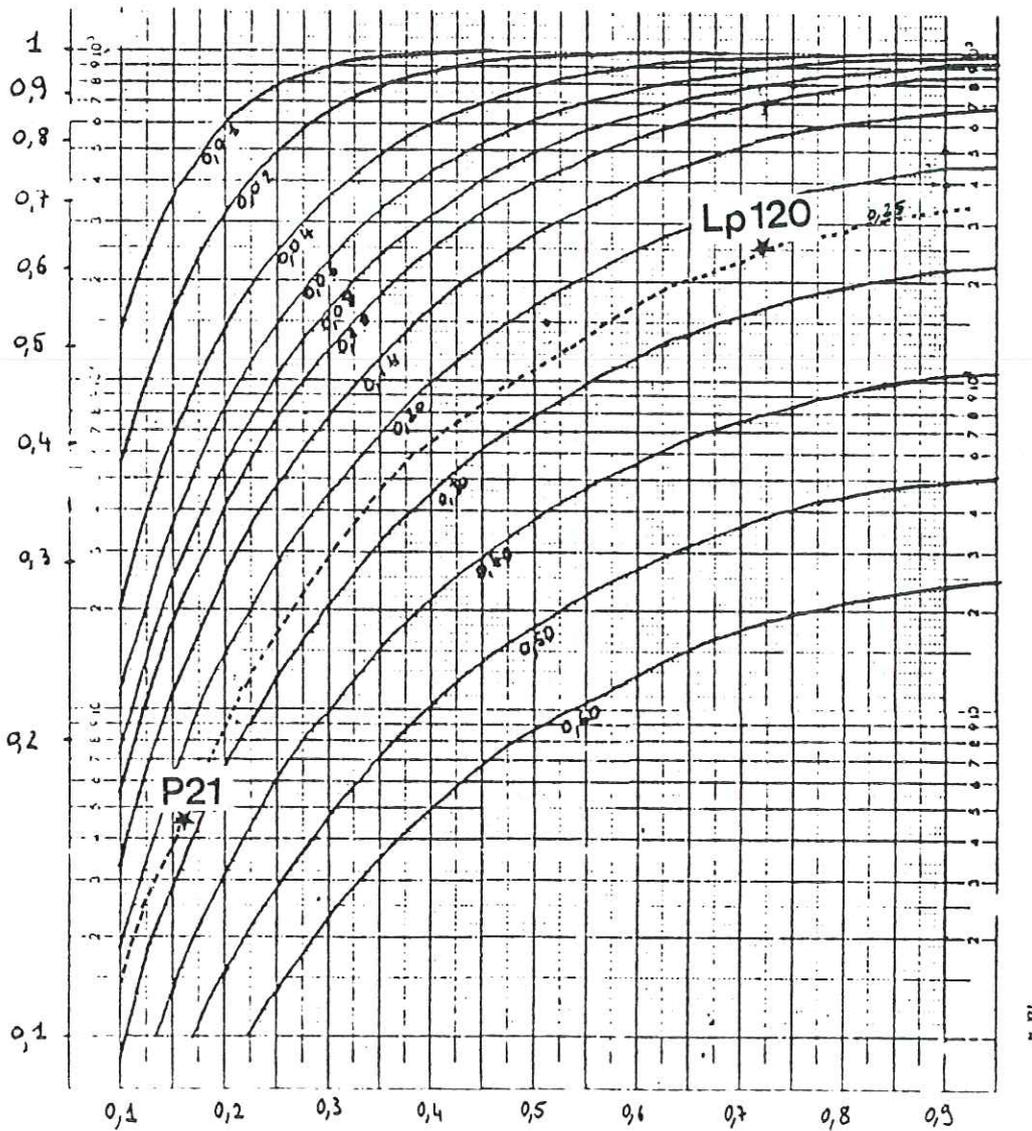


Fig. 15. Profils successifs de la nappe (d'après R. Degallier).

Fig. 16. ABAQUE DE  $\frac{h}{H} = 1 - \sum_0^{\infty} (-1)^n \left\{ \operatorname{erfc} \frac{2nX+x}{2\sqrt{t/S}} + \operatorname{erfc} \frac{2(n+1)X+x}{2\sqrt{t/S}} \right\}$

$\frac{h}{H}$  (échelle log au cube)  
 //

Paramètre des courbes :  
 temps réduit  $Tt/X^2 S$



erfc représente la fonction complémentaire erreur définie par :

$$\text{erfc} = 1 - \text{erf} \quad \text{avec} \quad \text{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-x^2} dx$$

Les solutions de l'équation (1) ont été tabulées sous forme d'abaques, ce qui nous permettra, connaissant la cote du niveau de base, l'instant virtuel de la recharge  $t_0$  et les valeurs des rapports  $h/h_0$  et  $X/x$ , de déterminer graphiquement le module de  $\frac{Tt}{x^2S}$  dont nous déduirons facilement la diffusivité  $T/S$ .

### III.3.2.2. Exemple : Cas de la ligne de courant LP-120-P21.

Grâce aux enregistrements limnigraphiques, nous sommes en mesure de préciser l'instant et l'amplitude du mouvement de recharge. De plus, nous avons déterminé graphiquement l'abscisse et la cote virtuelle du niveau de base (274,5m), ce qui nous permettra de connaître la longueur totale  $X$  de la ligne de courant (1600m) ; une valeur voisine peut-être obtenue par mesure directe sur la carte piézométrique.

Pour chaque point de mesure, nous devons apprécier la distance  $x$  à l'exutoire dont nous tirerons le rapport  $X/x$  soit :

0,16 pour P 21

0,74 pour LP 120.

L'amplitude de la recharge a été évaluée d'après les enregistrements automatiques du niveau de la nappe en faisant une hypothèse sur l'amortissement survenu entre l'origine de l'impulsion et le point de mesure. C'est ainsi que l'on obtient le rapport  $h/h_0$

0,16 pour le P 21

0,65 pour le LP 120.

Chacun des couples  $(h/h_0, X/x)$  correspond à un point sur l'abaque.

Les deux points ainsi obtenus s'ajustent sur la courbe caractéristique par  $\frac{Tt}{x^2S} = 0,25$  (fig. 16) dont on déduit  $T/S = 0,53 \text{ m}^2/\text{s}$ .

### III.3.2.3. Résultats.

Certaines contraintes (en particulier la nécessité d'une recharge brusque et très nette sur une nappe initialement au repos) ne nous ont permis d'appliquer la méthode qu'en quatre occasions.

LIGNE DE COURANT	SECTEUR	NIVEAU DE BASE	t	X	Ho	$\frac{T \cdot t}{X \cdot S}$	T/S en m <sup>2</sup> /s
LP1-P 35	BIALLE	284,6	9 J	1900m	9,2 m	0,12	0,50
LP3- PS 5	BOURGNEUF	286,0	3 J	1300m	5,35m	0,20	1,30
LP120-P 21	St-JEAN -de -la-PORTE	274,5	13 J	1600m	5,33m	0,25	0,53
LP2-132	AITON	288,5	10 J	1900m	6,00m	0,15	0,63

TABLEAU.III DIFFUSIVITES CALCULEES D'APRES L'ETUDE D'UNE RECHARGE BRUSQUE SUR LA LIGNE DE COURANT.

### III.3.2.4. Interprétation.

Dans les quatre cas retenus, l'ajustement n'a pu se faire que pour des piézomètres pris deux à deux sans doute à cause de la variation relativement importante de la transmissivité tout au long d'une ligne de courant. Néanmoins, les valeurs obtenues demeurent très réalistes et toujours proches des résultats antérieurs.

Il reste que le recours à de nombreux ajustements graphiques successifs qu'implique cette méthode peut entraîner une certaine distorsion entre la réalité physique et sa représentation schématique.

Nous considèrerons ces résultats comme significatifs tout en sachant que cette méthode repose pour une bonne part sur la qualité des estimations réalisées par l'opérateur.

### III.3.3. Etude de l'influence de la rivière sur la nappe :

Le programme HYP II (Peudecerf, 1973) se propose de simuler l'influence des variations d'une rivière sur la nappe qui lui est subordonnée pour en déduire la diffusivité de la portion d'aquifère concernée par ces échanges.

Cette méthode nous a amené à utiliser les nombreux enregistrements de la piézométrie et du niveau des cours d'eau qui furent recueillis durant les années de surveillance systématique de l'état de la nappe phréatique dans la Combe de Savoie (travail commandité par EDF et la DDA de Savoie).

#### III.3.3.1. Principe.

Le calcul de la réponse d'une nappe à un épisode de crue dans la rivière qui l'alimente s'appuie sur deux résultats fondamentaux.

a- *Le théorème de superposition des effets transitoires* qui permet de décomposer l'hydrogramme d'une rivière en une suite d'échelons élémentaires (Bonnet-Schneider, 1969). (fig. 17).

b- *La fonction erreur* (voir formule III.3.2.1.).

Ces deux éléments vont permettre de calculer en tout point la réponse d'une nappe à une crue si l'on connaît la géométrie du système et les conditions aux limites du couple nappe-rivière.

Un programme de calcul a été conçu pour non seulement exprimer la réponse de la nappe mais également la comparer à celle mesurée *in situ* dans les mêmes conditions. Il sera donc aisé d'ajuster les résultats du calcul à la réalité observable sur le terrain (fig. 18).

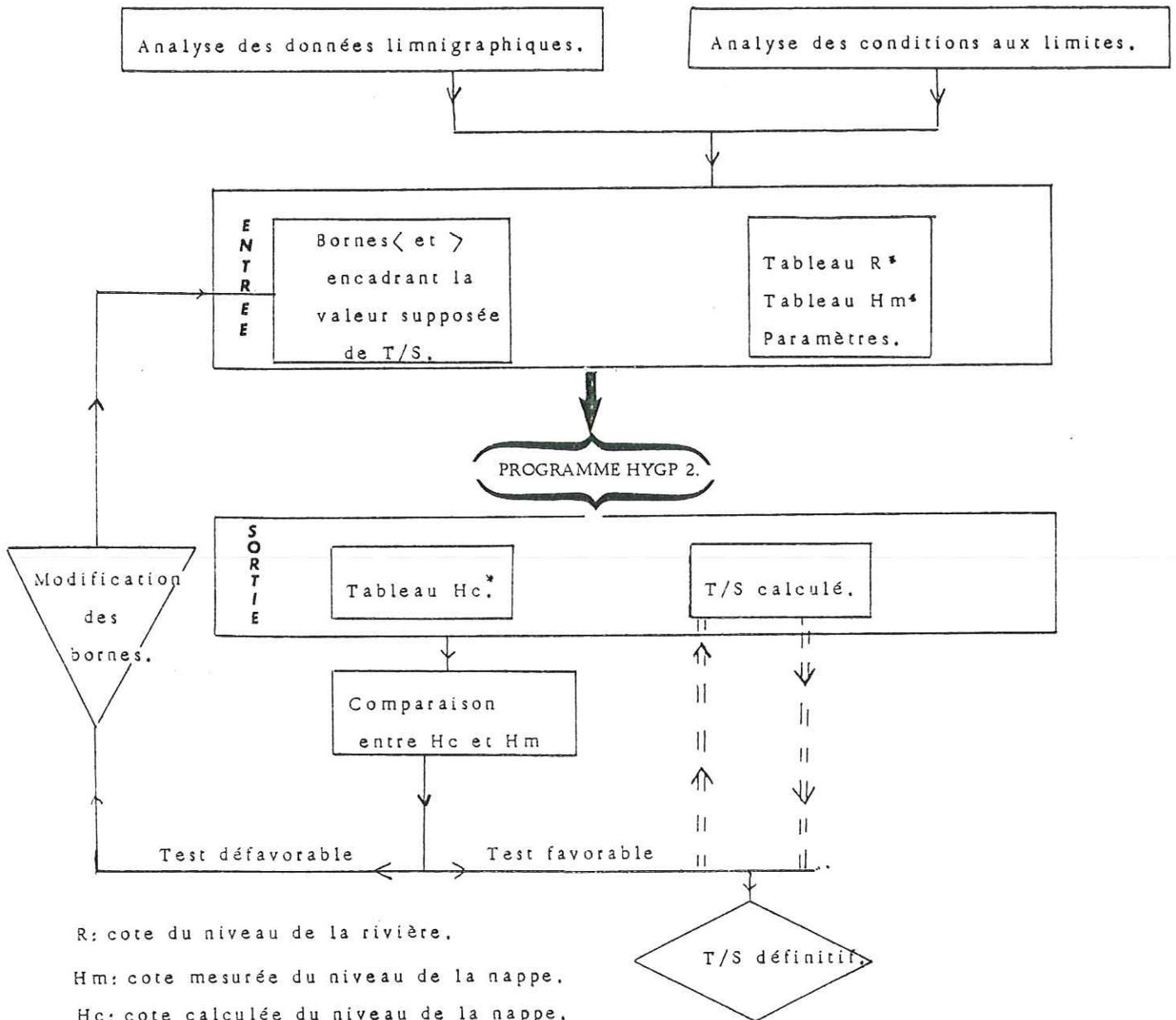


Fig.18. Schéma fonctionnel de la méthode d'étude de l'influence d'une rivière sur une nappe.

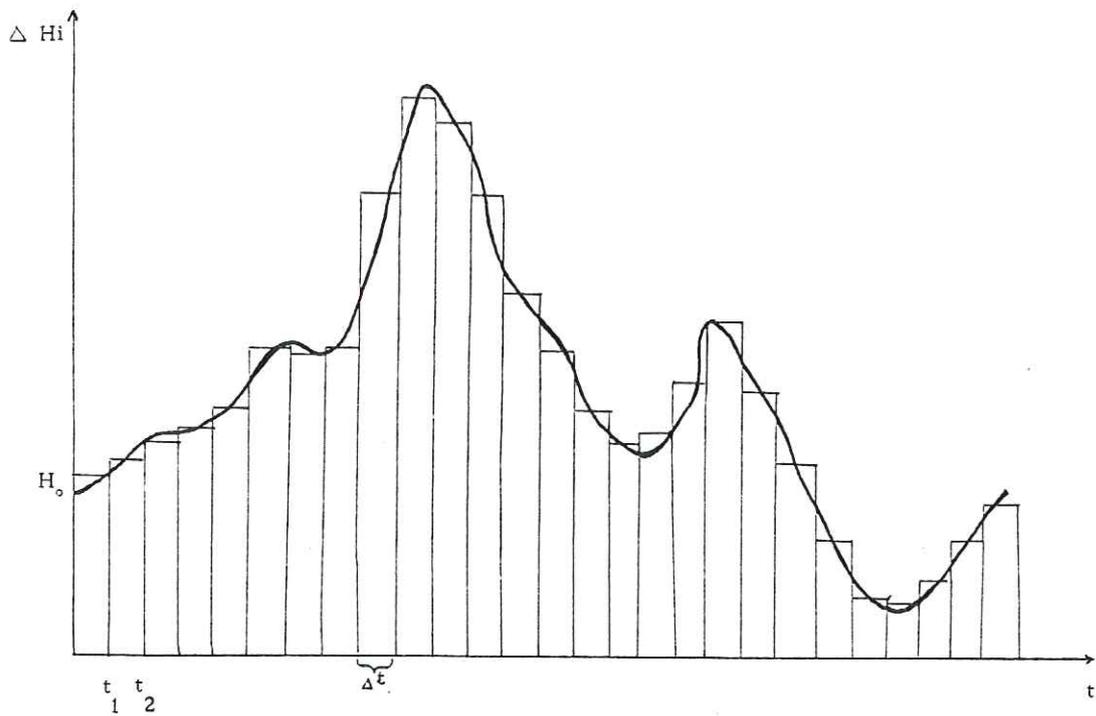


Fig. 17. Décomposition de l'hydrogramme d'une rivière en une suite d'échelons élémentaires (d'après P. Peudecerf).

Connaissant a priori la distance de la rivière au point de mesure considéré, la longueur du pas de temps et le degré de précision recherché dans la valeur optimale de  $T/S$  (plutôt que de ne tester qu'une valeur à la fois, le programme va en prélever plusieurs comprises dans un intervalle fixé au départ). Notons que seul le calculateur peut en quelques secondes effectuer les centaines d'opérations logiques et algébriques que nécessite la simulation d'un épisode même bref. A l'issue du calcul, nous disposerons donc d'une valeur de la diffusivité de la portion d'aquifère comprise entre le cours d'eau et le point de mesure dans la nappe, mais également des courbes piézométriques mesurées et calculées de la nappe attestant la qualité du réglage.

### III.3.3.2. Conditions d'emploi.

#### a- Propagation linéaire.

La fonction  $\text{erfc}$  ne s'applique qu'au cas particulier de la propaga-

tion d'ondes convergentes, il convient de rechercher une autre résolution analytique.

*b- Homogénéité verticale.*

Dans le cas d'une réelle différenciation de l'horizon aquifère avec la profondeur (ce qui n'est pas exclu dans certains secteurs du domaine alluvial) nous risquons d'aboutir à une solution aberrante. Dans ce cas il peut être envisagé de calculer deux valeurs différentes de T/S (une en hautes et l'autre en basses eaux).

*c- Pénétration d'une recharge verticale.*

Un tel phénomène perturbateur pourra en principe être décelé par la simple analyse des courbes de réponse.

*d- Sorties graphiques.*

L'option "sortie graphique" de HYG II n'ayant pu être utilisée, les courbes ont été réalisées à la main.

III.3.3.3. Remarque préalable à l'application de la méthode dans la Combe de Savoie.

Alors que nous pouvions a priori envisager d'appliquer la méthode en n'importe quel point de la plaine, il s'est avéré en fait très profitable de tenir compte des conclusions de l'étude statistique des fluctuations conjointes de la nappe et de la rivière (J.C. Fourneaux, 1975) dont le but était d'évaluer le degré de liaison entre nappe et cours d'eau. L'une des conclusions de ce travail a été d'établir qu'en certains points de la vallée, l'influence de l'Isère sans être nulle s'efface largement devant celle du versant, ce qui suffit à proscrire l'emploi de HYG II (à titre de confirmation, un essai entrepris au limnigraphe LP 120 a rendu un résultat totalement négatif). En l'occurrence les approches probabilistes et déterministes se complètent fort bien, la première permettant de définir les points où la liaison nappe-rivière est suffisamment marquée pour envisager une application satisfaisante de la seconde qui aboutira alors au calcul des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère dans un rayon donné. En définitive, cette technique a pu être mise en oeuvre en trois points de la plaine convenablement équipés en enregistreurs et susceptibles de fournir des résultats significatifs.

Fig. 19. Situation de l'essai Isère-Lp 131.

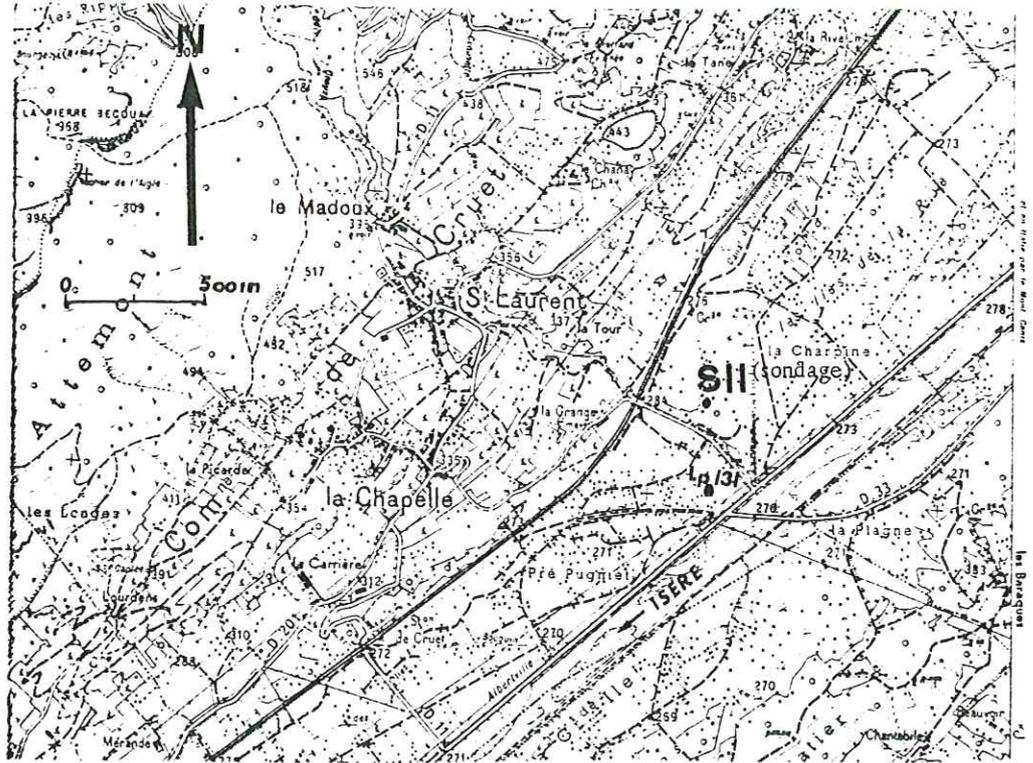
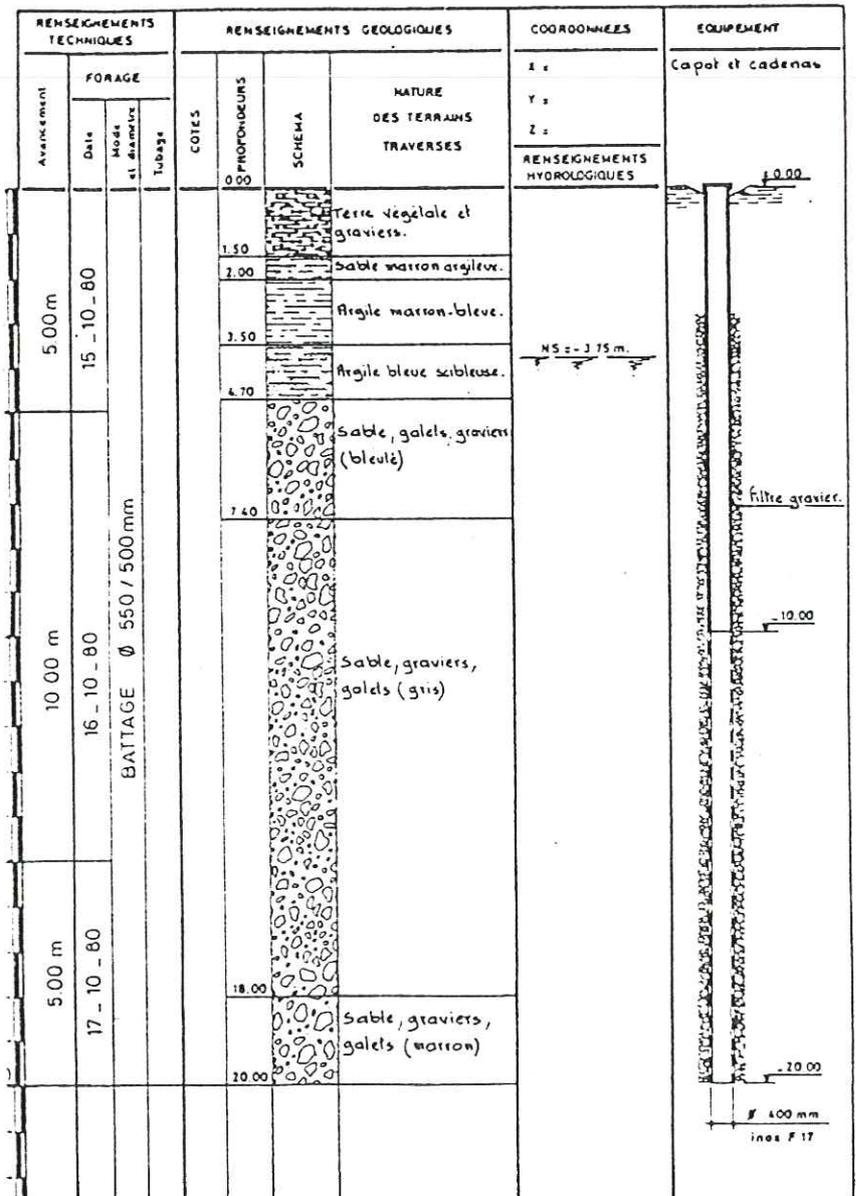


Fig. 20. Coupe géologique sondage S II à Cruet.



### III.3.3.4. Résultats expérimentaux.

#### III.3.3.4.1. Limnigraphe LP 131.

##### a- Situation.

En rive droite de l'Isère à la hauteur de Cruet, à 150m environ du cours d'eau en contrebas de la RN 9 (fig. 19 page précédente).

##### b- Géologie.

D'après un sondage (fig. 20), l'horizon sablo-graveleux est ici épais d'au moins 15m, surmonté par environ 5m de limons plus ou moins argileux.

##### c- Période d'essai.

Du 16-12-1979 au 18-02-1980 et du 20-04-1980 au 16-06-1980.

##### d- Données.

(voir tableaux IV et V).

##### e- Résultats.

1er essai :  $T/S = 0,61 \text{ m}^2/\text{s}$

2ème essai :  $T/S = 1,11 \text{ m}^2/\text{s}$

##### f- Interprétation.

L'ajustement entre courbes calculées et mesurées est assez satisfaisant bien que l'on puisse déceler une légère recharge par les précipitations. En outre, la valeur de  $T/S$  semble assez réaliste compte-tenu du contexte géologique immédiat. Enfin, il ne semble pas impossible d'envisager un colmatage partiel de la partie inférieure du lit de l'Isère dans la mesure où la liaison hydraulique optimale ne semble réalisée qu'au dessus d'une certaine cote de la rivière.

Tableau IV. (données de la fig 21).

T1 T2 TS01 TS02 EPS 2.40000E+01 1.20000E+02 1.36800E+03 5.00000E+01 1.00000E+03 1.00000E+04 1.00000E+02

DIFFUSIVITE CALCULEE T/S = 2.195E+03 M2/ APRES 9 DETERMINATIONS DE HC

PAS DE TEMPS = 24.000 DISTANCE RIVIERE-PIEZO = 150.0 METRES  
 EST CALCULE ENTRE T1 = 120.000 DIFFUSIVITES EXTREMES T/S = 1.000E+03 M2/  
 ET T2 = 1368.000 ET T/S = 1.000E+04 M2/

INDETERMINATION SUR T/S = 1.000E+02 M2/

## NIVEAU DU COURS D EAU

1.56	1.70	1.60	1.54	1.56	1.40	1.18	1.18	1.05	1.30	1.38	1.30
1.20	1.08	1.08	1.00	1.50	1.28	1.32	1.21	0.95	1.10	1.18	1.25
1.33	1.38	1.26	1.10	1.24	1.30	1.25	1.28	1.12	1.02	1.15	1.32
1.41	1.62	1.77	1.50	1.30	1.30	1.42	1.40	1.45	1.55	1.42	1.32
1.74	2.30	2.14	1.86	1.79	1.58	1.37	1.52	1.54	1.57		

## NIVEAU PIEZO CALCULE

VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON CALCULEES

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	0.91	0.88	0.78	0.92	0.99	0.95
0.88	0.79	0.77	0.71	1.02	0.92	0.94	0.87	0.69	0.76	0.81	0.86
0.92	0.97	0.90	0.79	0.86	0.91	0.88	0.90	0.80	0.72	0.79	0.90
0.98	1.13	1.25	1.11	0.97	0.95	1.02	1.01	1.04	1.11	1.04	0.97
1.23	1.63	1.60	1.43	1.38	1.23	1.07	1.14	1.15	1.17		

## NIVEAU PIEZO MESURE

VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON MEASUREES

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	0.78	0.81	0.77	0.69	0.80	0.79
0.74	0.73	0.71	0.70	0.69	0.74	0.78	0.75	0.61	0.65	0.70	0.74
0.77	0.77	0.67	0.63	0.70	0.66	0.68	0.68	0.62	0.54	0.60	0.65
0.75	1.10	1.47	1.23	1.02	0.93	0.90	0.94	1.00	0.94	0.94	2.00
2.05	1.90	1.78	1.50	1.38	1.27	1.17	1.18	1.15	1.15		

Tableau V. (données de la fig 22).

PAS DE TEMPS = 24.000 DISTANCE RIVIERE-PIEZO = 150.0 METRES  
 HC EST CALCULE ENTRE T1 = 0.000 DIFFUSIVITES EXTREMES T/S = 4.000E+03 M2/  
 ET T2 = 3000.000 ET T/S = 6.000E+03 M2/

INDETERMINATION SUR T/S = 1.000E+02 M2/

## NIVEAU DU COURS D EAU

1.50	1.52	1.45	1.30	1.22	1.30	1.37	1.40	1.39	1.40	1.20	1.03
1.15	1.11	1.22	1.35	1.37	1.26	1.00	1.10	1.23	1.26	1.30	1.30
1.10	1.06	1.10	1.24	1.14	1.37	1.40	1.12	0.94	1.11	1.24	1.24
1.40	1.54	1.73	1.45	1.45	1.65	1.85	1.73	1.61	1.37	1.24	1.13
1.28	1.38	1.30	1.30	1.29	1.24	1.22	1.42	1.46	1.41	1.58	1.67
1.50	1.42	1.33	1.29	1.33	1.28	1.21	1.09	1.08	1.24	1.34	1.22
1.28	1.42	1.50	1.58	1.65	1.73	1.82	1.78	1.61	1.59	1.73	1.86
1.99	1.90	1.72	1.61	1.53	1.54	1.53	1.62	1.72	1.71	1.79	1.80
1.88	1.86	1.85	1.91	1.75	1.52	1.56	1.60	1.49	1.61	1.82	2.07
2.15	2.37	2.15	2.10	2.05	2.10	2.58	2.81	3.06	2.60	2.41	2.26
2.10	2.09	2.22	2.20	2.18	0.00						

## NIVEAU PIEZO CALCULE

LES VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON CALCULEES

0.96	0.97	0.92	0.81	0.74	0.78	0.84	0.86	0.86	0.86	0.72	0.58
0.65	0.62	0.69	0.79	0.82	0.74	0.55	0.60	0.69	0.72	0.76	0.76
0.62	0.57	0.59	0.69	0.63	0.79	0.83	0.64	0.49	0.59	0.69	0.70
0.82	0.94	1.10	0.91	0.90	1.05	1.21	1.14	1.06	0.88	0.76	0.66
0.76	0.83	0.78	0.78	0.77	0.73	0.71	0.85	0.89	0.86	0.99	1.07
0.96	0.89	0.82	0.78	0.80	0.77	0.71	0.61	0.59	0.70	0.78	0.71
0.74	0.85	0.92	0.99	1.05	1.12	1.20	1.19	1.07	1.04	1.14	1.25
1.36	1.31	1.18	1.09	1.02	1.01	1.00	1.06	1.14	1.14	1.20	1.22
1.28	1.28	1.27	1.32	1.21	1.03	1.04	1.06	0.98	1.06	1.22	1.42
1.50	1.69	1.55	1.51	1.47	1.51	1.72	2.06	2.28	1.99	1.84	1.71
1.58	1.55	1.64	1.63	1.61	0.01						

## NIVEAU PIEZO MESURE

LES VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON MEASUREES

0.96	1.00	1.01	0.98	0.89	0.80	0.82	0.85	0.87	0.87	0.86	0.77
0.69	0.70	0.68	0.77	0.77	0.82	0.70	0.75	0.78	0.82	0.84	0.83
0.78	0.72	0.80	0.79	0.81	0.90	0.79	0.71	0.77	0.80	0.83	1.05
1.20	1.20	1.10	1.11	1.25	1.23	1.17	1.04	0.97	0.83	0.84	0.88
0.84	0.82	0.81	0.78	0.78	0.88	0.91	0.90	1.02	1.01	0.93	0.92
0.85	0.81	0.80	0.77	0.74	0.69	0.67	0.73	0.76	0.72	0.76	0.90
0.95	1.00	1.08	1.20	1.12	1.03	1.08	1.10	1.20	1.20	1.12	1.02
0.97	0.94	0.92	0.98	1.02	1.02	1.05	1.08	1.11	1.11	1.11	1.15
1.09	1.03	1.07	1.10	1.03	1.01	1.09	1.20	1.26	1.40	1.36	1.36
1.29	1.32	1.43	1.00	1.69	1.55	1.56	1.43	1.34	1.33	1.32	1.30
1.33	1.22	1.20	1.25	1.20	1.18						

Fig. 21. Relation entre les niveaux de l'Isère et de la nappe  
au Lp 131 du 16. 12. 79 au 18. 02. 80.

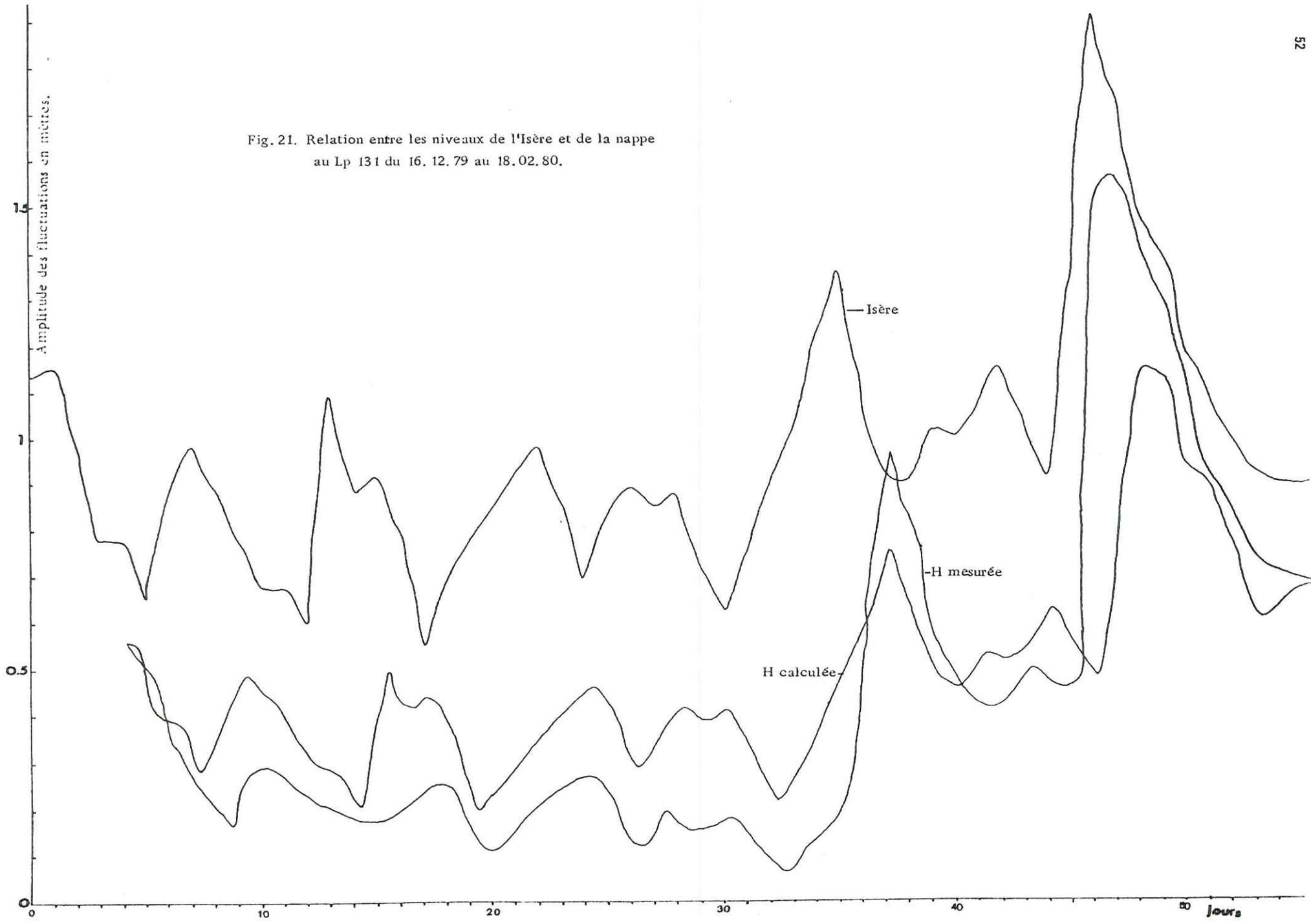


Fig. 22. Relation entre les niveaux de l'Isère et de la nappe  
au Lp 131 du 20.04.80. au 10.06.80 .



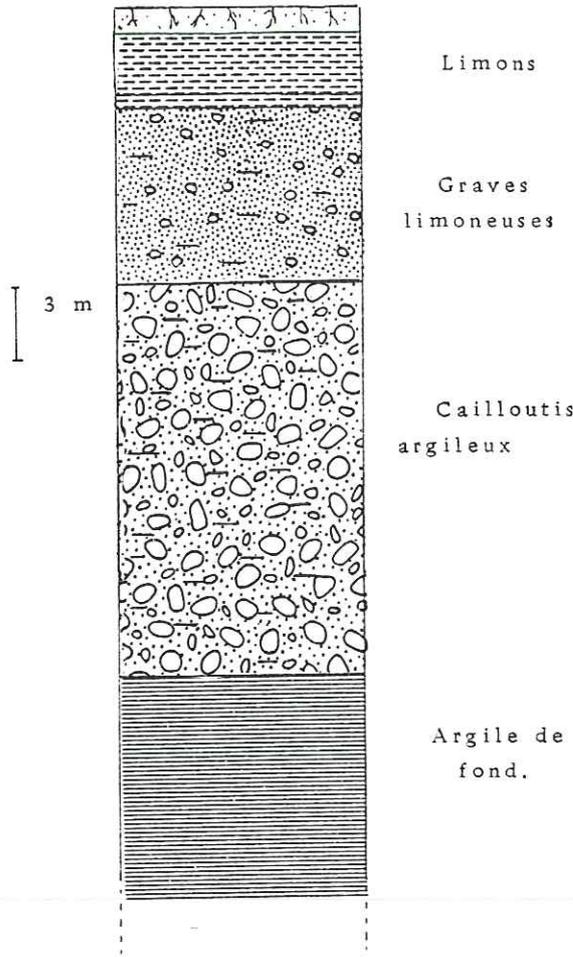


Fig. 24. Coupe géologique au Lp3. (Chamousset).

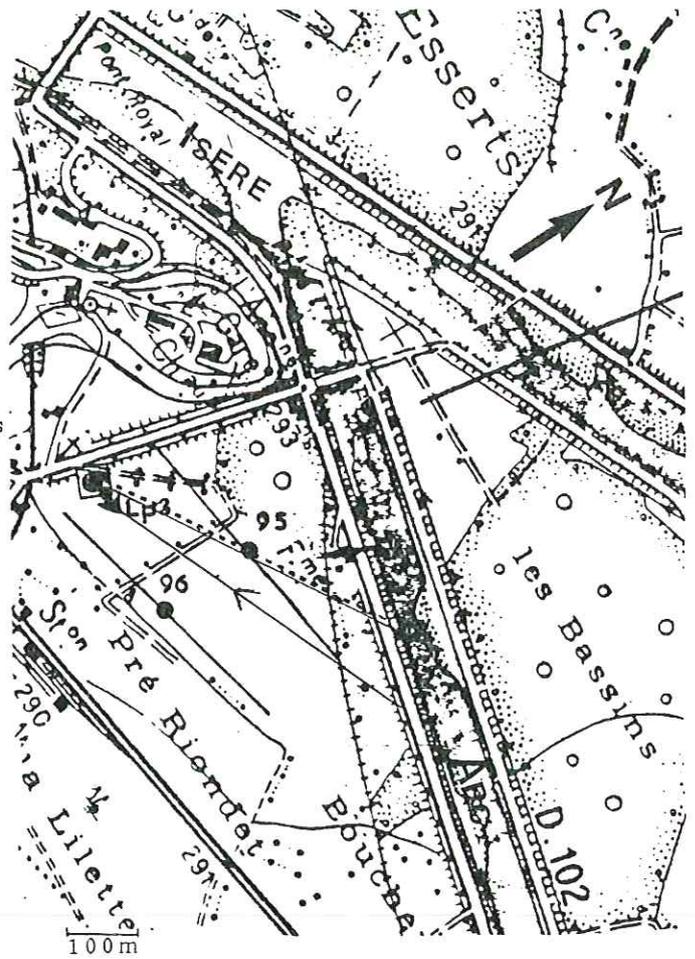


Fig. 23. Situation du site expérimental Arc-Lp3.

DIFFUSIVITE CALCULEE T/S =  $5.992E+04$  M<sup>2</sup>/ APRES 9 DETERMINATIONS DE HC  
 PAS DE TEMPS = 6.000 DISTANCE RIVIERE-PIEZO = 500.0 METRES  
 HC EST CALCULE ENTRE T1 = 24.000 DIFFUSIVITES EXTREMES T/S =  $5.000E+04$  M<sup>2</sup>/  
 ET T2 = 240.000 ET T/S =  $6.000E+04$  M<sup>2</sup>/  
 INDETERMINATION SUR T/S =  $1.000E+02$  M<sup>2</sup>/

NIVEAU DU COURS D EAU											
0.80	0.57	0.80	0.80	0.76	0.84	1.00	1.14	1.34	1.52	1.42	1.42
1.34	1.45	1.32	1.43	1.55	1.44	1.30	1.31	1.33	1.50	1.29	1.32
1.40	1.37	1.22	1.13	1.11	1.18	0.98	0.86	1.02	0.94	0.84	0.80
1.20	1.25	1.22	1.36	1.40							
NIVEAU PIEZO CALCULE											
LES VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON CALCULEES											
0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.77	0.86	0.96	1.10	1.24	1.23	1.24
1.21	1.27	1.21	1.27	1.23	1.28	1.22	1.21	1.25	1.32	1.22	1.22
1.27	1.26	1.18	1.11	1.08	1.11	1.00	0.91	0.97	0.93	0.87	0.82
1.03	1.19	1.11	1.19	1.26							
NIVEAU PIEZO MESURE											
LES VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON MESUREES											
0.00	0.00	0.03	0.00	0.73	0.82	1.05	1.10	1.18	1.37	1.42	1.40
1.34	1.20	1.26	1.26	1.26	1.29	1.28	1.23	1.21	1.18	1.16	1.13
1.09	1.76	1.03	1.00	0.99	0.95	0.93	0.92	0.90	0.90	0.88	0.84
0.35	0.86	0.87	0.88	0.00							

Tableau VI. (données de la figure 25).

### III.3.3.4.2. Limnigraphe LP 3.

#### a- Situation.

A l'entrée Nord du village de Chamousset, en contrebas de la Départementale 204, à 500m de l'Arc, en bordure d'une zone marécageuse (fig. 23).

#### b- Géologie.

On note la présence, sur une épaisseur de 3 à 4m, de limons superficiels, très argileux, surmontant un horizon plus grossier d'environ 15m de puissance (fig. 24), cette disposition a pour conséquence de maintenir la nappe dans un état semi-captif une bonne partie de l'année.

#### c- Période d'essai.

du 24-02-1979 au 4-04-1979.

#### d- Données.

(voir tableau VI).

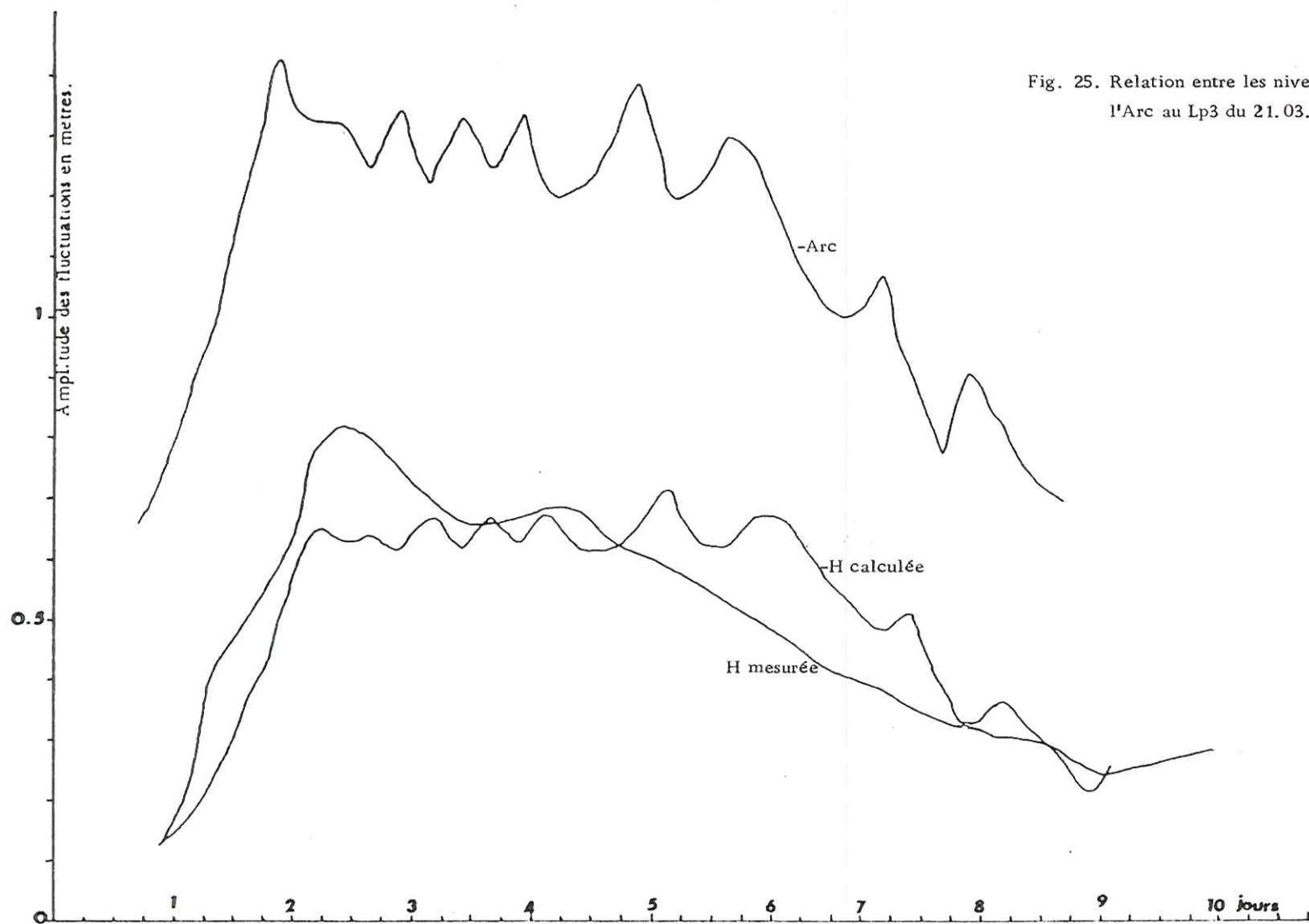
#### e- Résultats.

$T/S = 12 \text{ m}^2/\text{s}$

#### f- Interprétation.

La concordance des courbes-réponse est assez bonne dans l'ensemble (fig. 25), mais nous sommes ici à la limite de validité de la méthode à cause de la forte hétérogénéité verticale du remplissage alluvial. Il n'est pas à exclure que pour certaines positions de la nappe, interviennent des phénomènes de drainance de l'horizon supérieur qui ne peuvent être pris en compte par le programme. La forte valeur de diffusivité que l'on obtient traduit bien un comportement nerveux caractéristique d'une nappe semi-captive, mais il se pourrait qu'en période de très basses eaux, la nappe redevienne libre avec en corollaire un rapport T/S beaucoup plus faible.

Fig. 25. Relation entre les niveaux de la nappe et de l'Arc au Lp3 du 21.03.79 au 1.04.79 .





## Essai N° 1 (Fig. 28), Tableau VII

DIFFUSIVITE CALCULEE T/S =  $1.002E+05$  M2/ APRES 11 DETERMINATIONS DE HC  
 PAS DE TEMPS = 24.000 DISTANCE RIVIERE-PIEZO = 1500.0 METRES  
 HC EST CALCULE ENTRE T1 = 0.000 DIFFUSIVITES EXTREMES T/S =  $1.000E+05$  M2/  
 ET T2 = 1272.000 ET T/S =  $2.000E+05$  M2/  
 INDETERMINATION SUR T/S =  $2.000E+02$  M2/

## NIVEAU DU COURS D EAU

0.90	0.85	0.96	1.06	1.02	1.34	1.43	1.04	0.88	0.92	1.14
1.11	1.15	1.17	0.91	1.37	2.13	1.85	1.62	1.56	1.37	1.06
1.44	1.50	1.46	1.35	1.16	1.18	1.08	1.25	1.36	1.38	1.30
1.00	1.18	1.30	1.30	1.30	1.30	1.05	1.00	1.05	1.10	1.08
1.18	1.14	0.96	1.10	1.21	1.23					

## NIVEAU PIEZO CALCULE

LES VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON CALCULEES

1.28	1.26	1.30	1.36	1.36	1.52	1.62	1.46	1.35	1.33	1.43
1.45	1.47	1.49	1.37	1.56	1.99	1.97	1.89	1.85	1.75	1.57
1.72	1.76	1.76	1.71	1.60	1.58	1.52	1.58	1.65	1.68	1.65
1.48	1.54	1.60	1.62	1.63	1.63	1.51	1.46	1.46	1.48	1.47
1.54	1.52	1.43	1.47	1.53	1.56					

## NIVEAU PIEZO MESURE

LES VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON MEASUREES

1.28	1.28	1.24	1.22	1.23	1.29	1.44	1.60	1.77	1.62	1.49
1.41	1.40	1.51	1.50	1.52	1.98	2.22	2.22	2.05	1.91	1.88
1.67	1.66	1.62	1.59	1.59	1.55	1.50	1.45	1.44	1.42	1.42
1.35	1.34	1.32	1.27	1.25	192.40	1.23	1.21	1.21	1.21	1.20
1.20	1.21	1.21	1.20	1.08	0.99					

## Essai N°2 (Fig. 29), Tableau VIII.

DIFFUSIVITE CALCULEE T/S =  $5.15E+04$  M2/ APRES 10 DETERMINATIONS DE HC  
 PAS DE TEMPS = 24.000 DISTANCE RIVIERE-PIEZO = 1500.0 METRES  
 EST CALCULE ENTRE T1 = 72.000 DIFFUSIVITES EXTREMES T/S =  $5.00E+04$  M2/  
 ET T2 = 1120.000 ET T/S =  $1.20E+05$  M2/  
 INDETERMINATION SUR T/S =  $2.70E+02$  M2/

## NIVEAU DU COURS D EAU

1.27	1.57	1.54	1.61	1.62	1.65	1.55	1.60	1.75	1.93	1.72	1.63
1.65	1.59	1.47	1.53	1.62	1.74	1.87	2.00	2.10	2.32	2.37	2.34
2.16	2.07	2.45	2.36	2.33	2.35	2.27	2.38	2.47	2.32	1.96	1.66
1.52	1.44	1.41	1.42	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.32	1.44	1.52

## NIVEAU PIEZO CALCULE

LES VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON CALCULEES

0.90	0.90	0.90	1.35	1.38	1.41	1.38	1.39	1.46	1.58	1.52	1.47
1.48	1.45	1.39	1.39	1.43	1.49	1.57	1.66	1.74	1.87	1.94	1.97
1.92	1.84	2.03	2.04	2.05	2.01	2.00	2.05	2.11	2.07	1.91	1.73
1.50	1.57	1.44	1.41	1.35	1.36	1.34	1.32	1.31	1.31	1.33	1.37

## NIVEAU PIEZO MESURE

LES VALEURS NULLES DU DEBUT DU TABLEAU CORRESPONDENT AUX VALEURS NON MEASUREES

0.90	0.90	0.90	1.35	0.94	0.94	1.10	0.93	1.15	1.18	1.25	1.22
1.71	1.75	1.76	1.82	1.65	1.70	1.95	2.21	2.08	1.95	2.02	2.13
1.85	1.83	2.00	2.06	2.22	2.24	2.45	2.47	2.35	2.43	2.43	2.00
1.70	1.85	1.74	1.62	1.65	1.69	1.76	1.96	1.83	1.62	1.76	2.07

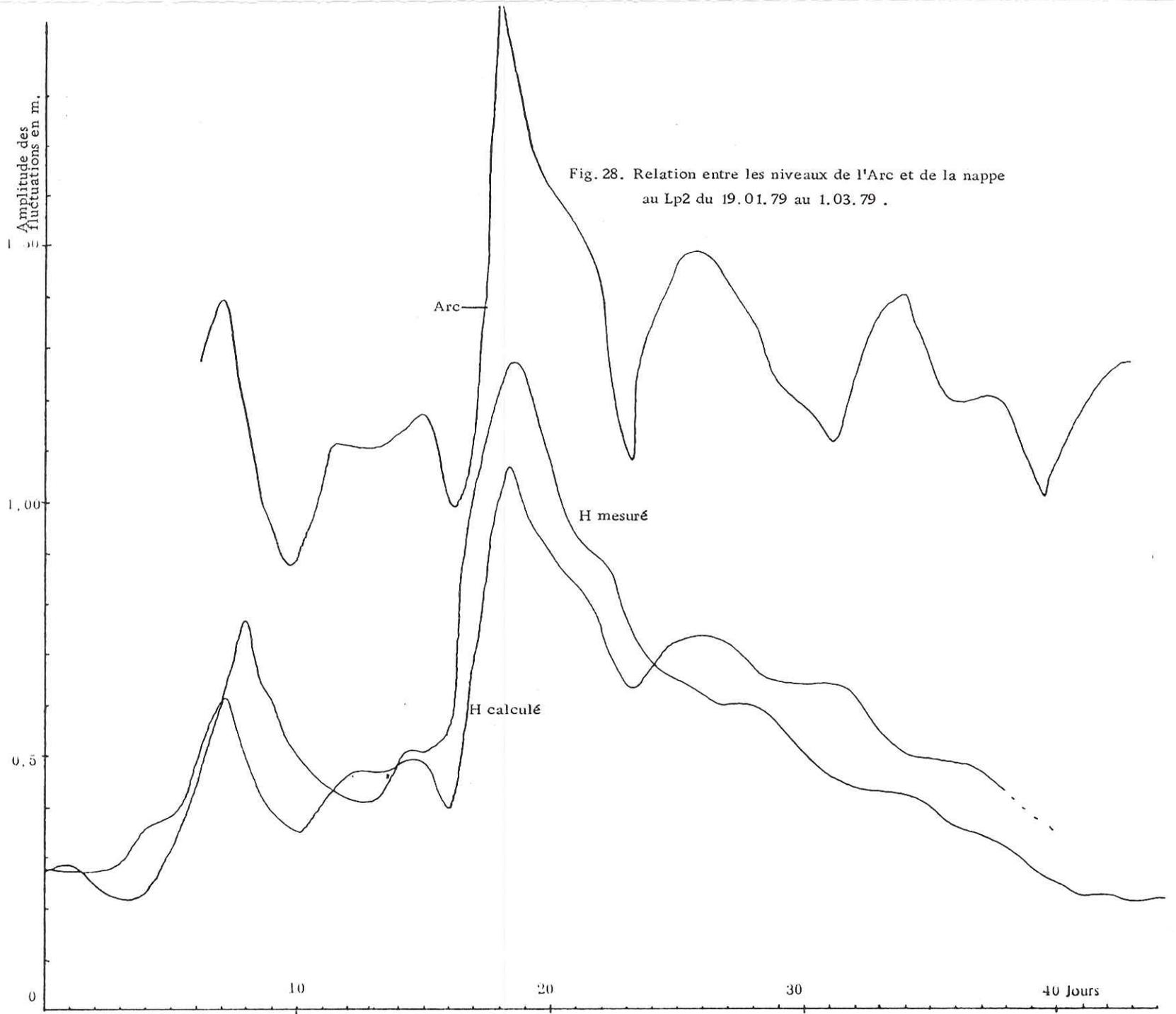


Fig. 28. Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe  
 au Lp2 du 19.01.79 au 1.03.79 .

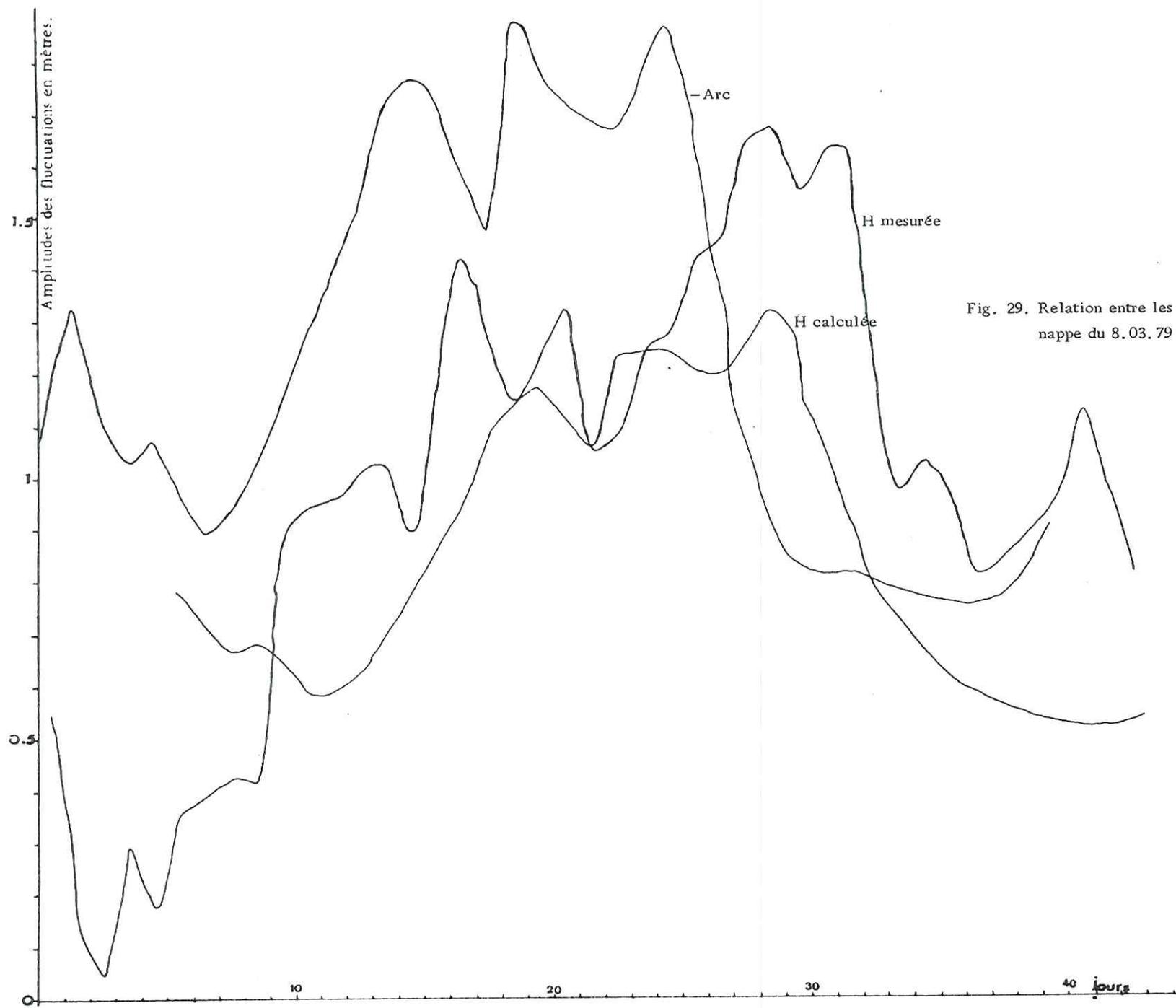


Fig. 29. Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe du 8.03.79 au 21.04.79 .

d- Données.

(Voir tableaux VII et VIII).

e- Résultats.

$$T/S = 75 \text{ m}^2/\text{s}$$

f- Interprétation.

Alors que l'on est en mesure d'obtenir un ajustement correct (fig. 28 et 29), la valeur de la diffusivité correspondante s'avère 50 fois supérieure à celle que l'on était en droit d'attendre dans de telles conditions. Il semble que les particularités locales : chenal très transmissif, variations brusques et répétées des niveaux dans la rivière contribuent à maintenir le milieu aquifère dans un état de tension mécaniquement favorable à la propagation élastique des ondes de crue. Ce phénomène est très net pour des fluctuations de courte période mais il s'atténue lorsque l'on prend en compte des variations saisonnières des niveaux dans le cours d'eau. Il faut donc admettre un effet d'échelle que nous allons tenter d'analyser plus en détail.

### III.3.3.5. Analyse de l'effet d'échelle rencontré dans l'application du programme HYP II.

#### III.3.3.5.1. Conditions expérimentales.

Les niveaux de l'Arc et de la nappe sont enregistrés par des piézomètres équipés de limnigraphes depuis 1976 dans le cadre d'un programme de surveillance mis en place et géré par E.D.F. et la D.D.A. de Savoie dans le but d'évaluer l'impact à long terme des aménagements hydrauliques (Isère-Arc en particulier).

Les hydrogrammes de l'Arc se caractérisent par des oscillations journalières (voir semi-journalières) de forte amplitude provoquées par l'activité des équipements hydrauliques.

Pour des crues importantes (1 à 2 mètres de remontée du niveau), le pic s'étale en général sur trois ou quatre jours.

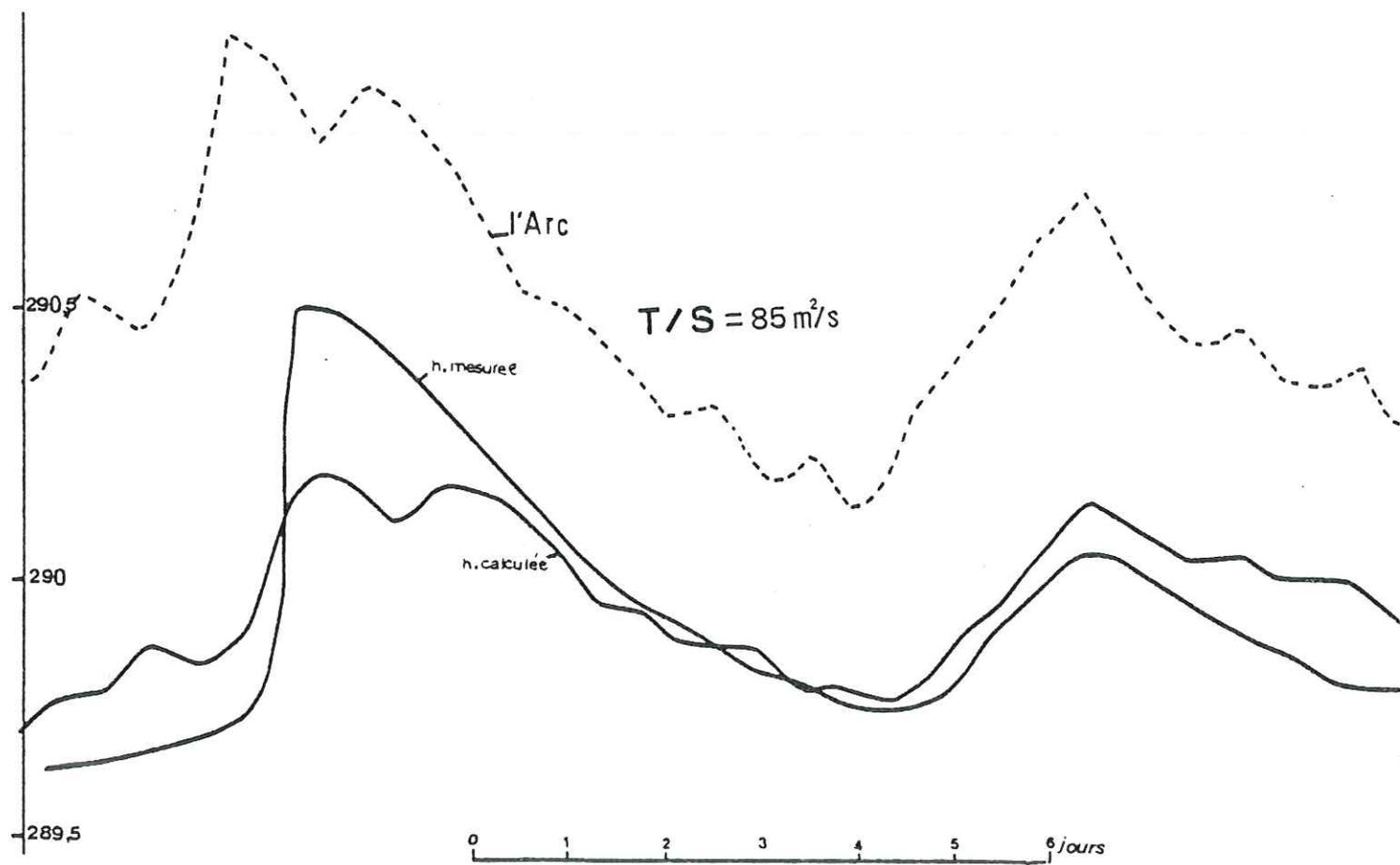
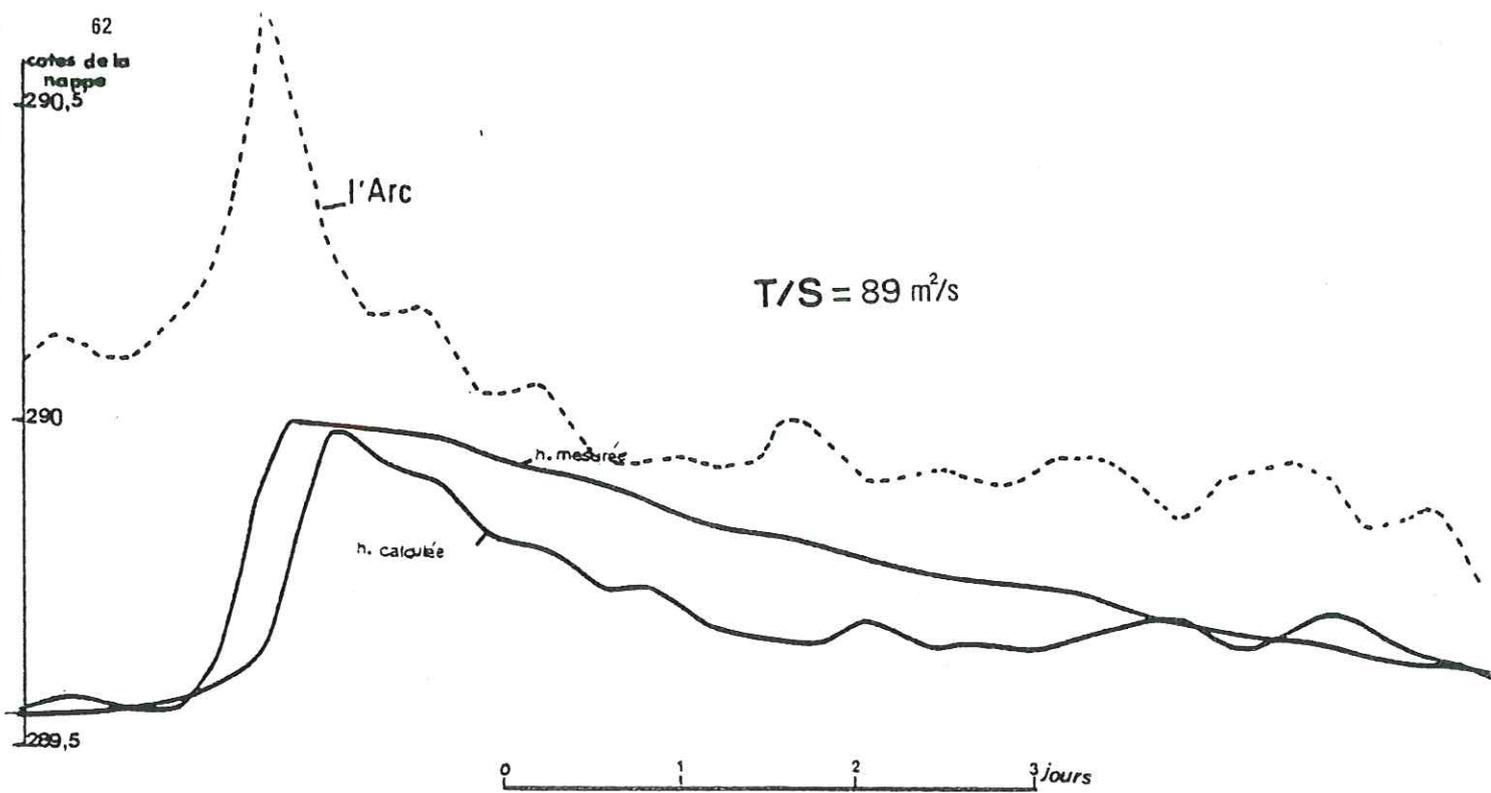


Fig. 30. Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe au lp 2 pour une crue brève.

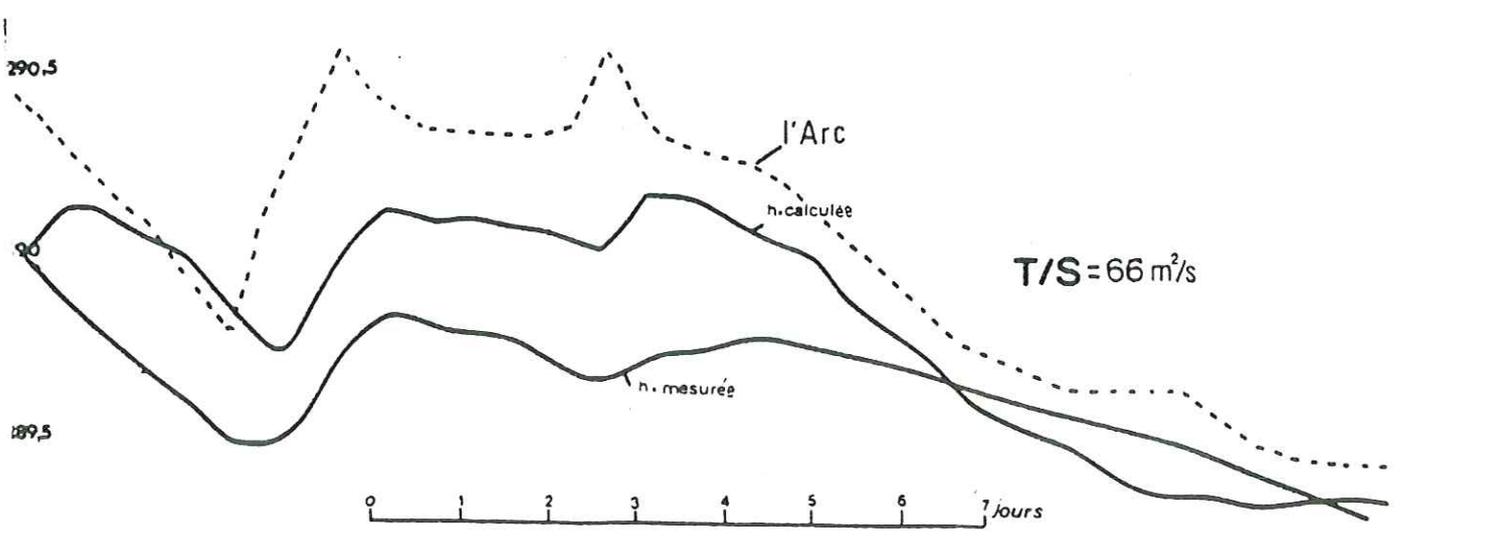
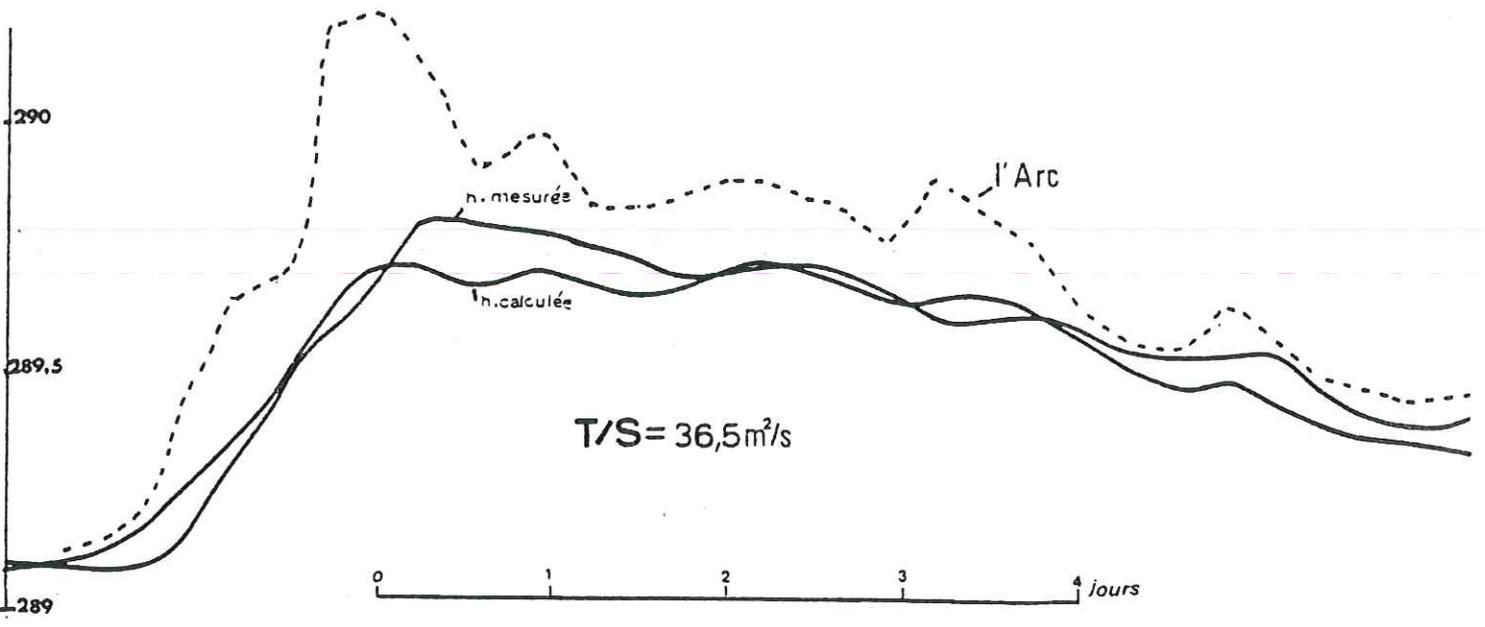
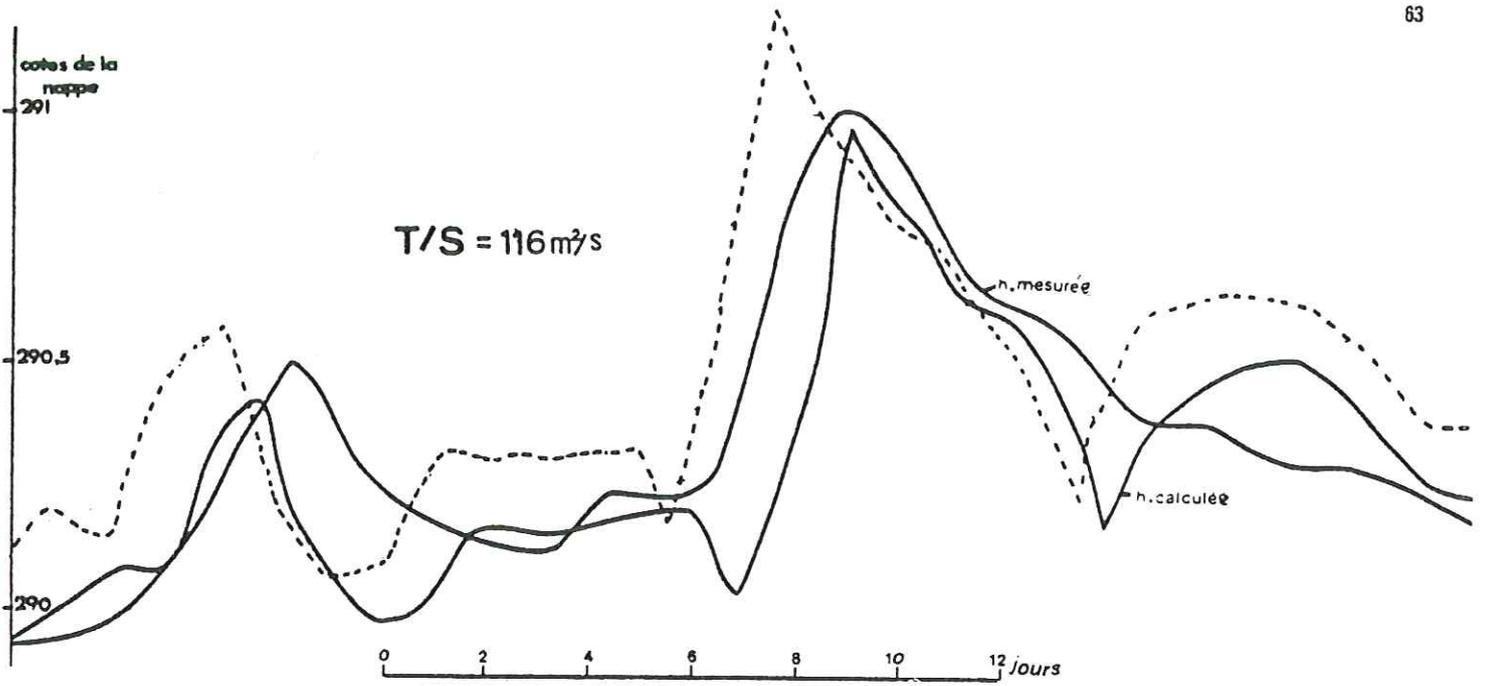


Fig. 31. Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe (suite).

Les niveaux enregistrés dans la nappe (Piézomètre LP 2) traduisent la réponse de celle-ci sous forme de pics de forte amplitude mais plus étalés dans le temps.

Des phénomènes perturbateurs peuvent intervenir tels : une recharge par la pluie ou un fort drainage par l'Isère.

On a néanmoins pu appliquer la méthode à une série de crues courtes et bien marquées ne présentant pas d'artéfacts à première vue.

Les résultats sont donnés par les figures 30 et 31 (les courbes ont été tracées à la main d'après les sorties du programme).

On note une bonne concordance des courbes mesurées et calculées mais la valeur T/S obtenue s'avère extrêmement forte (environ  $75 \text{ m}^2/\text{s}$ ) ; on peut en déduire un coefficient d'emmagasinement de 2% .

#### III.3.3.5.2. Interprétation des résultats.

L'analyse du rapport T/S calculé montre que le terme S s'apparente davantage à un coefficient d'emmagasinement élastique qu'au coefficient dynamique de la nappe. Ceci paraît logique si l'on prend en compte la faible durée du phénomène (la partie ascendante de la courbe peut s'observer en une demi-journée seulement).

De plus par analogie avec les résultats d'essais de pompage et leurs interprétations (cf. Neuman, Streltsova ), on peut considérer qu'une approche fiable du coefficient d'emmagasinement nécessite une durée d'expérimentation beaucoup plus longue.

Ceci nous a conduit à travailler sur une série de données échelonnées sur une période d'environ 6 mois ; on aboutit alors à une valeur calculée de T/S certes encore forte ( $5 \text{ m}^2/\text{s}$ ) mais déjà beaucoup plus compatible avec les données de terrain.

Il a donc été mis en évidence dans ce cas précis, un effet d'échelle important sans doute dû à un régime hydrologique très particulier du cours d'eau.

Dans le cas de variations à l'échelle journalière, il semble que l'on simule en fait la propagation d'une onde de pression en milieu élas-

tique sous l'influence des brusques variations du niveau dans la rivière.

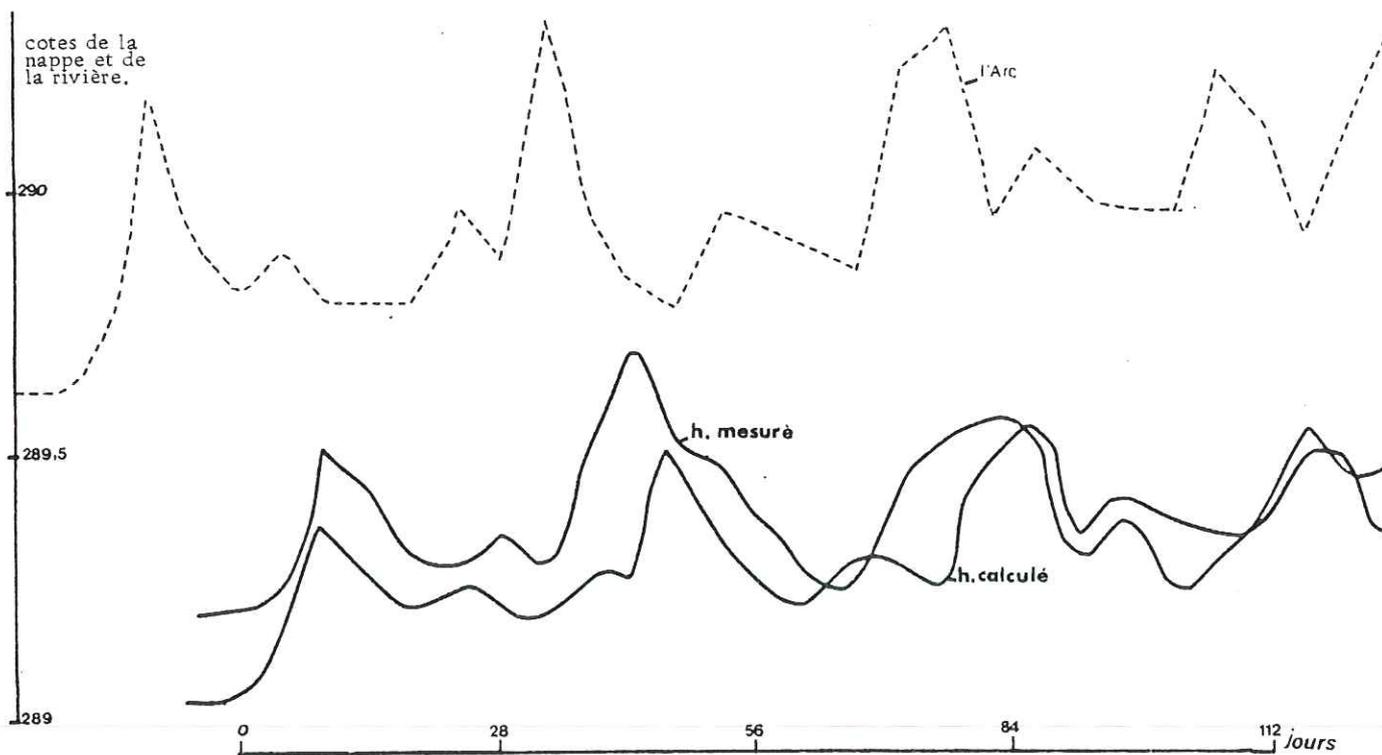


Fig. 32. Tracé montrant la relation nappe-rivière pour une période de 5 mois.

Ce mouvement peut se ramener à l'équation d'une onde sinusoidale (Castany) tel que :

$$h = h_0 \sin(2\pi t/t_0) \text{ avec } t_0 : \text{période}$$

$$\text{on aura alors : } T/S = \frac{V^2 t_0}{4\pi}$$

Pour mieux rendre compte de la réalité de ce phénomène, il serait sans doute plus rigoureux d'envisager la composition harmonique de plusieurs trains d'ondes.

Dans le cas de fluctuations de plus longue période, on simule le mouvement de la surface libre de la nappe ce qui ramené à une direction de l'espace peut s'écrire :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{S}{T} \times \frac{dh}{dt}$$

Après linéarisation du premier ordre en admettant que  $h$  varie peu par rapport au niveau moyen de la nappe (cas de la variation annuelle). C'est une équation similaire à celle obtenue pour un écoulement monodimensionnel en nappe captive.

Si  $h(x, t)$  est la charge piézométrique en un point situé à une distance  $x$  de la rivière à l'instant  $t$  :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{S}{T} x \frac{h(x, t)}{t} = 0$$

La charge étant considérée constante dans tout le système pour les temps précédant  $t = 0$ . La condition aux limites du système étant assimilée à l'évolution des niveaux du plan d'eau.

C'est la résolution de cette équation différentielle qu'effectue le programme HYPG II en chaque instant  $t$ .

#### III.3.3.6. Conclusion.

L'identification des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère à l'aide du programme de calcul HYPG II s'est révélée simple et efficace mais ces résultats doivent être replacés dans le contexte précis des conditions expérimentales pour pouvoir être interprétés de façon satisfaisante.

En tout état de cause, cette méthode nous a permis d'exploiter avec profit les nombreux enregistrements piézométriques et limnigraphiques dont nous disposons. Dans une optique analytique, son apport a été double.

*a- Calculer des valeurs de la diffusivité de l'aquifère dans des zones soumises aux influences des fluctuations de la rivière.*

*b- Révéler et caractériser des phénomènes annexes tels que : l'état semi-captif de la nappe ou une éventuelle réponse élastique aux ondes de crue.*

Nous devons en outre à cette technique d'avoir mis en lumière un notable effet d'échelle venu perturber l'ajustement du modèle.

Au bout du compte, les résultats obtenus justifient pleinement l'utilisation d'un tel outil qui, lorsqu'il ne peut fournir d'informations satisfaisantes, permet en général d'analyser les causes de l'échec et d'en tirer ainsi un enseignement profitable.

### III.3.4. Comparaison des résultats des trois méthodes.

Comme nous avons pu le voir précédemment, chacune de ces trois méthodes impose ses propres contraintes que ce soit au niveau des conditions aux limites, de la qualité des données ou bien des dimensions du champ d'investigation. Il n'est donc pas, a priori, surprenant d'obtenir des valeurs différentes de la diffusivité à l'intérieur d'une même zone sachant que tous ces résultats n'auront pas des domaines de validité identiques.

Localisation	T/S "HYGP II" en m <sup>2</sup> /s.	T/S "RECHARGE" en m <sup>2</sup> /s.	T/S "LEBEDEV" en m <sup>2</sup> /s.	S %	T en m <sup>2</sup> /s.
Cruet(Lp13 I-P16)	1, 1			13	0, 120
St-Jean-de-la-porte		0, 53		13	0, 070
Bialle aval			0, 42	13	0, 055
Les Grands prés		0, 50		13	0, 065
Bialle rive gauche			0, 25	12	0, 030
Bialle rive droite			0, 13	11	0, 015
Bourgneuf	16, 0	1, 30	1, 00	9	0, 12 à 1, 5
Triangle d'Aiton			0, 63	10	0, 063
Triangle d'Aiton(Lp2)	25, 0	0, 63	0, 43	10	0, 05 à 2, 5
Pont-de-Grésy			0, 41	12	0, 050

Tableau IX. Récapitulatif des différents résultats du calcul de la diffusivité de l'aquifère.

Notons tout de même que dans la plupart des cas, les différentes valeurs obtenues dans un même secteur sont comprises entre plus ou moins 50% de la moyenne. Parallèlement, les écarts voisins d'une puissance de 10 peuvent être expliqués par l'apparition d'un phénomène perturbateur (effet d'échelle, variations des conditions aux limites, etc...).

Nous pourrions également comparer les performances de ces trois techniques quant à leur fiabilité, leur précision et leur coût.

a- Fiabilité.

Toutes les trois peuvent être considérées comme fiables dans la mesure où les hypothèses simplificatrices qu'elles impliquent sont bien vérifiées. Dans le contexte où nous avons dû travailler, cette condition semble bien respectée pour ce qui est de la méthode de Lebedev mais moins bien en ce qui concerne le modèle HYPG II qui suppose un remplissage alluvial verticalement homogène. D'autre part, l'emploi d'abaques qui conduit l'utilisateur à estimer un bon nombre de paramètres peut entraîner un manque de rigueur, c'est pourtant cette méthode qui a fourni les valeurs les plus proches de la moyenne des autres résultats (les mieux centrées de la série).

b- Précision.

Quelle que soit la technique utilisée, la précision du résultat dépendra essentiellement de la qualité des données recueillies sur le terrain. Il s'agit donc d'envisager la précision réelle sans rapport avec le nombre de chiffres après la virgule. La méthode de Lebedev en particulier s'avère très sensible aux erreurs de mesure, en effet, une erreur de 10cm dans l'évaluation du niveau de la surface libre pourra engendrer un écart de 100% sur le résultat. La précision obtenue en employant le programme HYPG II dépend en grande partie du pas de temps choisi car plus il sera court, plus l'ajustement des courbes piézométriques mesurées et calculées sera significatif. Dans le cadre de l'étude d'une recharge brusque, les sources d'erreur sont très nombreuses et les résultats seront davantage jugés sur leur vraisemblance.

c- Coût.

Chacune de ces méthodes suppose l'existence d'un dispositif de contrôle de la nappe ; par la suite, le recueil et le traitement des données piézométriques sont d'un coût minime. Sachant qu'avec ces techniques, le volume d'a-

quifère pris en compte dépend de la longueur de la ligne de courant modélisée, nous pourrions dans certains cas disposer de résultats significatifs à une échelle kilométrique voire plurikilométrique (ce qui est rare avec des pompages d'essai de courte durée). Il peut donc s'avérer utile lors de l'installation d'un réseau de contrôle de nappe, de prévoir une certaine rationalisation du dispositif en vue d'exploiter les données qu'il produira à l'aide d'une ou plusieurs de ces techniques.

### III.4. DETERMINATION INDIRECTE DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES.

Cette démarche consiste à se donner une représentation spatiale des facteurs géologiques, destinée à servir de trame à l'interpolation des données ponctuelles concernant les paramètres hydrodynamiques. Il s'agit donc bien de chercher à bâtir un modèle conceptuel de base, étape préliminaire essentielle avant toute tentative de simulation numérique des écoulements souterrains.

#### III.4.1. Corrélation résistance transversale/transmissivité.

Au fil des campagnes géophysiques, il a pu être mis en évidence une certaine relation litho-électrique grâce à une bonne connaissance des conditions locales de gisement de la part des opérateurs, en revanche, il paraissait beaucoup plus aléatoire de rechercher une corrélation directe entre la résistance transversale et la transmissivité des terrains. Nous avons entrepris ce travail en nous référant à la thèse de J.M. Barrat (1979) "*Essai d'application de la méthode des sondages électriques à la connaissance géologique et hydrogéologique des formations plio-quadernaires landaises*" (voir également J.F. Busse, 1980). Les données de base ont été corrigées en fonction du facteur de formation :

$$F = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad R_{tc} = R_t \times \frac{\rho_w}{\rho_s}$$

$R_{tc}$  : résistance transversale corrigée.

Nous avons ainsi pu utiliser des mesures effectuées à différentes époques. Enfin, pour plus de souplesse dans le passage d'un système physique à l'autre, nous avons choisi de ne corrélérer que des rapports sans dimension :  $R_{Tc}/\bar{R}_{Tc}$  et  $T/\bar{T}$  (voir tableau XI) au bout du compte et bien que ces mesures

Localisation	$\rho_w$ en $\Omega \cdot m$	$c = \frac{\rho_w}{\rho_s}$	$\rho_s$ en $\Omega \cdot m$	H en m	$R_{tc}$ en $\Omega \cdot m^2$	T en $m^2/s$	$\bar{T}/T$	$\bar{R}_{tc}/R_{tc}$
P45	18	1,39	190	9	2377	0,014	0,23	0,41
P55	30	0,83	180	23	3580	0,015	0,25	0,62
PS3	21	1,19	260	20	6188	0,032	0,53	1,06
P39	16	1,56	400	15	9360	0,100	1,67	1,61
P51	25	1,00	140	10	1400	0,015	0,25	0,24
P48	24	1,06	161	29	4950	0,032	0,53	0,85
134	24	1,04	200	25	5200	0,020	0,33	0,89
PS1	25	1,00	360	20	7200	0,050	0,83	1,24
P61	31	0,81	280	40	8960	0,070	1,16	1,54
Lp1-P35	24	1,04	280	24	8154	0,062	1,03	1,40
Lp3-PS5	25	1,00	180	23	4140	0,072	1,20	0,71
Lp120-P21	32	0,78	260	15	3042	0,069	1,15	0,52
Lp2-132	21	1,19	270	20	6426	0,063	1,05	1,10
P39-P40	20	1,25	600	17	12750	0,140	2,33	2,19
Lp131	32	0,78	250	20	3900	0,072	1,20	0,67
Moyenne	25				5816	0,060		

Tableau X. Données de base de la tentative de corrélation:transmissivité/résistance transversale des alluvions modernes.

ne relèvent que de l'horizon sablo-graveleux, relativement homogène à l'échelle régionale, le coefficient de corrélation obtenu est de 0,76 ce qui atteste de la relation entre grandeurs hydrauliques et électriques mais n'est pas suffisant pour permettre l'extrapolation systématique de nos connaissances de la transmissivité à petite échelle. Nous en avons cependant tiré à titre indicatif une première représentation discrète des transmissivités sur l'ensemble du domaine soit l'ébauche d'un premier modèle conceptuel.

### III.4.2. Etude des cartes piézométriques.

#### III.4.2.1. Carte de gradients.

Dans un premier temps, il sera aisé de déduire de la carte piézométrique une carte des gradients (fig. 33) mais il peut être plus intéressant par la suite d'établir une carte en isovaleurs du rapport  $\frac{1}{H\tau}$  (avec H épaisseur du remplissage, nous aboutissons ainsi, à un facteur étalon près (1), à une carte des perméabilités. Il reste que le résultat de ces manipulations graphiques ne peut-être considéré comme très précis dans la mesure où les données de base (coupes géophysiques, carte piézométriques, etc...) sont elles-mêmes le produit d'interpolations graphiques. Sujette à introduire une forte distorsion entre le modèle et la réalité, cette approche ne saurait donc fournir qu'une information qualitative sur la répartition générale des perméabilités.

#### III.4.2.2. Cartes des battements.

De telles cartes ont été réalisées par J. Kyroussis (1979), elles mettent en évidence des zones d'alimentation préférentielles (Aiton, rive gauche de la Bialle, etc...) de la nappe.

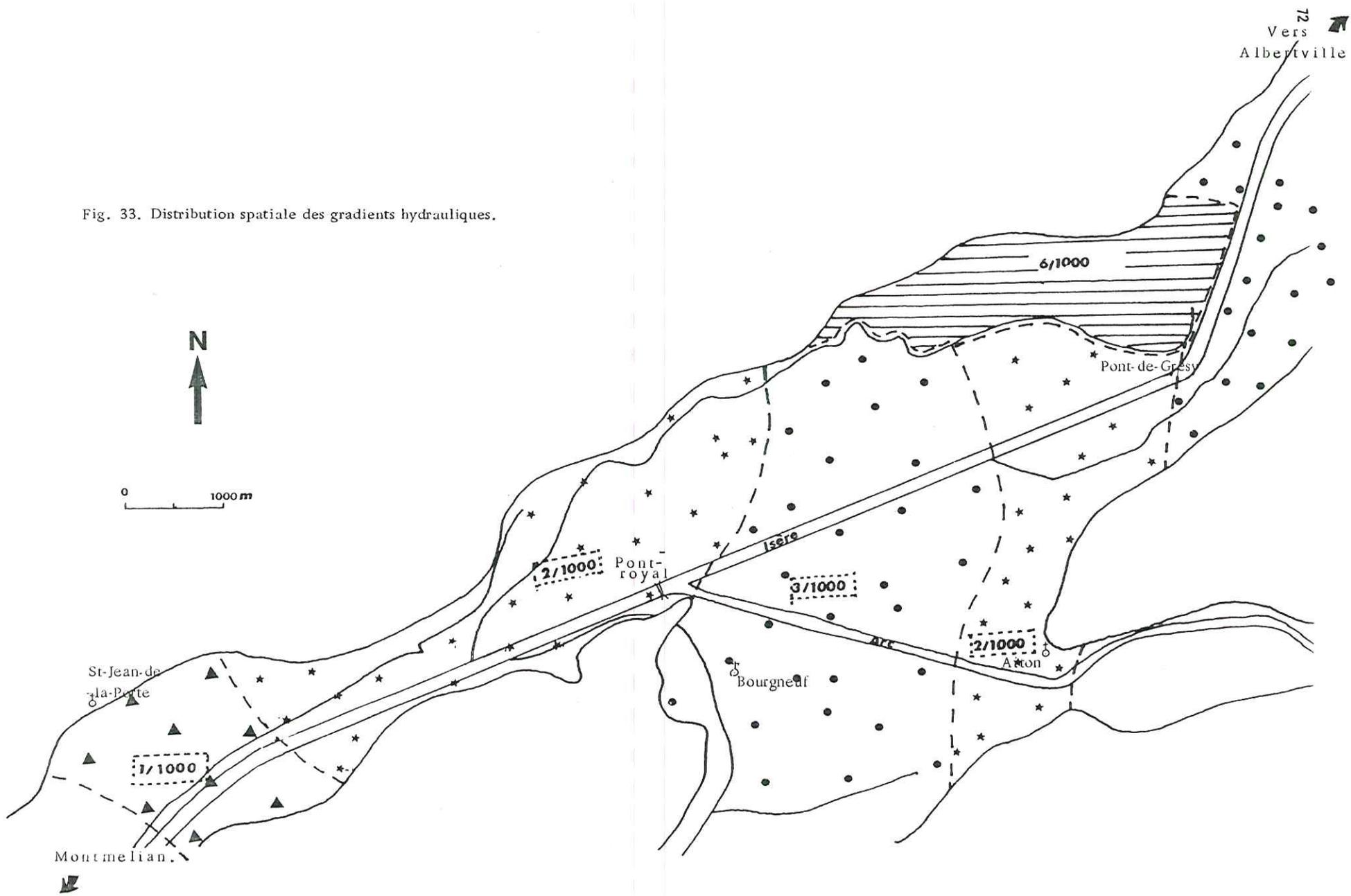
### III.5. CONCLUSION A L'ETUDE DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES.

Le coefficient d'emménagement n'a été déterminé que grâce à une seule méthode, celle d'Archie, les résultats sont néanmoins cohérents et tout à fait en rapport avec la plupart des données de références.

---

(1) En fait nous savons que le débit unitaire varie notablement d'un point à l'autre de l'aquifère en fonction des apports et prélèvements à la nappe.

Fig. 33. Distribution spatiale des gradients hydrauliques.



La diffusivité a elle été évaluée à l'aide de plusieurs procédés après l'interprétation et la critique des résultats, nous pouvons estimer avoir approché ce terme de façon satisfaisante en une quinzaine de points où nous en avons directement déduit des modules de transmissivité de la nappe.

Il est cependant très clair que, faute de mesures directes *'in situ'*, ces données ne recevront aucune vérification avant le lancement de la première simulation numérique.

## CHAPITRE IV

### LE CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET LES CONDITIONS AUX LIMITES DU SYSTEME.

#### IV.1. DONNEES CLIMATOLOGIQUES.

IV.1.1. Les précipitations.

IV.1.2. Les températures.

IV.1.3. L'évapotranspiration potentielle.

#### IV.2. LA CONDITION DE FLUX AUX LIMITES.

IV.2.1. Les apports du versant.

IV.2.2. L'Arc et l'Isère.

IV.2.3. Les canaux.

#### IV.1. DONNEES CLIMATOLOGIQUES.

Les données produites ici concernent l'année 1980, on pourra éventuellement, à titre de comparaison, se référer à l'étude hydrologique effectuée par J. Kyroussis (1978) pour les périodes 1975-1978 et 1931-1965.

##### IV.1.1. Les précipitations.

STATION	ALTITUDE	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Albertville	350m	163,6	130,9	158,9	17,6	155,7	188,1	191,4	65,3	85,5	204	78	138,6	1578 mm
La Chavane	318m	95	116,1	120,2	20,8	144,6	141,8	122,8	55,8	58,3	150,1	69,7	93,6	1189 mm
Challes les eaux	290m	93,3	88,7	143,8	27,1	126,6	159,8	155,7	52,3	86,9	163,4	99,3	98,5	1295 mm
Moyenne (1931-1965)								157	58	77				1364 mm

Le total des pluies tombées durant l'année 1980 est supérieur aux valeurs moyennes de la période 1931-1965 (1118mm à Challes-les-Eaux et 1243mm à Albertville). En revanche, les mois d'août et de septembre sont déficitaires, de plus, il n'a pas plu du 23 septembre au 4 octobre, date du relevé piézométrique de référence.

##### IV.1.2. Les températures.

Elles ont été enregistrées à Challes-les-Eaux.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOYENNE
4,2	9,5	10,1	16,5	17,4	20,6	22,9	25,3	23	15,0	8,0	3,2	14,6°C.

L'année 1980 a donc été particulièrement chaude, la moyenne des années 1947-1976 s'établissant à 10,25°C.

##### IV.1.3. L'évapotranspiration potentielle.

Nous l'avons calculée d'après la formule de Thornthwaite pour les mois de juillet, août et septembre. En retenant une valeur moyenne des précipitations...

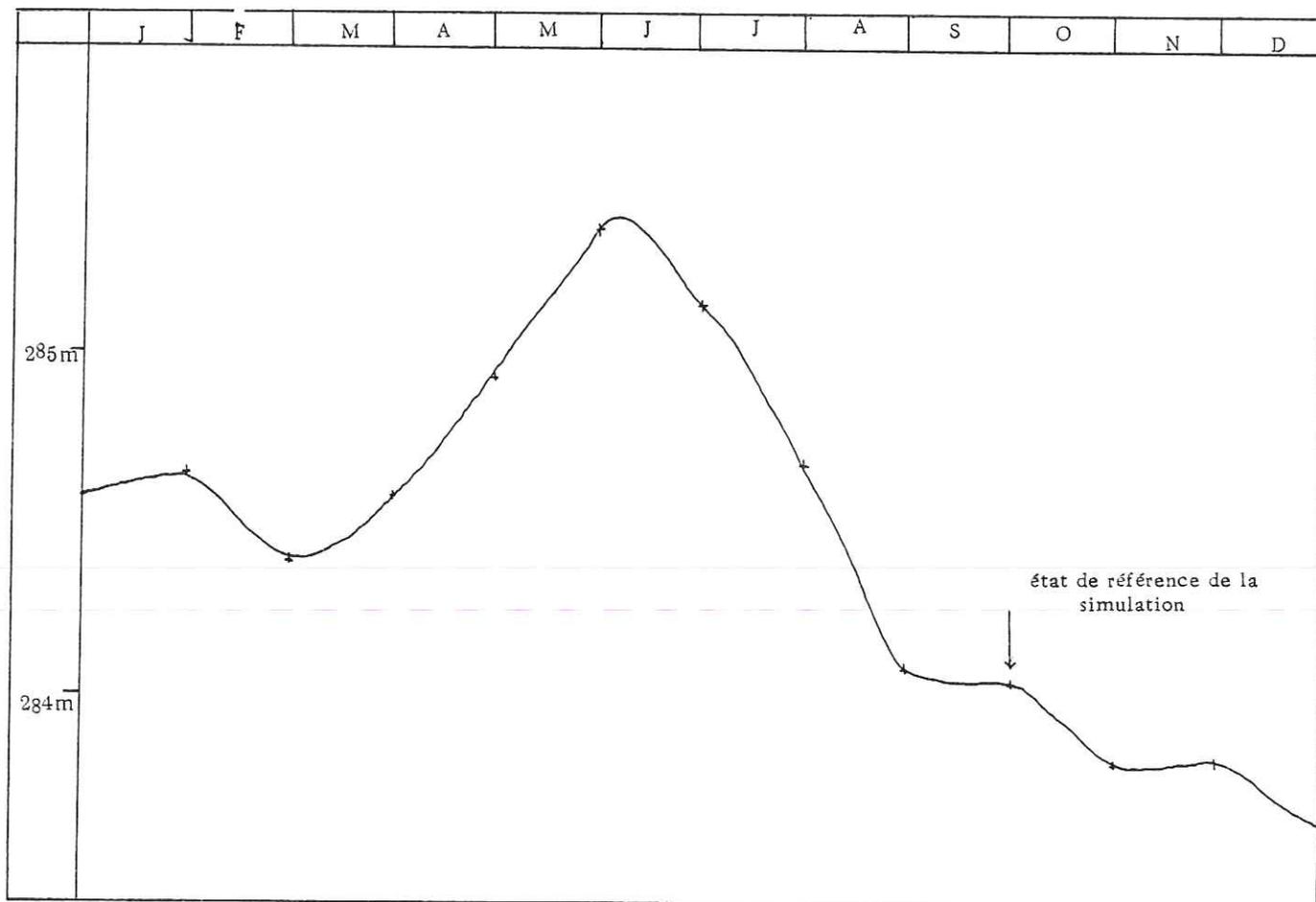


Fig. 34. FLUCTUATIONS DU NIVEAU DE L'ISERE A PONT-ROYAL DURANT L'ANNEE 1980.

pitations sur l'ensemble de la vallée, la température étant relevée à 290m d'altitude, ce qui correspond à l'altitude moyenne de la plaine de la Combe de Savoie.

$$E_{\text{pot}} = 16 \left(10 \times \frac{t}{I}\right)^a$$

I : indice thermique annuel valait 67,1 en 1980.

a : 1,55

$E_{\text{pot}}$  étant exprimée en mm

Juillet	Août	Septembre
103	125	108

#### IV.1.4. Conclusions.

L'infiltration efficace pourra donc être tenue pour quasiment nulle durant les deux mois précédant l'état de référence piézométrique (4 octobre 1980). Ce résultat permet d'exclure l'éventualité d'un effet transitoire dû à une pluie <sup>(1)</sup> ce qui nous autorise à considérer que l'écoulement de la nappe a été quasi-permanent durant cette période.

Remarquons également qu'à cette même époque, le niveau de base de l'aquifère est lui-même resté stable à un niveau très bas (fig. 34).

#### IV.2. CONDITION DE FLUX AUX LIMITES.

A la fin d'une période d'étiage prolongée, les flux échangés aux limites de l'aquifère sont :

- . pour les entrées : Le débit de transit amont de la nappe ;  
les apports du versant ;  
les apports de l'Isère et de l'Arc ;  
les débits infiltrés dans les canaux.

(1) Notons que nous avons implicitement retenu comme base de l'estimation de la pluie efficace un pas de temps mensuel, il en serait peut être autrement en considérant un pas de temps journalier ou décadaire, une infiltration très limitée dans le temps pouvant effectivement se produire et alimenter la nappe.

- . pour les sorties : le débit de transit aval de la nappe ;
- le drainage des principaux canaux ;
- le drainage par l'Isère.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'infiltration efficace a été tenue pour nulle durant la période précédant les mesures piézométriques et limnimétriques d'octobre 1980.

#### IV.2.1. Les apports du versant.

L'estimation des apports du versant se fonde essentiellement sur des critères géologiques et hydrogéologiques qui varient notablement d'une formation à l'autre (II.2.1.).

##### IV.2.1.1. Les panneaux non drainés.

Ils n'abritent que de faibles circulations localisées dans la pellicule d'altération superficielle des calcschistes du Lias inférieur et moyen. Pour la période envisagée, leur apport à la nappe a été considéré comme nul dans le secteur situé entre Aiton et Sainte Hélène sur Isère.

##### IV.2.1.2. La "Banquette" de Planaise.

Elle constitue le versant rive gauche de la plaine entre Chamousset et Montmélian, son apport a été estimé à un module d'environ 15 l/s/km provenant en majeure partie des niveaux sablo-graveleux des alluvions anciennes.

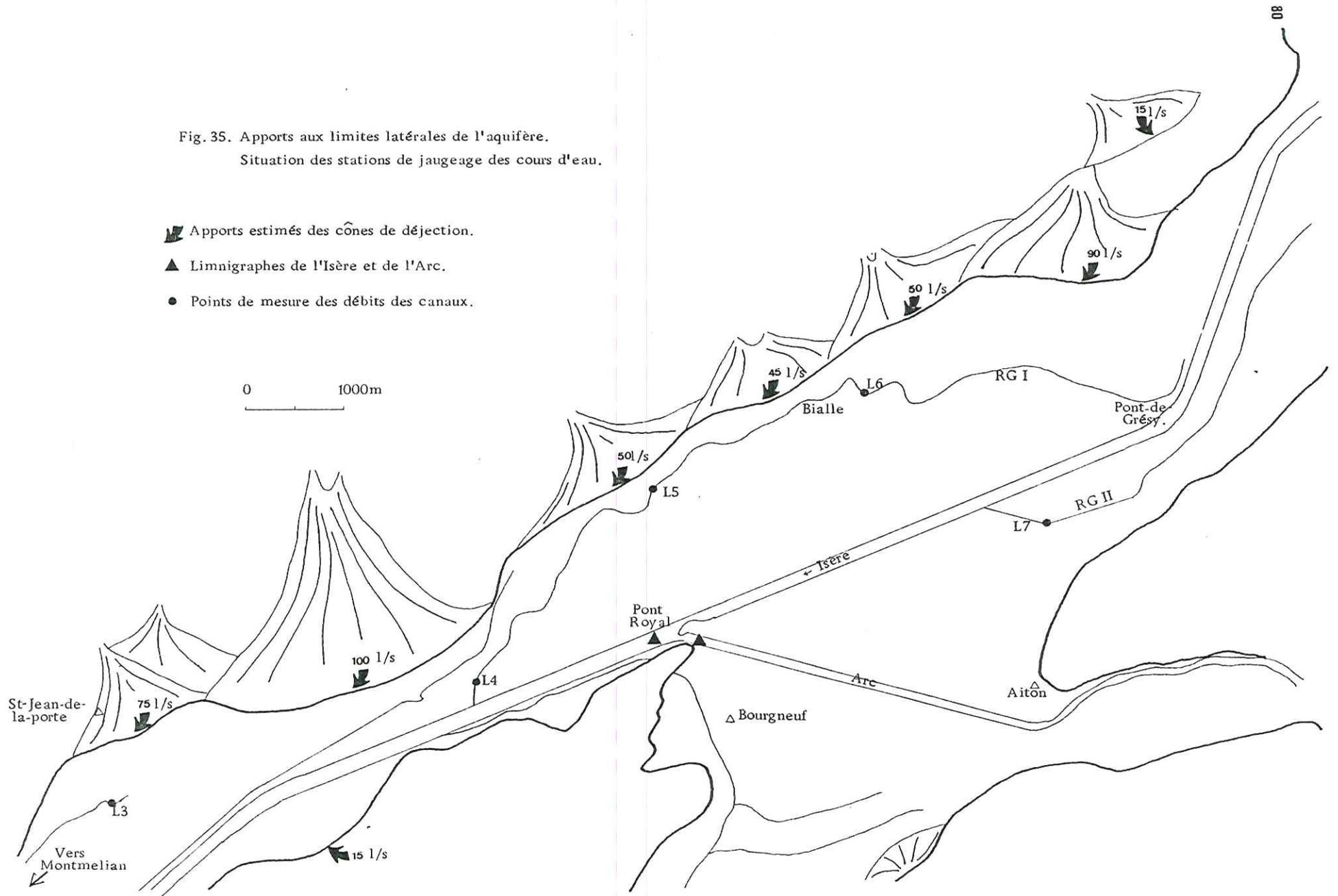
##### IV.2.1.3. Les cônes de déjection.

Tous situés en rive droite de l'Isère au pied du massif des Bauges, leur apport à la nappe est considérable. Nous avons repris des valeurs publiées par J.C. Fourneaux et J.P. Carret (1979) que nous avons complétées pour présenter un inventaire des débits de transfert à la nappe cône par cône (fig. 35). Nos estimations ont du tenir compte à la fois de la géométrie et de la lithologie des différents édifices torrentiels en analogie avec la thèse de 3ème cycle de J.P. Carret "*Infiltration dans les cônes de déjection de basse-Tarentaise, 1979*".

Fig. 35. Apports aux limites latérales de l'aquifère.  
 Situation des stations de jaugeage des cours d'eau.

- ▼ Apports estimés des cônes de déjection.
- ▲ Limnigraphes de l'Isère et de l'Arc.
- Points de mesure des débits des canaux.

0 1000m



#### IV.2.1.4. Les cônes d'éboulis.

En raison de leur position et de leur liaison avec les cônes de déjection, leurs apports ont été joints à ceux de ces derniers.

#### IV.2.2. L'Arc et l'Isère (Hydrologie de ces deux cours d'eau).

Il ne fait aucun doute (J.C. Fourneaux, 1975) que ces deux rivières fournissent à la nappe des débits très importants qui restent cependant difficiles à préciser tant ils dépendent des cotes respectives de la nappe et de la rivière, elle-même soumise à de continuelles variations. Ces débits assurent donc l'équilibre hydraulique du système nappe-rivière dans bien des cas, ils sont modulés par le degré de colmatage du lit de l'Isère (celui de l'Arc semble au contraire régulièrement décolmaté par suite d'un régime en "dent de scie"). Plus rarement, l'Isère draine la nappe ; ceci se limite à de très faibles portions en période de basses eaux (fig. 36).

D'un point de vue hydraulique, ces deux rivières se caractérisent par des profils à pente forte (2% environ). Elles ont un fort pouvoir d'érosion et de transport des matériaux, ainsi leurs cours s'établissent dans des graviers et des galets en constant déplacement (les zones d'eau morte peuvent par contre permettre l'installation de faibles épaisseurs de limons). Compte-tenu de la compétence et de la pente naturelle de ces deux rivières, le colmatage des berges semble exclu.

#### IV.2.3. Les canaux.

Il en existe un nombre important qui parcourent la plaine pour en assurer le drainage. Les principaux ont été équipés d'échelles tarées (fig. 35) qui permettent de suivre l'évolution de leurs débits durant toute l'année. Nous pourrions donc analyser leur liaison avec la nappe qui se traduira par endroit par un phénomène d'alimentation (aval de L5 sur la Bialle) ; ailleurs, ils ont un effet drainant (La Bialle à l'amont de L5, le RG II). Pour certains autres comme le Gelon, la relation avec l'aquifère semble inexistante, son lit étant installé dans des argiles imperméables.

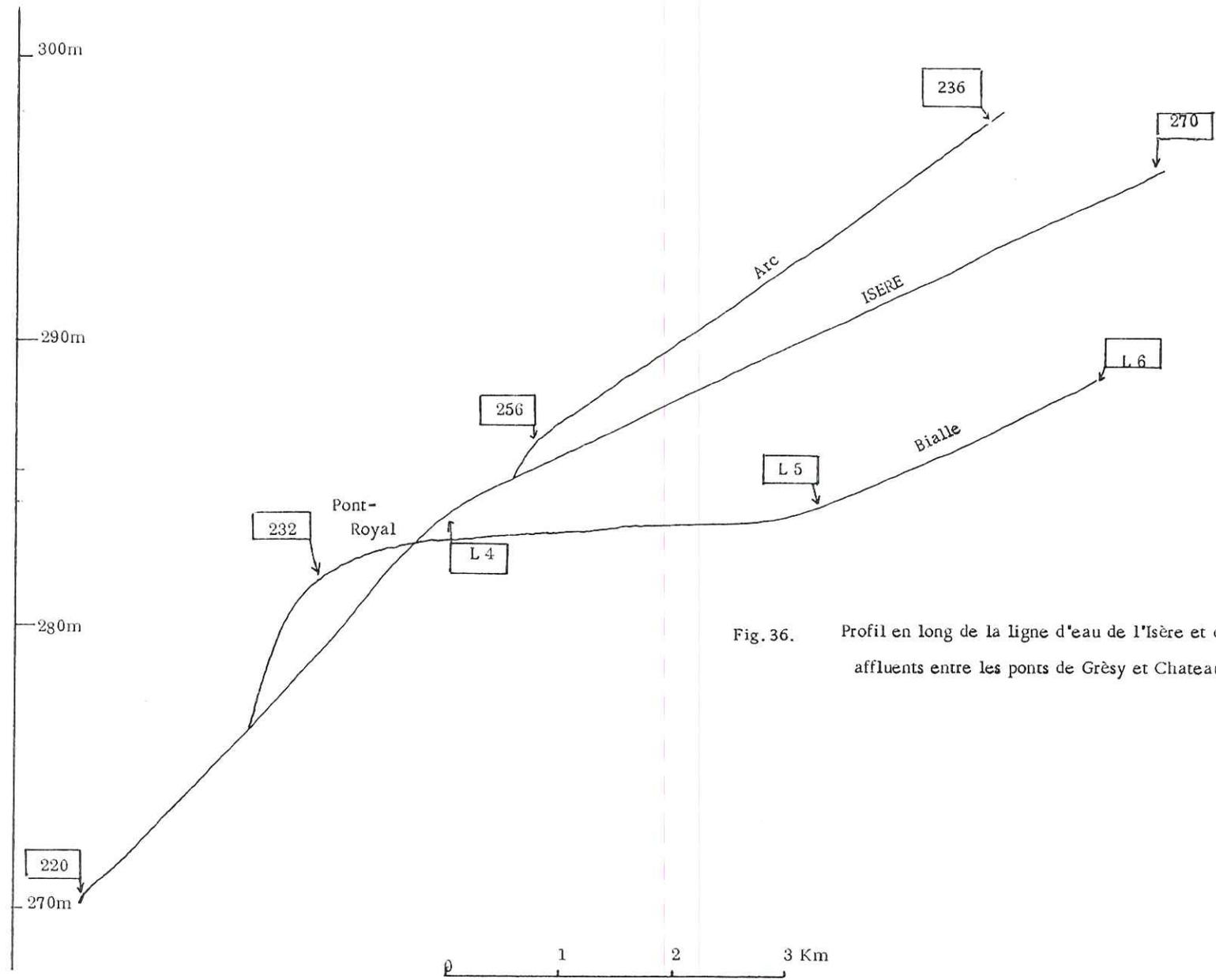


Fig. 36. Profil en long de la ligne d'eau de l'Isère et de ses principaux affluents entre les ponts de Grèsy et Chateaufort le 4 octobre 1980.

Comme dans le cas du système nappe-rivière, ces débits sont amenés à fluctuer considérablement en fonction des cotes réciproques de la nappe et des lignes d'eau de ces canaux.

Nous essaierons néanmoins d'en estimer des modules, relatifs à l'état piézométrique de référence. Notons également que le rôle de ces canaux est souvent double puisqu'en plus d'écrêter la nappe en période de hautes eaux, ils vont également recueillir une large part des apports du versant (c'est le cas entre Grésy-sur-Isère et Saint-Jean-de-la-Porte).

## CHAPITRE V

### QUALITE DES EAUX.

V.1. RAPPEL DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES EAUX DE LA NAPPE DE L'ISERE  
DANS LA COMBE DE SAVOIE.

V.2. VULNERABILITE DE LA NAPPE.

V.2.1. Les pollutions superficielles.

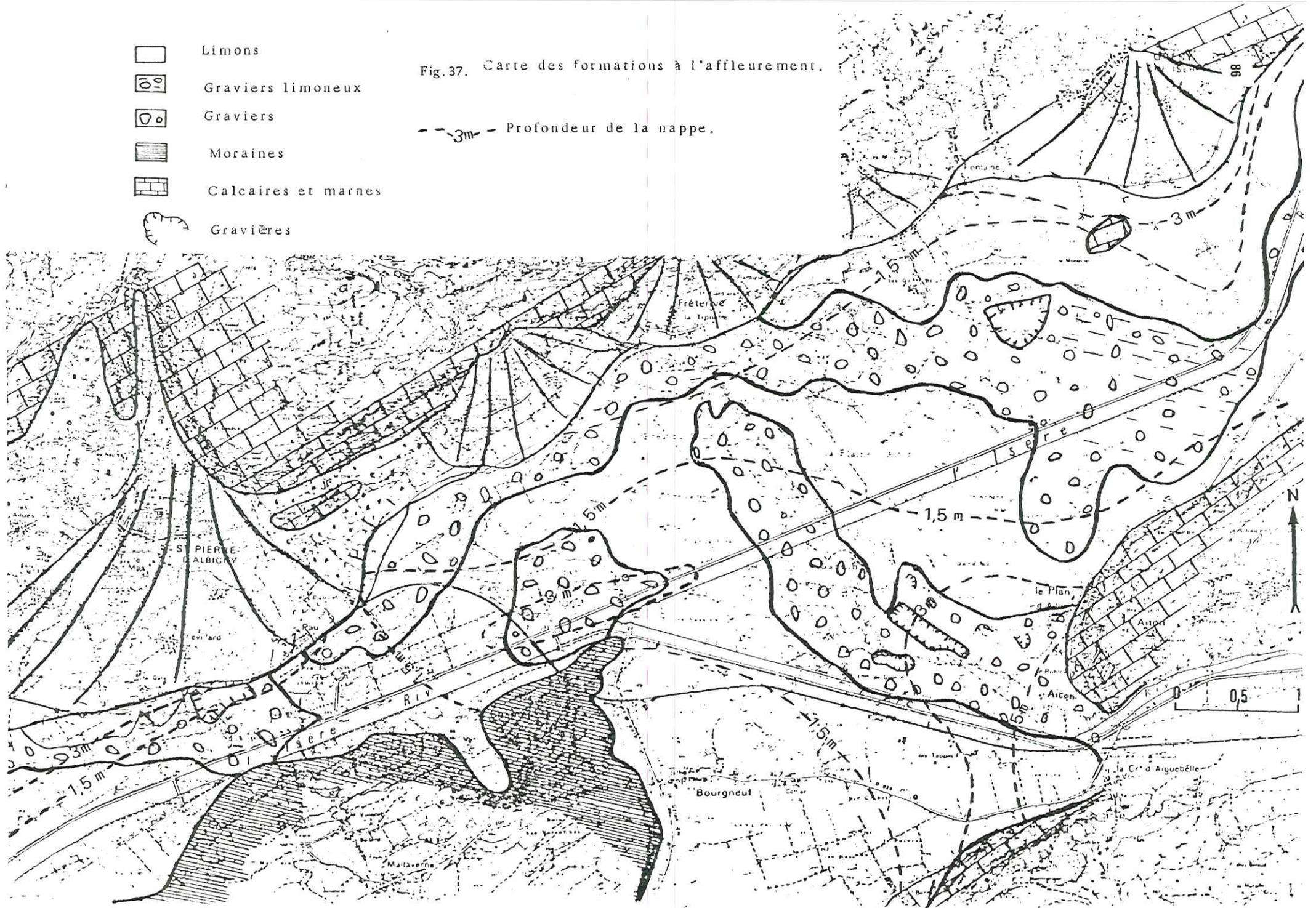
V.2.2. Les pollutions transmises par les cours d'eau.

V.3. CONCLUSION.

-  Limons
-  Gravier limoneux
-  Gravier
-  Moraines
-  Calcaires et marnes
-  Gravières

Fig.37. Carte des formations à l'affleurement.

--- 3m --- Profondeur de la nappe.



## V.1. RAPPEL DES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE L'EAU DE LA NAPPE DE L'ISERE DANS LA COMBE DE SAVOIE.

D'après les résultats de nombreuses analyses, il apparaît que l'eau de la nappe appartient au groupe bicarbonaté calcique ( $r\text{Ca}^{++} > r\text{mg}^{++}$  ;  $r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{--} > r\text{Cl}^-$ ). Leurs caractéristiques majeures sont très proches de celles de l'Arc et de l'Isère dont elles ont hérité, entre autre, un fort pouvoir agressif (Ph : 6,8) ce qui explique l'absence de niveaux indurés dans les alluvions modernes. Il faut cependant noter que cette agressivité diminue lorsque l'eau s'éloigne des zones d'alimentation axiales puisque, par réaction avec les galets calcaires, l'eau se charge de plus en plus en ions  $\text{Ca}^{++}$  (Chouteau-Fourneaux, 1971) augmentant ainsi son taux de minéralisation ( $\rho$ : 1800  $\Omega$ .cm). En revanche, les apports du versant, en rive droite en particulier auront pour effet de faire décroître la minéralisation totale de ces eaux. En conséquence, l'eau de la nappe de l'Isère s'avère être de très bonne qualité, propre à la consommation et utilisable pour toute activité agricole ou industrielle.

## V.2. VULNERABILITE DE LA NAPPE.

### V.2.1. Les pollutions superficielles

En tenant compte à la fois de l'épaisseur de la couverture limoneuse, de la profondeur de la nappe par rapport au sol, de la perméabilité de l'aquifère et de la nature de l'alimentation, il apparaît que les zones les plus exposées sont :

- la rive gauche de La Bialle où se trouve le plus souvent à moins de 1 m du sol, arrivant même à affleurer au fond des gravières les plus profondes, certaines autres étant utilisées comme décharges sauvages ;

- le secteur situé en contrebas du village de Saint-Pierre-d'Albigny pour les mêmes raisons.

Ces zones sont heureusement bien alimentées par l'Isère (20 l/s/km), ce qui assure un fort potentiel de dilution d'où les faibles teneurs en sels dissous que l'on y relève (dans le cas des nitrates, aucune analyse n'a décelé de concentrations supérieures à la norme de 44 mg/l).

POINT DE MESURE	SULFATE en mg/l.	NITRATE en mg/l.
P 54	74	3,3
P 22	112	4,6
P 25	7	30,0
P 34	90	2,8
135	34	1,9
PS 5	6	5,0
P 44	51	5,9
P 62	19	5,9
L 7	81	5,1
PS 7	4	1,9
L 5	46	3,7
138	---	9,9
L 4	63	3,3
Lp 2	35	2,4
L 6	50	3,7
L 3	15	4,3
P 61	11	1,9
Lp 3	72	2,8
P 63	---	1,5
Lp 1	58	1,1
134	48	10,3
PS 4	94	13,4
P 32	100	---
PS 2	16	5,5
P 35	17	1,7

TABLEAU XI. CONCENTRATIONS EN SULFATE ET NITRATE DES EAUX DE LA NAPPE.

### V.2.2. Les pollutions apportées par les cours d'eau.

L'Arc et l'Isère sont potentiellement des vecteurs de pollutions industrielles ou autres. L'importance de leur part dans l'alimentation de la nappe d'un secteur donné déterminera l'ampleur d'une éventuelle contamination. Dans la Combe de Savoie où la nappe est alimentée tout ou partie de l'année par ces deux rivières, le risque est présent mais il s'accroît considérablement lorsque le cours d'eau se trouve au contact de zones très transmissives (Aiton, Saint-Jean-de-la-Porte, etc...). En effet, dans ce cas, l'invasion du polluant sera facilitée et accélérée par les conditions hydrodynamiques, alors, des zones plus éloignées seront susceptibles d'être atteintes par le front de pollution. Des teneurs élevées en sulfates à proximité de l'Arc (qui on le sait achemine des eaux très sulfatées), montrent que ce schéma est tout à fait plausible.

Bien entendu, la non-exploitation de la nappe et son fort pouvoir d'auto-épuration font que la qualité des eaux n'est jamais apparue comme susceptible de poser problème. Il reste qu'un accident pourrait s'avérer beaucoup plus dommageable qu'il n'y paraît à première vue en particulier à cause du fort pouvoir transmissif de certaines parties de l'aquifère.

### V.3. CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE.

Le but de la première partie de ce travail était de réunir un maximum de données concernant un secteur d'étude susceptible d'être modélisé. Nous nous sommes donc efforcés dans un premier temps de réunir, de critiquer et d'analyser un matériel hétérogène, parfois incomplet pour, par la suite, essayer d'en tirer les diverses informations nécessaires à la mise en oeuvre d'un modèle mathématique de nappe.

Nous avons pris pour règle de ne retenir que les données les plus fiables et les plus contrôlables, quitte à compliquer les processus d'interpolation ultérieurs.

Nous pouvons néanmoins considérer avoir atteint une connaissance globale suffisante du milieu pour pouvoir envisager la réalisation d'un modèle de simulation des écoulements de la nappe même si la carence en certaines informations pourtant des plus utiles (sondages, pompages d'essai), peut nous valoir par la suite quelques difficultés.

Carte hydrochimique locale  
des concentrations en nitrate.

Fig. 38.



plus de 10 mg/l.



de 5 à 10 mg/l.



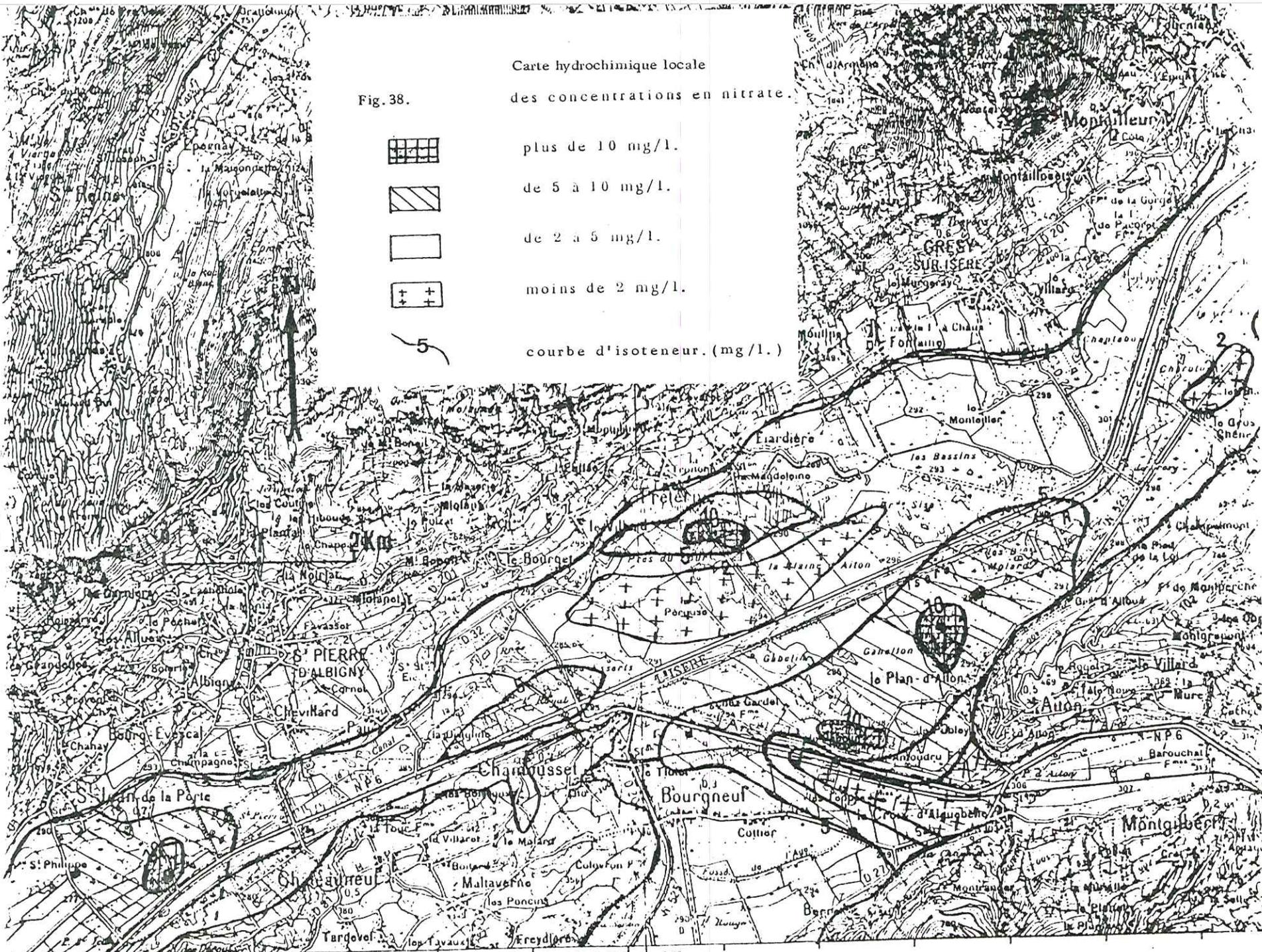
de 2 à 5 mg/l.



moins de 2 mg/l.



courbe d'isoteneur. (mg/l.)



R° Nat° N° 6 de Paris à Chambéry  
et en Italie par le Mont Cenis

D 204

D 202

R° Nat° N° 525  
de Grenoble à Roseland  
par Allevard et Albertville

D 26

906 906 907 908

Il faut enfin souligner que si dans cette phase préliminaire, les conceptions de l'hydrogéologue ont prédominé, la prévision d'une utilisation de l'outil mathématique, nous a induit à considérer les problèmes sous des aspects nouveaux (cohérence des données, fiabilité, etc...) et a parfois déterminé notre choix entre deux approches différentes ou deux orientations possibles de l'étude.

## DEUXIEME PARTIE

### CHAPITRE VI

#### BASES THEORIQUES DE LA MODELISATION DES NAPPES ALLUVIALES.

- VI.1. INTRODUCTION.
- VI.2. RAPPEL DES BASES THEORIQUES DE LA SIMULATION NUMERIQUE DES ECOULEMENTS.
  - VI.2.1. Construction de l'équation de mouvement.
  - VI.2.2. Résolution de l'équation de mouvement.
  - VI.2.3. Stratégie de modélisation.
- VI.3. DESCRIPTION SOMMAIRE DU PROGRAMME MONA A (SOGREHA).
  - VI.3.1. Généralités.
  - VI.3.2. Modalités du calcul.
  - VI.3.3. Organisation du calcul.
  - VI.3.4. Remarque.

## VI.1. INTRODUCTION.

Il n'est pas ici dans notre intention de revenir en détail sur la méthodologie du modèle mathématique appliquée aux nappes d'eau souterraines (Bonnet, 1979 - Thèse d'Etat). Rappelons simplement que le but de l'opération est d'assurer une simulation numérique des écoulements à l'intérieur de l'aquifère alluvial considéré comme l'objet à modéliser. Il s'agit donc de mettre au point un outil de simulation qui doit pouvoir fonctionner de façon fiable quelles que soient les conditions aux limites du système.

En hydrogéologie, les modèles sont fondés sur des lois physiques (Darcy, équation d'état des fluides, principe de conservation de la masse, etc...) mais ils nécessitent également l'identification des paramètres du milieu ce qui suppose la réalisation préalable d'un important travail de reconnaissance. Un modèle sera dit représentatif de l'objet qu'il se propose de figurer lorsque les réponses de ces deux systèmes à une même source d'excitation seront jugées suffisamment voisines. Dans le cas particulier des modèles de nappe, la similitude objet/modèle pourra être envisagée suivant différents critères tels que la distribution des débits, des charges, etc... (fig. 40).

Il va sans dire qu'une telle réalisation, outre son apport dans la compréhension du fonctionnement de l'aquifère, présente l'avantage de constituer un outil prévisionnel particulièrement bien adapté à la résolution des problèmes d'exploitation et de gestion de la ressource en eau d'une région. Cet aspect du travail n'a été que malheureusement trop peu abordé dans ce mémoire dans la mesure où le modèle JPONRO à son stade d'évolution actuel n'est pas encore exploitable. En revanche, sa mise en oeuvre nous a d'ores et déjà apporté une somme d'informations nouvelles concernant le potentiel et la dynamique des écoulements de la nappe phréatique dans la Combe de Savoie.

## VI.2. RAPPEL DES BASES THEORIQUES DE LA SIMULATION NUMERIQUE DES ECOULEMENTS.

### VI.2.1. Construction de l'équation de mouvement du fluide.

Nous ne citerons ici que les résultats essentiels permettant la représentation mathématique du phénomène d'écoulement en milieu poreux.

CONDITIONS NATURELLES

CONDITIONS DU PROJET

CARACTERISATION

CALAGE

VERIFICATION

EXPLOITATION

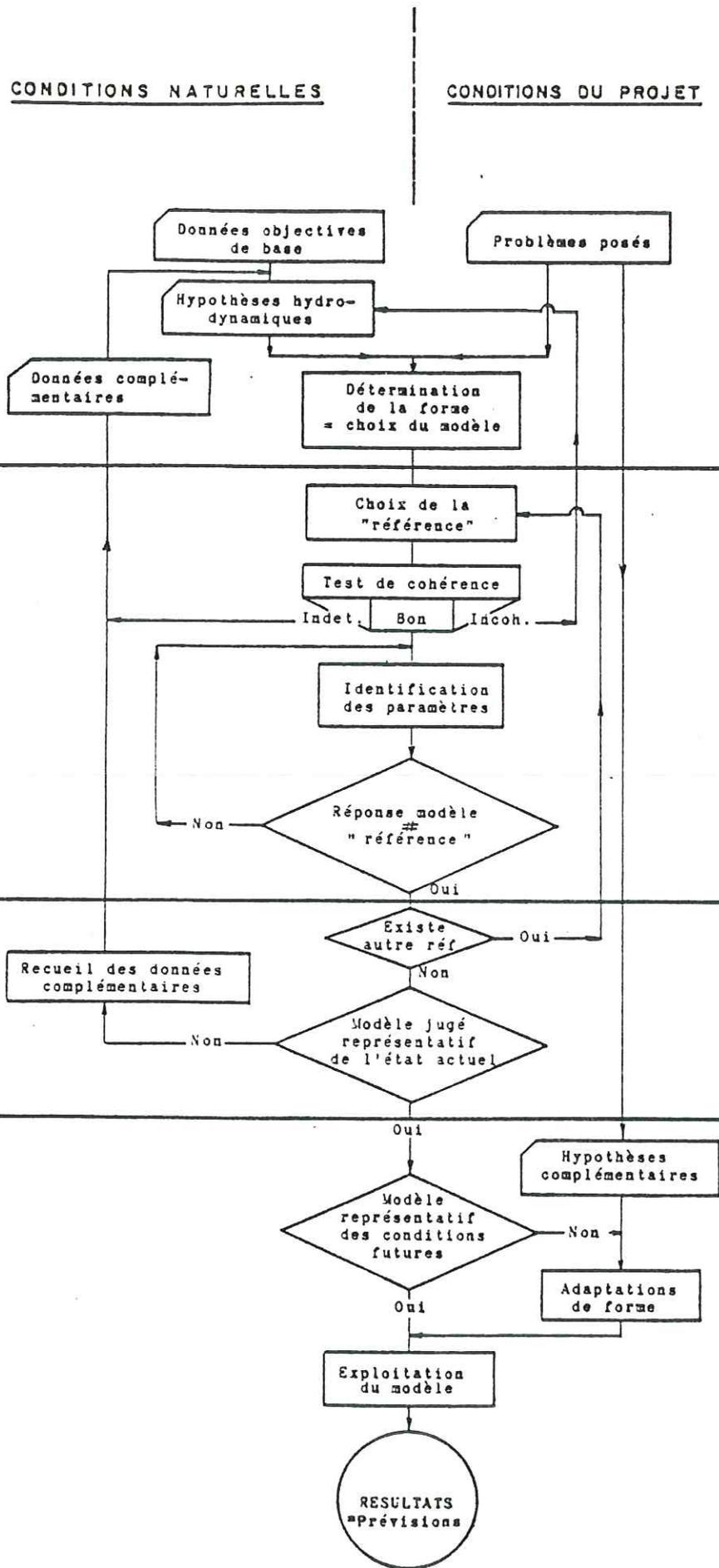


Fig. 40. ORGANIGRAMME DE LA METHODE DU MODELE (d'après M. BONNET).

### VI.2.1.1. Equation de continuité.

Elle exprime le principe de conservation de la masse du fluide en mouvement :

$$\frac{\delta(\rho u)}{\delta x} + \frac{\delta(\rho v)}{\delta y} + \frac{\delta(\rho w)}{\delta z} = \frac{\delta(\dot{w})}{dt} \quad (1)$$

### VI.2.1.2. Loi de Darcy.

Sous sa forme généralisée elle s'écrit :  $\vec{V} = - K \text{ Grad } \phi$  (2)

### VI.2.1.3. Equation fondamentale du mouvement ; on l'obtient en combinant (1) et (2).

$$\text{Div } K \text{ grad } \phi = \frac{S \, d \, \phi}{dt} \quad (3)$$

qui sous cette forme s'applique aux nappes captives. Si l'hypothèse de la bi-dimensionnalité est respectée (potentiel hydraulique constant sur une verticale) alors (3) pourra s'écrire :

$$\frac{\delta}{\delta x} [T(x,y) \frac{\delta H}{\delta x}] + \frac{\delta}{\delta y} [T(x,y) \frac{\delta H}{\delta y}] = \frac{S \, d \, H}{\Delta t}$$

Avec T : transmissivité et S coefficient d'emménagement, avec pour cas particulier pour les écoulements en régime permanent :

$$\frac{\delta}{\delta x} [T(x,y) \frac{\delta H}{\delta x}] + \frac{\delta}{\delta y} [T(x,y) \frac{\delta H}{\delta y}] = 0 \quad (5)$$

Dans le cas d'une nappe libre, après introduction de la condition de surface libre, l'équation fondamentale du mouvement obtenue est une équation différentielle non linéaire. Avec de nouvelles hypothèses il est possible d'aboutir aux équations linéaires suivantes :

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} = \frac{S \, dh}{\delta t} - \frac{Q}{T} \quad (6) \text{ en régime transitoire}$$

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} = \frac{Q}{T} \quad (7) \text{ en régime permanent.}$$

### VI.2.2. Résolution de l'équation de mouvement.

Il est théoriquement toujours possible d'obtenir une solution particulière d'une équation aux dérivées partielles (EDP) à une approximation près en procédant par différences finies dans un espace discrétisé (découpé en mailles) la solution de cette équation est une fonction de  $H$  (la charge hydraulique) c'est-à-dire une distribution de la charge sur l'ensemble du domaine (ce qui peut par exemple être figuré sous forme d'une carte piézométrique) qui satisfasse aux conditions aux limites ; concrètement on pourra écrire au centre de chaque maille le bilan des flux entrants et sortants.

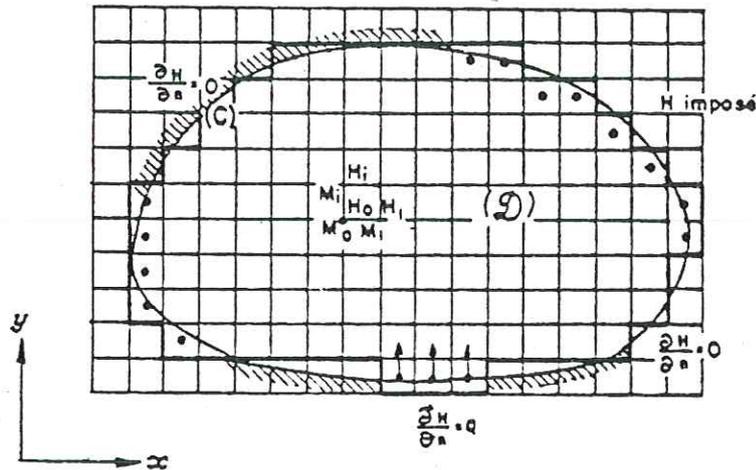


Fig. 39. Discretisation du domaine d'intégration d'une équation aux dérivées partielles (d'après M. Bonnet).

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{1}{2} (T_W + T_C) (H_W - H_C) \\
 &+ \frac{1}{2} (T_N + T_C) (H_N - H_C) \\
 &+ \frac{1}{2} (T_E + T_C) (H_E - H_C) \\
 &+ \frac{1}{2} (T_S + T_C) (H_S - H_C)
 \end{aligned}$$

on obtiendra ainsi sur l'ensemble du domaine une combinaison linéaire de  $n$  équations à  $n$  inconnues qui possède pour solution unique  $\vec{H}$ .

Pour un grand nombre d'équations (plus de 100 mailles) le système linéaire  $\vec{T} \times \vec{H} = \vec{SM}$  n'aura qu'une solution numérique à l'issue d'un processus de résolution itératif (Gauss-Seidel, surrelaxation par bloc, directions alternées, etc...).

Le résultat d'un tel calcul sera donc une représentation discrète de la charge hydraulique  $\vec{H}$  sur le domaine D.

### VI.2.3. Choix d'une stratégie de modélisation.

Suivant l'approche traditionnelle de ce type de problème, nous avons été amenés à adopter une méthode indirecte d'identification des transmissivités de la nappe. Ceci nous a donc orienté vers un réglage manuel dit par "essais et erreurs" qui ne nécessite qu'une estimation initiale des paramètres et conditions aux limites ainsi qu'un état de référence (défini ici par une piézométrie relevée en fin d'été).

La comparaison des charges calculées et mesurées aux noeuds du réseau maillé permettra, grâce à l'intervention d'un algorithme améliorant intégré au programme, de parvenir à une solution optimale compte-tenu des paramètres introduits initialement, ensuite ceux-ci seront modifiés si besoin est mais leur module ne devra pas sortir d'une fourchette de valeurs préalablement définie dans le modèle conceptuel. C'est en partie le respect de cette contrainte (ordre de grandeur des perméabilités par exemple) qui assure la plausibilité du résultat final. Nous ne chercherons à identifier qu'un paramètre à la fois de manière à nous trouver en face d'un problème bien posé présentant une solution unique.

Notons que le bon déroulement du processus de "calage" dépend à la fois de la qualité des données de base injectées dans le modèle (en particulier d'une bonne définition de l'état de référence) et de l'expérience de l'opérateur puisqu'il n'existe pas encore d'algorithme (ou tout autre procédé) qui permette un réglage automatique du modèle de nappe.

La convergence vers la solution optimale nécessite à la fois un outil de calcul puissant, un point de départ judicieux et l'intervention aussi fréquente que nécessaire de l'utilisateur.

MOYENS D'INVESTIGATION	STRUCTURE	HYDRODYNAMIQUE	CONDITIONS AUX LIMITES.	TYPOLOGIE DU SYSTEME.
LEVES DE SURFACE GRANULOMETRIE SONDAGES	NATURE DU REPLISSAGE	PERMEABILITES		ETAT DE LA NAPPE
GEOPHYSIQUE	GEOMETRIE DE L'AQUIFERE.	EMMAGASINEMENT		NOMBRE DE COUCHES NATURE DES TERRAINS
PIEZOMETRIE	PROFONDEUR DE LA NAPPE.	GRADIENT	LIMITE D'ALIMENTATION LIMITE ETANCHE	REGIME D'ECOULEMENT.
ANALYSE DES BATTLEMENTS		DIFFUSIVITE		REGIME D'ECOULEMENT
HYDROMETRIE			VALEURS DES FLUX ECHANGES.	
CLIMATOLOGIE			INFILTRATION EFFICACE	
LIMNIMETRIE		DIFFUSIVITE	POTENTIELS IMPOSES	

Fig;41. UTILISATION DES DONNEES AU COURS DE LA CONSTRUCTION DU MODELE.

### VI.3. DESCRIPTION SOMMAIRE DU PROGRAMME MONA-A (SOGREAH).

#### VI.3.1. Généralités.

Ce programme est un outil de calcul en régime permanent destiné à être mis en oeuvre aussi simplement que possible dans le cadre des écoulements de nappe (qu'elle soit libre, captive ou mixte). L'ensemble des données qu'il nécessite a été restreint dans toute la mesure du possible.

L'écoulement est supposé entièrement défini par une répartition bi-dimensionnelle de la charge  $H(x,y)$  (hypothèse de Dupuit).

Dans le cas d'une nappe libre, la cote piézométrique et la cote de la surface libre sont supposées identiques (hypothèse de surface libre de Forcheimer et Boussinesq), le substratum étant, lui, considéré comme quasiment horizontal. Les perméabilités sont donc indépendantes de la cote de la nappe.

#### VI.3.2. Modalités du calcul.

L'écoulement est régi en tous points par les deux lois fondamentales :

$$\text{div } Q_1 + Q_{EX} = 0 \text{ (principe de continuité).}$$

$$Q_1 = T \text{ grad } H \text{ (Loi de Darcy)}$$

Avec :  $Q_1$  = débit entrant à travers une surface verticale de largeur unité, en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$Q_{EX}$  = débit d'échange avec le milieu extérieur en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$H$  = charge hydraulique ou cote piézométrique en m.

$T$  = transmissivité en  $\text{m}^2/\text{s}$ .

La cote piézométrique est calculée aux intersections des lignes du maillage.

Une condition de niveau au moins doit être imposée sur le modèle. La méthode de calcul utilisée revient à exprimer le bilan des débits entrant dans chacune des mailles du modèle.

Le système d'équations étant linéaire ou linéarisé à chaque itération du calcul (cas des nappes libres), il est possible de déterminer une solution améliorante par une méthode directe de résolution, celle d'élimination de Gauss.

#### VI.3.3. Organisation du calcul.

Il se décompose en trois étapes :

a- lecture et contrôle des données.

b- mise en équation du bilan d'eau dans l'ensemble des mailles où la cote piézométrique est inconnue et résolution du système d'équations.

c- sortie des résultats du calcul sur imprimante et éventuellement dessin de cartes en isovaleurs.

#### VI.3.4. Remarque.

L'utilisation de cet outil de calcul s'est avérée à la fois sûre et aisée pour un opérateur peu averti des subtilités de son maniement.

Ce programme présente en outre l'avantage certain d'être bien adapté au type de problème posé (simulation de l'écoulement d'une nappe en régime permanent) et il permet en tout état de cause une modélisation complète des phénomènes hydrodynamiques affectant le système aquifère étudié en l'occurrence ce celui de la Combe de Savoie.

## CHAPITRE VII

### REPRESENTATION D'UNE PARTIE DE L'AQUIFERE DE LA COMBE DE SAVOIE PAR UN MODELE MATHEMATIQUE.

#### VII.1. PHASE DE CARACTERISATION.

VII.1.1. Caractéristiques du modèle JPONRO

VII.1.2. Représentation de la structure de l'aquifère.

VII.1.3. Conclusion.

#### VII.2. REGLAGE DU MODELE JPONRO.

VII.2.1. Première simulation.

VII.2.2. Deuxième simulation.

VII.2.3. Troisième et dernière simulation.

#### VII.3. EXPLOITATION DES PRINCIPAUX RESULTATS FOURNIS PAR LES SIMULATIONS.

VII.3.1. Potentialité de la nappe.

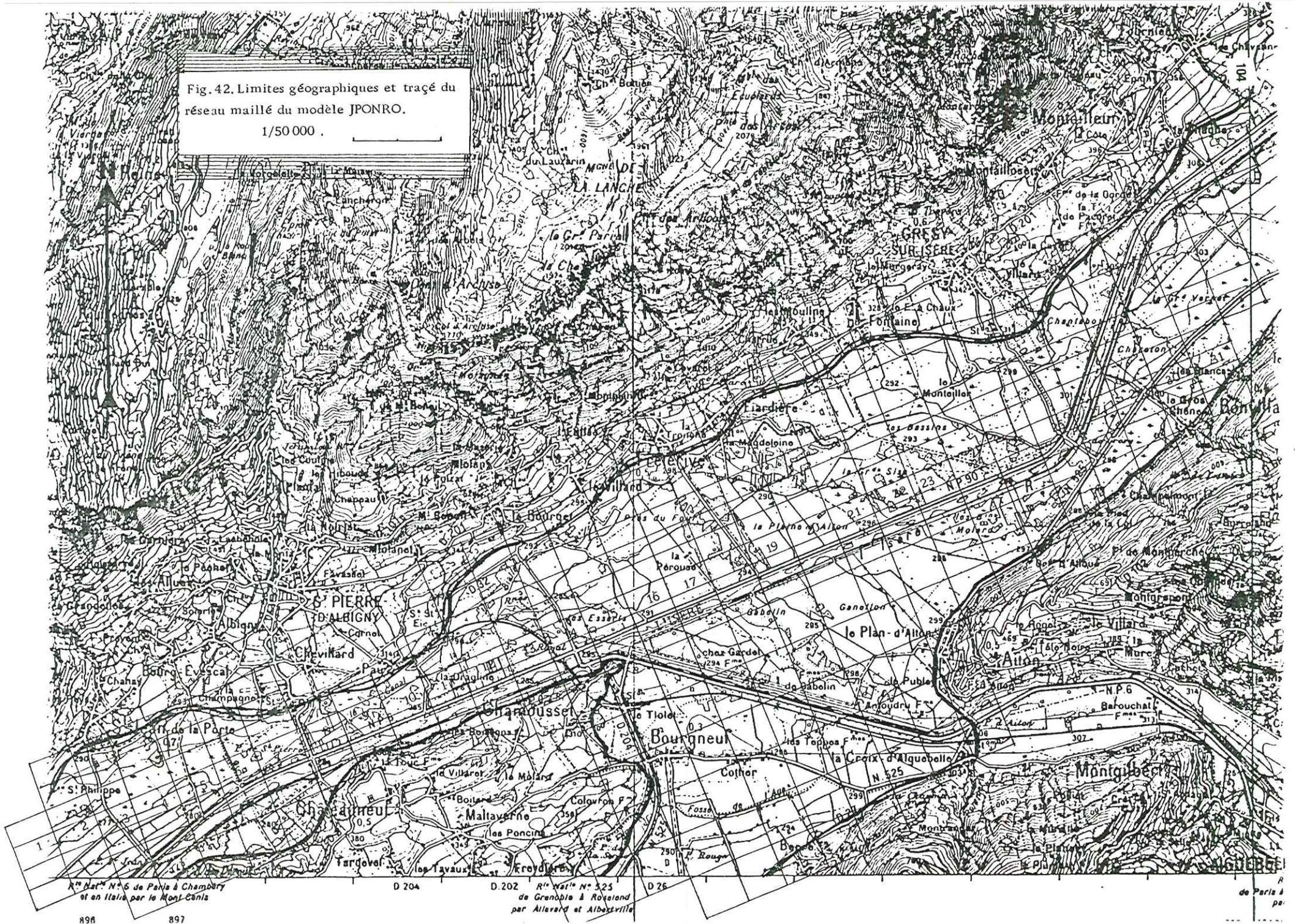
VII.3.2. Exemple d'utilisation de la ressource en eau : Proposition d'un schéma d'exploitation au bénéfice de l'irrigation.

VII.3.3. Nouvelle approche du risque de pollution.

#### VII.4. CONCLUSION : VALIDITE DU MODELE PROPOSE.

Fig. 42. Limites géographiques et tracé du réseau maillé du modèle JPNRO.

1/50 000 .



R<sup>e</sup> Nat<sup>e</sup> N° 6 de Paris à Chambéry et an Italie par le Mont-Cenis

D 204

D 202

R<sup>e</sup> Nat<sup>e</sup> N° 323 de Grenoble à Rovaland par Allevard et Albertville

D 26

R de Paris à

pe

VII. Représentation d'une partie de l'aquifère de la Combe de Savoie par un modèle mathématique.

#### VII.1. PHASE DE CARACTERISATION (1)

C'est l'une des étapes fondamentales de l'élaboration d'un modèle de nappe. Elle consiste en une reconnaissance détaillée de l'objet suivie par l'analyse sélective des données qui en résultent (voir première partie de ce mémoire). Nous devons également choisir la forme définitive du modèle caractérisée par l'équation fondamentale du mouvement du fluide intégrée au programme de calcul ce qui nous amènera par la suite à remplir aussi précisément que possible mais en tous cas complètement, toutes les rubriques d'un questionnaire associé au type et à la forme du modèle retenu (fig. 41).

En pratique, SOGREAH a mis à notre disposition l'outil de simulation numérique des écoulements (le programme MONA-A). Nous nous sommes donc exclusivement consacrés à sa mise en oeuvre effective au niveau de la Combe de Savoie.

Notons que ce travail demande en fait une forte dose d'expérience et de pratique en particulier, lorsqu'il s'agit de passer de données objectives ponctuelles (mesures et observations hydrogéologiques par exemple) à une extrapolation sur l'ensemble du domaine des différents paramètres, ce qui sous-entend toujours un certain nombre d'hypothèses plus ou moins bien fondées.

Enfin, il faut souligner que c'est souvent à ce stade que se sont révélées les insuffisances majeures du modèle conceptuel, ceci montrant bien que l'augmentation du potentiel de calcul (l'interpolation spatiale automatique du champ des paramètres structuraux du modèle) ne saurait en aucun cas suppléer aux carences de l'étude hydrogéologique préliminaire.

##### VII.1.1. Caractéristiques du modèle JPONRO.

###### VII.1.1.1. Forme générale du modèle :

Dans le secteur que nous avons étudié, l'aquifère présente un écoulement bi-dimensionnel à surface libre, dont la pente est de l'ordre de 2‰ (hypothèse de Dupuit respectée). Durant la période considérée (début octobre 1980) le régime d'écoulement a pu être tenu pour quasi-permanent en l'absence de toute singularité notable (pompage ou recharge naturelle ou artificielle) susceptible de perturber le processus d'étiage.

---

(1) - Nous employons ici la terminologie proposée par M. Bonnet (BRGM)

Nous retiendrons donc la forme d'un modèle bi-couche où les transmissions horizontales dépendent du niveau de la nappe (équations non-linéaires) ce qui autorise la représentation des variations de niveau de la surface libre. Ainsi définie, la forme du modèle le rend tout à fait apte à décrire le fonctionnement de l'aquifère principal de la Combe de Savoie.

#### VII.1.1.2. Limites géographiques :

Le modèle JPONRO ne couvre pas l'ensemble de la vallée de l'Isère en Savoie en effet, compte-tenu du nombre et de la qualité des données dont nous disposons, nous avons défini un secteur modélisable de 50 km<sup>2</sup> d'étendue environ dont les limites amont et aval sont deux zones de resserrement de la vallée aux environs respectivement de Grésy/Isère et Saint-Jean-de-la-Porte (fig. 42) ; d'autre part, les limites latérales coïncident avec la limite topographique de la plaine et du versant. Notons que le point de confluence entre l'Arc et l'Isère se situe approximativement au centre du modèle ce qui ne fait que traduire davantage la forte influence qu'exercent ces deux cours d'eau sur le système aquifère local.

#### VII.1.1.3. Orientation et forme du maillage :

L'axe ox du réseau orthonormé (correspondant en principe à la direction d'allongement maximale du modèle) a été orienté parallèlement à l'axe de la vallée dans un souci d'économie du nombre des mailles (donc du temps de calcul).

Deux dimensions de maille ont été utilisées :

- . la première : 250 x 500 m concerne les 176 mailles centrales du modèle (situées de part et d'autre de l'Isère).
- . la seconde : 500 x 500 m a été affectée aux autres mailles situées en général sur les bords du modèle.

La différenciation de la taille des mailles nous a permis d'une part, d'augmenter nettement la précision du tracé de la piézométrie de référence, d'autre part, d'améliorer la représentation de la structure de l'aquifère dans cette zone, ce qui aura pour conséquence d'assurer une meilleure prise en compte des échanges de flux entre rivière et nappe.

En définitive, les 281 mailles se répartissent en 15 lignes et 32 colonnes couvrant toute la surface de la plaine (3 lignes de plus auraient été nécessaires en orientant le réseau suivant la direction du quadrillage Lambert).

Compte-tenu de l'hétérogénéité naturelle de la zone étudiée, la densité des mailles nous a paru suffisante pour donner aux résultats des calculs une précision acceptable ainsi que pour permettre une figuration correcte des principales structures sédimentaires.

Remarque : le calcul numérique sur lequel s'appuie la résolution d'un système d'équations linéaires implique l'existence d'une erreur absolue  $\mathcal{E}$ , elle-même liée à la forme du maillage (plus le réseau est dense, plus l'erreur diminue). Le terme  $\mathcal{E}$  sera cependant négligeable devant les autres erreurs (en particulier, les erreurs de mesure ou d'interpolation).

#### VII.1.2. Représentation de la structure de l'aquifère.

Cette phase de la caractérisation consiste à transformer mesures et observations du milieu naturel en un ensemble d'êtres mathématiques organisés en fichiers de façon à les rendre utilisables par le calculateur. La forme de ces fichiers est déterminée par l'organisation du réseau maillé, la structure de chaque maille étant décrite par un certain nombre de données qui seront regroupées dans autant de tableaux (tableaux des cotes du substratum, de la surface intermédiaire, de la surface du sol, de la surface piézométrique de référence, des perméabilités de chaque horizon). Nous aurons ainsi à créer six fichiers de 281 données chacun.

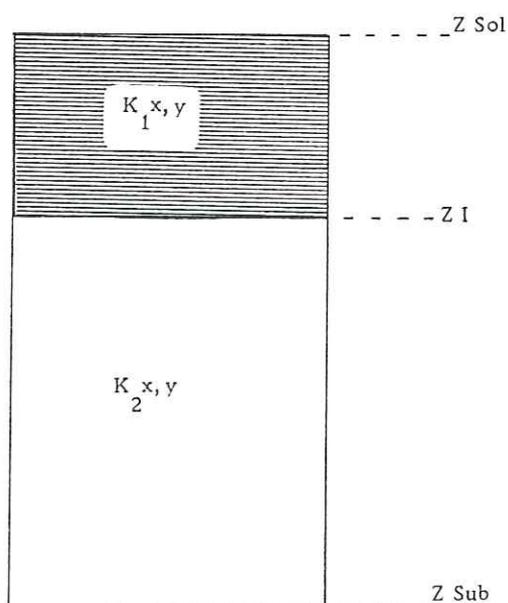


Fig. 43. Représentation d'un aquifère bi-couche.

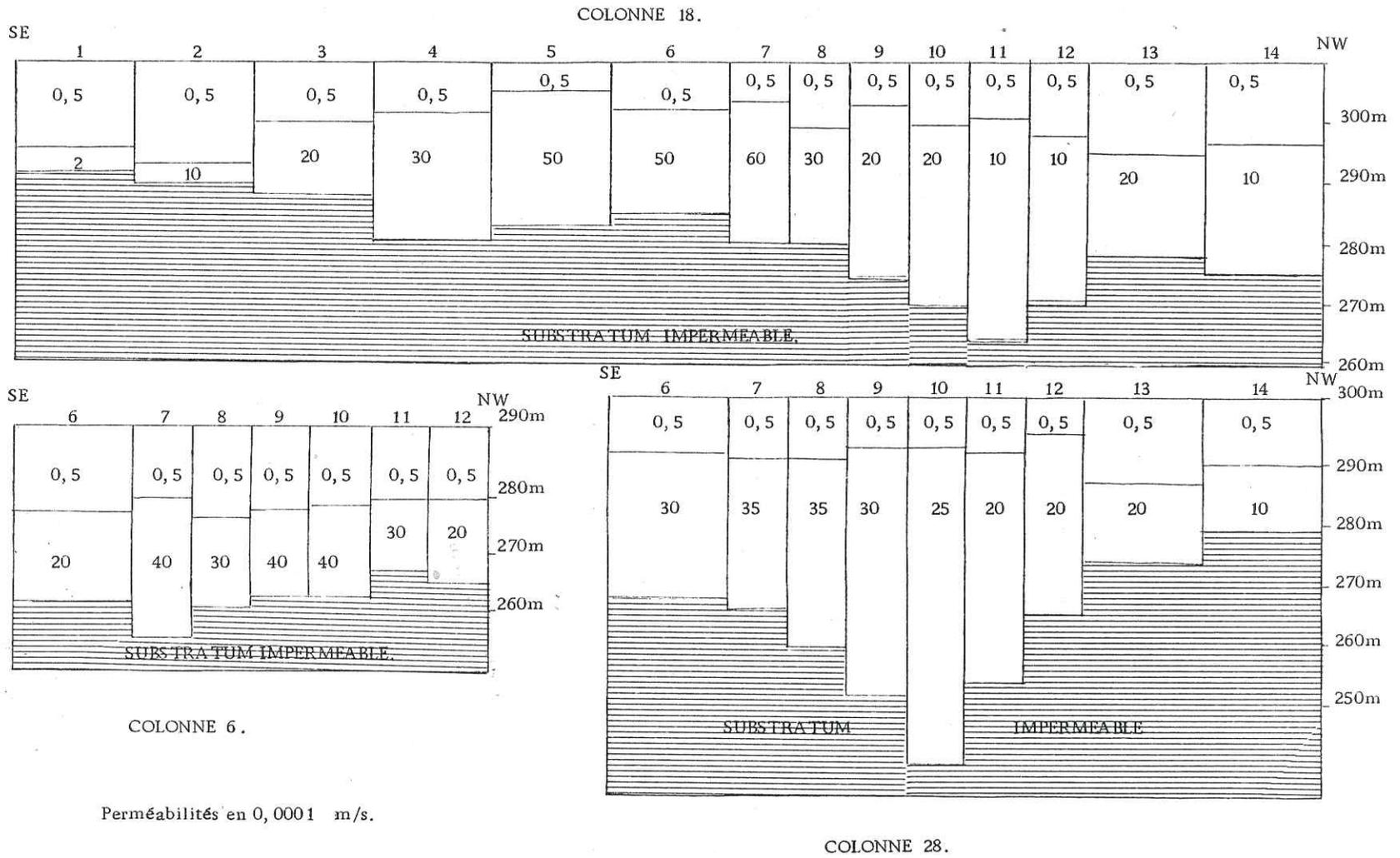


Fig. 44. REPRESENTATION PAR LE MODELE DE LA STRUCTURE DE L'AQUIFERE.

Le modèle conceptuel de base n'étant pas susceptible de fournir les 281 données d'un tableau, les données complémentaires seront obtenues par interpolation. Ces calculs d'interpolation linéaire sont pris en charge par le programme MONA-A

Enfin, nous avons créé un dernier tableau dénommé QIMP dans le but de réunir l'ensemble des contraintes imposables de flux ou de potentiels ; il a été constitué par la transcription directe des informations recueillies lors de l'étude préliminaire. Pour contrôler les résultats de l'interpolation automatique, nous avons fait tracer des cartes en iso-valeurs permettant de visualiser la forme du substratum, de la base des limons et de la piézométrie de référence. Ces valeurs déterminent des coupes schématiques (fig. 44) que l'on peut comparer aux coupes géologiques (fig. 8).

#### VII.1.2.1. La piézométrie de référence (tableau Piezref) :

Elle correspond au relevé d'octobre 1980 qui venait à la fin d'une période d'étiage s'étant prolongée sur 4 mois environ (avec simultanément des niveaux bas dans la nappe et la rivière).

Les mesures ont été effectuées en 75 points de la plaine (piézomètres, enregistreurs, échelles, etc...). Par la suite, la mise au point de cet état de référence a nécessité le recours à deux calculs d'interpolation, leurs résultats ayant à chaque fois été comparés au dessin manuel de la piézométrie effectué par J.C. Fourneaux (1972) pour des conditions hydrodynamiques et hydrologiques semblables.

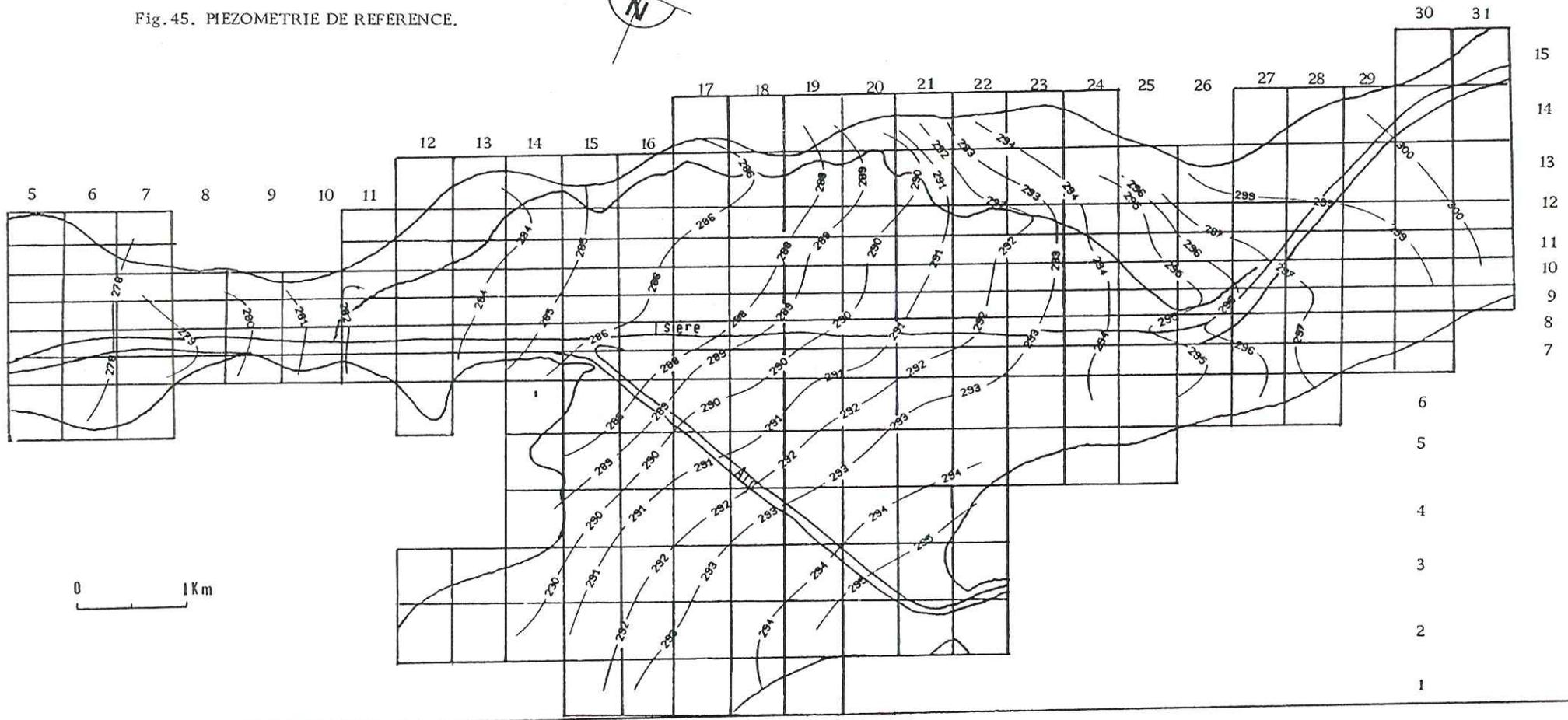
Nous nous sommes tout particulièrement attachés à bien restituer la forme du gradient hydraulique afin de renforcer la plausibilité du résultat final (fig. 45).

#### VII.1.2.2. Le Substratum (tableau Z Sub) :

Rappelons qu'il s'agit du mur des alluvions grossières qui reposent le plus souvent sur des argiles lacustres compactes et imperméables. Cette limite a été reconnue par seulement deux sondages mécaniques alors qu'elle a très souvent été identifiée par des sondages électriques.

Nous avons choisi de retenir 50 valeurs environ également réparties sur l'ensemble du domaine d'étude, qui ont permis, après un premier calcul d'interpolation, d'esquisser une carte isohypse du substratum imperméable de la nappe proche dans ses grandes lignes de la carte manuelle réalisée par J. Kyroussis (1978). On a cependant pu remarquer une notable atténuation de

Fig.45. PIEZOMETRIE DE REFERENCE.



MAPPE DE L'ISERE A  
PONT ROYAL

Fig.46. ETUDE HYDROGEOLOGIQUE  
COTE DU SUBSTRATUM

D'APRES LES MESURES GEOPHYSIQUES ET INTERPRETATIONS DE MR. MONIER

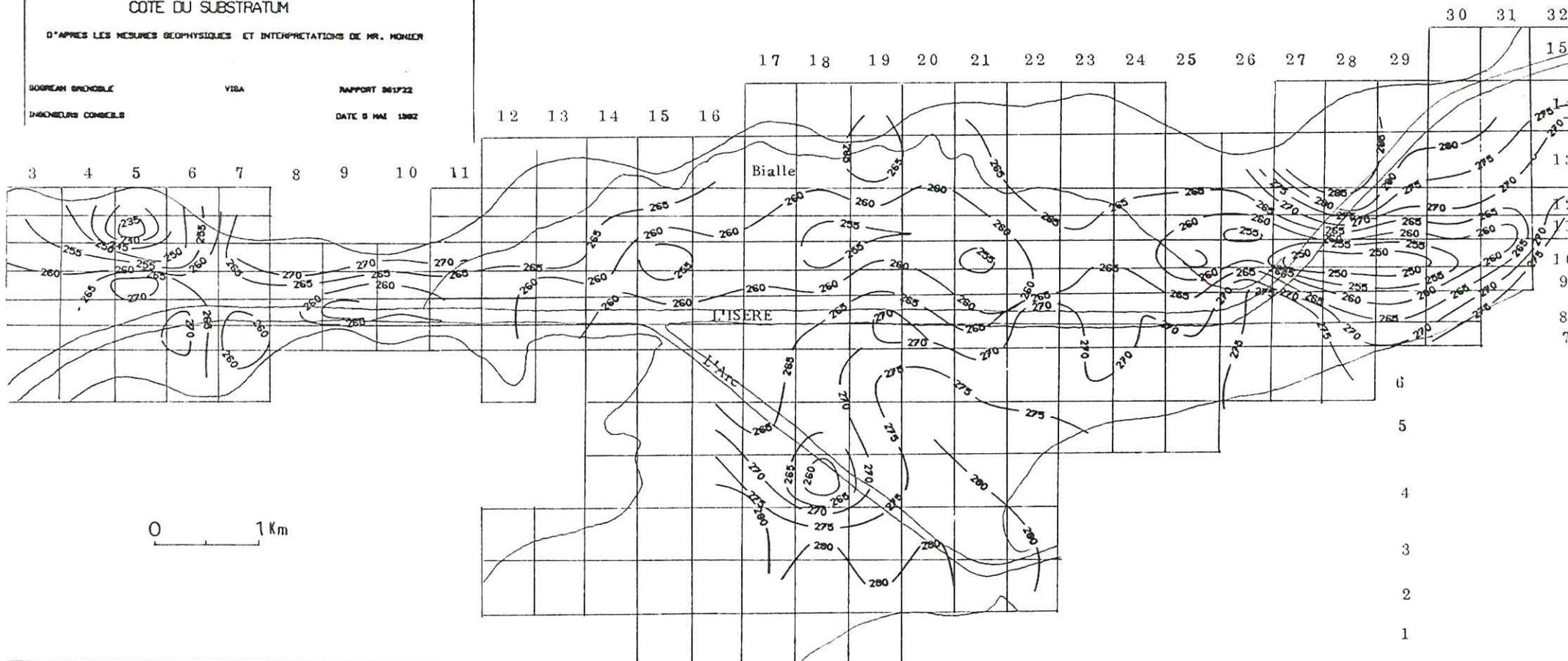
BUREAU BRUNOBLE

VISA

RAPPORT 061722

INGENIEURS CONSEILS

DATE 8 MAI 1962



l'amplitude du surcreusement glaciaire dans la partie centrale de la vallée (Pont de Grésy) qui s'avère une conséquence logique des hypothèses formulées dans la première partie de ce mémoire (II.3.1.). Un deuxième calcul nous a paru nécessaire pour préciser la forme du substratum aux limites latérales du modèle ainsi qu'aux environs de la butte de Monteiller où affleure le substratum jurassique.

Le résultat final (fig. 46) apparaît relativement satisfaisant compte tenu de la nature de nos données de base (pratiquement exclusivement fournies par la géophysique électrique).

#### VII.1.2.3. La surface intermédiaire (ZI) :

Elle a semble-t-il été reconnue avec une bonne précision par une trentaine de sondages mécaniques peu profonds (8 m maximum) et par de nombreux sondages électriques. Tous montrent une nette séparation entre un horizon supérieur argilo-limoneux semi-perméable. Ces données ont été extrapolées à l'ensemble du domaine en un seul calcul (fig. 47).

Notons que dans les mailles traversées par l'Arc, l'Isère ou un canal important, il a été décidé d'identifier la cote intermédiaire à la cote du fond du lit du cours d'eau ce qui dans la plupart des cas aura pour conséquence d'entraîner une légère modification de l'épaisseur des deux horizons (fig. 48).

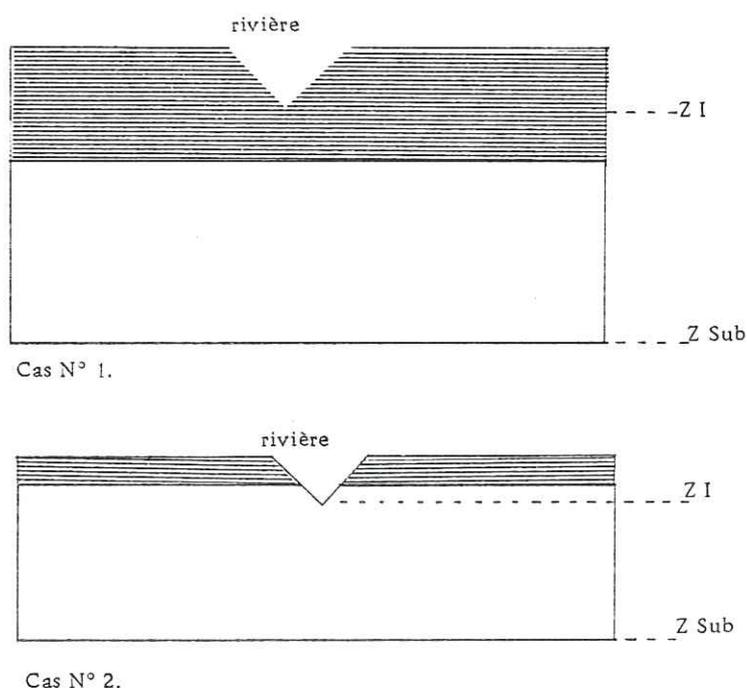
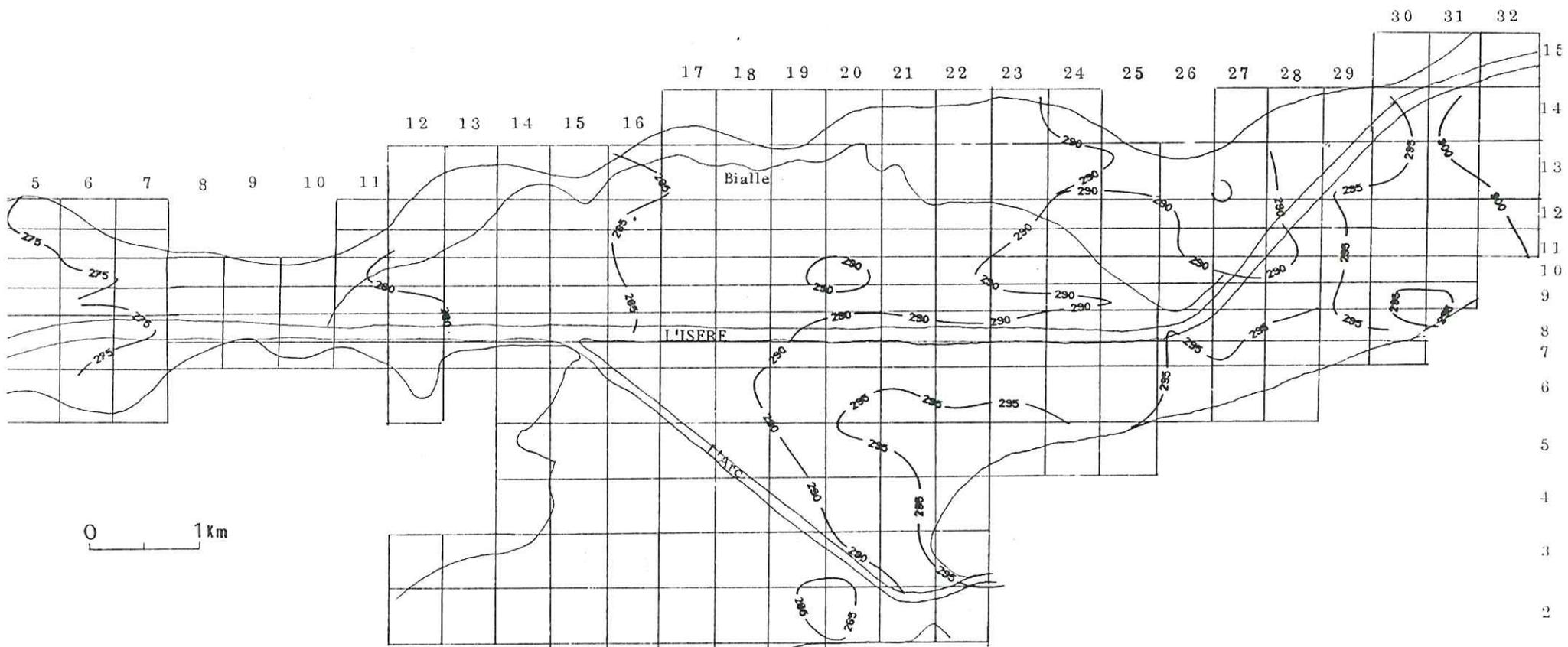


Fig. 48. Représentation de la cote intermédiaire dans les mailles traversées par un cours d'eau.

Fig. 47. ISOHYPSES DE LA SURFACE INTERMEDIAIRE.



A ce détail près, la carte isohypse de ZI représente approximativement la morphologie du toit des alluvions grossières.

#### VII.1.2.4. Cote du sol (surface topographique) :

Il nous a semblé inutile d'introduire une surface topographique détaillée dans le stock des données de base du modèle. Ceci n'aurait d'intérêt que pour rendre compte d'éventuels phénomènes d'artésianisme ou de débordement des cours d'eau, lorsque la position de la nappe par rapport au sol doit être connue avec précision. Nous avons donc fixé à 320 m, la cote fictive du sol dans la totalité des mailles (cette valeur a été choisie supérieure à la cote piézométrique la plus élevée).

#### VII.1.2.5. Les perméabilités :

Etant donnée la structure sédimentologique extrêmement complexe dans le détail de l'horizon sablo-graveleux, nous avons préféré compléter nous-même le fichier des perméabilités sans faire appel à l'interpolation automatique. Les modules de perméabilité ont été introduits par plages homogènes successives centrées sur les quelques résultats de l'étude préliminaire (tableau XII). La différenciation des valeurs n'a été poussée que dans la mesure où elle était suffisamment étayée sur des faits. Le tableau des perméabilités ainsi réalisé peut-être décomposé en quatre groupes principaux :

- un ensemble de mailles à très fortes perméabilités (Aiton).
- un ensemble à perméabilités moyennes (Bialle, Saint-Jean-de-la-Porte).
- un ensemble à faibles perméabilités (Grésy/Isère).
- un ensemble à très faibles perméabilités (Bourgneuf).

Dans un premier temps, cette représentation assez peu nuancée du champ des perméabilités, nous suffira pour entamer le processus d'identification des transmissivités. En chaque maille, la perméabilité des alluvions grossières a été considérée uniforme dans les deux directions orthogonales OX et OY.

Enfin, une valeur unique de  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s pour l'horizon supérieur a été affichée dans l'ensemble des mailles, à l'exception de celles empruntées par l'Isère auxquelles nous avons dû affecter un module extrêmement élevé dans le but de simuler l'écoulement du cours d'eau.

Il nous est apparu à ce stade à quel point une certaine expérience de la modélisation pouvait aider à résoudre l'épineux problème de l'identification du champ des perméabilités. Il s'agit en effet bien souvent de trouver





le juste compromis entre une approche très détaillée tenant compte d'un maximum de résultats et une voie plus synthétique tendant à ne s'appuyer que sur un petit nombre de données des plus fiables.

Sachant qu'un bon dosage de ces deux conceptions peut par la suite grandement faciliter le processus de réglage ; il nous faut encore insister ici sur la nécessaire coopération entre l'hydrogéologue, conscient de la qualité des données qu'il apporte, et le modéliste qui, connaissant bien les réactions de l'outil mathématique, présentera une demande supplémentaire d'informations pour les besoins de la modélisation car bien souvent, les résultats de l'étude hydrogéologique ne suffisent pas à expliquer toutes les particularités d'un écoulement souterrain.

#### VII.1.2.6. Les conditions imposées aux limites (tableau XIII).

Certaines mailles (repérables au niveau du calcul par l'étiquette 88888) se sont vues affecter une condition de potentiel.

Des flux ont été imposés dans les mailles de la bordure Nord du modèle où ils traduisent l'apport en provenance des formations de pente du versant Sud du Massif des Bauges.

Nous avons également figuré les échanges entre la nappe et les canaux par des flux imposés correspondant selon les points à un drainage (débits négatifs) ou à une alimentation (débits positifs).

Par ailleurs des potentiels ont été imposés dans les mailles qui jalonnent le cours de l'Isère ainsi qu'à la limite amont du modèle.

Les mailles limites auxquelles il n'a pas été affecté de valeurs de débit ou de charge sont considérées comme étanches. C'est par exemple le cas entre Sainte-Hélène/Isère et Aiton. Notons que la notion même de limite imperméable si elle paraît tout à fait justifiée en ce qui concerne le modèle (elle permet en effet une simulation correcte des écoulements) peut sembler en revanche trop schématique lorsqu'on entreprend une description objective de l'hydrogéologie de cette partie de la plaine (on peut tenter d'estimer ces venues à environ 1 l/s/Km).

#### VII.1.3. Conclusion.

A ce stade de l'étude, nous disposons de l'ensemble des données nécessaires au lancement d'une première simulation des écoulements en régime permanent.

Si nous avons finalement pu éliminer des points d'interrogation au niveau de l'étude préliminaire, il nous faut par contre reconnaître la faiblesse de certaines composantes du modèle initial. En l'absence d'une solution satisfaisante du problème inverse, c'est-à-dire de l'identification automatique des transmissivités d'après la répartition des charges et des conditions aux limites, la mise au point d'un modèle initial aussi proche que possible de la réalité du milieu naturel reste impérative ; en effet, elle doit éviter à l'opérateur de se trouver confronté, en cours de réglage, à un problème mal posé c'est-à-dire face à une indétermination en raison d'un manque d'informations essentielles.

## VII.2. REGLAGE DU MODELE JPONRO

Nous en sommes arrivés à l'étape la plus délicate de la mise au point d'un modèle de nappe. Il s'agit désormais d'ajuster aussi finement que possible les réponses calculées par la machine aux réactions du milieu naturel observées dans les mêmes conditions.

Ceci doit nous permettre de parfaire l'identification des paramètres hydrodynamiques et géométriques de l'aquifère par une voie indirecte qui implique l'existence à chaque essai d'une seule inconnue pour que le problème soit bien posé. En fait, nous devons à la fois apprécier la répartition spatiale des flux aux limites (dont nous n'avons fait qu'estimer des ordres de grandeur) et celle des transmissivités. Pour éviter tout risque de dérive vers une solution physiquement aberrante, nous avons pris pour principe de maintenir les principaux paramètres (modules des perméabilités, débits échangés aux limites, etc...) à l'intérieur d'une fourchette de variation déterminée d'après les principaux résultats du modèle conceptuel (voir première partie). En définitive, cette avant-dernière phase de notre travail va sanctionner l'ensemble de l'étude préliminaire et de la caractérisation ; à son terme, nous aurons pu constater soit une bonne concordance des réponses calculées et observées soit une divergence entraînant l'indétermination des caractéristiques du milieu.

Dans le cas du modèle JPONRO, nous avons été amenés à effectuer trois simulations dont nous allons exposer successivement les principaux résultats.

### VII.2.1. Première simulation.

La qualité du réglage a pu être appréciée autant par l'analyse des écarts entre les piézométries calculées et mesurées que par l'examen du tableau des débits de transit entre mailles.

#### VII.2.1.1. La piézométrie d'équilibre :

Le tableau des écarts laisse apparaître trois zones insatisfaisantes :

##### a)- La partie aval de la Bialle

Le calcul conduit ici à une piézométrie trop haute d'environ un mètre par rapport au niveau de référence ce qui est dû à la surestimation du débit d'apport du canal dans la partie aval de son cours c'est-à-dire entre le pont du Bourget et sa confluence avec l'Isère.

##### b)- La partie amont de la Bialle

L'excès du drainage affiché dans ces mailles a causé une dépression exagérée de la piézométrie, peut-être encore amplifiée par la sous-estimation des apports du versant.

##### c)- Le Sud de la plaine de Bourgneuf

Le gradient hydraulique calculé à l'équilibre s'avère trop important, il semble donc qu'il faille augmenter les modules de perméabilité de cette zone de manière à renforcer son potentiel transmissif probablement supérieur à nos premières estimations.

#### VII.2.1.2. Les débits d'équilibre :

Dans la partie aval de la Bialle, le modèle indique une forte alimentation par le cours d'eau (430 l/s) du secteur situé au pied du versant, ceci paraît excessif et on devra limiter cet apport à environ 200 l/s ce qui revient à réduire l'ensemble du flux réinfiltré par la Bialle de 600 à 300 l/s.

A l'amont au contraire, les quantités d'eau drainées par le cours d'eau (150 l/s/maille) semblent avoir été largement surévaluées (à partir des résultats de jaugeages différentiels) de plus avec des transmissivités voisines de  $0,03 \text{ m}^2/\text{s}$  nous aboutissons ici à une dépression piézométrique localement anormale.

Dans le quart Sud-Est de la plaine de Bourgneuf, les débits mis en jeu d'une maille à l'autre sont de l'ordre de 1 l/s ce qui est insuffisant pour traduire l'existence probable d'une alimentation par l'Arc. De plus, les très faibles transmissivités d'équilibre provoquent l'apparition d'une barrière hydraulique peu conforme à la réalité des écoulements locaux. En effet, ce n'est que plus au Sud-Ouest (en pénétrant dans le sillon de La Rochette) que le contexte hydrogéologique se modifie avec en particulier la

suppression de l'influence de l'Arc sur la nappe.

#### VII.2.1.3. Modification des données :

Ces modifications ont porté sur cinq points principaux.

- . La diminution de 50 % des débits infiltrés par la Bialle dans la partie aval de son cours.
- . La diminution de 50 % de la valeur globale du drainage à l'amont de ce même cours d'eau.
- . L'ajustement des débits pénétrant dans l'aquifère par ses limites latérales, en particulier au niveau du versant Sud du massif des Bauges où l'apport des cônes de déjection a été augmenté au total de 100 l/s.
- . L'augmentation des perméabilités de l'horizon sablo-argileux dans les mailles situées au Sud-Est de Bourgneuf (leurs modules ont dû être multipliés de 2 à 5 fois selon les mailles).
- . Les débits drainés par le RGII (en rive gauche de l'Isère) ont été diminués de 30 % environ.

#### VII.2.2. Deuxième simulation.

##### VII.2.2.1. La piézométrie :

En aval de la Bialle, l'écart avec l'état de référence s'est vu réduit par abaissement de la piézométrie calculée bien que cette dernière soit encore légèrement trop élevée.

A l'amont, l'exhaussement des charges calculées a permis de restreindre l'écart piézométrique mais il reste encore trop important.

Enfin dans le secteur de Bourgneuf, les modifications apportées précédemment n'ont eu que peu d'effet, la nappe demeurant toujours trop basse.

##### VII.2.2.2. Débits d'équilibre :

La zone comprise entre la Bialle et le versant à l'aval du pont du Bourget reste quelque peu suralimentée bien que la valeur des débits transitant vers ces mailles soit devenue plus conforme à nos premières estimations.

Plus à l'amont, le drainage vers le canal semble devoir mieux se répartir sur l'ensemble des mailles environnantes mais il faudra encore le réduire pour ajuster le flux de transit entre Isère et Bialle.

Au Sud de Bourgneuf, les débits ont été multipliés de 2 à 6 fois selon les mailles mais l'alimentation de ce secteur reste toujours déficitaire.

#### VII.2.2.3. Modifications des données :

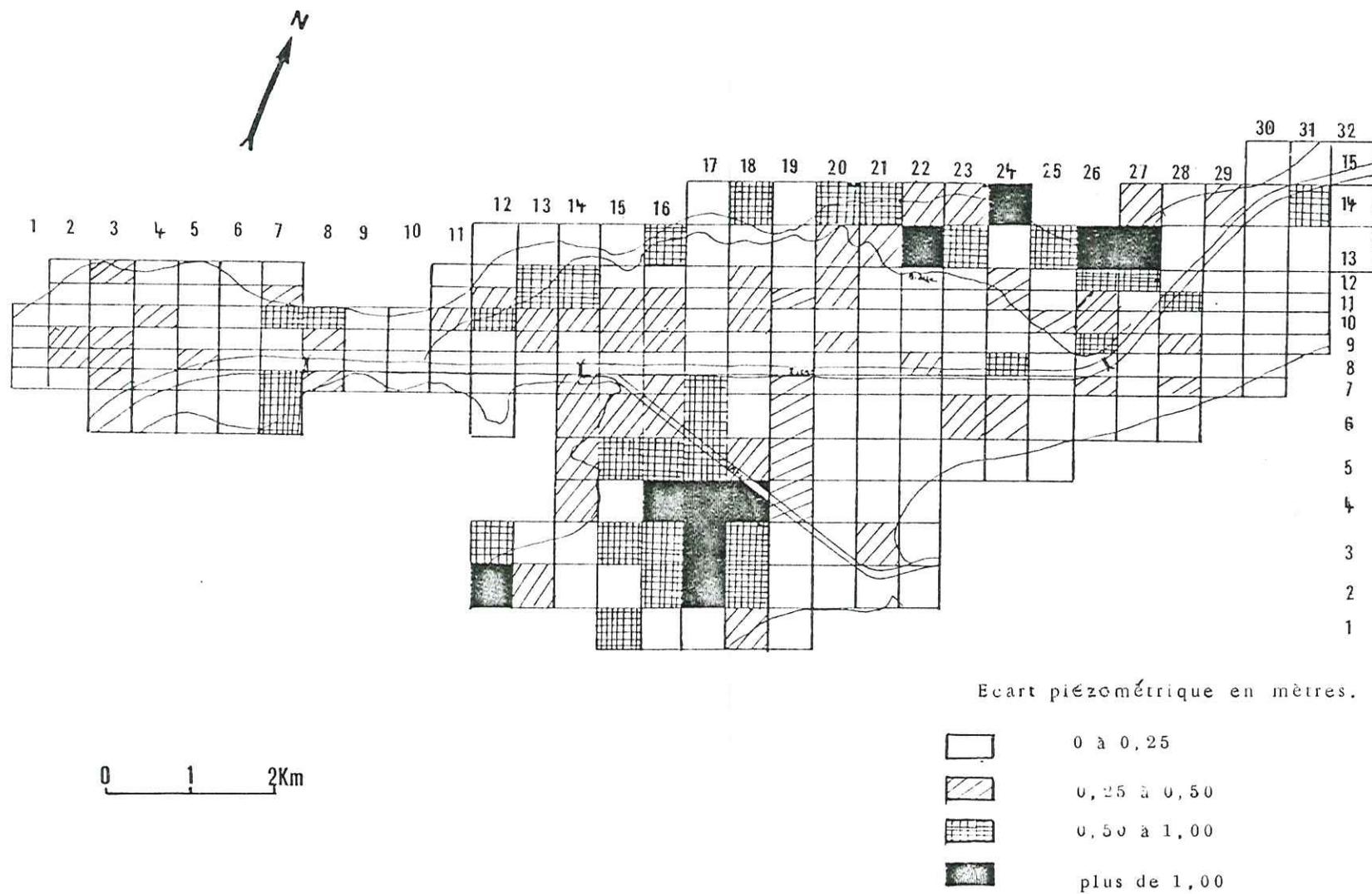
- . Les valeurs du débit apporté par la Bialle ont été réduites de 10 à 20 % et on a dû augmenter de 20 % environ les modules de perméabilité dans cette zone.
- . En amont, l'importance globale du drainage a de nouveau été diminuée de 20 % en moyenne, alors que l'on affichait une légère augmentation de la puissance de l'horizon grossier (8 m en moyenne) dans les mailles situées en bordure du modèle pour en accroître la capacité de transmission.
- . Néanmoins, les modifications les plus importantes sont celles apportées au Sud de Bourgneuf où nous avons dû prendre en compte la possibilité d'un apport provenant du petit cône de déjection des Berre estimé à 30 l/s (ce flux contribue d'ailleurs à maintenir la nappe en charge durant six mois de l'année dans ce secteur). De plus, nous avons tenté de représenter un chenal transmissif s'étendant sur trois mailles et pouvant jouer un rôle de drain naturel apte à provoquer un accroissement notable du volume des débits transitant dans cette partie de la plaine. Pour cela, il nous a fallu doubler les perméabilités d'une demi-douzaine de mailles.

Quelques autres modifications plus ponctuelles sont venues s'ajouter aux précédentes dans le but d'améliorer la qualité générale du réglage (elles concernent pour la plupart les perméabilités des alluvions grossières).

#### VII.2.3. Troisième et dernière simulation.

Les modifications précédentes, c'est-à-dire pour l'essentiel l'encadrement des débits imposables aux limites, ont permis d'obtenir une piézométrie calculée correcte tout au long de la Bialle (à l'exception de quelques mailles isolées en bordure du modèle).

Fig. 49. Répartition des écarts entre piézométries observée et calculée.



Dans le secteur de Bourgneuf, le problème se circonscrit désormais à quelques mailles dont 6 où l'écart piézométrique atteint un mètre et où les débits de transit demeurent insuffisants.

Notons que sur l'ensemble du modèle, l'écart piézométrique n'atteint 50cm que dans 41 mailles (fig. 49) ; or, nous savons que la piézométrie de référence est elle-même le produit d'un calcul d'interpolation, elle peut donc être à l'origine d'une partie des écarts enregistrés, d'autant plus que le tracé de la piézométrie calculée (fig. 50) s'avère très semblable au tracé manuel réalisé par J.C. Fourneaux pour un état similaire (basses eaux, 1972).

D'après le tableau final des débits d'équilibre, nous pouvons dresser un inventaire sommaire des différents termes intervenant dans le bilan des écoulements de la nappe.

Ces résultats s'applique à un état d'équilibre en régime permanent pour un épisode de basses eaux. C'est donc un bilan instantané par défaut (pas de précipitation efficace, rivière à l'étiage).

- débit apporté par les versants	570 l/s ;
- débit infiltré dans les canaux	295 l/s ;
- débit de la nappe à l'amont	246 l/s ;
- débit de la nappe à l'aval	221 l/s ;
- débit de drainage des canaux	1260 l/s.

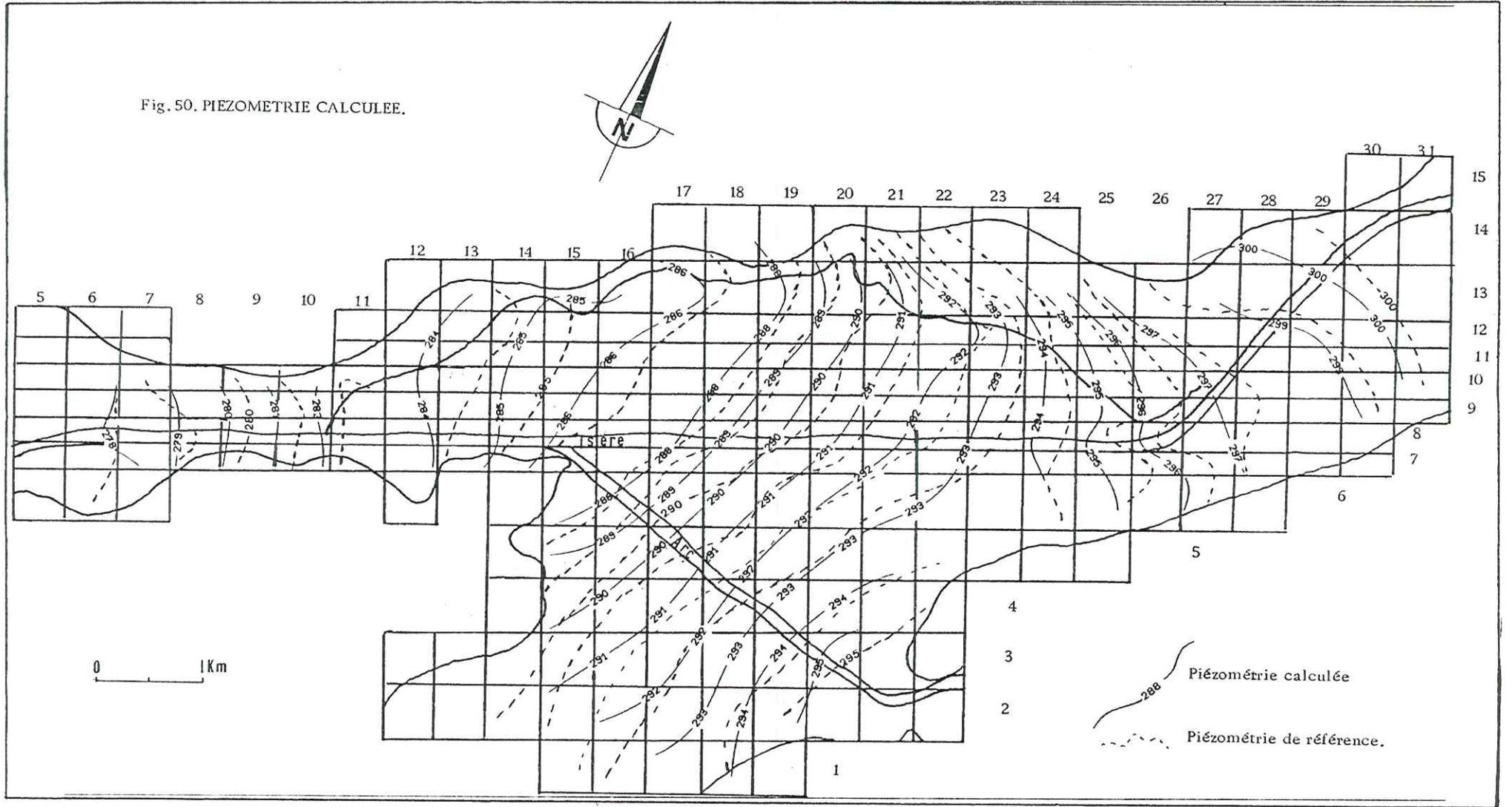
Ces valeurs appellent un certain nombre de commentaires.

a- Si l'on admet que les ordres de grandeur de ces débits sont corrects, il faut pour équilibrer ce bilan, supposer un drainage de l'Isère d'environ 370 l/s (soit environ 20 l/s/km).

b- L'importance du débit s'écoulant dans l'aquifère dépend essentiellement de la position de la ligne d'eau de l'Isère, elle reste continuellement soumise aux variations du gradient hydraulique entre le cours d'eau et la nappe. La valeur de 221 l/s ne peut donc pas être retenue comme ordre de grandeur de la réserve exploitable (qui est en réalité bien supérieure).

c- 50% du débit drainé par les canaux provient des versants c'est-à-dire de la vidange de la réserve d'eau contenue dans les alluvions torrentielles des cônes de déjections.

Fig. 50. PIEZOMETRIE CALCULEE.



Ceci expliquant en partie le maintien d'un débit important dans ces canaux même à l'étiage.

d- Alors que l'appréciation du débit d'apport du versant s'est trouvée en partie vérifiée à la suite de ces trois simulations, nos estimations concernant la valeur des débits échangés entre la nappe et les canaux ont dû être par contre largement remises en cause au cours du réglage du modèle pour aboutir à un résultat final satisfaisant compte-tenu de l'écart entre le produit du calcul et les mesures de terrain (essentiellement des jaugeages au micro-moulinet dont on a pu déduire par différence la valeur des flux échangés), on peut légitimement craindre à ce niveau une double erreur sans doute inévitable dans le cadre de ces deux démarches.

La répartition des transmissivités d'équilibre (fig. 51) constitue également un résultat important et significatif dans la mesure où tout au long du réglage du modèle, nous sommes restés dans les limites d'une fourchette de valeurs de perméabilité en cohérence avec les conclusions de l'étude préliminaire.

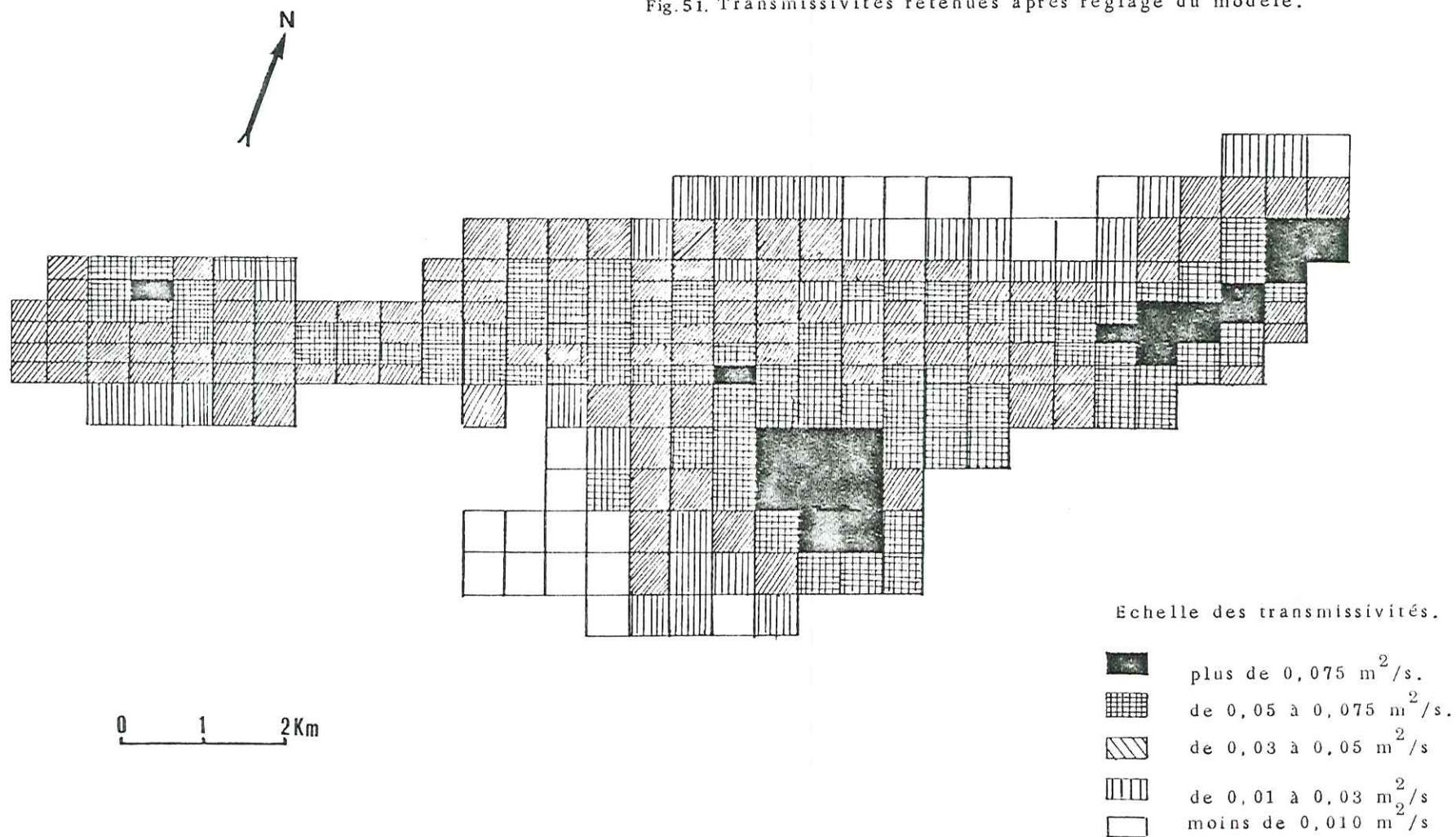
Les secteurs à très forte transmissivité (Aiton, Saint-Pierre-d'Albigny) apparaissent non seulement comme des zones de concentration des écoulements mais également comme le lieu privilégié des transferts de flux entre rivière et nappe.

Là où les valeurs de transmissivité sont les plus faibles, l'aquifère n'abrite que des circulations annexes surtout en provenance des zones d'alimentation latérales.

Enfin, le secteur de Bourgneuf (la limite sud du modèle) où les transmissivités sont extrêmement faibles, va fonctionner comme une limite étanche isolant le système des influences susceptibles de provenir de la vallée du Gelon.

La mise au point de JPONRO ayant été effectuée en régime permanent, nous ne pouvions en tirer directement un module de l'emménagement dans l'aquifère. Cependant, grâce aux valeurs de diffusivité précédemment déterminées nous sommes en mesure de déduire des transmissivités calculées par le modèle un facteur "S" issu implicitement du calcul numérique. Il apparaît alors qu'en de nombreux points (Saint-Jean-de-la-Porte, Aiton, etc...), cette approche tend à fixer le coefficient d'emménagement à environ 15%, ce qui s'avère nettement supérieur aux valeurs obtenues aux mêmes endroits avec la for-

Fig.51. Transmissivités retenues après réglage du modèle.



mule d'Archie. Il n'est pas impossible que les modules de "S" déduits du modèle soient en partie surévalués compte-tenu de la non-prise en compte par le calcul d'un léger phénomène de drainance de l'horizon supérieur semi-perméable par les graviers sous-jacents.

Dans d'autres secteurs, on relève une bonne concordance des résultats des deux méthodes avec des modules de 11 à 12%.

### VII.3. EXPLOITATION DES PRINCIPAUX RESULTATS FOURNIS PAR LES SIMULATIONS.

#### VII.3.1. Potentialité de la nappe.

A l'heure actuelle, la ressource en eau de la nappe phréatique n'est pas exploitée dans la Combe de Savoie. De ce fait, l'écoulement s'effectue en régime quasi-permanent, le débit de transit amont-aval s'établissant à environ 250 l/s.

Considérant la quantité d'eau drainée à l'étiage par les canaux de la plaine (plus de 1 m<sup>3</sup>/s) et l'apport de l'Isère (400 l/s) d'ailleurs susceptible d'évoluer en cas de prélèvement dans la nappe (la liaison nappe-rivière étant ici parfaitement réalisée) on peut conclure que la ressource exploitable est ici bien supérieure à la ressource renouvelable sensu-stricto (essentiellement composée des apports aux limites du bassin versant et de l'infiltration efficace dans la plaine). Il est ainsi permis d'envisager une utilisation active de la nappe à des fins agricoles ou industrielles tout au long de l'année en bénéficiant du phénomène de suralimentation par les cours d'eau.

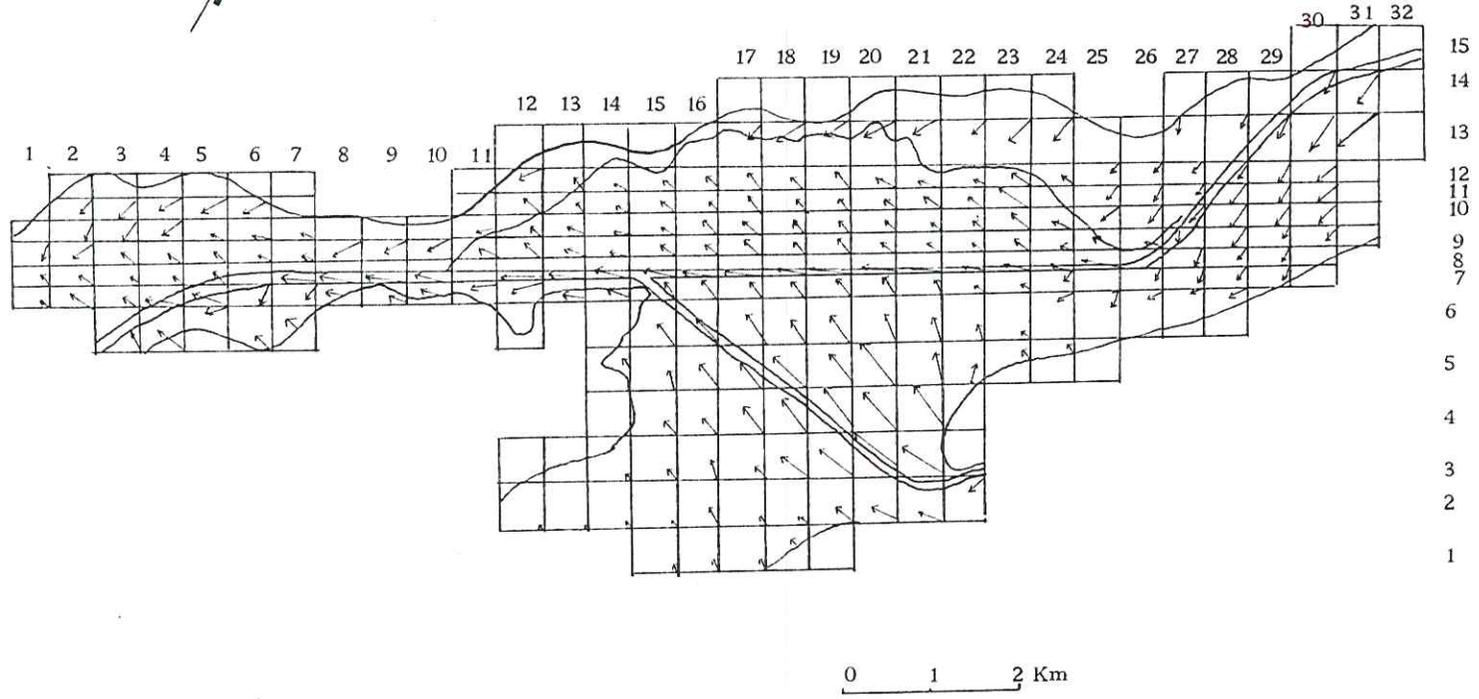
#### VII.3.2. Exemple d'utilisation de la ressource en eau : Proposition d'un schéma d'exploitation au bénéfice de l'irrigation.

Il existe dans le sol de la plaine un notable déficit hydrique de mai à septembre en année moyenne ; ceci est tout à fait préjudiciable à l'obtention de bons rendements de culture (maïs, tabac, etc...).

Un rapport d'expertise (Sogreah, 1976) préconise l'irrigation sur 90% de la surface de la plaine (soit la totalité de la surface cultivable) le besoin en eau consécutif à cette opération étant estimé à 20 l/s/km<sup>2</sup> soit un prélèvement total de 600 l/s sur l'ensemble du secteur étudié (pour la période mai-septembre).



Fig. 52 REPRESENTATION DU CHAMP DES VITESSES D'ECOULEMENT.



Bien qu'aucune simulation de ce type n'ait pour l'instant été effectuée, il paraît possible, compte-tenu des potentialités de la nappe, d'envisager son exploitation au moyen d'un dispositif comprenant 25 à 30 puits de pompage susceptibles de fournir environ 6 m<sup>3</sup>/h par unité.

On pourrait ainsi disposer en tous points de la plaine de quantités d'eau suffisantes et directement utilisables sur place pour l'irrigation.

Une telle exploitation ne devrait entraîner qu'une faible et provisoire perturbation de l'équilibre hydrodynamique de l'aquifère, elle ne saurait en aucun cas empiéter sur la réserve naturelle de la nappe.

Il conviendra cependant de veiller au maintien de la ligne d'eau de l'Isère à une cote suffisamment haute pour pouvoir assurer la réalimentation permanente de la nappe ; notons que cette contrainte fondamentale pourrait être déterminée avec une grande précision à l'aide d'un modèle de nappe en régime transitoire couplé au modèle hydrologique de l'Isère.

### VII.3.3. Nouvelle approche du risque de pollution.

Nous avons reporté manuellement la trace des filets liquides sur le maillage d'après les directions des vecteurs "vitesse" de l'écoulement (fig. 52). On peut dès lors constater que trois zones s'avèrent particulièrement favorables à la propagation d'une pollution apportée par la rivière, ce sont : le "triangle" d'Aiton, la rive gauche de la Bialle et les environs de Saint-Pierre-d'Albigny ; dans ces trois secteurs, la vitesse virtuelle d'avancée d'un front de pollution est proportionnelle à la perméabilité de l'aquifère et à l'importance de l'alimentation. Cette vitesse de contamination peut être calculée automatiquement à l'aide du programme POPOF (1) (Sauty, BRGM, 1975), elle pourrait également être mesurée directement à l'aide de traceurs. La connaissance de ce paramètre qui caractérise bien la vulnérabilité de la nappe me semble indispensable dans l'optique de l'implantation d'un captage destiné à l'alimentation en eau potable.

---

(1) Ce programme qui restitue la trace des filets de courant avec une grande exactitude, peut également calculer et tracer automatiquement des isochrones d'avancée d'un front de pollution.

#### VII.4. CONCLUSION : VALIDITE DU MODELE PROPOSE.

Compte-tenu de la qualité, du nombre et de la nature des données dont nous disposons, le résultat obtenu à la suite de seulement trois calculs réalisés dans les conditions indiquées plus haut, apparaît relativement satisfaisant (il faut néanmoins reconnaître que le bon ajustement général de la piézométrie est en partie attribuable à l'effet des mailles à niveaux imposés).

Au demeurant, la restitution correcte d'une piézométrie de référence ne saurait constituer un critère de réussite exhaustif ; en l'occurrence la distribution des perméabilités, que nous avons déterminée en concordance avec nos premières estimations, va dans le sens d'un renforcement de la plausibilité du modèle. En revanche, la similitude en débit des réponses calculées et observées reste imparfaite (elle s'est cependant améliorée à l'issue de chacune des trois simulations). Sur ce point nous pouvons conclure que d'une part, le réglage à ce niveau n'est pas encore totalement achevé et que, d'autre part, les résultats d'une reconnaissance hydrogéologique classique du milieu naturel ne sont pas toujours suffisants pour permettre de lever toutes les interrogations qui naissent lors de la réalisation du modèle de nappe.

Ici, en particulier, l'évaluation des débits échangés entre l'aquifère et son réseau de drainage s'est avérée ardue ; nous disposons pourtant d'un certain nombre de jaugeages de ces canaux mais, soit que leur nombre ait été trop faible, soit que la cohérence de leurs résultats avec les autres données de terrain (la piézométrie en particulier) n'ait pas été suffisante, cette condition de flux (fondamentale dans la compréhension de l'hydrodynamique de l'aquifère) n'a pu être identifiée avec précision. En fait l'ordre de grandeur de ces débits est sans doute proche de la réalité mais leur distribution reste à préciser.

D'autres inconnues demeurent comme la condition d'alimentation de la nappe dans le secteur de Bourgneuf.

Là aussi, des investigations supplémentaires auraient permis de définir la part de l'Arc, du versant et de l'infiltration efficace dans le volume des apports.

En définitive, nous retiendrons comme principal acquis à ce stade d'évolution du modèle, la reconnaissance de la structure de l'aquifère et la justification du choix de la simulation en régime permanent en l'absence de tout indice de perturbation imputable à des phénomènes transitoires non signalés.

CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

La mise au point d'un modèle de nappe dans une région déjà relativement bien étudiée sur le plan de l'hydrogéologie pouvait à priori paraître superflue voire inutile. Ce mémoire a, je l'espère, montré qu'il n'en était rien pour plusieurs raisons.

En premier lieu, cette approche a mis en lumière certaines carences de l'étude hydrogéologique de la Combe de Savoie. Ceci est dû à l'exigence de rigueur et de cohérence qu'impose la modélisation. Il a également permis de tirer parti au mieux des données recueillies dans ces dernières années au cours des diverses campagnes de reconnaissance et de surveillance de la nappe en aboutissant à une couverture complète et homogène du secteur étudié.

Dans un deuxième temps, nous retiendrons comme acquis important de cette étude la détermination d'une distribution des transmissivités de la nappe susceptible d'apporter aux praticiens de nombreuses réponses concernant les potentialités aquifères des différents secteurs de la plaine de l'Isère.

Parallèlement, ce travail nous a amené à dresser un premier inventaire détaillé des débits de transit souterrains; ce résultat même s'il peut être partiellement remis en cause, devrait pouvoir servir de base de réflexion lors de nouvelles investigations dans cette zone.

Enfin, si le modèle JPONRO dans l'état actuel de son évolution n'apporte pas encore de résultats fondamentaux, il constitue néanmoins la base d'un modèle mathématique plus vaste géographiquement et plus performant (capable en particulier de fonctionner en régime transitoire).

Ce nouvel outil, réalisable dans un avenir proche permettrait la simulation prévisionnelle à long terme de l'évolution de la nappe. Ce point nous semble particulièrement important dans la mesure où cet instrument de gestion des ressources en eau de la nappe pourrait largement contribuer à la réalisation des futurs plans d'aménagement de cette région au titre d'outil d'étude et de contrôle de la nappe phréatique de la Combe de Savoie.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASTIER J.L. (1971).- Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. 277p, Masson, Paris.
- BARFETY J.C. et GIDON M. (1969).- Carte géologique Montmélian (1/50 000), BRGM.
- BARRAT J.M. (1980).- Essai d'application de la méthode des sondages électriques à la reconnaissance géologique et hydrogéologique des formations plio-quaternaires landaises ; thèse de 3° cycle, Bordeaux, 143 p.
- BAUDIN G. (1979).- Ressource en eau de la nappe des alluvions du Gave de Pau entre Lestelle-Bethelam et Pau ; thèse de 3° cycle, Bordeaux, 192p.
- BONNET M. (1978).- Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie ; thèse d'état, Nancy, 270 p.
- BONNET M. et SCHNEIDER J. (1969).- Un exemple d'application de la méthode de Carson-Laplace pour l'étude des relations entre nappe et rivière. Mémoire du BRGM n° 76, p53 à 89.
- BUSSE J.F. (1980).- La pollution dans la nappe des formations quaternaires à l'Est de Lyon, thèse d'état Grenoble, 487 p.
- CARRET J.P. (1979).- L'infiltration dans les cônes de déjection : la vallée de basse Tarentaise. Savoie ; thèse de 3° cycle, Grenoble, 220 p.
- CARRET J.P. et FOURNEAUX J.C. (1979).- Analyse des facteurs influents sur l'infiltration dans les cônes de déjection. Compte-rendu du 104° congrès national des sociétés savantes, Bordeaux, 10 p.
- CASTANY G. (1963).- Traité pratique des eaux souterraines 657 p ; Dunod, Paris.
- CASTANY G. et MARGAT J. (1977).- Dictionnaire d'hydrogéologie. BRGM, Orléans, 250 p.
- C.F.E.G. (1980).- Ressources en eau de la vallée du Gelon. Rapport DDA Savoie.
- C.F.E.G. (1981).- Mise en place de piézomètres dans la vallée du Gelon. Rapport DDA Savoie.
- CHOUTEAU A.F. et FOURNEAUX J.C. (1971).- Etude de la chimie des eaux souterraines de la plaine du Grésivaudan. Géol. Alp., tome 47, p 141 à 146.
- COLLIN J.J. (1976).- Les eaux souterraines de la plaine Saône-Doubs. Thèse d'état Besançon, document BRGM n° 9, 319 p.
- CONSTANTINIDIS D. et SARROT-REYNAULD J. (1978).- Comparaison des méthodes de détermination du coefficient d'emmagasinement des nappes aquifères. Compte-rendu du 103° congrès national des sociétés savantes, Nancy, 11 p.
- COUTURIER B. (1974).- Contribution à l'étude géotechnique du bas Grésivaudan (Isère). Thèse de 3° cycle, Grenoble, 174 p.

- C.P.G.F. (1968).- La plaine de l'Isère entre le PontRoyal et Alberville. étude n° 493.
- (1971).- La plaine de l'Isère entre le Pont Royal et Montmélian. étude n° 394.
- (1971).- La plaine de l'Isère entre le Pont Royal et Montmélian (compléments). Etude n° 1402.
- (1975).- La plaine de l'Isère entre le Pont Royal et Alberville. étude n° 1404.
- (1975).- Les alluvions de l'Isère dans le triangle d'Aiton. Etude n° 1404 cinq études géophysiques, DDA de la Savoie, Chambéry.
- DEGALLIER R. (1969).- Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes. Bull BRGM, 2° série, section III n° 2, p7 - 56.
- DELGADO G. (1982).- Géologie et hydrogéologie des bassins versants du Coisin et du bas Gelon. Savoie. Thèse de 3° cycle, Grenoble, 210 p.
- DUBUS J. (1969).- Le quaternaire en tant qu'aquifère ; réflexion concernant la contribution de la géomorphologie à la prospection des eaux souterraines. Rev. Géol. Alp., tome 57, fasc. 3, 6 p.
- FONDASOL (1971).- Implantation de piézomètres dans la vallée de l'Isère. Rapport DDA de la Savoie.
- FOURNEAUX J.C. (1973).- Les ressources en eau de la Combe de Savoie. Rapport DDA de la Savoie.
- FOURNEAUX J.C. (1975).- Etude des échanges nappe-rivière. La nappe de la plaine de l'Isère dans l'ombilic de Grenoble. Thèse d'état, Grenoble, 310 p.
- GIGNOUX M. (1947).- Les nappes d'eau souterraines dans les alluvions des vallées alpines. Trav. Lab. Géol. Alp., Grenoble, 26 p.
- GIGNOUX M. GIGNOUX P. et LUNSKY G. (1966).- Un procédé d'identification de failles cachées sous une couverture de terrains meubles. Annales du centre d'enseignement supérieur de Chambéry, n°4, p 63 à 65.
- KORDAS J. (1964).- Etude expérimentale de l'influence d'une crue sur une nappe phréatique proche d'un cours d'eau. Rapport Lab. Méca. Sol, INPG Grenoble.
- KYROUSSIS J. (1979).- Infiltration et alimentation des aquifères alluviaux. Détermination du coefficient d'infiltration dans la Combe de Savoie. thèse de 3° cycle, Grenoble, 234 p.
- MARGAT J. (1963).- Application des cartes hydrogéologiques à l'étude de la perméabilité et de la transmissivité des terrains aquifères. Compte-rendu AIH 1963, tome VI, p 121 à 133.
- MARSILY G. De (1978).- De l'identification des systèmes hydrogéologiques. Thèse d'état, Paris VI, 2 vol.
- MEYER R. (1955-1956).- Quelques résultats théoriques concernant les écoulements des nappes d'eau souterraines. La Houille blanche, n° 1-1955, n° 5-1955, n° 1-1956.
- MONIER T. (1982).- Conditions particulières d'application d'un programme de calcul automatique de la diffusivité d'un aquifère en relation avec un cours d'eau. Document BRGM n° 45, p 423 à 432.

- PEAUDECERF P. (1973).- Relations entre une nappe et un cours d'eau de surface. Programme HYGP 1, HYGP 2. Bull. BRGM, 2° série, section III n° 2, p 77 à 85.
- RORABAUGH M.I. (1969).- L'emploi des niveaux d'eau pour l'estimation des constantes hydrauliques dans un aquifère de dimensions finies. Trad. R. DEGALLIER, Chroniques du BRGM, section IV, n° 2.
- SAUTY J.P. (1971).- Programme POPOF. Calcul de la propagation d'un front de pollution dans une nappe d'eau souterraine. La Houille blanche n° 8, p 731, 737.
- SOGREAH .- Le programme MONA A. Document interne.
- SOGREAH (1976).- Assainissement de la plaine de l'Isère dans le département de la Savoie. Etude agro-pédologique. Rapport DDA de la Savoie, Chambéry.
- SOGREAH (1976).- Assainissement de la plaine de l'Isère dans le département de Savoie. Enquête sur l'état actuel. Rapport DDA de la Savoie, Chambéry.
- VACHER J.P. (1971).- Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin de l'Isère. Thèse de 3° cycle, Bordeaux. 2 tomes.

A N N E X E S

---









ETUDE HYDROGEOLOGIQUE EN REGIME PERMANENT

CALCUL EN REGIME PERMANENT

DEBITS A L'EQUILIBRE SUIVANT DY (L/S)

Table with 16 columns (1-16) and 16 rows (1-16) of numerical data representing discharge values at equilibrium.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE EN REGIME PERMANENT

CALCUL EN REGIME PERMANENT

DEBITS A L'EQUILIBRE SUIVANT DY (L/S)

Table with 16 columns (1-16) and 16 rows (1-16) of numerical data representing discharge values at equilibrium.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION .....	3
--------------------	---

- CHAPITRE I -

I.1	Cadre géographique et géomorphologique .....	7
I.2	Aperçu géologique .....	7
I.3	Aménagements .....	9
I.4	Travaux antérieurs .....	11
I.5	Autres tentatives de modélisation dans les Alpes .....	11
I.6	Orientation générale du travail .....	12

- CHAPITRE II -

II.1	Généralités .....	15
II.2	Rappel des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques .....	15
II.2.1	Les formations latérales .....	15
II.2.1.1	Les niveaux mésozoïques .....	15
	- a) Le lias schisteux .....	15
	- b) Les calcaires jurassiques .....	17
II.2.1.2	Les Alluvions anciennes et moraines .....	17
II.2.1.3	Les cônes d'éboulis .....	18
II.2.1.4	Les cônes de déjection .....	18
II.2.1.5	La zone de transition - plaine - versant.....	19
II.2.2	L'aquifère principal .....	21
II.2.2.1	Le substratum .....	21
II.2.2.2	L'horizon grossier .....	21
II.2.2.3	Le recouvrement .....	23
II.3	Analyse de la structure du remplissage alluvial d'après les résultats de la géophysique .....	23
II.3.1	Le substratum .....	24
II.3.2	Le magasin .....	24
II.3.3	La couverture limoneuse .....	25
II.3.4	Conclusions à l'étude géophysique de l'aquifère .....	25
II.3.4.1	La rive gauche de l'Isère entre Aiton et Sainte-Hélène .....	27
II.3.4.2	Le bassin de la Bialle .....	27
II.3.4.3	Le "triangle" d'Aiton .....	27
II.3.4.4	La plaine de Bourgneuf .....	28
II.3.4.5	Les Bassins de Saint-Pierre-d'Albigny et Saint-Jean-de-la-Porte .....	28
II.4	CONCLUSION .....	29

## - CHAPITRE III -

III.1	INTRODUCTION	
III.2	Calcul du coefficient d'emmagasinement .....	32
III.2.1	Principe .....	32
III.2.2	Exemple .....	35
III.2.3	Résultats .....	37
III.3	Calcul de la diffusivité de l'aquifère .....	37
III.3.1	Méthode de LEBEDEV .....	37
III.3.1.1	Principe .....	37
III.3.1.2	Exemple .....	39
III.3.1.3	Résultats .....	39
III.3.1.4	Interprétation .....	39
III.3.2	Etude de la surface piezométrique après une recharge brusque .....	41
III.3.2.1	Principe .....	41
III.3.2.2	Exemple .....	43
III.3.2.3	Résultats .....	44
III.3.2.4	Interprétation .....	44
III.3.3	Etude de l'influence de la rivière sur la nappe .....	45
III.3.3.1	Principe .....	45
III.3.3.2	Conditions d'emploi .....	47
III.3.3.3	Remarque préalable .....	48
III.3.3.4	Résultats expérimentaux .....	50
III.3.3.4.1	LP 131 .....	50
III.3.3.4.2	LP 3 .....	55
III.3.3.4.3	LP 2 .....	57
III.3.3.5	Analyse de l'effet d'échelle .....	61
III.3.3.5.1	Conditions expérimentales ....	61
III.3.3.5.2	Interprétation des résultats .	64
III.3.3.6	Conclusions .....	66
III.3.4	Comparaison des résultats des trois méthodes .....	67
III.4	Détermination indirecte des paramètres hydrodynamiques .....	69
III.4.1	Corrélation résistance transversale/transmissivité .....	69
III.4.2	Etude des cartes piézométriques .....	71
III.4.2.1	Carte de Gradients .....	71
III.4.2.2	Carte des battements .....	71
III.5	Conclusion à l'étude des paramètres hydrodynamiques .....	71

- CHAPITRE IV -

IV.1	Données climatologiques .....	76
IV.1.1	Les précipitations.....	76
IV.1.2	Les températures .....	76
IV.1.3	L'évapotranspiration potentielle .....	76
IV.1.4	Conclusion .....	78
IV.2	La Condition de flux aux limites .....	78
IV.2.1	Les apports du versant .....	79
IV.2.1.1	Les panneaux non drainés .....	79
IV.2.1.2	La banquette de Planaise .....	79
IV.2.1.3	Les cônes de déjection .....	79
IV.2.1.4	Les cônes d'éboulis .....	81
IV.2.2	L'Arc et l'Isère .....	81
IV.2.3	Les canaux .....	81

- CHAPITRE V -

V.1	Vulnérabilité de la nappe .....	87
V.1.1	Les pollutions superficielles .....	87
V.1.2	Les pollutions transmises par les cours d'eau .....	89
V.2	Conclusion .....	89

- CHAPITRE VI -

VI.1	INTRODUCTION .....	94
VI.2	Rappel des bases théoriques de la modélisation .....	94
VI.2.1	Construction de l'équation de mouvement du fluide .....	94
VI.2.1.1	Equation de continuité .....	96
VI.2.1.2	Loi de DARCY .....	96
VI.2.1.3	Equation fondamentale du mouvement .....	96
VI.2.2	Résolution de l'équation de mouvement .....	97
VI.2.3	Choix d'une stratégie de modélisation .....	98
VI.3	Description sommaire du programme MONA A (SOGREAH) .....	100
VI.3.1	Généralités .....	100
VI.3.2	Modalités du calcul .....	100
VI.3.3	Organisation du calcul .....	101
VI.3.4	Remarque .....	101

## - CHAPITRE VII -

VII.1	Caractérisation .....	105
VII.1.1	Caractéristiques du modèle JPONRO .....	105
VII.1.1.1	Forme générale du modèle .....	105
VII.1.1.2	Limites géographiques .....	106
VII.1.1.3	Orientation et forme du maillage .....	106
VII.1.2	Représentation de la structure de l'aquifère .....	107
VII.1.2.1	La Piézométrie de référence .....	109
VII.1.2.2	Le Substratum (Z. Sub) .....	109
VII.1.2.3	La surface intermédiaire (ZI) .....	109
VII.1.2.4	La Cote du Sol .....	114
VII.1.2.5	Les perméabilités .....	114
VII.1.2.6	Les conditions imposées aux limites .....	117
VII.1.3	Conclusion .....	117
VII.2	Réglage du Modèle JPONRO .....	118
VII.2.1	Première simulation .....	118
VII.2.1.1	La piézométrie d'équilibre .....	119
VII.2.1.2	Les débits d'équilibre .....	119
VII.2.1.3	Modification des données .....	120
VII.2.2	Deuxième simulation .....	120
VII.2.2.1	La piézométrie .....	120
VII.2.2.2	Débits d'équilibre .....	120
VII.2.2.3	Modification des données .....	121
VII.2.3	Troisième et dernière simulation .....	121
VII.3	Exploitation des principaux résultats fournis par les simulations .	127
VII.3.1	Potentialité de la nappe .....	127
VII.3.2	Exemple d'utilisation de la ressource en eau .....	127
VII.3.3	Nouvelle approche du risque de pollution .....	129
VII.4	Conclusion validité du modèle proposé .....	130
	CONCLUSION GENERALE .....	132
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	134
	ANNEXES .....	138
	TABLE DES MATIERES .....	143
	LISTE DES FIGURES .....	148
	LISTE DES TABLEAUX .....	150

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation du secteur d'étude .....	6
Figure 2 : Carte topographique au 1/50000° du domaine d'étude ....	8
Figure 3 : Schéma hydrographique .....	10
Figure 4 : Schéma géologique simplifié .....	14
Figure 5 : Coupe litho-stratigraphique des formations quaternaires rencontrées dans la "banquette" de Planaise .....	16
Figure 6 : Caractéristiques des principaux édifices torrentiels ..	19
Figure 7 : Structure du remplissage alluvial dans la zone de transition entre la plaine et un cône de déjection ....	20
Figure 8 : Coupes géologiques du remplissage alluvial d'après les résultats des sondages électriques .....	22
Figure 9 : Situation des coupes et découpage du domaine en cinq secteurs individualisés d'après les résultats de la géophysique .....	26
Figure 10 : Situation des points de mesure utilisés lors de l'interprétation des variations naturelles du niveau de la nappe .....	33
Figure 11 : Courbes donnant la porosité totale d'une formation aquifère saturée en fonction du facteur de formation F (d'après J.L. Astié) .....	34
Figure 12 : Variation de la capacité de rétention spécifique des alluvions avec le diamètre des grains (d'après Eckis) .	34
Figure 13 : Profil théorique (application de la formule de Lebedev)	38
Figure 14 : Tarissement de la nappe en mai, juin, juillet 1976 ....	38
Figure 15 : Profils successifs de la nappe d'après (R. Degallier) .	41
Figure 16 : Abaque de la fonction non simplifiée exprimée en fonction de $h/h^0$ et $x/X$ .....	42
Figure 17 : Décomposition de l'hydrogramme d'une rivière en une suite d'échelons élémentaires (d'après P. Peaudecerf) .	47
Figure 18 : Schéma fonctionnel de la méthode d'étude de l'influence d'une rivière sur une nappe .....	46
Figure 19 : Situation de l'essai Isère - Lp 131 .....	49
Figure 20 : Coupe géologique du sondage SII (Cruet) .....	49
Figure 21 : Relation entre les niveaux de l'Isère et de la nappe au Lp 131 du 16/12/79 au 18/02/80 .....	52
Figure 22 : Relation entre les niveaux de l'Isère et de la nappe au Lp 131 du 20/04/80 au 10/06.80 .....	53
Figure 23 : Situation du site expérimental Arc - Lp 3 .....	54
Figure 24 : Coupe géologique au Lp 3 (Chamousset) .....	54
Figure 25 : Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe au Lp 3 du 21/03/79 au 01/04/79 .....	56

Figure 26 : Situation de l'essai Arc - Lp 2 .....	57
Figure 27 : Coupe géologique au Lp 2 ("triangle d'Aiton") .....	57
Figure 28 : Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe au Lp 2 du 19/01/79 au 01/03/79 .....	59
Figure 29 : Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe au Lp 2 du 08/03/79 au 21/04/79 .....	60
Figure 30 : Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe au Lp 2 pour des crues brèves .....	62
Figure 31 : Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe au Lp 2 (suite) .....	63
Figure 32 : Relation entre les niveaux de l'Arc et de la nappe au Lp 2 pour une période longue .....	65
Figure 33 : Répartition spatiale des gradients hydrauliques .....	72
Figure 34 : Variations du niveau de l'Isère à Pont-Royal durant l'année 1980 .....	77
Figure 35 : Apports aux limites latérales de l'aquifère, situation des stations de jaugeages des cours d'eau .....	80
Figure 36 : Profil en long de la ligne d'eau de l'Isère et de ses principaux affluents entre les ponts de Grésy et de Chateauneuf (octobre 1980) .....	82
Figure 37 : Carte des formations à l'affleurement .....	86
Figure 38 : Carte hydrochimique des concentrations en nitrate .....	90
Figure 39 : Discrétisation du domaine d'intégration d'une équation aux dérivées partielles (d'après M. Bonnet) .....	97
Figure 40 : Organigramme de la méthode du modèle (d'après M. Bonnet)	95
Figure 41 : Utilisation des données au cours de la construction du modèle .....	99
Figure 42 : Limites géographiques et tracé du maillage du modèle JPCNRO .....	104
Figure 43 : Représentation d'un aquifère bi-couche .....	107
Figure 44 : Représentation par le modèle de la structure hydro- géologique de l'aquifère .....	108
Figure 45 : Piézométrie de référence .....	110
Figure 46 : Etude hydrogéologique du substratum .....	111
Figure 47 : Isohypses de la surface intermédiaire .....	113
Figure 48 : Représentation de la cote intermédiaire dans les mailles traversées par un cours d'eau .....	112
Figure 49 : Répartition des écarts entre piézométrie observée et calculée .....	122
Figure 50 : Piézométrie calculée .....	124
Figure 51 : Transmissivités retenues après réglage du modèle .....	126
Figure 52 : Représentation du champ des vitesses d'écoulement .....	128

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	: Coefficients d'emmagasinement calculés à l'aide de la méthode d'Archie .....	36
Tableau II	: Diffusivité calculée avec la méthode de Lebedev .	40
Tableau III	: Diffusivité calculée d'après l'analyse d'une recharge brusque de la nappe .....	44
Tableau IV	: Données utilisées par le programme HYGP. II au Lp 131 (premier essai) .....	51
Tableau V	: Données utilisées par le programme HYGP. II au Lp 131 (deuxième essai) .....	51
Tableau VI	: Données utilisées par le programme HYGP. II au Lp 3 .....	54
Tableau VII	: Données utilisées par le programme HYGP. II au Lp 2 (premier essai) .....	58
Tableau VIII	: Données utilisées par le programme HYGP. II au Lp 2 (deuxième essai) .....	58
Tableau IX	: Récapitulatif des différents résultats du calcul de la diffusivité .....	67
Tableau X	: Données de base de la tentative de corrélation : transmissivité/résistance transversale des alluvions modernes de l'Isère dans la Combe de Savoie	70
Tableau XI	: Concentrations en sulfates et nitrates des eaux de la nappe (août 1982) .....	88
Tableau XII	: Perméabilités initiales (modèle JPONRO) .....	115
Tableau XIII	: Conditions aux limites initiales (modèle JPONRO)	116