



HAL
open science

Géomorphologie et hydrogéologie de la région d'Aoste (Isère)- France

Yves Sapey-Triomphe

► **To cite this version:**

Yves Sapey-Triomphe. Géomorphologie et hydrogéologie de la région d'Aoste (Isère)- France. Géomorphologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1984. Français. NNT : . tel-00574645

HAL Id: tel-00574645

<https://theses.hal.science/tel-00574645>

Submitted on 8 Mar 2011

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

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

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

31 JAN. 1985

THESE DE DOCTORAT DE SPECIALITE
Géologie appliquée
Option : Hydrogéologie

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

GEOMORPHOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE
DE LA REGION D'AOSTE
(Isère)

par

Yves SAPEY-TRIOMPHE

Thèse soutenue le 15 Décembre 1984 devant la commission d'examen

| | | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| MM. M. MICHEL | Professeur USMG Grenoble | Président |
| J. SARROT REYNAULD | Professeur USMG Grenoble | Rapporteur |
| J. BIJU-DUVAL | Géologue de la DDA | Examineur |
| G. MONJUVENT | Maître de Recherche au CNRS | Examineur |

10094927

AVANT-PROPOS

Au moment de clore ce travail, il m'est agréable de remercier celles et ceux qui ont contribué à sa réalisation. En particulier, je citerai :

Monsieur le Professeur R. Michel, qui a accepté de présider ce jury. C'est à lui que je dois mon premier contact avec la géologie de la région d'Aoste, à une époque où ce thème de recherche n'était pas encore en projet.

Monsieur le Professeur J. Sarrot-Reynauld, qui m'a accueilli dans son laboratoire et m'a proposé ce travail ;

Monsieur J. Biju-Duval, hydrogéologue de la D.D.A., qui a suivi l'évolution de cette étude ;

Monsieur G. Monjuvent, maître de recherche au C.N.R.S., qui m'a accompagné sur le terrain et fait partager ses réflexions face à l'affleurement.

Je n'oublierai pas :

Monsieur le Professeur émérite R. Barbier, qui m'a permis de disposer de ses documents d'archives concernant les études de la C.N.R. le long du Haut-Rhône ;

Monsieur le Professeur J. Perriaux, qui est venu sur le terrain et a assuré la lecture de la partie sédimentologique de cette thèse ;

Messieurs les Professeurs G. Demarcq et R. Ballezio (Université de Lyon I) pour leur contribution à la détermination de certains fossiles ;

Monsieur G. Nicoud (Université de Savoie), J.P. Bravard (Université Lyon II), G. Pautou et J. Girel (Laboratoire d'écologie de l'USMG) et l'équipe du P.I.R.E.N.-Rhône ;

Le syndicat des eaux des Abrets et environs, pour l'accueil dans ses locaux et les rapports amicaux tout au long de ce travail ;

La Compagnie Nationale du Rhône, le Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lyon, la Direction Départementale de l'Équipement.

Ma formation n'aurait peut-être pas suivi ce chemin sans l'enseignement passionné de Monsieur le Professeur Gevin (Université de Lyon I) que je me permettrai de citer : "notre métier, vous savez, c'est le plus beau métier du monde !".

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers les enseignants de l'Institut Dolomieu qui ont participé à ma formation de géologue.

Cet ouvrage doit également beaucoup à Mesdames Meugniot, Revol et Melle Merlin, qui en ont assuré la frappe : qu'elles trouvent ici l'expression de ma gratitude.

Je ne saurais oublier mes ami(e)s de l'Institut Dolomieu, déjà "sorti(e)s" ou en cours de thèse, en particulier celles et ceux qui ont leur part dans ce travail, sur le terrain comme lors de sa mise en forme.

Mes affectueuses pensées vont à toute ma famille, mais particulièrement à mes parents qui n'ont cessé de me témoigner leur confiance au long de ces années.

Je dédie ce travail à mes parents et à toi, Bernadette, pour ta tendre patience.

"...sous un renflement d'argile, on fit un trou. L'eau suinta. On continua à creuser et on maçonna un petit bassin. Par une faille dans l'argile, l'eau humecta une couche de sable. On construisit une paroi où un roseau fut enfoncé. Et on attendit. D'abord, le roseau resta sec. Nous brulions d'impatience (...). Enfin, une gouttelette se forma, elle s'arrondit ; longtemps elle resta indécise. Tout à coup, elle tomba. Une autre vint, et lentement, à la pointe du roseau vert, naquit la source. A peine un fil d'eau, mais filtré".

Henri BOSCO, Extrait de L'enfant et la rivière.

THESE de SPÉCIALITÉ

Titre de l'ouvrage :

GÉOMORPHOLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE
DE LA RÉGION D'AOSTE
(Isère)

Nom de l'auteur : Yves SAPEY-TRIOMPHE

Établissement : Université Scientifique et Médicale de Grenoble

RÉSUMÉ

L'extrémité septentrionale du plateau du Bas-Dauphiné résulte d'une sédimentation molassique sableuse (Tortonien) de transition entre les faciès marins et deltaïques. La détermination de quelques fossiles dont *Nassa michaudii*, ainsi que la découverte d'une ancienne dune éolienne, précisent le contexte bio-géographique de cette époque.

La morphologie actuelle est héritée des phases de retrait glaciaire au cours desquelles des réseaux hydrographiques se sont orientés vers le Nord-Ouest, parallèlement aux glaces de vallées. Les cours d'eau qui ont alors entaillé la molasse, ont repris une direction d'écoulement Nord lors de la fonte des glaces de la dépression d'Aoste.

Une période de sédimentation lacustre a peu à peu comblé cette cuvette, et s'est achevée par la progradation des alluvions du Rhône et du Guiers. Ces dépôts graveleux, reconnus par des sondages mécaniques et géophysiques, forment deux réservoirs aquifères indépendants épais d'une dizaine de mètres : l'un concerne la dépression du « couloir » des Avenières, l'autre la plaine d'Aoste dont l'étude par prospection électrique a révélé les zones préférentielles de chenalisation.

L'alimentation des nappes qu'ils contiennent est assurée par des nappes adjacentes, d'extension limitée et par les écoulements issus des bassins-versants du Pissoud et de la Bièvre. Les relevés piézométriques et les mesures de paramètres hydrodynamiques effectuées sur leur zone de séparation (essais de pompage) ne révèlent pas de relation dynamique entre ces deux nappes.

L'étude physico-chimique confirme leur indépendance. Leurs caractéristiques chimiques sont localement influencées par les minéralisations issues des zones d'alimentation. L'exploitation de ces nappes par les syndicats des eaux de la région reste tributaire de leurs zonations chimiques.

MOTS-CLÉS

Aquifère alluvial ; Prospection électrique ; Bas-Dauphiné ; Chenalisations glaciaires ; Réseau hydrographique ; Géochimie ; Molasse ; Miocène.

SOMMAIRE

| | Page |
|---|------|
| Avant-propos..... | 3 |
| Résumé..... | 5 |
| Introduction..... | 9 |
| | |
| PREMIERE PARTIE : LES TERRAINS RENCONTRES..... | 11 |
| Chapitre 1 : Contexte de l'étude..... | 13 |
| Chapitre 2 : Géologie..... | 23 |
| Chapitre 3 : Morphologie..... | 69 |
| Chapitre 4 : Géométrie du réservoir aquifère..... | 109 |
| | |
| DEUXIEME PARTIE : HYDROGEOLOGIE..... | 157 |
| Chapitre 1 : Hydroclimatologie..... | 159 |
| Chapitre 2 : Comportement des nappes..... | 183 |
| Chapitre 3 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la région d'Aoste..... | 225 |
| | |
| CONCLUSIONS GENERALES..... | 265 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 269 |
| ANNEXES..... | 273 |
| Liste des figures..... | 303 |
| Liste des tableaux..... | 309 |
| Table des matières..... | 311 |

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION

F: 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail: ptalour@ujf-grenoble.fr

30 AOUT 2003

INTRODUCTION

La région d'Aoste, à l'extrême Nord-Est du département, présente un net contraste de relief entre le plateau des Terres Froides et la plaine d'Aoste qui le prolonge vers le Nord en direction du Rhône.

La liaison entre cette plaine et celle de Morestel est assurée par une vallée qui isole l'île des Avenières du reste du plateau : ce "couloir des Avenières", ancien passage du Rhône, possède une nappe aquifère exploitée par le Syndicat des Eaux de Dolomieu-Montcarra, tandis que le Syndicat Intercommunal des Eaux des Abrets et Environs (7 communes) possède une station de pompage sur le cône de Veyrins-Thuellin.

Les prévisions à long terme des besoins en eau des villages concernés nécessitaient l'ouverture de nouvelles études sur les réservoirs aquifères locaux. Ce présent ouvrage concrétise ce souci de développer de nouveaux sites d'exploitation : il est le fruit d'un contrat de recherche entre la Direction Départementale de l'Agriculture de l'Isère (D.D.A.) et l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble.

Cette étude a requis une reconnaissance de la géomorphologie de ce secteur soumis aux actions érosives tour à tour des glaces et des eaux. Les données recueillies ont permis une meilleure appréhension des systèmes d'écoulements. A la suite de reconnaissances géophysiques, trois nouveaux forages ont été effectués, qui ont donné des résultats intéressants pour deux d'entre eux.

Par contre, un épineux problème existe dans le couloir des Avenières, dont les nappes sont très souvent chargées en fer et manganèse. Une étude géochimique des eaux s'avèrait donc intéressante à développer.

La situation fragile du système d'exploitation en eau du syndicat des Abrets, tributaire pour 50 % de l'eau pompée à la station de Veyrins-Thuellin, montre l'urgence de la détermination de nouveaux sites exploitables.

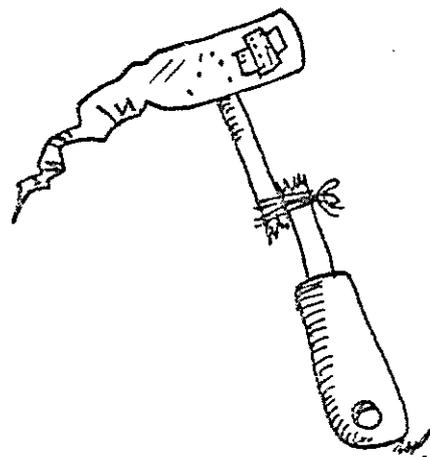
PREMIERE PARTIE
LES TERRAINS RENCONTRES

CHAPITRE 1 : CONTEXTE DE L'ÉTUDE

CHAPITRE 2 : GÉOLOGIE

CHAPITRE 3 : MORPHOLOGIE

CHAPITRE 4 : GÉOMÉTRIE DU RÉSERVOIR AQUIFÈRE

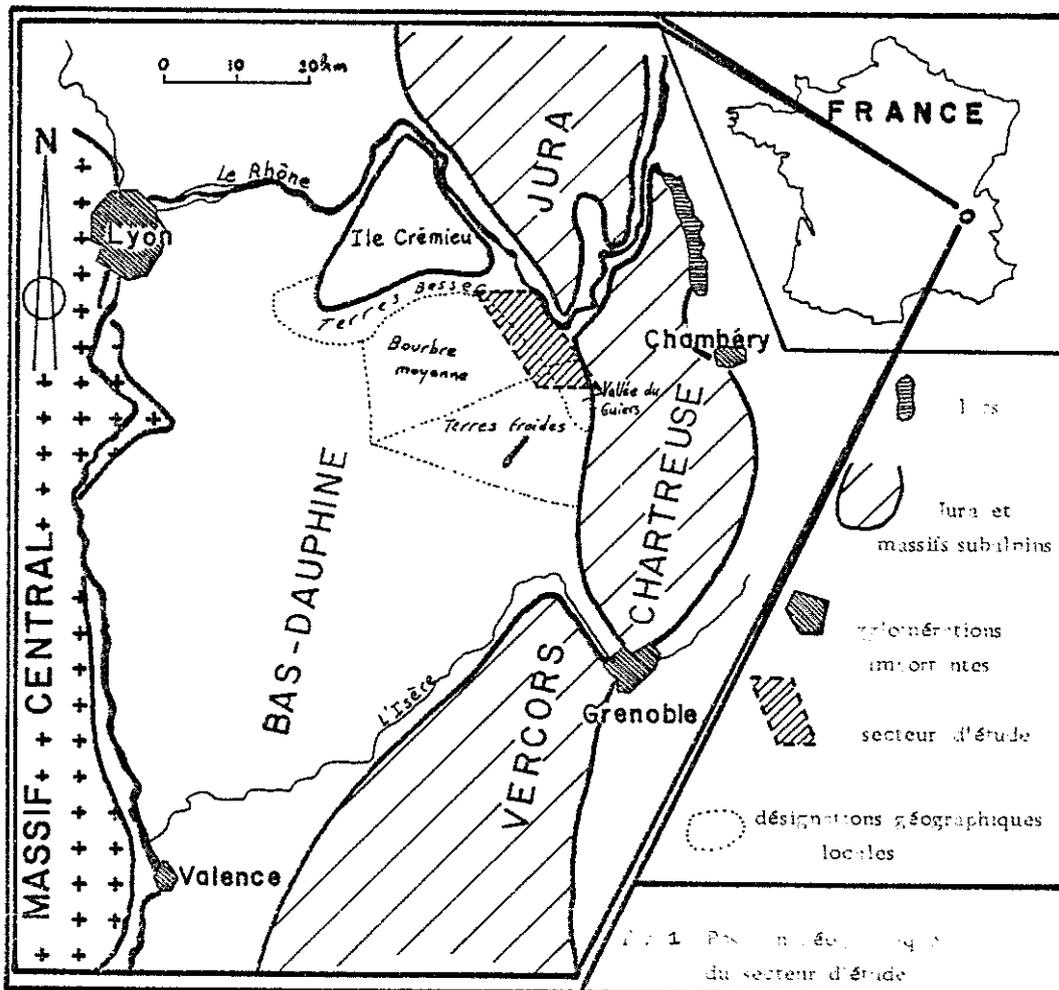


CHAPITRE 1

CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1. CADRE GEOGRAPHIQUE

A sa sortie des reliefs alpins le Rhône étale ses méandres entre le Jura et le plateau des Terres Froides. Il entre alors dans la partie septentrionale du Bas-Dauphiné, région limitée vers l'Est et le Sud par les massifs de la Chartreuse et du Vercors, bordée vers le Nord par le Jura et la plaine de la Bresse, drainée vers l'Ouest par le Rhône (Fig.1).



Notre secteur d'étude est aussi dominé au Nord-Est par le Bas-Bugey, prolongé à l'Est par le chaînon du Mont-Tournier en rive droite du Guiers, au Sud et à l'Ouest par les collines du Bas-Dauphiné, tandis que vers le Nord-Ouest il est prolongé par la plaine marécageuse du Bouchage.

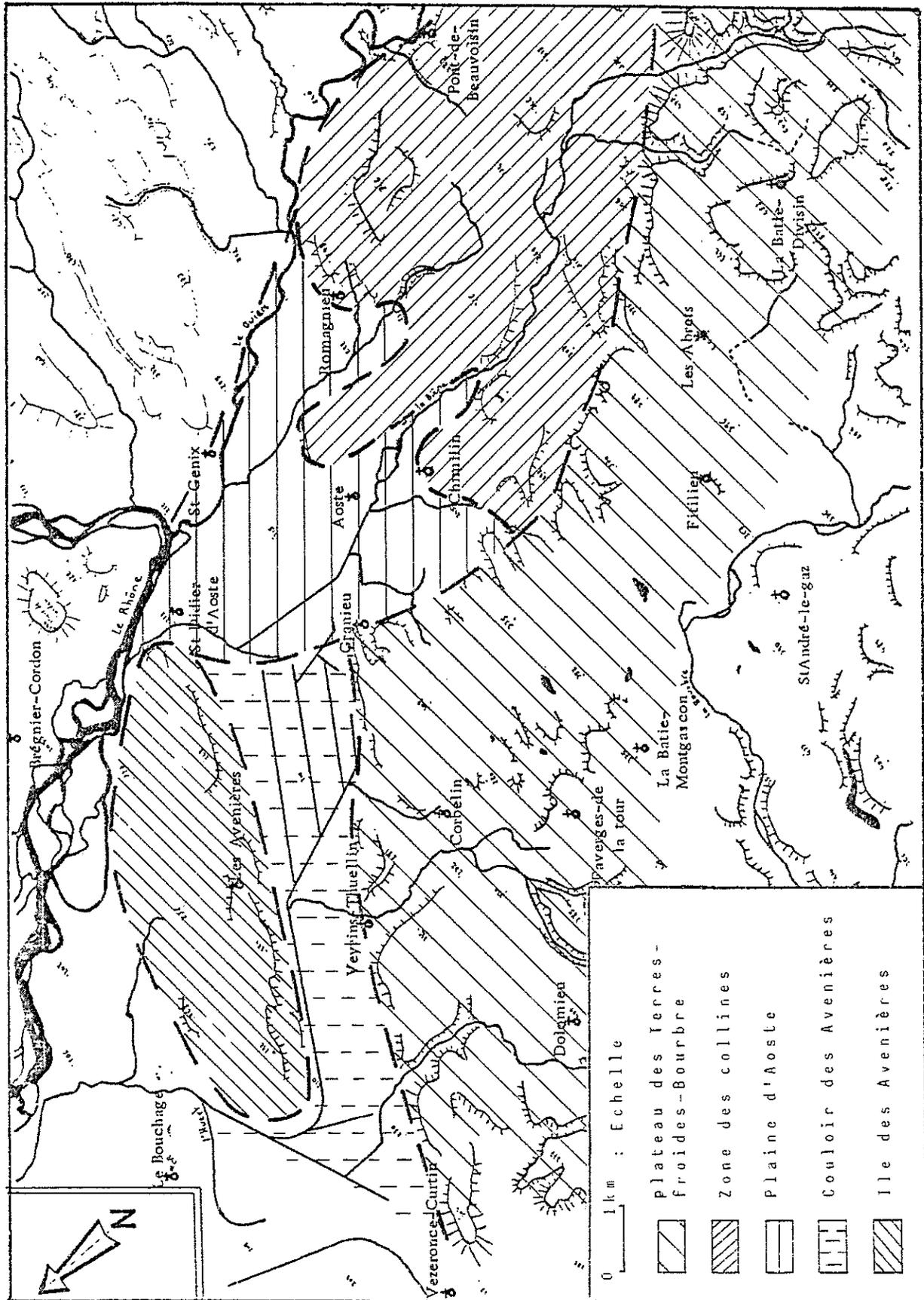


Fig. 2 : Les sous-secteurs géographiques de la zone étudiée

Placé en contrebas des plateaux des Terres Froides et de la Bourbre moyenne, c'est une plaine de faible altitude (210 mètres), humide (marais, cours d'eau à faible pente). De là vient le nom local de "Terres Basses", qui s'applique à ce secteur de la vallée du Rhône jusqu'à la bordure sud-est et Sud de l'Ile Crémieu.

Cette région essentiellement rurale (cultures et élevage) est drainée par le Guiers dans sa partie est, alors que vers le Nord-Ouest un important réseau de canaux a été mis en place pour assécher les marais et gagner des terres à l'agriculture.

Dans cette étude nous distinguerons cinq sous-secteurs géographiques (Fig.2).

- 1 - Le plateau des Terres Froides - Bourbre,
- 2 - La zone des collines de Chimilin, bordée par le Guiers et la Bièvre, formée de croupes à matériel sableux souvent recouvert de dépôts glaciaires ;
- 3 - La plaine d'Aoste, résultat des épandages conjugués d'alluvions du Rhône et du Guiers ;
- 4 - Le "couloir" des Avenières, tourbeux et marécageux ;
- 5 - L'"Ile" des Avenières, butte septentrionale isolée du reste du plateau du Bas-Dauphiné ;

Notre étude hydrogéologique porte essentiellement sur les secteurs 3 et 4. Pour la partie paléomorphologique nous serons amené à étendre nos recherches hors de ces différents secteurs

1.2. GEOLOGIE LOCALE

1.2.1. Situation géologique

Placé entre deux grandes unités géologiques : la chaîne hercynienne paléozoïque, représentée par les contreforts du Massif Central à l'Ouest, et la chaîne alpine cénozoïque dont résultent les plissements subalpins de Chartreuse et du Vercors à l'Est, le Bas-Dauphiné se présente comme un bassin subsident latéral à l'axe du couloir rhodanien, bordé vers le Nord par le plateau de l'Ile Crémieu et le Jura méridional (Bas-Bugey), (Fig. 3).

Figure 3 :
ALPES OCCIDENTALES

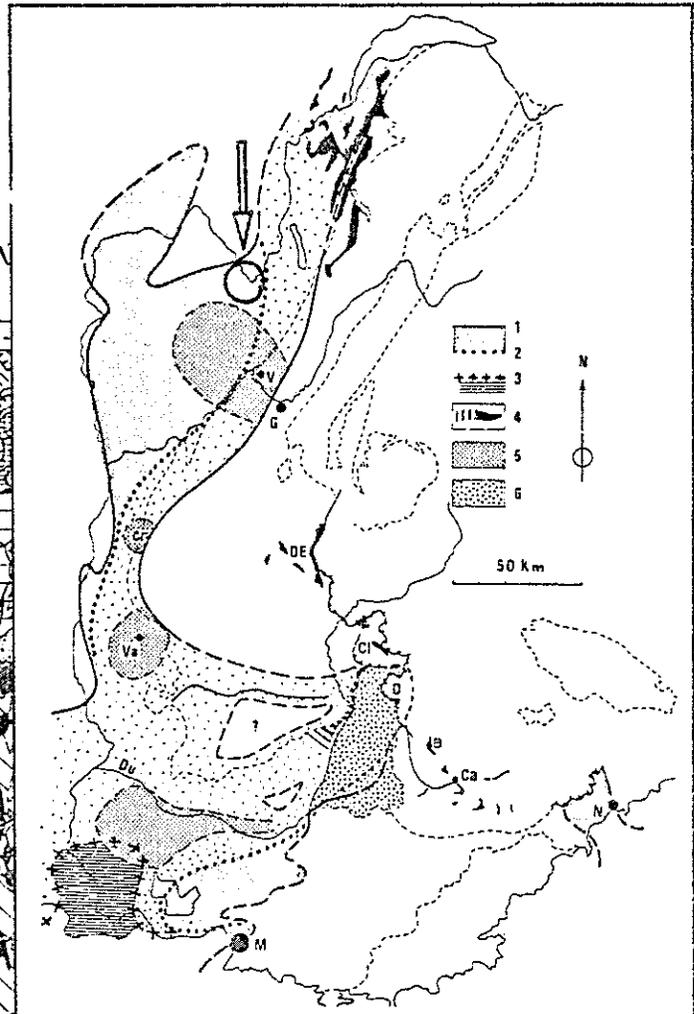
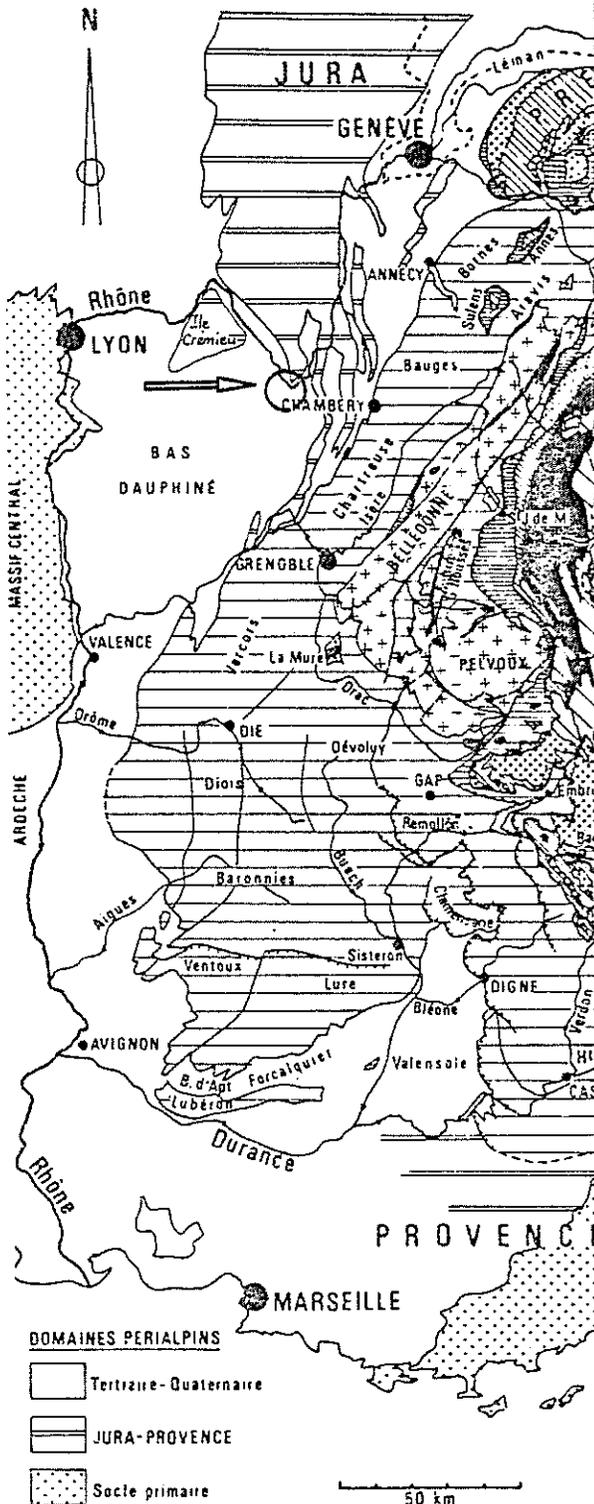


Figure 4 :

Les bassins périalpins du versant Français.

1 : Limite de la mer helvétique; 2 : Limite de la mer burdigalienne; 3 : Limite de la mer aquitanaïenne; 4 : Bassins oligocènes (à l'W de Digne, on a indiqué l'amorce de son prolongement sous le Miocène de la basse-Durance); 5 : Nappes conglomératiques miocènes d'origine subalpine; 6 : Conglomérats mio-pliocènes de Valensole.

B : Barrême; Ca : Castellane; Cl : Clumanc; Cr : Crest; D : Digne; DE : Dévoluy; Du : Durance; G : Grenoble; M : Marseille; N : Nice; Va : Valréas.

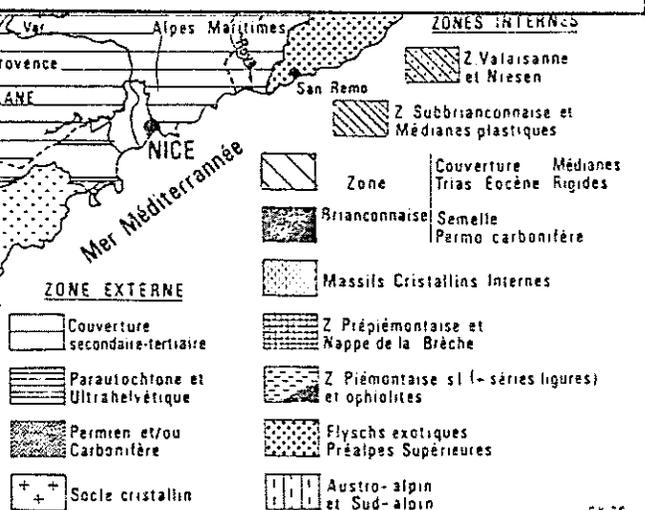


Fig.3: Carte structurale de la partie Ouest des Alpes occidentales (D'après J. Debelmas et Cl. Kerckhove, 1980)

Fig.4: Les bassins périalpins du versant français des Alpes (Ibid.)

Légende : : Secteur étudié

1.2.2. Histoire géologique succincte du Bas-Dauphiné

Dans la plus grande partie du Bas-Dauphiné on peut observer essentiellement trois types de dépôts : marin sableux, deltaïques conglomératiques, glaciaires. De plus, en se rapprochant de l'île Crémieu, affleurent par endroits les formations calcaires du substratum anté-molassique.

Ainsi le Bas-Dauphiné est-il passé d'une sédimentation carbonatée au Mésozoïque à une sédimentation détritique au Cénozoïque pour finalement subir une érosion continentale au Quaternaire.

a. Le substratum du remplissage miocène

Pendant l'ère secondaire la région ne se différencie pas du reste de la plate-forme carbonatée jurassienne. L'émersion a probablement lieu au Crétacé supérieur.

Au début du Tertiaire, toute la zone dauphinoise émerge : la région connaît alors une période d'évolution continentale. Des mouvements tectoniques précoces ont lieu, marqués par une surrection et une érosion à l'emplacement des chaînons jurassiens et de l'île Crémieu, accompagnés ou suivis de la mise en place d'un réseau de failles verticales.

A l'Oligocène, dans le cadre d'une tectogenèse de distension, se dessinent les dépressions de la Bresse, du Bas-Dauphiné et de la plaine suisse.

b. Les dépôts du Miocène

C'est seulement au début du Miocène que la mer, chassée du domaine alpin interne par la surrection alpine, va progressivement revenir sur l'actuel Bas-Dauphiné :

- A l'Aquitaniien, consécutivement à la surrection, on observe un démantèlement des reliefs donnant lieu à une sédimentation détritique continentale .

| Eres | Périodes | Epoques | Etages | Âges Ma | Evènements | Représentation schématique |
|-------------|-------------|-------------|-----------|--|---|----------------------------|
| QUATERNAIRE | | Holocène | | 0,008 | alluvions post-glaciaires | |
| | | Pléistocène | | | érosion et dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires | |
| TERTIAIRE | Néogène | Pliocène | | 1,8 | épandages sur le piedmont remblaiement | |
| | | Miocène | Messinien | 5,5 | érosion émersion et plissement alpin sédimentation détritique transgression marine | |
| | Tortonien | | 6,8 | | | |
| | "Helvétien" | | 11,0 | | | |
| | Burdigalien | | 17,0 | | | |
| | Aquitaniien | 20,8 | | | | |
| | 24,5 | | | | | |
| Paléogène | Oligocène | | | mouvements subsidents | | |
| | Eocène | | 37 | érosion plissement et failles émersion | | |
| SECONDAIRE | Crétacé | | | 65 | sédimentation carbonatée | |

Tableau 1 : Chronologie des événements géologiques.

A cette époque la mer remonte le sillon alpin à la faveur des dépressions subsidentes qui le jalonnent (cf. Fig.4) réalisant ainsi, au Burdigalien, la liaison avec la plaine suisse. Ce sillon va peu à peu migrer d'Est en Ouest sous l'effet de la poussée alpine pour envahir totalement le Bas-Dauphiné à l'Helvétien.

Ce retour de la mer s'accompagne d'une sédimentation détritique sableuse en rapport avec l'érosion des jeunes reliefs alpins.

- Au Tortonien, le faciès sableux marin va peu à peu laisser place à des dépôts conglomératiques de delta. Le bassin subsident est comblé, la mer se retire définitivement.

Le plissement alpin affecte sa bordure est, au contact des chaînons jurassiens de Chartreuse qui sont déversés vers l'Ouest.

c. L'évolution continentale

Au Miocène terminal, le piedmont bas-dauphinois est une vaste zone d'épandage des produits de l'érosion alpine.

Pendant le Messinien, la vallée du Rhône est soumise à une très importante phase d'érosion qui l'abaisse jusqu'à un niveau non retrouvé depuis.

Avec le retour de la mer jusqu'aux environs de Lyon au cours du Pliocène, les sédiments successivement marins, lagunaires, puis fluvio-lacustres s'accumulent dans la ria fossilisant l'ancienne vallée (R.Ballesio, 1972). Il est possible que ces deux phases (érosion messinienne suivie d'une sédimentation continentale au Pliocène) se soient manifestées dans notre région, mais aucune observation géologique ne permet actuellement de confirmer cette hypothèse.

Le Quaternaire est marqué par l'action érosive tour à tour des eaux et des glaces : l'alternance des périodes glaciaires et inter-glaciaires façonne le piedmont jusqu'à lui donner son identité actuelle. Les alluvions lacustres, puis fluviales, comblent peu à peu les surcreusements des vallées glaciaires.

CHAPITRE 2

GÉOLOGIE DE LA RÉGION D'AOSTE

A - GÉOLOGIE DESCRIPTIVE

B - SÉDIMENTOLOGIE

A - GÉOLOGIE DESCRIPTIVE

A1 - LES TERRAINS RENCONTRES

A la différence du secteur de Morestel vers l'Ouest, la cartographie de notre secteur ne montre pas d'affleurements de calcaires jurassiques. Ici la molasse est bien trop épaisse et le pointement de Jura tabulaire de l'Ile Crémieu encore loin.

1.1. LES PROBLEMES SOULEVES SUR LE TERRAIN

Les terrains les plus anciens rencontrés et décrits sont représentés par les sables de l'Helvétien, difficilement différenciables de ceux du Tortonien marin sur le terrain. Pour cela, la cartographie établie par G. Pierre (pour la publication de la carte à 1/50000 de la Tour-du-Pin) tient compte de la microfaune que nous n'avons pu étudier dans le contexte de notre étude hydrogéologique.

La distinction entre Tortonien marin et Tortonien deltaïque n'est pas non plus très nette. En fait cela vient de l'interpénétration progressive de la sédimentation deltaïque grossière dans les dépôts sableux marins.

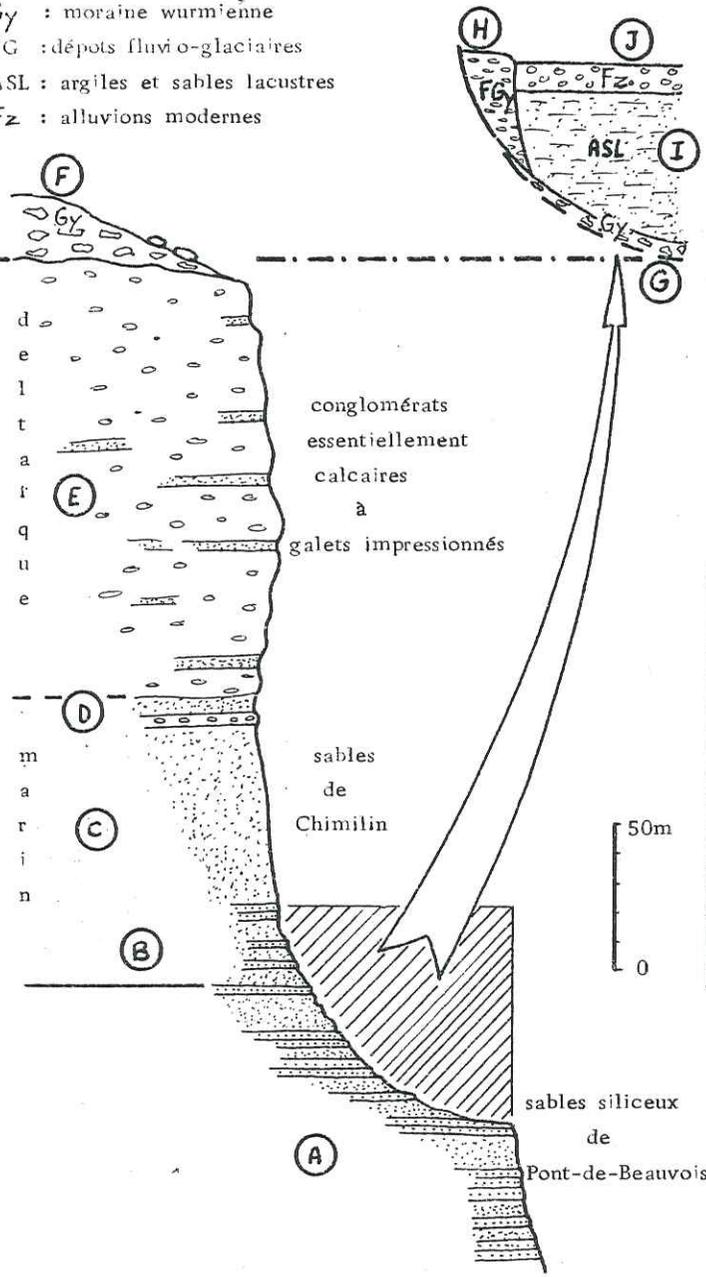
On n'observe pas ici les cailloutis siliceux à gros galets qui coiffent les dépôts miocènes du plateau de Chambaran (30 km plus au Sud-Ouest) : l'érosion glaciaire a balayé ces sédiments meubles s'ils existaient.

Les affleurements glaciaires nets sont rares mais par contre très fréquemment altérés dans les dépôts de surface. Les matériaux meubles du Miocène local ont facilement été repris par l'érosion glaciaire et périglaciaire puis incorporés aux moraines et dépôts fluvioglaciales, ce qui peut compliquer les déterminations sur des affleurements restreints.

Enfin, les alluvions récentes sont de nature variée selon leur mode de sédimentation : de caillouteuse à argileuse, mais aussi tourbeuse, dans les zones mal drainées, et très localement tufeuse (au pied des versants molassiques du couloir des Avenières).

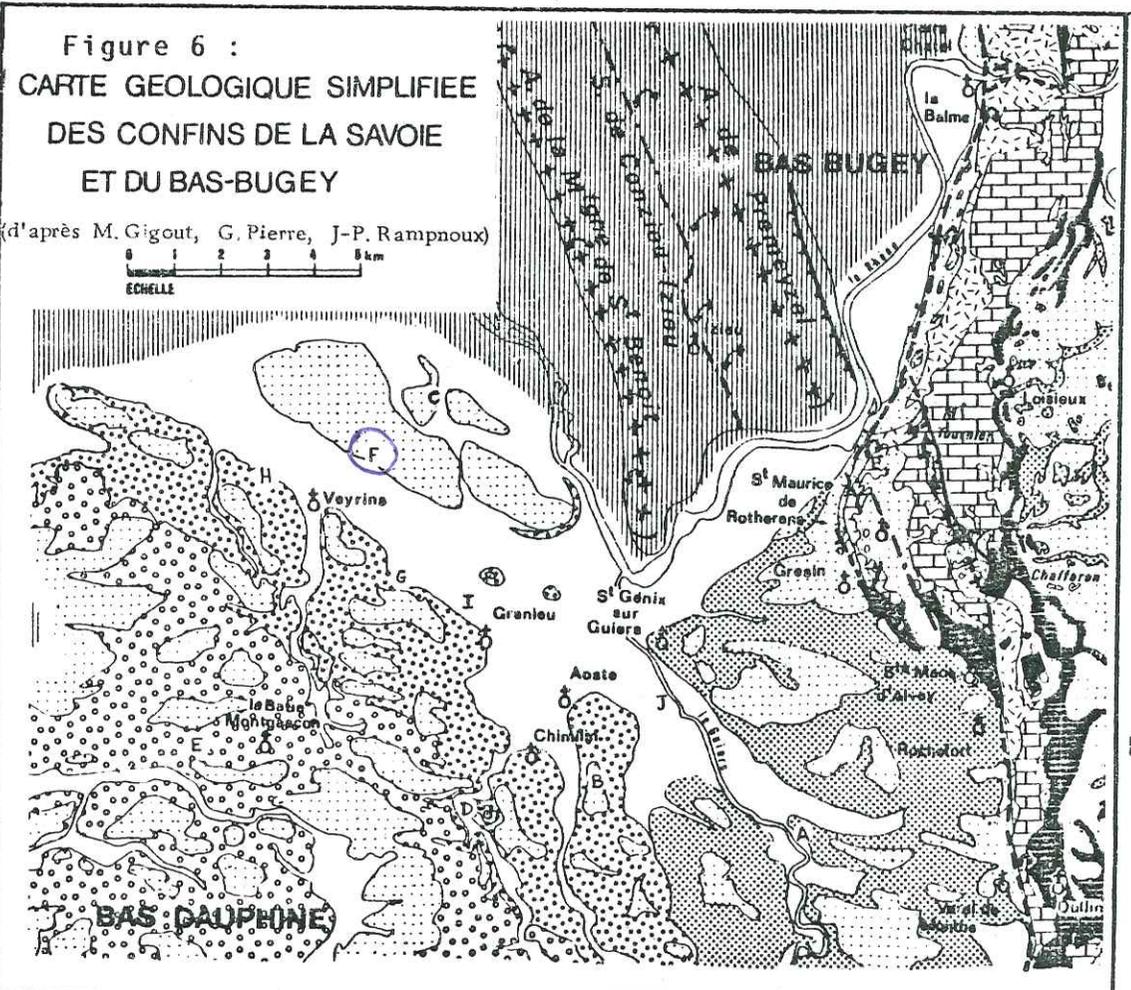
QUATERNAIRE
 TERTIAIRE
 HELVÉTIQUE

Gy : moraine wurmienne
 FG : dépôts fluvioglaciers
 ASL : argiles et sables lacustres
 Fz : alluvions modernes



Echelle stratigraphique schématique
 (avec position des dépôts quaternaires)

Figure 5



Affleurements-types du secteur étudié

- A : rive droite du Guiers (Nord de Pont-de-Beauvoisin)
- B : Borgeron (ESE de Chimilin)
- C : le Luquet (carrière, Nord des Avenières)
- D : le Bois des Ternes (carrière)
- E : RN 516 (Ouest de la Bâtie-Montgascon)
- F : Les Avenières
- G : Les Combes (carrière)
- H : Rabataux (carrière)
- I : non affleurant (en sondage N°14, plaine d'Aoste)
- J : Nord de Romagnieu (carrière)

(localisation : voir carte géologique Fig 10)

LEGENDE

| | | |
|--|--|----------------------------------|
| | | Quaternaire récent |
| | | Quaternaire : moraine et éboulis |
| | | Tortonien |
| | | Helvétien |
| | | Burdigalien |
| | | Aquitanien |
| | | Craie inférieure |
| | | Malm |

++++ Axe Anticlinial
 --- Axe Synclinal
 --- Failles et flexures faillées
 --- Flexure visible

1.2. DESCRIPTION DES FORMATIONS RENCONTREES

1.2.1. Formations tertiaires (Miocène uniquement)

Helvétien : Sables de Pont-de-Beauvoisin (affleurement type A), (Fig.5,6 et 10). Ils sont présents au Sud-Est de la plaine d'Aoste, où ils constituent les collines depuis le ruisseau du Guindan jusqu'en Savoie (rive droite du Guiers-affleurement type A). Ils forment probablement le fond du surcreusement glaciaire de la plaine d'Aoste.

Ce sont des sables gris à jaunes, de taille moyenne (selon la classification décimale, cf. partie sédimentologie), à stratification entrecroisée et litage oblique fin, avec parfois des galets épars, généralement petits, souvent quartzeux. Parfois, ils sont indurés en petits bancs de grès décimétriques pouvant varier brutalement d'épaisseur (forme "en oreiller"), de couleur gris clair à grain fin, ou plus sombre à grain moyen à grossier. Des joints argileux sont fréquents entre les lits.

D'après l'observation pétrographique des sables on a (G. Latreille, 1969) : du quartz (jamais émoussé), des feldspaths (frais), du calcaire (essentiellement détritique), des micas. Les graviers et petits galets (inférieurs à 5 cm) sont surtout de quartz et quartzite, mais également de calcaire sombre. De petits graviers de roches vertes et radiolarites rouges sont également présents.

La macrofaune est rare (débris de coquilles), de caractère littoral ou fluviolacustre (Natices, Patelles, Helix). Elle n'a pu être retrouvée dans les affleurements en rive gauche du Guiers.

Tortonien marin : Sables de Chimilin (affleurements type B, C, et D), (Fig.5, 6 et 10). On les trouve à l'Ouest de l'Helvétien, sur tous les reliefs du secteur jusqu'à une altitude supérieure à 300 m (Les Ferrières). Vers l'Ouest, leur cote sommitale se situe vers 270 m (Bois des Ternes).

Très proches de ceux de Pont-de-Beauvoisin, ces sables sont gris à jaunes, moyens, à stratification entrecroisée et litages obliques (affleurement C). Les graviers et galets, relativement rares à la base, forment vers le haut des passées métriques importantes (affleurements D) au contact avec le Tortonien deltaïque. L'induration des sables en petits bancs de grès, fréquente au début (affleurement B), disparaît rapidement. Notons la présence, à Saint Didier d'Aoste, d'une paléo-dune (voir sédimentologie§ B23). Comme dans les sables de Pont-de-Beauvoisin, on note la présence de quartz, feldspath, calcaire, micas.

La macrofaune est fréquente, issue d'un milieu infra-littoral. A l'Est (Mont-Charvet) les coquilles sont usées et cassées. Plus à l'Ouest, elles sont fragiles et souvent entières (milieu médio-littoral à Veyrins - sables à Nassa Michaudi - tendant vers un milieu supra-littoral au niveau du Luquet : Helix delphinensis). Les débris de coquilles sont partout présents, sauf à St Didier d'Aoste.

Certains fossiles caractéristiques de notre secteur, déterminés par le Professeur G. Demarcq, ont été prélevés en trois points de la molasse sableuse tortonienne (Fig.10) :

- Mont-Charvet, au Sud-Ouest de Chimilin, tranchée de l'autoroute A 43 (cote Z = 275 m) ;
- Côte Molette, en bordure de la route du cimetière, au Sud-Ouest de Veyrins (cote Z = 270 m) ;
- Le Luquet, au Nord des Avenières (cote Z = 230 m, affleurement C).

De ces déterminations, il ressort que la faune usée et roulée du Mont-Charvet, caractéristique d'un milieu littoral, correspond à l'unité des sables de Chimilin du Tortonien (tout à fait inférieur) marin : Balanus sp., Ancillaria glandiformis LIN, Patella delphinensis FONT, Cardita michaudi TOURN, Arca turonica DUJ, Trochus sp., Venus sp.

Par contre, la faune prélevée à la Côte Molette, à une latitude semblable, correspond "au faciès et au milieu des "sables à Nassa michaudi" représentant un passage latéral et supérieur des sables précédents du Tortonien basal marin" (G. Demarcq, communication écrite). Ce faciès saumâtre s'étend plutôt vers l'Ouest (sables d'Heyrieux) et le Sud-Ouest. Nous avons ramassé :

- Murex sp., Nessariidae, Ancillaria glandiformis (?) LIN :
éléments marins ;
- Nassa michaudi THIOL : milieu saumâtre
- Helix delphinensis : milieu terrestre ;

Cette tendance d'évolution d'un milieu marin vers un milieu terrestre se retrouve bien au niveau du Luquet où les coquilles d'Helix abondent à certains niveaux alors que d'autres présentent encore un caractère intertidal (cf. § A2 points de la carte modifiés).

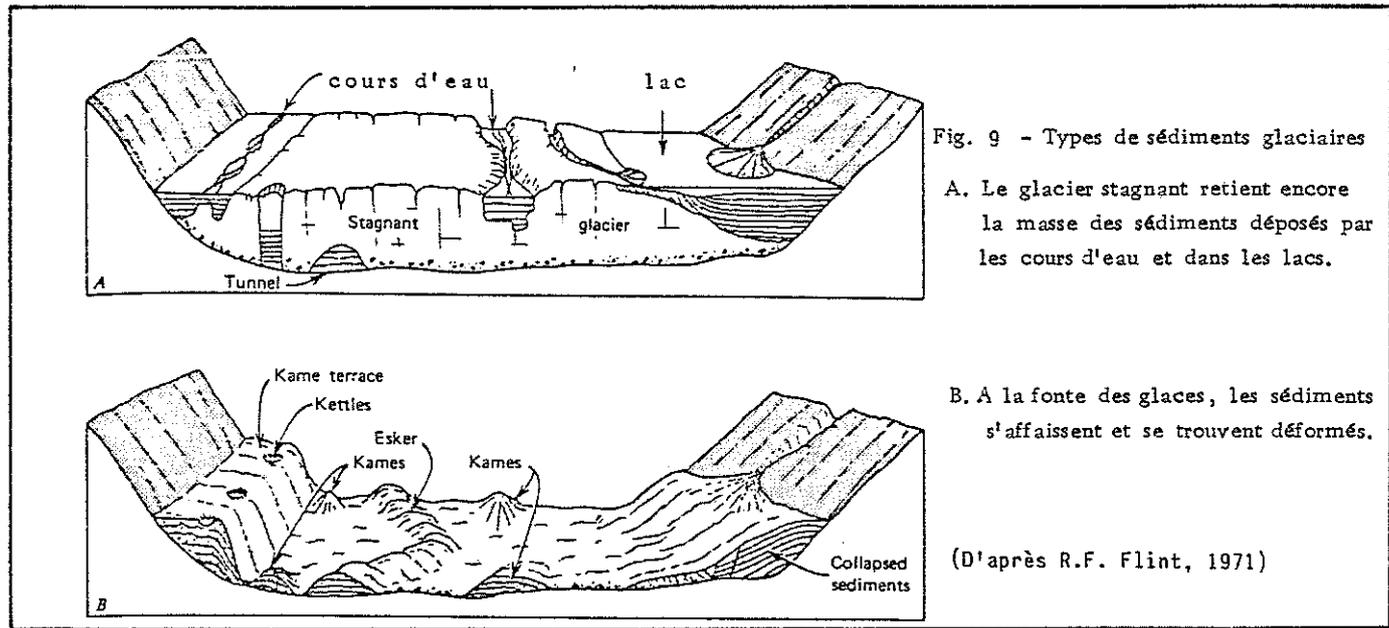
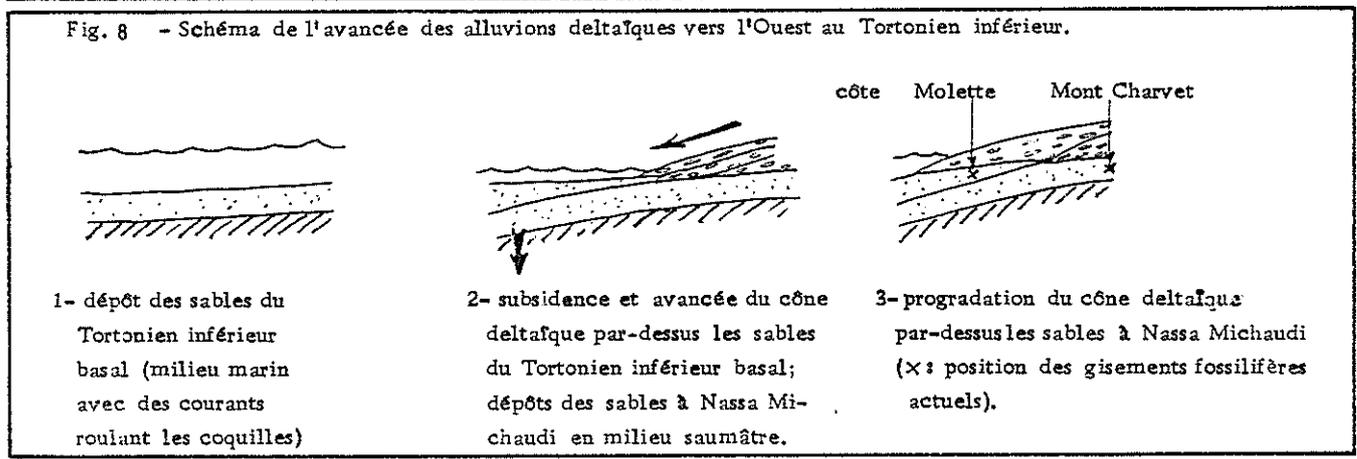
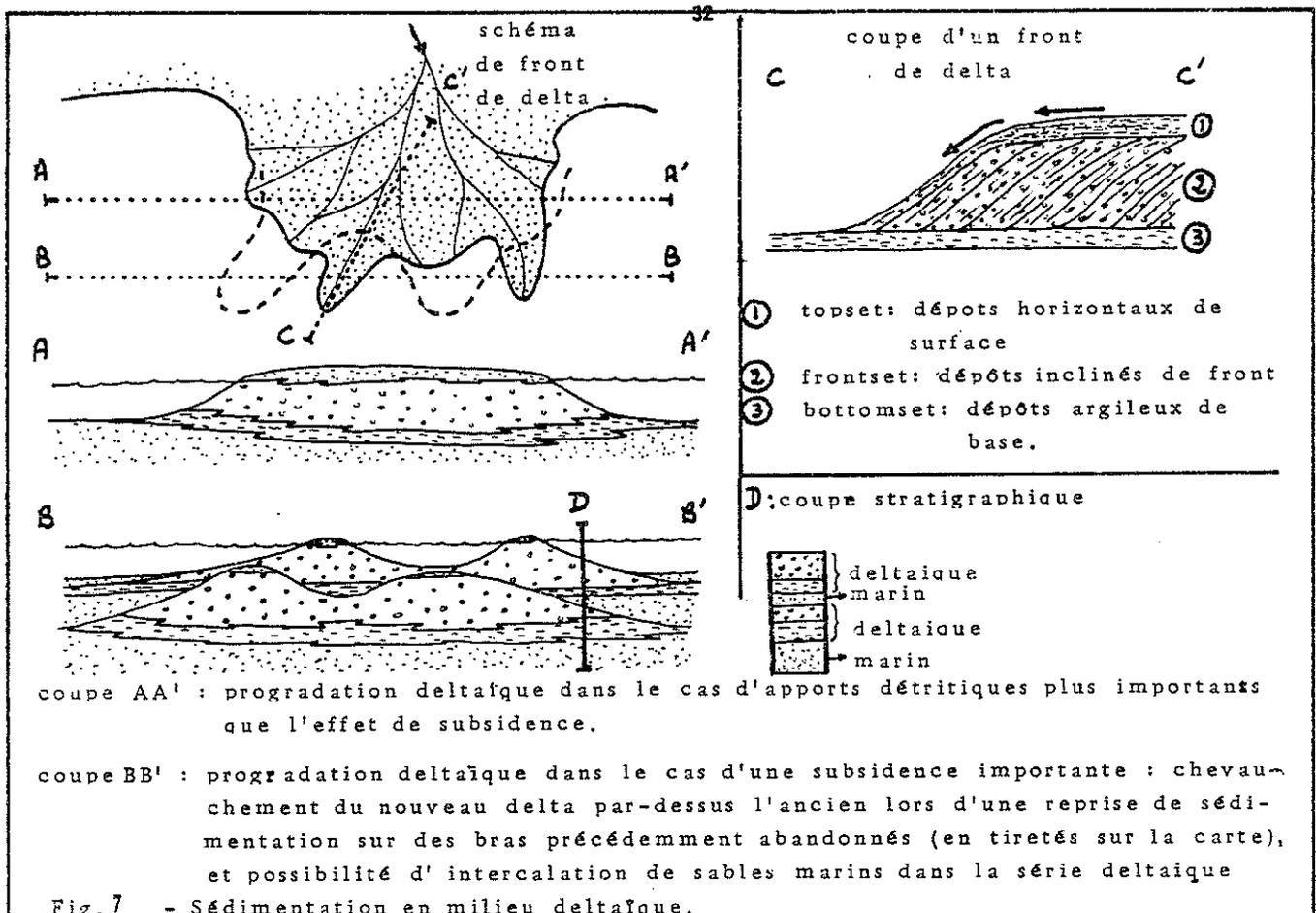
A partir de ces données paléontologiques, on peut considérer que le Tortonien deltaïque (m2bc), dont la base se situe très généralement dans ce secteur vers 320 m, recouvre vers l'Est le Tortonien inférieur tout à fait basal alors qu'au niveau de Veyrins-Thuellin il coiffe les "sables à Nassa michaudi" d'un Tortonien inférieur plus tardif. Ceci pourrait illustrer l'avancée progressive des alluvions deltaïques en direction de l'Ouest par-dessus une sédimentation sableuse en milieu subsident (fig.8).

Tortonien deltaïque (affleurements types D et E). Il coiffe partout, vers l'Ouest de la Bièvre, les dépôts sableux marins. Sa base varie de 290 m dans la plaine de Vallière (Sud de Chimilin) à 320 m au Sud de Thuellin. Ceci ne donne pas une indication de pendage car ces dépôts sont diachrones, mais représente un passage latéral de faciès entre le marin et le deltaïque (Fig.7).

Ces dépôts deltaïques sont composés en grande partie de conglomérats à galets souvent impressionnés dans une matrice sableuse. On observe encore des passées sableuses mais également des bancs silteux bleutés et des débris ligniteux (affleurement D). Les dépôts sont interstratifiés.

Les bancs conglomératiques présentent surtout des galets de calcaire, mais également de quartz, quartzites rubéfiés, roches cristallines (souvent altérées et pulvérulentes), et quelques radiolarites rouges, grès molassiques, roches vertes. La matrice sableuse ressemble aux sables de Chimilin.

La macrofaune n'a pas été identifiée lors de l'étude (débris de coquilles). Elle serait de milieu saumâtre à Nassa Michaudi (notice de la carte géologique, 1976).



1.2.2. Formations quaternaires glaciaires :

Moraines du Würm (affleurements-types F et G), (Fig.5, 6 et 10) . Elles sont présentes surtout en couverture des collines molassiques là où l'érosion post-glaciaire s'est le moins manifestée (affleurement F). On les observe par ailleurs sous des dépôts fluvio-glaciaires (affleurement G).

La matrice est sablo-argileuse, de couleur ocre à blanchâtre, à petits blocs, galets et graviers dispersés. Les stries sont fréquentes sur les galets calcaires. Le contact avec les formations supérieures peut être souligné par une consolidation plus nette due à une calcification de la matrice en relation avec la nappe aquifère supérieure.

L'origine pétrographique est variée ; les éléments sont calcaires, quartzitiques, cristallins sains,...

Blocs erratiques . Assez épars, peu nombreux, ils se situent sur les buttes à dépôts glaciaires. Ce sont des blocs métriques, anguleux (calcaires) ou plus arrondis de calcaires clairs, grès ou schistes gris verts. On note la présence de deux blocs calcaires à huitres presque décimétriques (les Avenières).

Dépôts fluvio-glaciaires (affleurement type H). On regroupe sous cette appellation des alluvions transportées par les eaux glaciaires et déposées à proximité ou au sein du glacier (kame), (Fig.9). Ils forment le fond de couloirs encaissés, anciens chenaux latéraux du glacier en retrait. En bordure de la plaine d'Aoste et du couloir des Avenières, les dépôts forment des terrasses à 280 m d'altitude (à Veyrins, affleurement type H) et à 230 m.

Transportés par des eaux torrentielles, ce sont généralement de gros galets dans une matrice sableuse . Sans stratification nette dans les chenaux, ils peuvent en présenter une dans le cas de terrasses de kame peu importantes (Le Champ : alternance de galets et de minces lits de sables). On y trouve quelquefois des galets striés issus des moraines proches.

Ces alluvions sont polygéniques (remaniement des dépôts du Néogène et apports alpins) : galets calcaires (clairs et sombres), gréseux (molassiques), cristallins (altérés ou sains), quartzitiques (rubéfiés ou non) , de roches vertes et de radiolarites rouges.

Dans la matrice sableuse on repère parfois des débris millimétriques de coquilles peut-être issus de la molasse remaniée ou de faunes glacio-lacustres.

Dépôts glacio-lacustres . On les observe uniquement entre Veyrins et Granieu (affleurement type G). Ces sédiments se sont déposés dans un lac en bordure du glacier (Fig.9)

Ce sont des sables fins, silts et argiles jaunâtres en lits superposés centimétriques, inclinés d'environ 15° vers le Nord-Est. Dans les couches silteuses, on observe des figures de compression, de même que des mouvements de glissement en "turbidites". Ces dépôts sont en appui contre un lambeau de moraine et recouverts par des formations fluvio-glaciaires (cf. fig.12 p.42).

1.2.3. Formations holocènes

Dépôts lacustres. Non observables, ils sont connus par les sondages qui les ont atteints. Ils remplissent toute la cuvette de surcreusement glaciaire.

D'après les documents de forage (qui n'ont pu les traverser entièrement le long du Rhône), il s'agit de sédiments sablo-argileux, reconnus jusqu'à la cote + 107 m à l'Ouest de Brégnier-Cordon (sondage n° , cf. Annexes), soit sur plus de 100 m d'épaisseur.

Dépôts alluviaux récents. Ils forment la couverture des plaines du Rhône et du Guiers. Ils présentent un mélange variable de silts, sables, graviers, galets décimétriques. L'épaisseur, d'après les travaux de reconnaissance du sous-sol, ne dépasserait pas 15 mètres.

L'étude faite sur les galets (cf. sédimentologie) montre une présence importante de galets alpins (25 %) dans les alluvions grossières du Rhône alors que celles du Guiers sont calcaires à plus de 90 %.

Dépôts palustres. On les trouve dans les secteurs mal drainés actuels ou plus anciens : couloir des Avenières, bordure ouest de la plaine d'Aoste, et ouest de Romagnieu, mais aussi anciens chenaux fluvio-glaciaires.

On a un développement de tourbe (1 à 2 mètres) et des dépôts d'argiles plastiques grises.

Cônes de déjection . Ils se situent en bordure du plateau des Terres Froides, au débouché d'anciennes portions de chenaux fluvio-glaciaires isolées du réseau hydrographique actuel. Ces cônes, assez plats, ne se prêtent pas à l'observation par manque de coupe. Ils résultent de l'érosion du matériel glaciaire ou molassique du plateau par des cours d'eau éphémères . Leur développement peut néanmoins barrer localement les anciens chenaux fluvio-glaciaires (plaine de Vallière), (Fig.46).

Seul le cône de Veyrins est bien développé : placé au débouché d'un important chenal creusé dans le plateau, son fonctionnement a dû débiter dès la période fini-glaciaire (formation de la terrasse latérale au culot de glace-morte). Par la suite il a pu participer au comblement du couloir pendant la période lacustre, mais s'opposer au passage du Rhône lors de la progradation des alluvions de celui-ci dans le couloir. Les galets décimétriques des gravières ouvertes sur 5 mètres environ au Nord de Veyrins sont inclinés d'environ 30° vers le débouché du chenal, source des apports. Dans le sondage n°19 (Annexes) foré dans le cône on a trouvé, entre 5 et 8 m, un os (astragale) de bovidé du genre BISON, grand ruminant connu du Günz au Würm dans nos régions (communication écrite de R. Ballésio, Université de Lyon).

Concrétions tufeuses. Au pied du plateau des Terres-Froides (NW de Granieu notamment) les suintements diffus, issus de la nappe du plateau molassique au contact du remplissage de la plaine, donnent lieu à des encroûtements calcaires à débris végétaux. Ces dépôts peu consolidés n'ont qu'un développement localisé d'épaisseur métrique.

1.3. CONCLUSIONS DE L'ETUDE DE CES DIFFERENTES FORMATIONS

A partir de nos observations, nous avons établi un tableau comparatif des caractéristiques des principales formations rencontrées. Nous rappelons que la différenciation entre celles-ci n'est pas toujours évidente au premier coup d'oeil, surtout sur un affleurement réduit. Le contexte nous a parfois aidé pour appuyer nos déductions liées aux observations. (tableau 2, ci-dessous)

| | molasse | moraine | fluvio-glaciaire | alluvions récentes |
|-----------------------------|--|---|---|--------------------|
| galets | présents | -noyés dans l'argile à blocs -certains sont peu roulés | souvent cassés | présents |
| galets cristallins | -pourris généralement -quelquefois sains et dispersés dans les sables | sains | -sains en général -pourris près de la surface | sains |
| galets de quartzites | -rubéfiés | sains ou rubéfiés | rubéfiés (en général) mélangés avec des sains quelquefois | rare |
| galets striés | absents | présents | rare | absents |
| galets plats orientés | oui | non | oui | oui |
| blocs | absents | -présents dans la matrice argileuse -blocs erratiques | parfois | ? |
| bois fossile | parfois | absent | absent | parfois |
| coquilles | entières (souvent très fragiles) | absentes | détris millimétriques possibles | dépôts lacustres |
| litage | possible. | absent | peu visible | peu visible |
| lamines dans les sables | souvent | absentes | possibles dans les sables glacio-lacustres | ? |
| blocs indurés silto-gréseux | présents | absents | absents | absents |
| affleurement induré | possible | compacté | compacté | non |

Tab. 2 : Comparaison entre les différents dépôts de la région d'Aoste (molasse, moraine, alluvions fluvio-glaciaires et récentes) d'après nos observations de terrain.

A2 - POINTS DE LA CARTE MODIFIÉS PAR RAPPORT À LA CARTE GÉOLOGIQUE DE 1976

1 - Plaine de Vallière (Sud-Est de Chimilin) : on a une succession de petits cônes assez plats au débouché de vallons issus du plateau molassique (voir étude géomorphologique, chapitre 3, § 2.9.4.)

2 - Buttes de Branges-Masset et du Champ (Sud et Sud-Ouest de Saint Didier d'Aoste) : elles sont citées par R. Forat (1954) et Y. Bravard (1963) qui en font des reliques de moraine d'ablation, et par R. Meriaudeau (1962) qui voit plutôt en celle de Branges-Masset une terrasse de kame (d'après ses observations sur une coupe à son extrémité nord, non retrouvée).

La carte géologique de 1976 leur attribue une origine molassique, avec un coiffement de dépôts glaciaires sur celle du Champ.

Les observations de terrain complétées par une reconnaissance géophysique (voir ch.4) nous portent à penser qu'il s'agit d'une couverture fluvioglaciale (lits de graviers, galets, sables) de quelques mètres coiffant un substratum de sables molassiques (voir § sédimentologie). Cette formation représente probablement d'anciens kames ou os modelés en drumlins par le mouvement des glaces qui ont laissé sur le flanc nord de la butte du Champ des blocs décimétriques et des galets striés typiquement glaciaires (Fig.11).

3 - Aoste (Sud-Ouest) : les études morphologiques (sur place et sur photographies aériennes) et géo-électriques nous amènent à interpréter ce pointement comme une relique des alluvions Fy à l'Ouest de la Bièvre, isolée par l'érosion récente du reste de l'épandage fluvioglaciale.

4 - Nord-Ouest de Veyrins (Nord des Rabataux) : à partir de l'étude morphologique réalisée dans un contexte d'érosion fluviale (forme du cône de Veyrins, position des méandres de l'ancien lit du Rhône) et de l'interprétation du cône de Veyrins (d'après les résultats de forages et de prospection géophysique), nous pensons que ce secteur est à rattacher aux alluvions issues du cône de Veyrins. Le Rhône, lors

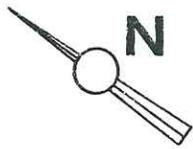
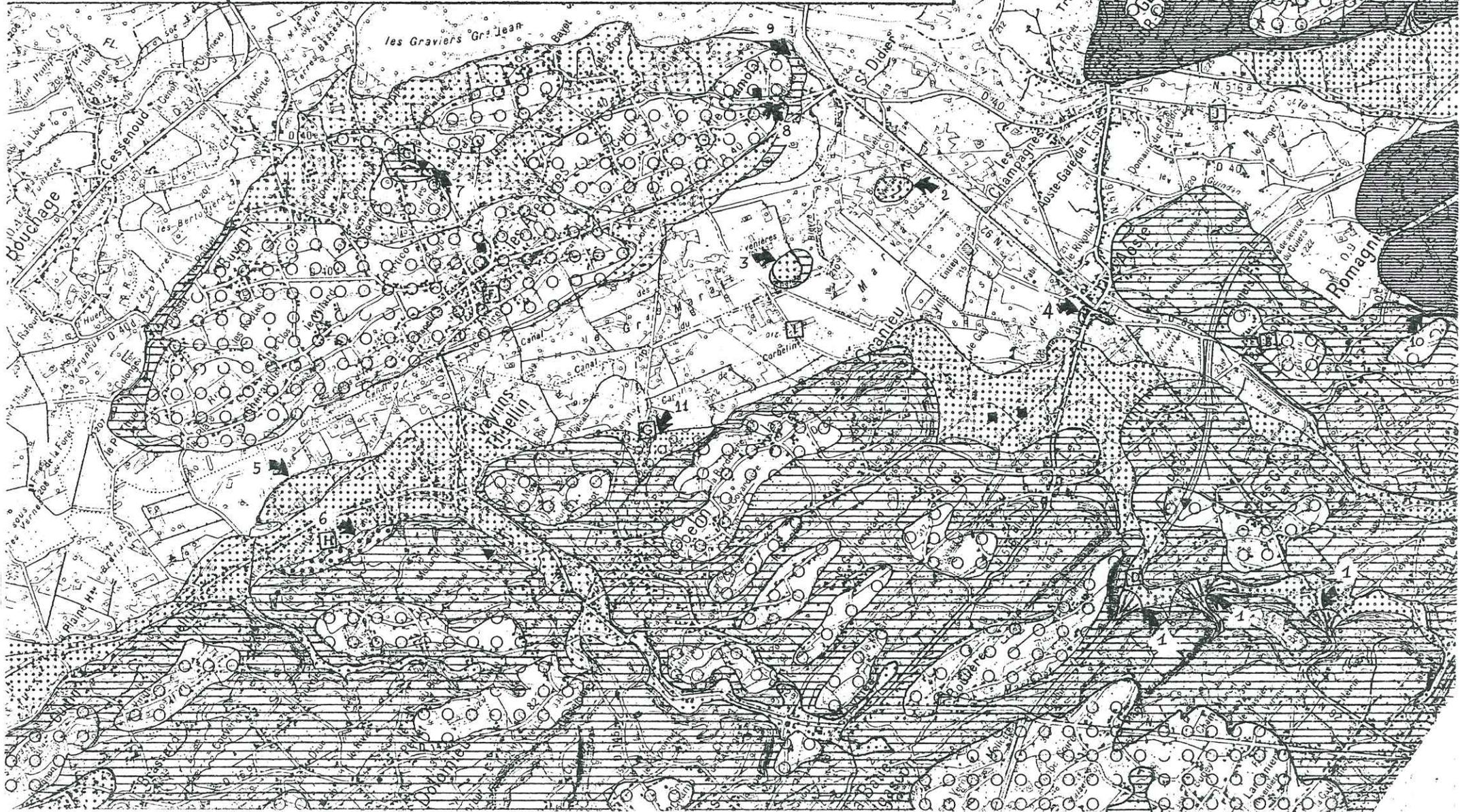


FIGURE 10 : CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION D'AOSTE

(d'après la carte géologique de la France, à
1/50 000, feuille La Tour du Pin, 1976, modifiée)

0 1 km



-  J, cônes de déjection stabilisés.
-  Fz, alluvions holocènes et modernes (cailloux, sables, argiles, tourbes).
-  Fy, alluvions du retrait würmien, grossières, caillouteuses.
-  FGyk, terrasse latérale au glacier (kame).
-  Gly., dépôts glacio-lacustres (sables) ravinés par des alluvions fluvio-glaciaires.
-  Gy, moraine würmienne, surtout de fond (argiles à galets et blocs).
-  blocs erratiques (la pointe Nord du carré indique l'emplacement).
-  m_{2b}, Tortonien (marin sableux surtout: sables de Chimilin; deltaïque conglomératique vers le haut, à partir de 280-300m)
-  m_{2a}, Helvétique (marin, sables siliceux de Pont-de-Beauvoisin).
-  gîte fossilifère (la pointe Nord du triangle indique l'emplacement).
-  localisation des affleurements (la pointe sud du carré indique l'emplacement). A et E sont en dehors de la carte.

4  Points de la carte modifiés

- 1 - plaine de Vallière (cônes de déjection anciens en couverture du Fy);
- 2 - butte de Brangues-Masset (Fy à la place de m_{2bS});
- 3 - butte de Le Champ (Fy étendu);
- 4 - Aoste (Fy à la place de Fz);
- 5 - Nord-Ouest de Veyrins (Fy étendu);
- 6 - Ouest Nord-Ouest de Veyrins (FGyk étendu);
- 7 - Nord des Avenières (m_{2bS} à la place de Gx);
- 8 - Le Chamolay (Fy à la place de Gx);
- 9 - Saint-Didier d'Aoste (Suppression du pendage dans le m_{2bS});
- 10 - ruisseau le Guindan (m_{2a} à la place de m_{2bS} en rive gauche);
- 11 - Nord-Est de Corbelin (Gly. à la place de m_{2bS}).

de ses crues, a érodé partiellement l'extrémité plus sableuse du cône, y taillant une terrasse en bordure de son lit majeur. Ceci est une conséquence du resserrement de la section du couloir entre le cône et l'île des Avenières.

5 - Terrasse de kame (Ouest-Nord Ouest de Veyrins) : la présence d'une nouvelle carrière dans des alluvions grossières au Sud-Ouest de Petit Veyrins et l'étude morphologique à partir de photographies aériennes ont permis d'étendre vers le Nord-Ouest et le Sud-Est la représentation de cette terrasse de kame notée FGyK sur la carte.

Les alluvions, en vrac et très grossières au niveau de Petit-Veyrins, sont plus sableuses et présentent une figure due à un coin de glace ou à un affaissement lors du retrait de la bordure glaciaire au Sud-Ouest de Rabataux (matériel étranger injecté dans une fente).

6 - Carrière du Luquet (Nord des Avenières, affleurement C) : en ce point se trouve un bel affleurement de molasse sableuse (Tortonien) non repéré lors de l'établissement de la carte de 1976.

Sur une trentaine de mètres de long pour un développement vertical de 6 à 8 m, cette carrière entame une butte ne présentant pour tout dépôt glaciaire (GxV de la carte géologique de 1976) que quelques galets éparpillés en surface.

La coupe présente des litages souvent entrecroisés avec, dans les couches sableuses, des lamines à pentes opposées d'un niveau à l'autre, caractéristiques des dépôts de flux de marées. Certains niveaux horizontaux sont silto-argileux et indurés : ils présentent des figures de surface de bancs (flute casts) et des boules d'argile compactée (résultat de remobilisations de dépôts d'argile par des crues qui les ont roulés sur une faible distance). Les fossiles présents sont fragiles et cependant quelquefois bien conservés (coquilles d'Helix), dénotant un milieu calme.

Ce milieu de dépôt est marin intertidal avec des chenaux de marée dans un delta aérien (voir le chapitre de sédimentologie : étude d'un échantillon de sable).

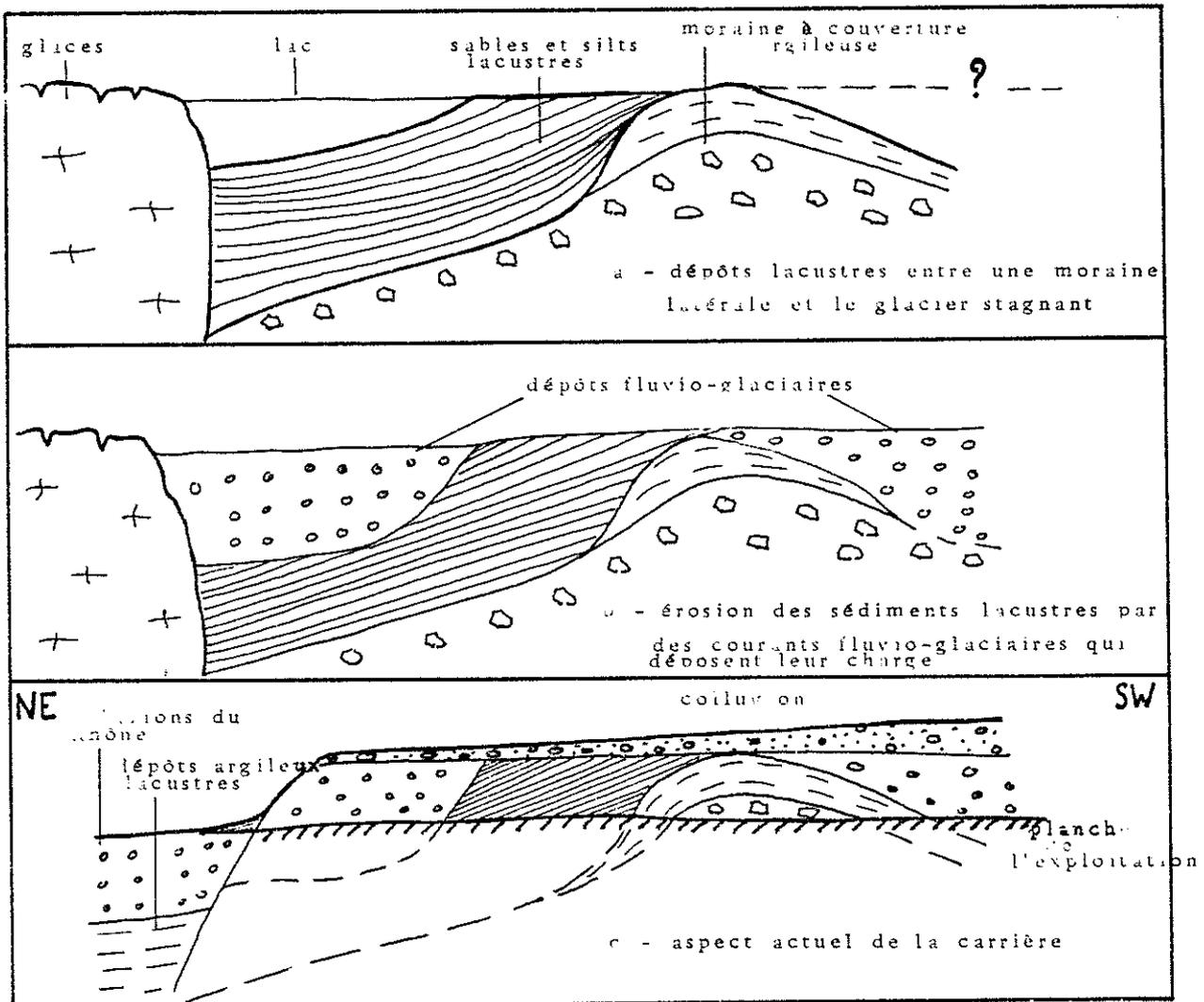
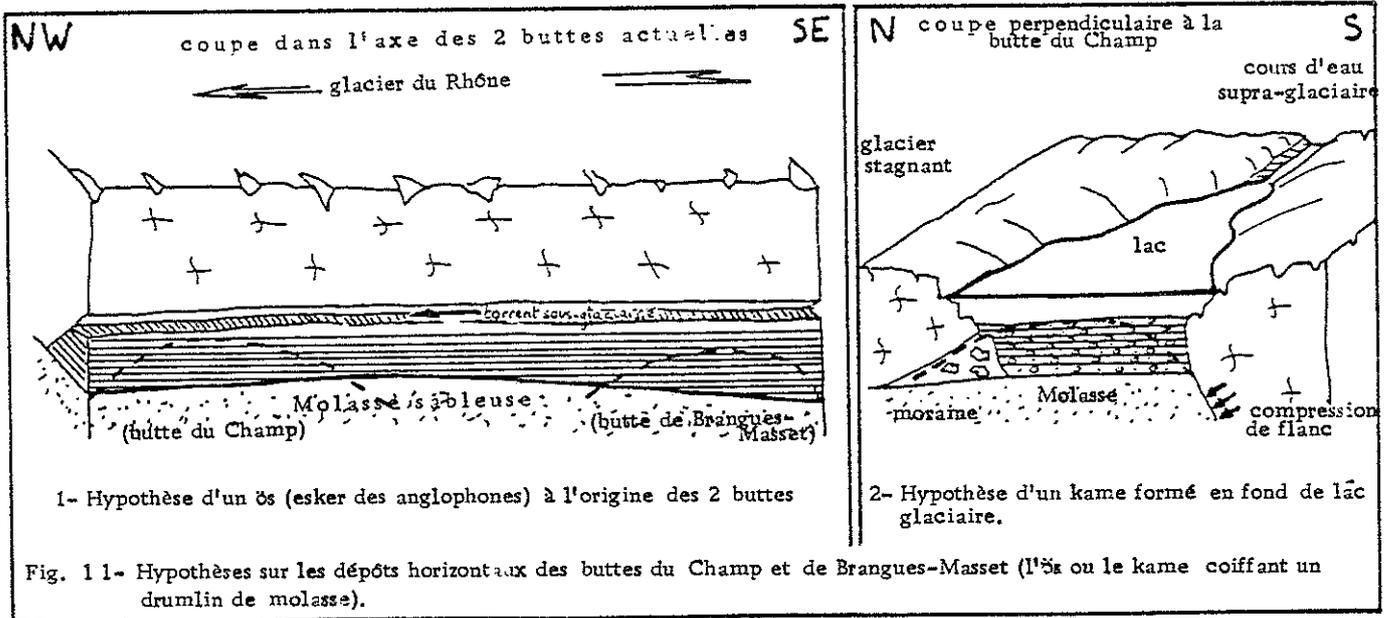
7 - Chamolay-Est (Nord-Ouest de St Didier) : l'observation sur place (surface plane et limoneuse bordée de flancs de collines à matériel morainique grossier) et sur photographies aériennes nous permet d'affirmer que, comme à l'Est des Avenières, nous avons ici un passage taillé par les eaux dans la moraine de fond. Ces eaux supraglaciaires devaient traverser à certains moments l'île des Avenières en cours de déglaciation pour rejoindre la plaine du Bouchage au Nord-Ouest.

8 - Carrière nord de Saint-Didier d'Aoste : une sablière est ouverte dans le flanc est de la butte, à l'Est du couloir de Chamolay. Ces sables très homogènes présentent en coupe fraîche des litages centimétriques de sables plus compacts qui résistent mieux à l'érosion gravitaire et apparaissent donc en léger relief. Ces litages, inclinés à 30° vers le Sud-Ouest, ont été reportés sur la carte de 1976 avec une indication de pendage dans de la molasse sableuse m2bs. En fait l'étude de ces sables (cf. §B23 sédimentologie) nous permet d'affirmer que cet ensemble répond bien aux caractéristiques d'une dune.

9 - Affleurements molassiques du Guindan (Sud-Ouest de Romagnieu) : le contact entre sables de Pont-de-Beauvoisin (m2a) et de Chimilin (m2bs) est, comme nous l'avons indiqué précédemment, difficile à cartographier du fait de la continuité de la sédimentation entre l'Helvétien et le Tortonien.

La carte géologique de 1976 place le contact au fond du thalweg du Guindan au Sud-Ouest de Romagnieu. Par construction géométrique, ceci donnerait à cet endroit un pendage de plus de 30° au contact entre les deux formations, ce qui paraît hasardeux dans le contexte local d'une molasse subhorizontale.

Nous avons pu observer des petits bancs de grès horizontaux en rive droite (vers 260 m) et un affleurement de grès en rive gauche aval. Nous pensons que ces grès sont du m2a et donc que l'Helvétien se prolonge à l'Ouest jusqu'à mi-pente sous le Tortonien (sables jaunes bordant le chemin vers 265 m). L'étude de la micro-faune permettrait peut-être de mieux définir cette limite.



10 - Carrière de Les Combes-Parjin (affleurement G de la carte : nous avons observé en ce lieu différents types caractéristiques des dépôts de bordure glaciaire (Fig.9) permettant d'interpréter l'histoire de ce secteur. La carrière comporte trois unités (Fig.12) :

- Au centre de l'exploitation, une moraine à galets striés noyés dans une matrice silto-argileuse à la base, à argile très compactée avec des galets épars vers le haut ;

- Des dépôts fins lacustres en appui contre cette moraine, côté NE : alternance de minces lits de silts, argiles, et sables vers le haut, jaunâtres, avec des traces de glissement dans les couches argileuses (convolutées) ;

- Des alluvions caillouteuses fluvio-glaciaires recoupant les dépôts lacustres au NE et la moraine côté sud : dépôts grossièrement lités (galets non striés, hétérogènes, pouvant atteindre les 20 cm) avec des passées sableuses. Le contact avec la moraine est souligné par un niveau blanchâtre de dépôt calcaire (comme on l'observe également dans la carrière n°5 du Bois de Nétrin, fig.40).

Des colluvions coiffent ces trois unités.

Il semble donc qu'un lac glaciaire se soit établi lors du décollement de la glace de sa moraine latérale. Le milieu calme a permis le dépôt d'alluvions fines en très minces lits silto-argileux qui ont parfois glissé sur la pente sous l'effet de la charge. Des écoulements fluvio-glaciaires de bordure de glacier sont venus interrompre et recouper cette sédimentation y taillant des chenaux qu'ils ont comblé par la suite. La disparition des glaces a isolé cette banquette que les colluvions ont peu à peu recouverte.

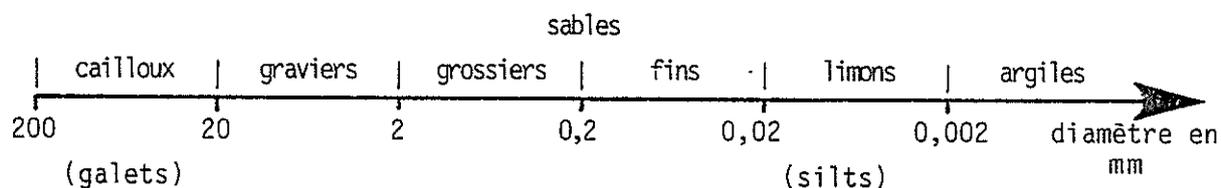
Nous pensons, au vu de sa position, de sa morphologie, et des sondages géophysiques (cf. Ch. reconnaissance du sous-sol), qu'elle constitue une terrasse recoupée en son centre par le ruisseau issu de Corbelin.

B - SÉDIMENTOLOGIE

B1 - INTRODUCTION

L'interprétation de problèmes géologiques et morphologiques a nécessité l'utilisation de méthodes sédimentologiques. Les alluvions sont les "fossiles" des agents qui les ont transportées. C'est-à-dire qu'à partir de l'étude de leur nature, de leur forme, de leur disposition, on essaie de retracer l'histoire de l'agent de transport : origine, type de transport, force, direction. C'est en outre un moyen de comparaison entre deux affleurements d'aspects semblables à l'observation.

Au cours de cette étude sont utilisés des termes en rapport avec la dimension des éléments et répondant aux normes de la classification décimale suivante :



Cette étude comporte deux parties :

- 1 - Etude granulométrique de différents sables et conglomérats ;
- 2 - Etude statistique de dépôts grossiers.

La conclusion replacera cet ensemble dans son contexte local.

B2 - ÉTUDE GRANULOMÉTRIQUE DE SABLES ET GRAVIERS PAR TAMISAGE

- 9 échantillons ont été prélevés :
- 2 dans les dépôts graveleux fluvio-glaciaires ;
 - 7 sur différents affleurements de molasse tortonienne.

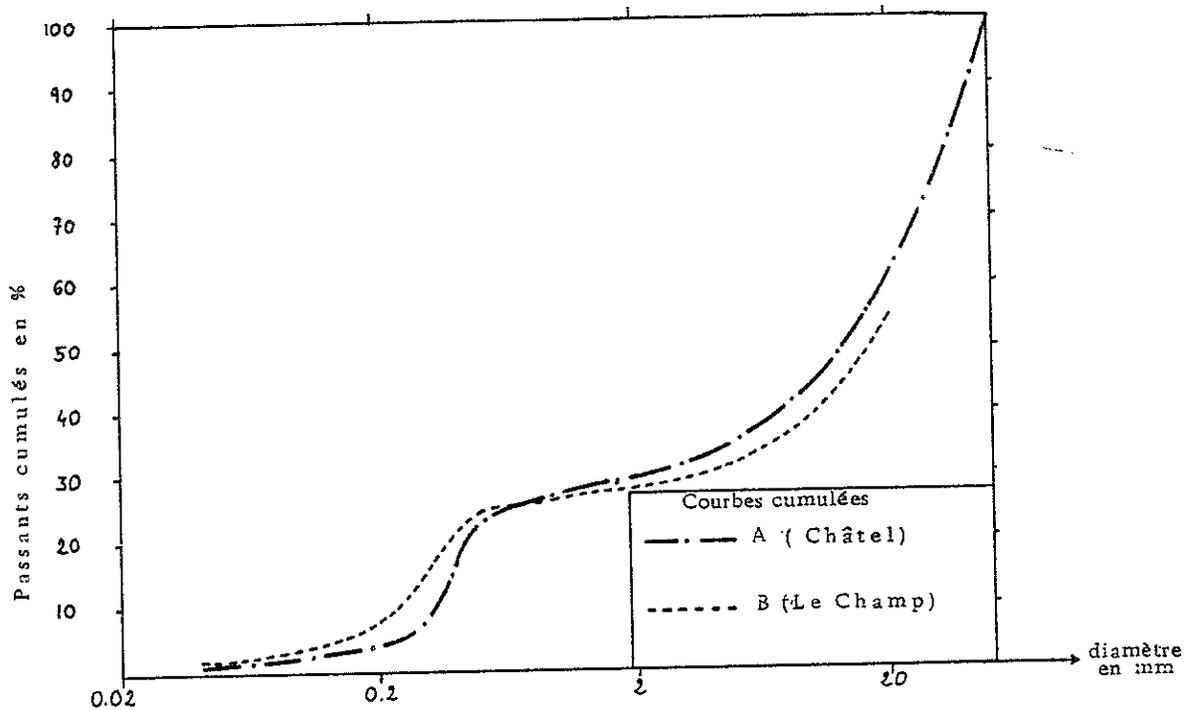


Fig. 13 - Courbes cumulées des alluvions fluvio-glaciaires

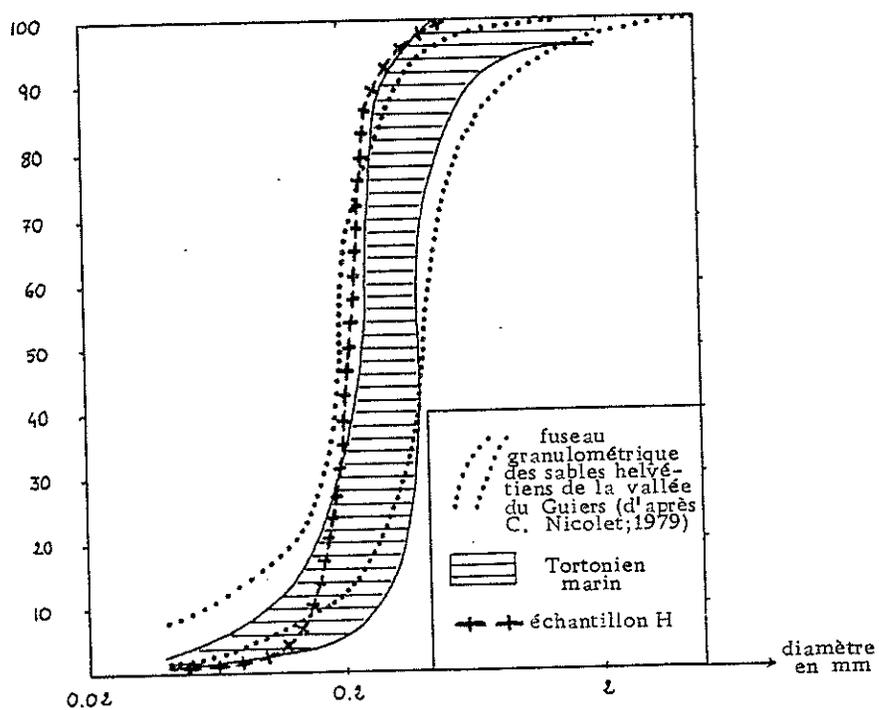


Fig. 14 - Fuseau granulométrique des sables du Tortonien marin

2.1. ECHANTILLONS FLUVIO-GLACIAIRES (Fig.13)

- Echantillon A = dépôt au pied Nord de la butte de Châtel (Sud de Granieu: $x=853.8$, $Y=2070.6$, $Z=235$);
- Echantillon B = dépôt de la butte du Champ (cf. ch. géomorphologie).

La bimodalité se traduit par des courbes à paliers, les éléments les plus gros indiquant un transport par un fort courant tandis que les éléments fins étaient déposés dans les interstices des gros éléments.

Les médianes sont de 13.5 mm (A) et de 16 mm (B), les teneurs en éléments inférieurs à 0.08 mm (filler) de 1.92 % (A) et de 3,47 % (B).

Au vu des seuls échantillons, la butte du Champ semblerait avoir, au niveau de l'échantillon recueilli, une sédimentation un peu plus grossière et argileuse mais ceci n'est pas représentatif de l'ensemble de l'affleurement. On peut toutefois comprendre que l'affleurement de Châtel soit moins argileux car il est beaucoup plus lessivé par les circulations d'eau entraînant les éléments fins, contrairement à celui du Champ isolé des zones d'écoulement.

2.2. ECHANTILLONS DE LA MOLASSE SABLEUSE TORTONNIENNE (Figure 14 et Tableau 3)

- Echantillon C : Les Jayères, sud-ouest de Granieu, bord de route D82, cote 270 m ;
- Echantillon D : Leyssin, ouest de la butte entre D.82 et D.82 d (affleurement ancien), cote 262 m ;
- Echantillon E : Le Champ, Est-Sud-Est, cote 217 m ;
- Echantillon F : Le Champ, Ouest-Nord-Ouest, base de carrière, cote 220 m (excavation à la pelle mécanique, comblée depuis) ;
- Echantillon G : Le Luquet, Nord-Nord-Est des Avenières, cote 230 m ;
- Echantillon H : Nord de Saint-Didier d'Aoste, cote 225 m ;

Tableau 3 : Valeurs des indices granulométriques de sables du Tortonien (m_{2bS}) ou de l'Helvétien (m_{2a}) prélevés autour de la plaine d'Aoste (Isère).

| Mesures de | N° | Alt. (m) | Provenance, étage | Méd. Q_2 (mm) | Q_1 (mm) | Q_3 (mm) | S_o (mm) | SK (mm) | $Q_d\Phi$ | Hé |
|---------------------|--------|----------|---------------------------|-----------------|------------|------------|------------|---------|-----------|------|
| Y. Sapey-Triomphe | C | 270 | Les Jayères m_{2bS} | 0.39 | 0.365 | 0.42 | 1.08 | 1.01 | 0.10 | |
| | D | 265 | Leyssin m_{2bS} | 0.24 | 0.17 | 0.25 | 1.21 | 0.74 | 0.28 | |
| | E | 217 | Le Champ, Est m_{2bS} | 0.33 | 0.31 | 0.335 | 1.04 | 0.95 | 0.06 | |
| | F | 215 | Le Champ, Ouest m_{2bS} | 0.28 | 0.23 | 0.305 | 1.15 | 0.89 | 0.20 | |
| | G | 230 | Le Luquet m_{2bS} | 0.34 | 0.175 | 0.45 | 1.60 | 0.68 | 0.68 | |
| | H | 225 | St Didier m_{2bS} | 0.21 | 0.17 | 0.24 | 1.19 | 0.64 | 0.25 | 0.20 |
| | I | 232 | Chanet m_{2bS} | 0.32 | 0.255 | 0.36 | 1.19 | 0.90 | 0.25 | |
| G. Latreille (1969) | Chim11 | 255 | Leyssin m_{2bS} | 0.31 | (0.26) | (0.41) | 1.26 | 1.11 | (0.33) | |
| | Corb11 | 305 | N75/D145 m_{2bS} | 0.10 | (0.07) | (0.12) | 1.31 | 0.84 | (0.39) | |
| | Gran11 | 260 | Granieu m_{2bS} | 0.27 | (0.21) | (0.31) | 1.22 | 0.89 | (0.28) | |
| | Veyr11 | 265 | Veyrins m_{2bS} | 0.31 | (0.26) | (0.39) | 1.22 | 1.06 | (0.29) | |
| | BT 11 | 250 | Belmont-Tramonet m_{2a} | 0.34 | (0.27) | (0.42) | 1.25 | 0.98 | (0.32) | |
| | BT 21 | 250 | | 0.33 | (0.25) | (0.41) | 1.28 | 0.94 | (0.36) | |
| | BT 22 | 250 | | 0.12 | (0.10) | (0.21) | 1.45 | 1.46 | (0.54) | |
| | BT 41 | 265 | | 0.36 | (0.28) | (0.45) | 1.27 | 0.97 | (0.34) | |

() : valeur déduite à partir des autres indices

$$S_o = \frac{Q_3}{Q_2} \quad SK = \frac{Q_3 \cdot Q_1}{Q_2^2} \quad Q_d\Phi = \frac{\log_2 Q_3 - \log_2 Q_1}{2} \quad (\text{en mm})$$

Hé = intervalle d'abscisse correspondant à un intervalle d'ordonnée de 25% mesuré dans la partie la plus redressée de la courbe (mesuré en unités de Φ)

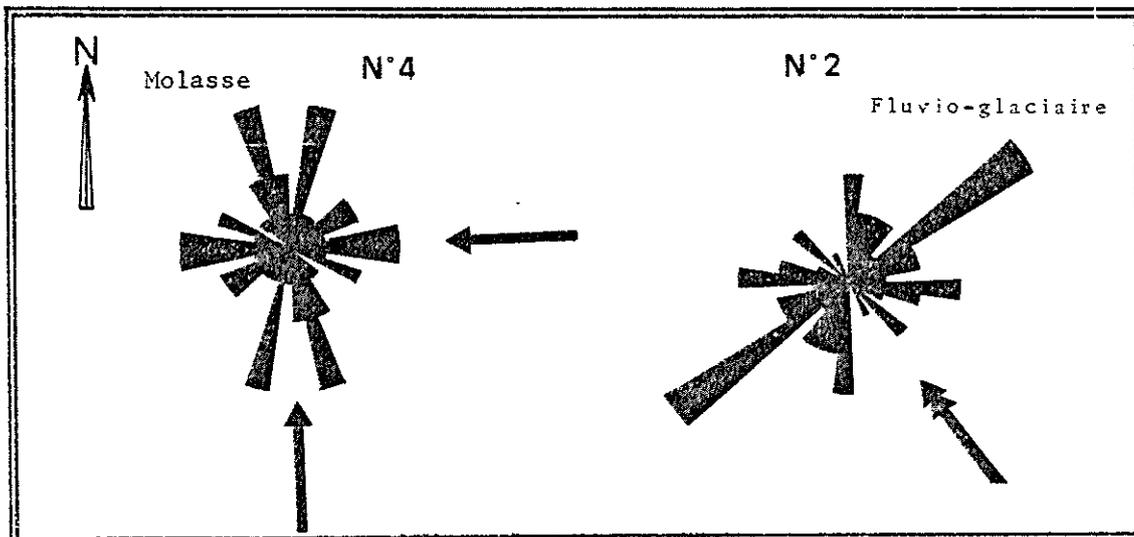


Fig. 15 : Sens des écoulements decourants

- Echantillon I : Nord-Est de Chanet, Est de Chimilin, cote 232 m, prélevé dans les sables excavés du fond d'un nouveau puits.

Les courbes sont très redressées reflétant le bon triage des éléments, caractéristique propre aux sédiments marins, ou continentaux ayant subi un très long parcours (plusieurs centaines de kilomètres). Les médianes sont comprises entre 0.24 (D) et 0.39 (C) sauf en ce qui concerne l'échantillon H (médiane de 0.21) que nous étudierons par la suite.

D'après G. Latreille (1969), "dans l'ensemble les sables continentaux sont plus fins et plus homogènes que les sables marins", ce qui se traduit par des médianes inférieures qu'elle estime vers 0.25-0.26 mm pour les sables deltaïques. Si l'on se rapporte à ses estimations, nos médianes pourraient caractériser des sables marins pour les échantillons prélevés en-dessous de 230 m environ et, par contre, des sables marins ou continentaux vers 270 m (C et D).

Ceci permet d'avancer une hypothèse (qui serait à vérifier par une étude sédimentologique poussée), à savoir que la partie haute des sables cartographiés sous l'appellation m2bs représente une intrication d'apports marins et continentaux (progradation progressive des alluvions deltaïques de la molasse conglomératique m2bc par-dessus des sables littoraux). D'autant qu'au Sud-Ouest de Veyrins (270 m), les fossiles ramassés dans les sables molassiques sont caractéristiques de milieux saumâtres (voir § A.1.2.1.).

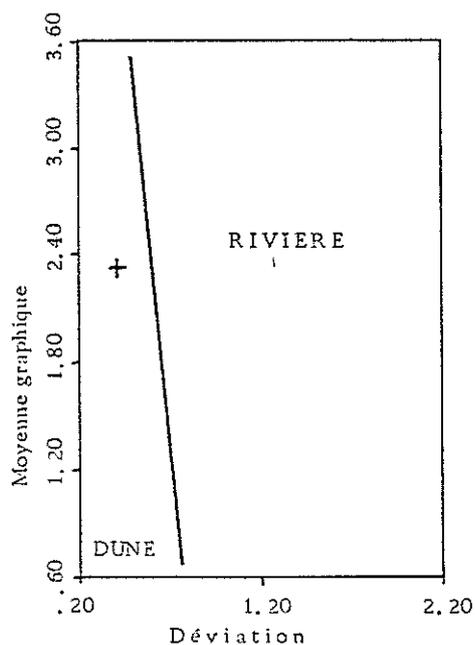
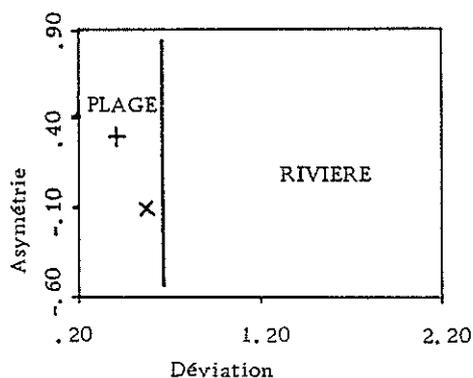
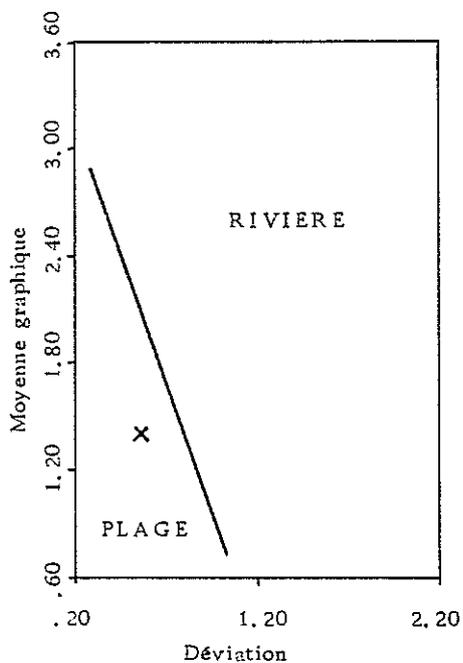
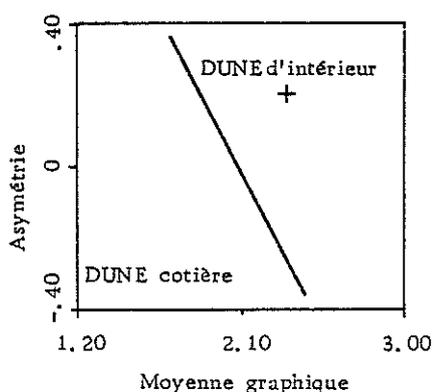
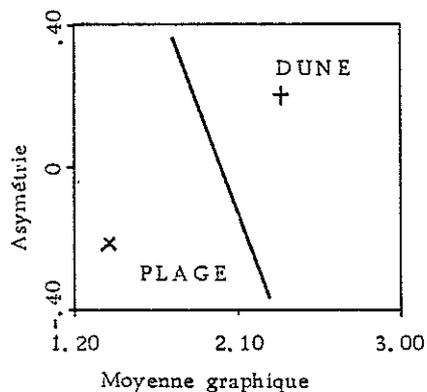
2.3. SABLES DE LA CARRIERE DE SAINT-DIDIER D'AOSTE (Echantillon H)

La courbe cumulative est très redressée (Fig.14) avec une médiane de 0.21. Ce sable est fin et homogène (les 3/4 ont un diamètre supérieur à 0,125 mm et inférieur à 0,25 mm), ce que l'on n'observe pas ailleurs. De plus l'inclinaison de 30° des lits sableux est unique pour tout ce secteur (voir §A28).

A partir de la courbe nous avons calculé différents paramètres qui nous ont permis de faire une étude comparative avec un échantillon G de sables à caractère marin intertidal prélevés à une altitude semblable, 4 kilomètres au Nord-Ouest (Le Luquet, cf. §A26).

L. Avenier

fig.16 Position des sables du Luquet (X) et de Saint Didier d'Aoste (+) sur les diagrammes comparatifs de Moiola et Weiser (1968).



| Percentiles et paramètres | valeurs en unités \bar{M} | |
|---------------------------|-----------------------------|--------|
| | Ech. G | Ech. H |
| P 05 | 2.47 | 3.04 |
| P 16 | 1.74 | 2.74 |
| P 25 | 1.56 | 2.59 |
| P50 | 1.51 | 2.25 |
| P 75 | 1.18 | 2.06 |
| P 84 | 0.94 | 2.00 |
| P 95 | 0.00 | 1.58 |
| SK_I | -0.22 | 0.20 |
| St Dv | 0.57 | 0.41 |
| Mean | 1.40 | 2.33 |
| K_G | 1.81 | 1.13 |

moyenne graphique (Mean):

$$Mz = \frac{P16 + P50 + P84}{3}$$

déviations standard :

$$St Dv = \frac{P16 - P84}{4} + \frac{P05 - P95}{6.6}$$

asymétrie (Skewness):

$$SK_I = \frac{P16 + P84 - 2P50}{2(P16 - P84)} + \frac{P05 + P95 - 2P50}{2(P05 - P95)}$$

Kurtosis graphique :

$$K_G = \frac{P05 - P95}{2.44(P25 - P75)}$$

(paramètres de Folk et Ward, 1957)

Nous avons replacé ces indices sur les diagrammes comparatifs de sables de différentes origines établis par R.J. Moñola et D. Weiser (1968), (cf. Fig.16).

Contrairement à l'hypothèse de dépôts lacustres quaternaires envisagée par Y. Bravard (1963) à Saint-Didier, et en confirmation des observations de terrain, la position des points sur les différents diagrammes montre :

- La nette différence entre les deux échantillons, de plage (G) et de dune (H), aucun n'ayant une origine fluviatile ;
- La différenciation en dune d'intérieur de pays (H) et non pas, comme on aurait pu s'y attendre étant donné le contexte géographique de ce Tortonien littoral, en dune côtière immédiatement en rapport avec la plage de l'échantillon G.

Ainsi se trouve renforcée l'idée initiale d'une paléo-dune tortonienne remise au jour par les érosions successives du Quaternaire. Le plus surprenant réside bien dans cette préservation d'un matériel sableux fin par l'appareil glaciaire ! Il faut donc admettre que l'écoulement de la glace a respecté les reliefs, les recouvrant d'une moraine de fond très compactée actuellement ("marc des Avenières").

B 3 - ETUDE STATISTIQUE DE DÉPÔTS GROSSIERS FLUVIO-GLACIAIRES MOLASSIQUES ET FLUVIATILES ACTUELS

3.1. ETUDE GRANULOMETRIQUE PAR METHODE LINEAIRE (A. Cailleux, 1957)

Elle a été réalisée sur cinq affleurements-types par une mesure des éléments égaux ou supérieurs à 1 cm, le long d'une ficelle tendue parallèlement à un même lit de dépôt (situation: fig 6G et 40c).

- Echantillon 1 : carrière du Bois Correy, à la cote 300 m. environ ;
- Echantillon 2 : carrière du Bois de Nétrin n°1, à la cote 290 m environ (fond de carrière) ;

Fig. 17 - Courbes de fréquences cumuliées des échantillons 4 et 5 selon des lois gaussiennes de répartition.

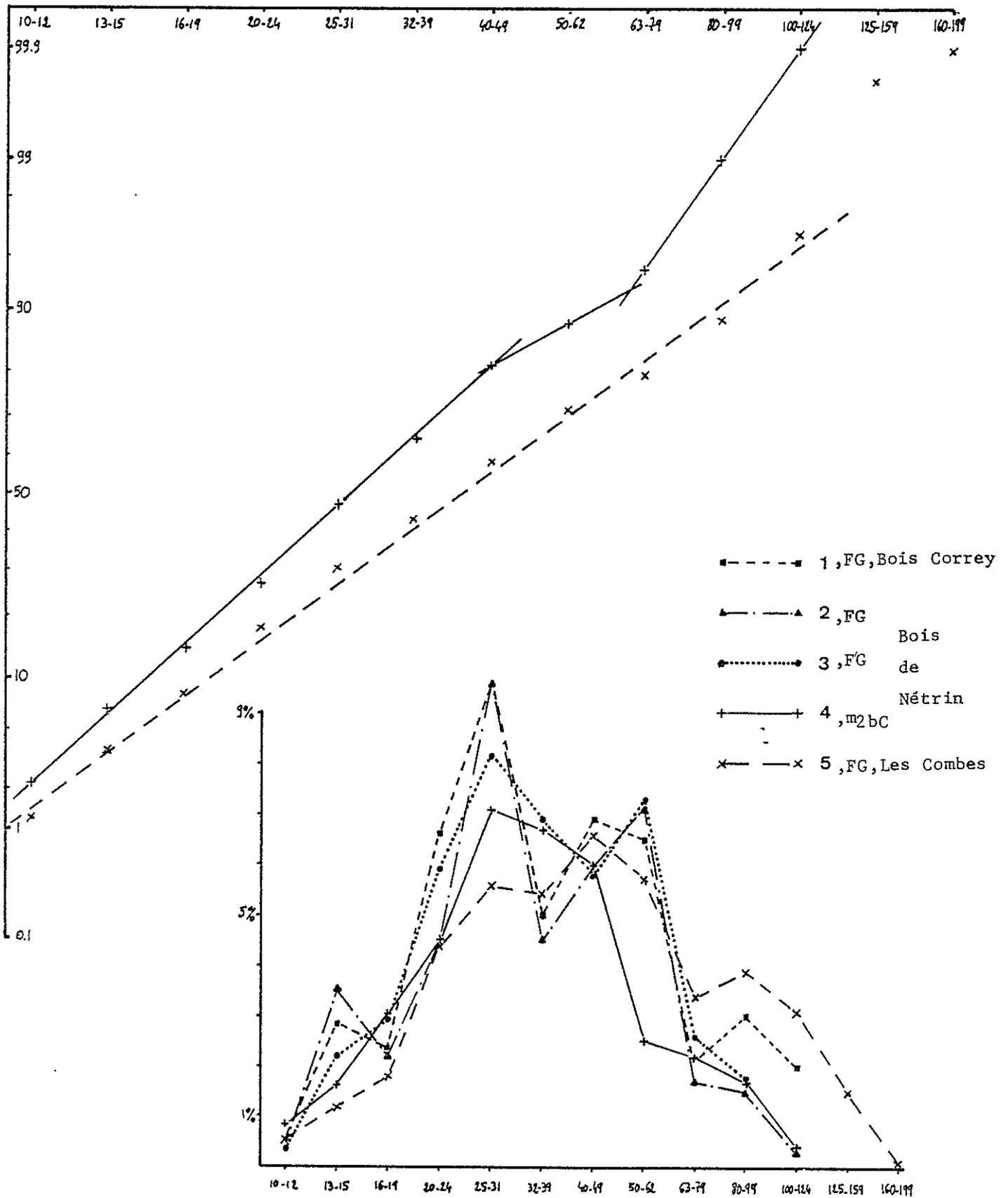


Fig. 18 - Diagrammes de fréquence de répartition des classes des C débris grossiers étudiés, par méthode linéaire.

- Echantillon 3 : carrière du Bois de Nétrin n° 5, à la cote 297 m environ ;
- Echantillon 4 : carrière du Bois de Nétrin n° 5, à la cote 290 m environ (fond de carrière) ;
- Echantillon 5 : carrière de Les Combes-Parjin, à la cote 215 m environ.

Nous avons reporté les résultats sur un histogramme des fréquences, en rassemblant les mesures selon des classes logarithmiques (Fig.18). Statistiquement, l'action d'un agent unique de transport devrait se traduire par une répartition gaussienne, ce qui a été vérifié sur 2 échantillons (Fig.17).

- L'affleurement 4 se rapporte au substratum molassique (Tortonien deltaïque) : la distribution des éléments est régulière sauf dans les 10 % les plus grossiers, avec un mode 25-31 mm et des points bien alignés sur une droite de Henry (moyenne géométrique = 29 mm). Ceci caractérise bien une population statistique unique qui résulte des apports deltaïques au Tortonien. La matrice (éléments inférieurs à 1 cm) est importante : 63,6 %.

- L'affleurement 5 concerne des éléments fluvioglaciaux alpins (voir étude pétrographique). La distribution est légèrement irrégulière (trimodalité) avec un mode principal de 40-49 mm et une moyenne géométrique de 41 mm. La population statistique suit une loi gaussienne, résultant d'un assez bon triage des éléments par le cours d'eau glaciaire. La matrice est de 56,9 %.

- Les affleurements 1, 2 et 3 présentent deux modes : le plus important vers 25-31 mm, le second vers 40-62 mm. Ceci pourrait traduire :

- . soit des apports latéraux en amont ;
- . soit la reprise d'éléments molassiques (1er mode) mélangés aux éléments résultant du démantèlement des dépôts morainiques (2ème mode). Ceci semble assez vraisemblable si l'on considère les modes des échantillons 4 (molasse) et 5 (éléments glaciaires typiquement alpins). On peut l'expliquer par l'action de torrents violents qui ont creusé des chenaux dans la molasse conglomératique, chenaux qui ont permis l'évacuation des dépôts glaciaires.

Le pourcentage d'éléments inférieurs à 1 cm est plus élevé en profondeur (58,7 % pour 2) qu'en surface (52,8 % pour 1, et 56 % pour 3) mais reste du même ordre que celui de l'affleurement 5.

3.2. ETUDE DES DIRECTIONS D'ÉCOULEMENT DE COURS D'EAU DELTAÏQUE (TORTONIEN) ET FLUVIO-GLACIAIRE (Fig.15)

A partir d'échantillons de molasse tortonienne (4) et de dépôts fluvio-glaciaires (2) nous avons visualisé l'orientation et le sens d'écoulement des agents de transport des galets de deux formations superposées.

Sachant que, lors de leur transport, les galets plats tendent à se déposer selon un certain angle avec une inclinaison vers l'amont courant, nous avons mesuré sur chaque affleurement plus de 30 galets plats, allongés, et peu gênés par leur entourage (méthode de Cailleux et Tricart, 1959).

- Echantillon 2 : La rose d'orientation de galets montre une prédominance de la direction $52^{\circ}5' - 232.5''$: le courant d'apport est perpendiculaire (flèche noire), selon une direction N 322.5° .

On avait donc un courant assez rapide (pendage moyen des galets = $27^{\circ}3'$) s'écoulant du Sud-Est vers le Nord-Ouest à cet endroit, selon une direction N 322° qui correspond exactement à l'orientation du chenal.

- L'échantillon 4 donne une rose d'orientation des galets un peu plus confuse avec deux directions. En fait cela résulte de l'impossibilité de sélectionner 30 galets d'un même épisode de dépôt : une part de ceux-ci a été mesurée trois mètres plus haut (surface de banc) et correspond beaucoup plus à un courant s'écoulant du Sud vers le Nord, alors que dans le bas la direction est plutôt de l'Est vers l'Ouest.

Ceci n'a rien de surprenant dans un contexte deltaïque : les dépôts successifs peuvent se recouper. Notre direction moyenne N 325° s'accorde avec la valeur trouvée par C. Nicolet (1979, Fig.22) au NE des Abrets (N 310° , altitude 370 m), mais non avec celle mesurée au Bois des Ternes (N 240° , altitude 300 m). L'inclinaison moyenne des galets de $17,8^{\circ}$ caractérise bien une mise en place fluviale.

Il en ressort que les dépôts fluvio-glaciaires semblent se différencier des dépôts molassiques conglomératiques par :

- une inclinaison des galets plus nette (27° contre 18°) ;
- une direction d'apport en relation avec celle du chenal (quand il est apparent), et pouvant donc prendre des valeurs autres que celles comprises entre 240° et 360° propres à la molasse locale.

3.3. ANALYSE PETROGRAPHIQUE DES GALETS (Fig.19)

Les affleurements 1, 2, 4 et 5 ont fait l'objet d'une détermination de la nature pétrographique des galets centrés autour de 5 cm. L'échantillon 3, de même origine fluvio-glaciaire que le 2, n'a pas été analysé. Ceux des alluvions du Rhône (6) et du Guiers (7) ont été centrés sur 10 cm (étude de galets dragués 700 m en aval du Pont de Cordon pour le Rhône, et de galets exploités dans une gravière au Nord-Ouest du lac de Romagnieu pour le Guiers).

Echantillon de conglomérat molassique (4) :

Les éléments sont pour moitié calcaires ou gréseux pour un quart cristallins et cristallophylliens pour un autre quart constitués de galets de quartz et de quartzite rubéfiée. Les éléments de radiolarite rouge sont rares (1%).

Ch. Lamiroux (1977) trouve au Bois des Ternes une proportion beaucoup plus importante de quartzites (48 %) au détriment des calcaires (22 %) : en fait ceci semble exceptionnel et nos résultats convergent vers ceux de C. Nicolet (1979). Son étude donne en effet pour le secteur des Terres Froides les pourcentages moyens suivants :

- . Dans le cas d'apports issus du Sud-Est : calcaire = 76.1%, quartzite = 10.9%, quartz = 3.5%, cristallin = 1.9%
- . Dans le cas d'apports issus du Nord-Est : calcaire = 48.8%, quartzite = 21%, quartz = 7,5%, cristallin = 20%.

Ce dernier résultat correspond fort bien avec nos mesures pétrographiques mais non avec notre étude de direction de courant (direction N 325°). Il est donc possible que les alluvions issues du Nord-Est dans un premier temps aient été remobilisées par des courants issus du Sud-Est lors d'une seconde phase (cf. Ch.3, § 2.2.).

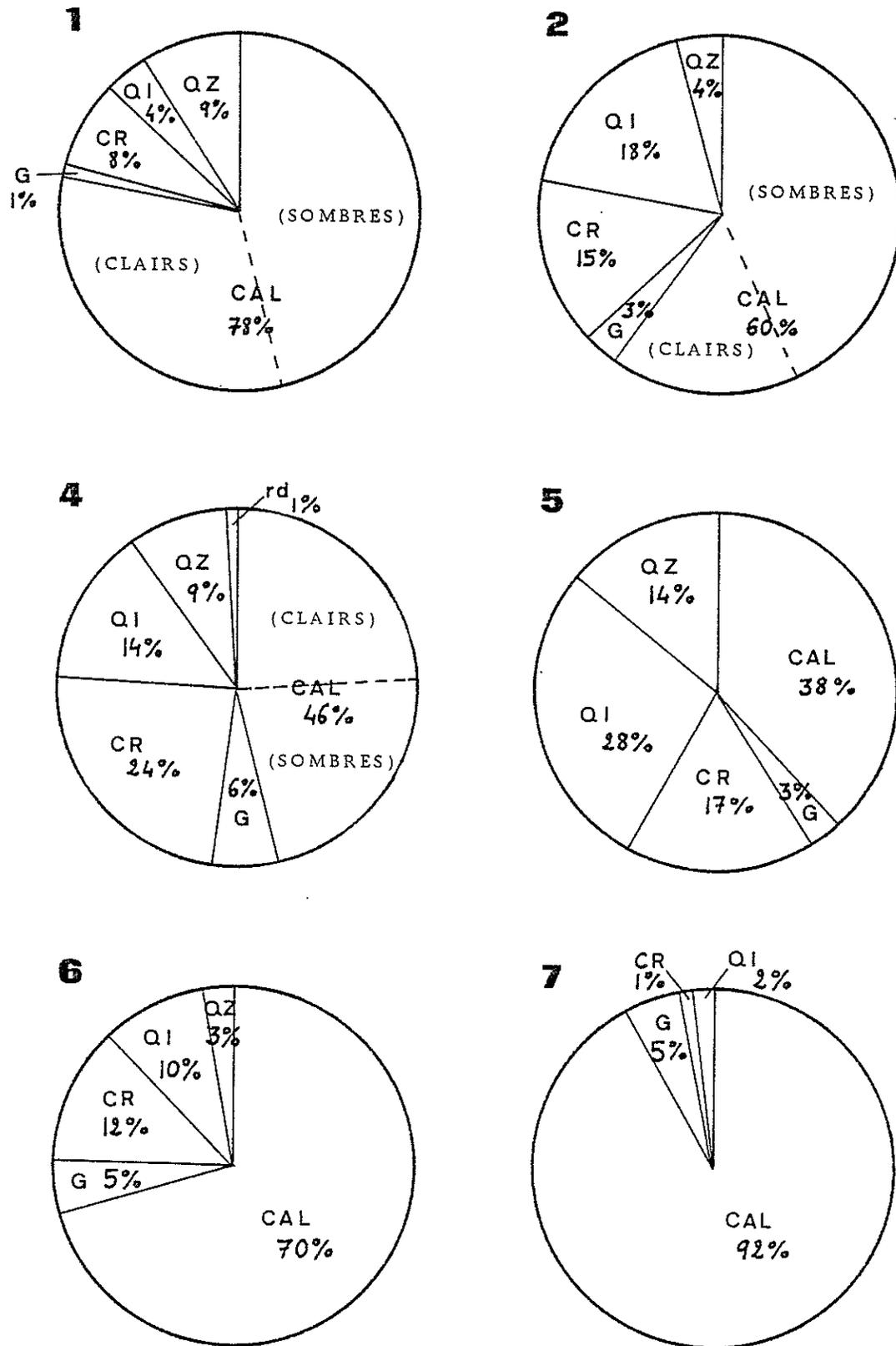


Fig. 19 - Composition pétrographique de dépôts fluvio-glaciaires (1, 2, 5), molassique (4), et d'alluvions du Rhône (6), et du Guiers (7).

CAL: calcaires
 G : grès
 rd : radiolarites
 CR: roches cristallines et cristallophylliennes
 QI : quartzites
 QZ: quartz

Echantillons fluvio-glaciaires (1,2 et 5)

Ils sont à dominante calcaire pour les échantillons 1 et 2 prélevés dans le chenal du Bois de Nétrin avec une nette augmentation des calcaires clairs entre la base (2) et le sommet (1) du remplissage, aux dépens des galets quartzitiques rubéfiés, cristallins et cristalloyphylliens (qui passent de 33% à 12%). La proportion relativement importante des galets calcaires dénote bien une reprise de l'érosion des reliefs cartusiens proches, dégagés des glaces.

Par contre l'échantillon 5 montre une répartition pétrographique plus équilibrée : si les calcaires dominent encore (38%), les galets quartzitiques, cristallins et cristalloyphylliens atteignent 45 %. La proportion de quartz passant à 14 %, ces éléments alpins sont majoritaires. Le cours d'eau périglaciaire a repris des éléments de moraines, elles-mêmes constituées à la fois de galets locaux de la molasse conglomératique (la moitié des quartzites est rubéfiée) et de cailloux alpins (quartzites sains en surface). Ces éléments charriés ne pouvaient appartenir à une proche moraine car ces galets ne sont pas striés (cf. § A2.10).

Echantillons du Rhône (6) et du Guiers (7), galets d'alluvions modernes :

Ils présentent une forte proportion de galets calcaires (7/10 pour le Rhône, 9/10 pour le Guiers). La distinction entre les dépôts de ces deux cours d'eau sur notre secteur pourrait se faire sur la présence des galets quartziques, quartzitiques, cristallins et cristalloyphylliens : un galet sur quatre, centré autour de 10 cm, est de ce type alpin pour le Rhône, alors que pour le Guiers, la proportion est infime (3 %).

Ceci traduit l'importance du type des régions traversées, à l'origine des matériaux transportés :

. Le Guiers, jusqu'aux gorges de Chailles, traverse des formations calcaires puis s'écoule à travers les sables molassiques. Ses 3 % de galets alpins (cristallins et quartzites) résultent beaucoup plus du démantèlement des conglomérats tortoniens (quartzites rubéfiés) que de celui des quelques restes morainiques.

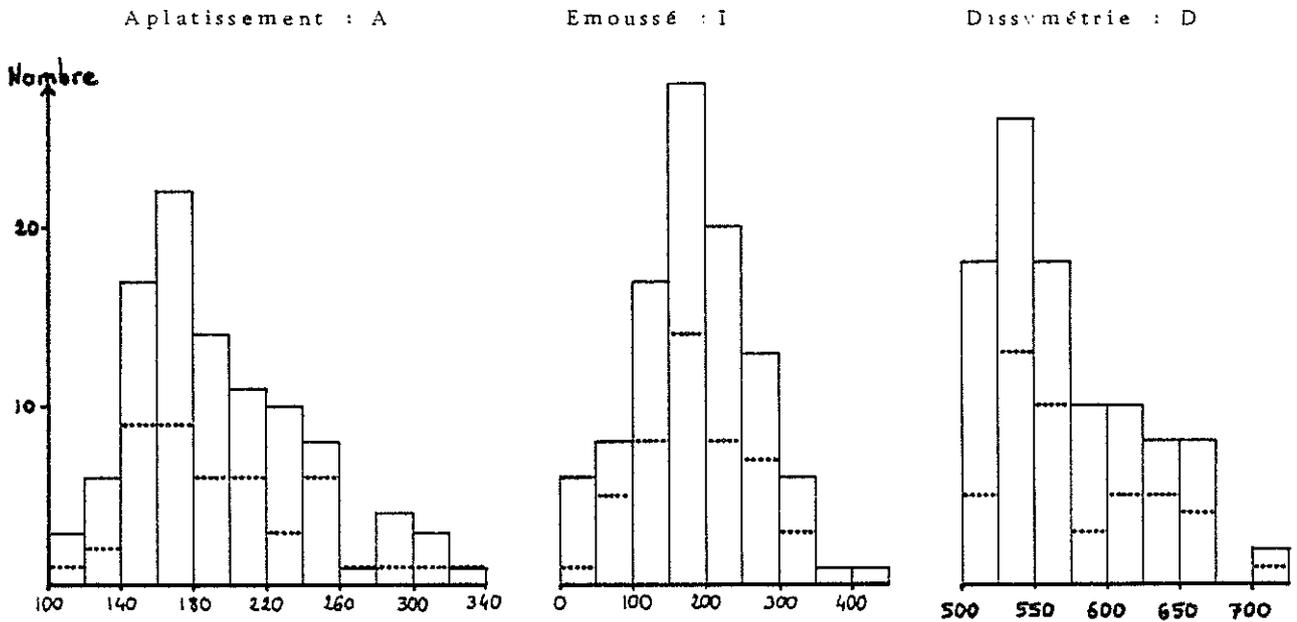


Fig. 20 - Histogrammes des indices mesurés sur l'échantillon 4 (molasse)

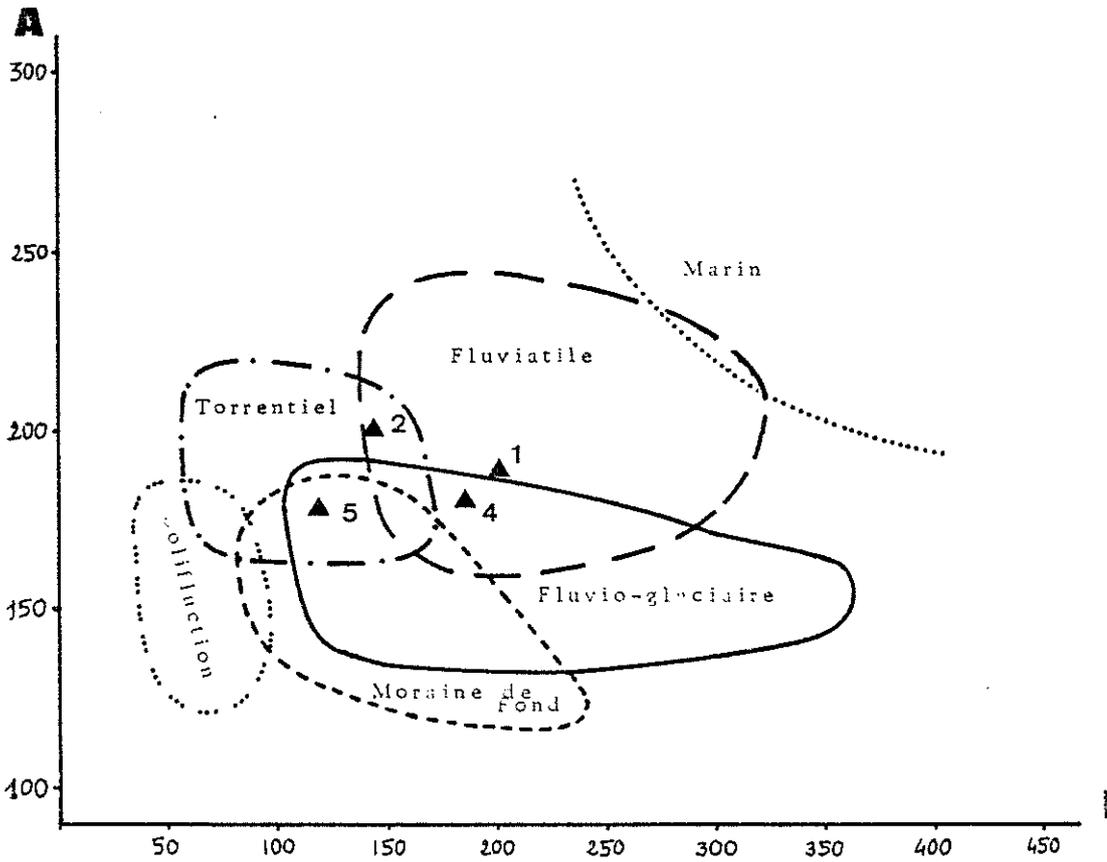


Fig. 21 - Représentation corrélée des indices I et D mesurés sur 5 échantillons

. Le parcours du Rhône, quoique filtré au passage du lac Léman, est bien plus varié et plus long. Son bassin lui permet de remanier des dépôts d'origine glaciaire ou fluvio-glaciaire présents sur une grande partie de son réseau hydrographique en aval de Genève.

3.4. ETUDE MORPHOMETRIQUE DES GALETS DE 5CM DE LONG (Echantillons 1, 2, 4 et 5)

Nous avons cherché à différencier les échantillons fluvio-glaciaires et molassiques. Pour cela nous avons prélevé 100 galets et utilisé la méthode de A. Cailleux et J. Tricart (1959) afin de déterminer les indices d'aplatissement (A), d'émoussé (I) et de dissymétrie (D). Les résultats sont reportés sur des histogrammes de répartition (Fig.20 et 22). Nous avons rassemblé en tableau (Tab.4) les médianes des indices et les pourcentages des fractions extrêmes propres aux différents indices :

- Pour A, % < 150 : galets faiblement aplatis,
% > 250 : galets fortement aplatis.
- Pour I, % < 100 : galets faiblement émoussés,
% > 500 : galets fortement émoussés.
- Pour D, % < 550 : galets faiblement dissymétriques,
% > 750 : galets fortement dissymétriques.

| Ech. | A | | | | | | I | | | | | | D | | | | | |
|------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|
| | calc. | | | total | | | calc. | | | total | | | calc. | | | total | | |
| | med | % ≤ 150 | % ≥ 250 | med | % ≤ 150 | % ≥ 250 | med | % ≤ 100 | % ≥ 500 | med | % ≤ 100 | % ≥ 500 | med | % ≤ 550 | % ≥ 750 | med | % ≤ 550 | % ≥ 750 |
| 1 | 188 | 14 | 9 | 188 | 17 | 8 | 190 | 19 | 0 | 200 | 19 | 0 | / | / | / | / | / | / |
| 2 | 200 | 17 | 25 | 200 | 15 | 22 | 139 | 42 | 0 | 145 | 38 | 0 | 571 | 37 | 2 | 569 | 40 | 1 |
| 5 | 180 | 24 | 16 | 179 | 25 | 11 | 115 | 42 | 0 | 119 | 39 | 0 | 579 | 22 | 8 | 575 | 34 | 9 |
| 4 | 181 | 13 | 9 | 181 | 13 | 11 | 192 | 13 | 0 | 187 | 14 | 0 | 555 | 39 | 0 | 557 | 45 | 0 |

Tab. 4- Valeurs des indices morphométriques de galets prélevés sur des affleurements fluvio-glaciaires (1, 2, 5) et molassique (4).

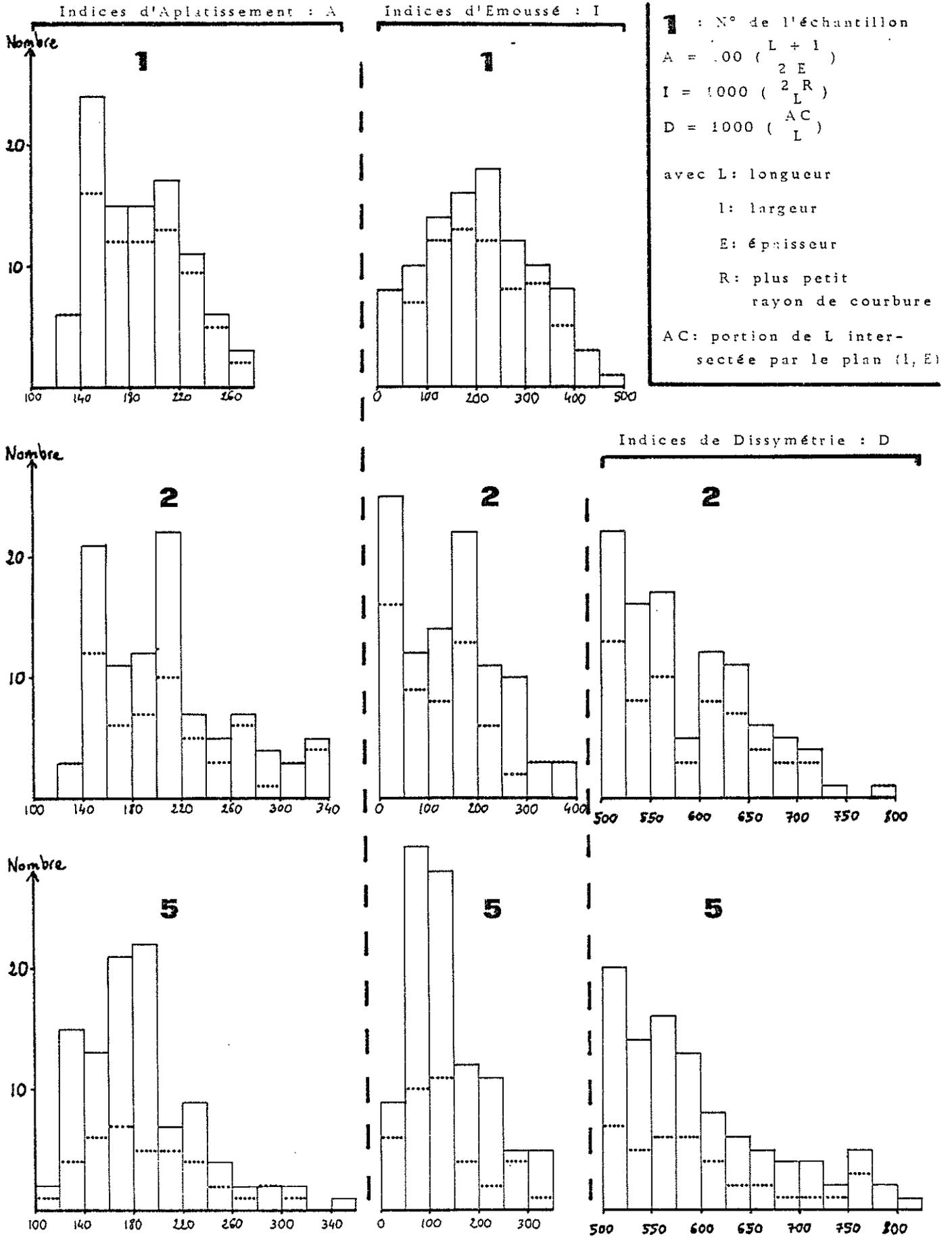


Fig. 22 - Histogrammes des indices mesurés sur les échantillons fluvioglaciers (En pointillé : nombre de galets calcaires)

Sur chaque histogramme nous présentons en pointillé la partie calcaire dont le pourcentage varie de 38% (éch.5) à 78 % (éch.1), (voir étude pétrographique). Les valeurs obtenues sur l'échantillon global sont fortement influencées par ces pourcentages importants de galets calcaires, ce qui nous donne des médianes et des extrêmes très semblables (Tab.4) .

Les résultats des mesures :

- Echantillon molassique (4) : l'unimodalité est de rigueur pour les trois indices avec, pour les galets calcaires, des médianes A et D proches de celles données par Cailleux et Tricart dans le cas d'un mode de transport fluvial en climat tempéré ou chaud (A = 200, D = 570, I = 295). L'émoissé est cependant plus faible (I = 187). On a un fort pourcentage de galets faiblement dissymétriques. Modes et médianes sont très proches.

- Echantillon fluvio-glaciaire (5) : les histogrammes sont plurimodaux ; seul l'indice d'émoissé paraît régulier dans son ensemble mais moins dans le détail, la partie calcaire présentant deux modes. Les modes principaux sont : A = 190, I = 75, D = 512 et 562. L'émoissé est très faible : 39 % < 100.

Les médianes de la partie calcaire A = 180 et D = 579 se rapprochent des valeurs de Cailleux et Tricart concernant une origine fluvio-glaciaire (A = 200 , D = 575, I = 340), I restant plus faible (I = 115).

- Echantillon fluvio-glaciaire (2) : la plurimodalité est très nette sur les histogrammes, avec les valeurs principales suivantes : A = 150 et 210, I = 25 et 175, D = 512, 562 et 612.

On a des pourcentages importants de valeurs faibles pour :

D = 40 % < 550

I = 38 % < 100.

Les médianes de A (= 200) et D (= 569) sont du même ordre que celles de l'échantillon 5, I (= 145) étant un peu plus fort.

- Echantillon fluvio-glaciaire (1) : l'histogramme de l'aplatissement est bimodal (A = 150 et 210), celui d'émoussé, unimodal (I = 225). La médiane de A est de 188, celle de I atteint 200.

L'interprétation

Sur les quatre échantillons, l'indice d'émoussé s'avère faible. La prise en compte de galets anciennement cassés pourrait en être la cause : dans ce cas, en effet, le rayon de courbure R est petit (1 ou 2) et le rapport I (= $1000 (2R/L)$) est abaissé.

Pour vérifier ceci, nous avons testé l'échantillon 2 qui présentait le plus grand nombre d'éléments originellement cassés au sein de la formation (19 %). Ceci explique que l'on puisse avoir un mode d'émoussé égal à 25. Si l'on fait abstraction de ces 19 % de galets cassés, l'histogramme de l'émoussé est unimodal (la classe 0-50 passant de 25 à 6 individus) et les médianes sont alors :

I med = 167 ; A med = 198 ; D med = 571 ;

ce qui ne modifie pas sensiblement les valeurs de A et D, seul I étant légèrement redressé.

Pour les autres échantillons, le pourcentage de galets cassés est beaucoup plus faible : son influence est donc négligeable dans l'interprétation.

On obtient donc à partir de ces trois échantillons fluvio-glaciaires, des valeurs médianes de :

179 à 200 pour A ; 119 à 200 pour I ; 571 à 579 pour D ;

Les histogrammes de l'échantillon 5, constitué d'éléments alpins, donnent des modes autour de :

180 pour A ; 100 pour I, et 512 ou 562 pour D.

Ceux de l'échantillon molassique sont de :

170 pour A ; 175 pour I ; 537 pour D.

Les modes des échantillons fluvio-glaciaires 1 et 2 sont assez semblables :

150 et 210 pour A ; 175 à 225 pour I.

L'étude pétrographique a montré que ces galets étaient pour une bonne part d'origine molassique : ceci apparaît ici encore puisque le premier mode de A et le mode de I sont proches de ceux de l'échantillon molassique alors que le deuxième mode de A s'apparente à celui de l'échantillon 5.

Le mélange des deux populations de galets, l'une d'origine molassique, l'autre plus proprement glaciaire, n'a pas uniformisé les indices : le transport par les eaux de fonte a donc été assez bref. Le haut des dépôts du chenal de Vallière (éch.1) montre une atténuation sensible du mode d'origine glaciaire pour A par rapport à la base (éch.2), ce qui semble logique puisque le démantèlement des dépôts glaciaires était pour une bonne part effectué.

Nous avons replacé ces quatre échantillons sur un diagramme de représentation conjuguée de I et de A (Fig.21). On voit que le chenal de Vallière est passé d'un type torrentiel à un type plus calme avec la diminution du volume des écoulements fluvio-glaciaires (fin de la débacle glaciaire). L'échantillon 5 est à caractère nettement fluvio-glaciaire (bord du glacier), tandis que l'échantillon molassique 4 montre une tendance plus fluviale que marine (dépôts deltaïques subaériens).

3.5. CONCLUSION DE L'ETUDE STATISTIQUE DES DEPOTS GROSSIERS

Cette étude nous a permis de préciser les caractéristiques propres :

- au substratum molassique ;
- aux dépôts fluvio-glaciaires (uni ou bimodalité des populations statistiques étudiées ;

et de mettre en évidence la tendance nette de ces derniers à remanier

les dépôts glaciaires de couverture dans un premier temps, puis les conglomérats molassiques par la suite.

L'évolution pétrographique des dépôts fluvio-glaciaires se résume chronologiquement ainsi :

- dépôts très marqués par l'influence glaciaire, type 5 ;
- dépôts de démantèlement des moraines, torrents s'écoulant sur des terrains déglacés, type 2 ;
- dépôts de fin de démantèlement des sédiments glaciaires et de reprise de l'érosion du substratum molassique, type 1.

Au sens strict, le terme "fluvio-glaciaire" concerne davantage l'échantillon 5 en relation avec les glaces, les échantillons 1, 2, et 3 n'étant que des dépôts torrentiels à matériaux d'origine beaucoup moins glaciaire en marge d'un système glaciaire.

B4 - CONCLUSION DE L'ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE

Cette étude nous a permis de caractériser :

1. Les dépôts molassiques

- Les sables tortoniens dont les médianes granulométriques sont comprises entre 0.21 et 0.39 mm, plus grandes à la base du Tortonien ;
- Les conglomérats deltaïques :
 - . Moyenne géométrique des éléments supérieurs à 1 cm : 29 mm;
 - . Galets plats inclinés de 18° par un courant s'écoulant vers le Nord-Ouest ;
 - . Morphométrie des galets centrés sur 50 mm à tendance fluviatile (A = 181, I = 187, D = 557) ;
 - . Composition pétrographique pour moitié calcaire pour moitié d'éléments alpins (quartz, quartzites rubéfiés, cristallins).

Le contexte régional (cf. G. Demarcq, 1965 ; G. Latreille, 1969 ; Ch. Lamiroux, 1977 ; C. Nicolet, 1979) nous situe, au Tortonien, dans une zone marine littorale (sables à granulométrie plus redressée que celle des sables de l'Helvétien) en marge de deltas conglomératiques qui s'avancent peu à peu depuis le Nord-Est et le Sud-Ouest. A leur approche les sables acquièrent une granulométrie plus fine, passent à des sables saumâtres (cf. paléontologie) avant de devenir plus franchement continentaux (dune) et intégrés aux dépôts deltaïques.

Les dépôts conglomératiques, eux, sont d'abord marins (Ch. Lamiroux) puis plus continentaux avec la progression des deltas. Au Nord-Est des Abrets leurs apports proviennent du Sud-Est et leur composition est pour moitié alpine, pour moitié de couverture calcaire.

2. Les dépôts fluvio-glaciaires :

- .les courbes granulométriques au tamis présentent deux populations :des fins et des grossiers ;
- .la granulométrie et la morphométrie des éléments grossiers permettent de discerner la double origine des matériaux (alpine et molassique), avec des indices morphométriques moyens $A = 189$, $I = 155$ et $D = 572$;
- .les courants sont forts (galets inclinés de 27°), bien axés sur leur chenal (pas de divagations) ;

Les courants de glace remanient les conglomérats molassiques, les mêlant dans leurs dépôts aux éléments alpins "frais" (quartzites non rubéfiés). La débâcle glaciaire entraîne la libération de grandes quantités d'eau qui disloquent ces dépôts. Les périodes violentes (crues de fonte = dépôts grossiers) alternent avec les périodes calmes (dépôts sableux). Avec le temps, la charge des courants en éléments purement glaciaires diminue au profit des éléments du conglomérat molassique (reprise de l'érosion du plateau molassique après décapage de la couverture morainique).

3. Les dépôts fluviatiles récents

Le Guiers transporte presque uniquement des galets calcaires, alors que le Rhône charrie 25 % de galets d'origine alpine (quartz, quartzites, roches cristallines et cristallophylliennes), ce qui est un bon critère de différenciation de leurs dépôts (galets centrés autour de 10 cm).

CHAPITRE 3

GEOMORPHOLOGIE

1. INTRODUCTION À L'ÉTUDE GÉOMORPHOLOGIQUE

La géomorphologie s'appuie sur la description des formes du relief, suivie de leur interprétation, conduisant ainsi à une approche des faits historiques à l'origine de ces formes.

Pour arriver à reconstituer l'histoire géologique récente de notre terrain nous avons donc procédé à des observations à partir :

- des cartes existantes (topographiques à 1/25 000, 1/50 000, 1/100 000 ; géologique à 1/50 000),
- des levés photographiques aériens (observation stéréoscopique).

D'autre part nous avons consulté certains ouvrages importants traitant de la morphologie en pays glaciaire et des glaciations du Quaternaire.

Nous avons donc dû nous imprégner de l'atmosphère qui règne dans les régions fortement englacées pour comprendre peu à peu l'influence glaciaire et péri-glaciaire dans notre secteur déserté depuis plus de 20 000 ans par les glaces. Peu à peu un lien s'est établi entre les différentes observations et déductions qui nous ont amené à expliquer dans ses grandes lignes l'histoire glaciaire de cette région nord-dauphinoise.

Mais d'abord comment se présente dans le détail notre zone d'étude ? Elle est fortement contrastée. Au Nord-Est, une plaine basse (altitude autour de 210-230 m) s'étire sur plus de 15 km depuis le Guiers jusqu'à Curtin (NW de Veyrins-Thuellin) selon une direction N 305°. Sa largeur varie de un à quatre kilomètres. Elle se trouve en communication avec l'actuelle vallée du Rhône entre Saint Didier d'Aoste et Saint Genix-sur -Guiers (soit un contact de 6 km). D'autre part elle se transforme vers le Nord-Ouest en un couloir qui sépare une butte (l'île des Avenières) du reste du relief tabulaire des Terres Froides.

De cette plaine on accède au plateau molassique (d'altitude supérieure à 400 m) par paliers d'altitudes différentes quand on se déplace du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Ce plateau est incisé vers le Sud et l'Ouest par de larges thalwegs démesurés par rapport à l'importance de leurs cours d'eau actuels.

2. ETUDE MORPHOLOGIQUE

2.1. PRESENTATION

Le substratum molassique peu induré (sables, conglomérats) a facilité grandement le travail de l'érosion sous toutes ses formes (glaciaire, périglaciaire, fluviale) et la reprise des formes anciennes par cette érosion.

La raideur actuelle de certains versants semble être beaucoup plus le résultat de l'érosion fluvio-glaciaire ou fluviale que de l'érosion purement glaciaire qui, dans ce type de roche, ne donne pas d'auge glaciaire en U mais bien au contraire en arrondit les flancs, ne serait-ce que par les phénomènes de gelifraction qui s'y produisent.

L'érosion fluvio-glaciaire puis fluviale, elle, est très efficace pour entailler rapidement le matériel caillouteux et sableux car, lors du retrait glaciaire, des quantités très importantes d'eau sont disponibles pour ce travail. L'entaille du cours d'eau donnera des flancs plus raides du fait de la disparition progressive de l'érosion périglaciaire et de la bonne tenue naturelle des matériaux conglomératiques.

Nous n'aurions garde d'oublier que dans cette région plusieurs poussées glaciaires ont modelé successivement le terrain. Nous serions bien en mal d'imaginer dans le détail le relief induit par chacune d'entre elles sur le piedmont dauphinois ; ce que nous observons n'est que l'empreinte de la dernière activité glaciaire et paraglaciaire, conditionnée, il est vrai, par toutes les précédentes.

Ainsi se pose le problème du contexte topographique lors de la première invasion glaciaire. Faute d'observations possibles, nous suivrons en partie G. Monjuvent (1969) dans son essai d'interprétation morphologique du Bas-Dauphiné.

2.2. LE FACONNEMENT DU PIEDMONT BAS-DAUPHINOIS

S'appuyant sur le contexte morphologique (pente des plateaux de Chambaran et de Bonnevaux), G. Monjuvent envisage l'existence d'un cône d'épandage des matériaux fluviatiles à partir de la cluse de Grenoble.

En fait, on a des apports conglomératiques issus du Nord-Est dès le Tortonien supérieur jusqu'aux environs de la Tour-du-Pin (C. Nicolet, 1979) qui se prolongent jusqu'au Miocène terminal (Pliocène de C. Nicolet, 1979). Nicolet émet l'hypothèse d'un apport unique à cette époque sur l'ensemble du piedmont. En fait, G. Monjuvent (1975) indique que "deux surfaces d'aplanissement (plateaux de Chambaran et de Bonnevaux), et non une seule, couronnent le piedmont néogène du Bas-Dauphiné". Il tend à leur attribuer une origine glaciaire anté-Quaternaire. Les formations observées par C. Nicolet dans le secteur de la Tour-du-Pin ne s'identifient donc pas avec celles des deux plateaux.

L'étude sédimentologique de C. Nicolet nous conduit à envisager l'existence simultanée de 2 cônes d'épandage des alluvions : l'un au débouché de la cluse de Grenoble au Sud-Est, l'autre à l'extrémité méridionale du Bas-Bugey au Nord-Est (fig.23).

La ligne fictive d'interpénétration des deux cônes (appelée "gouttière de coalescence" et tracée à partir de données de directions de courants de C. Nicolet, p.60) délimite très approximativement les apports conglomératiques issus du Nord-Est de ceux issus du Sud-Est. A partir de cette gouttière nous avons pu tracer les courbes de niveau du cône nord-est, ce qui nous donnerait un cône plus aplati, donc construit par un cours d'eau d'origine plus lointaine et à moindre compétence (d'après la carte du centile de C. Nicolet, p. 78).

Ainsi, à la fin de la sédimentation miocène, le glacis de piedmont coiffé de cailloutis terminaux pourrait avoir atteint le niveau 800 m en bordure de la Chartreuse, niveau qui correspond aux sommets actuels de sa bordure occidentale.

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

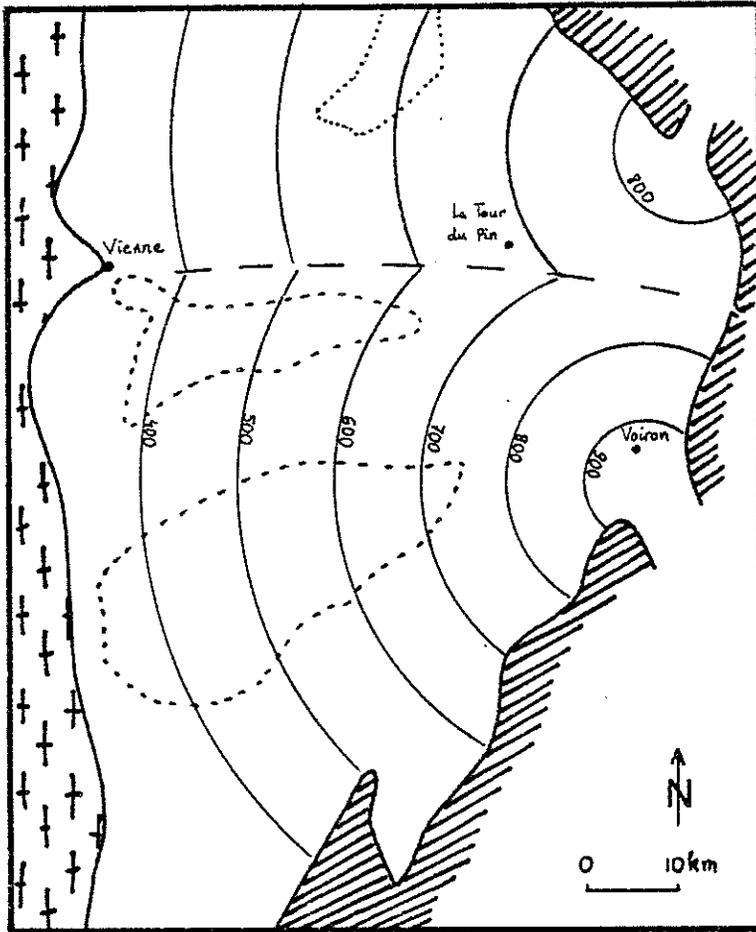
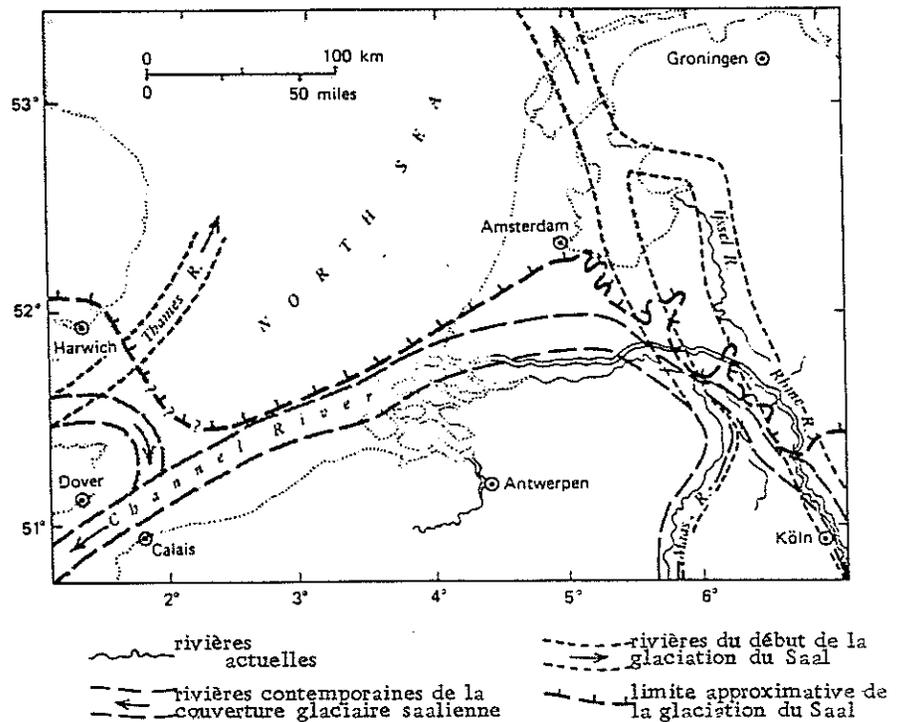


Fig. 23 - schéma du piémont bas-dauphinois au Miocène terminal (d'après G. Monjuvent, 1969, modifié).

Deux cônes de déjection coalescents issus l'un de la cluse de Grenoble (Isère) l'autre de l'extrémité méridionale du Bas-Bugey (Rhône).

- "gouttière de coalescence";
- emplacements des futurs plateaux de Bonnevaux (au Nord) et de Chambaran (au Sud);
- emplacement actuel de l'île Crémieu.

Fig. 24 - Détournement du cours du Rhin (Rhine), de la Meuse (Maas), et de la Tamise (Thames) de leur direction nord par la poussée glaciaire du Saal, d'après R. F. Flint (1971).



A partir de ce schéma, comment va pouvoir se développer le réseau hydrographique ? G. Monjuvent (1969, I) montre que l'Isère suit actuellement le cours qu'elle s'est creusé postérieurement au Miocène, à la fin de sa période de remblaiement. Pour les mêmes raisons, nous pensons que le Rhône a creusé son cône selon sa génératrice Nord-Ouest, ce secteur étant non seulement à alluvions plus fines mais encore en bordure du chevauchement du Jura plissé sur le Jura tabulaire. Cette zone tectonique, sensible à l'érosion, va guider le fleuve et le surimposer à travers les couches du calcaire tabulaire de l'île Crémieu qu'il entaille jusqu'à la cote 110 m, soit 90 mètres plus bas que son niveau actuel (cañon reconnu lors des travaux de la CNR à Sault-Brénaz).

Il est possible que les écoulements issus de la Chartreuse aient utilisé temporairement l'axe constitué par la gouttière de coalescence des deux cônes. Nous pensons cependant que l'érosion plus rapide des cônes par les paléo-cours de l'Isère et du Rhône leur a imposé des écoulements vers le Sud et vers le Nord, cette dernière direction étant préférentielle en raison de l'alluvionnement plus fin et de l'altitude plus élevée en direction du Sud.

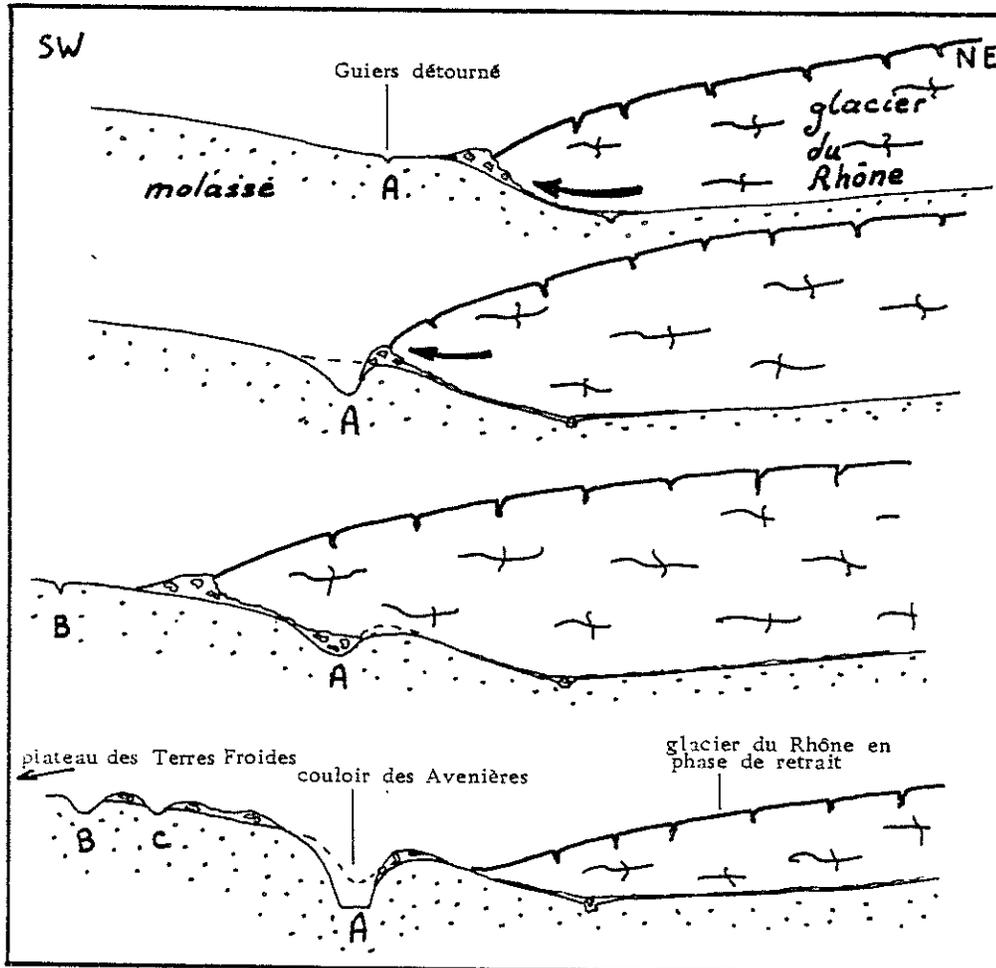
Nous voyons donc que le bas-Dauphiné est isolé de tout écoulement important au début de l'époque glaciaire (G. Monjuvent, 1969, II).

2.3. L'INVASION GLACIAIRE DANS LA PARTIE SEPTENTRIONALE DU BAS-DAUPHINE

Dans l'hypothèse d'une érosion messinienne à l'origine de l'actuel emplacement de la vallée du Rhône, tout comme le glacier de l'Isère détourné vers le Sud par le relief à sa sortie de la cluse de Grenoble (G. Monjuvent, 1969, II), les premiers glaciers rhodaniens issus de la cluse du Rhône ont buté contre le bord septentrional élevé du plateau bas-dauphinois (probablement supérieur à 600 m) avant de s'infléchir selon l'axe du Rhône (dont le niveau était supérieur à l'actuel en raison du comblement, au Pliocène, des vallées creusées au Messinien).

Les premières conséquences ont été le détournement des eaux issues de Chartreuse selon des directions d'abord subparallèles puis, avec l'intensification du phénomène glaciaire, selon des directions Est-Ouest

Fig. 25 - Essai d'explication de l'origine du creusement du couloir des Avenières par une érosion paraglaciale



1. Progression glaciaire dans la vallée du Rhône qui barre la vallée du Guiers. Ce dernier s'ouvre un autre chemin en bordure du plateau.

2. Avancée glaciaire. Le Guiers a nettement entaillé son nouveau thalweg (A).

3. Avancée glaciaire. Le thalweg du Guiers est enfoui sous le glacier. Lors du début de la débâcle glaciaire on peut avoir formation d'un second thalweg plus en amont (B).

4. Retrait du front glaciaire qui s'accompagne de creusements de thalwegs éphémères (B, C, ...). Le thalweg A est surcreusé par les eaux de fonte. On a des placages de moraines sur les reliefs.

5. Lors d'un nouveau cycle de poussée glaciaire, le thalweg A, plus dans l'axe de l'arrivée des glaces, sera occupé par le glacier lui-même le long duquel se formeront des kames et des dépôts morainiques et fluvio-glaciaires.

et peut-être même Nord-Sud. C'est le schéma classique d'un réarrangement de réseau hydrographique sous l'effet de la poussée glaciaire, comme ce fut le cas, à une autre échelle, du Rhin et de la Meuse lors de la poussée saalienne vers le Sud (fig.24).

La masse glaciaire prenant de l'importance, le glacier a pu alors déborder par dessus le plateau molassique. L'épaisseur considérable de la glace (atteignant les 900 m d'altitude selon Penck et Bruckner, in R. Meriaudeau, 1962) a peut-être aidé au surcreusement des sables de la cuvette d'Aoste mais l'importante dispersion radiale de la glace vers le Sud, l'Ouest et le Nord-Ouest a certainement atténué sa force érosive (qui n'a pas balayé les sables dunaires de Saint Didier d'Aoste, cf. Ch.3).

Toutes les glaciations n'ont pas eu l'extension des maxima rissien et würmien (Fig.27) pendant lesquels les écoulements de surface n'existaient plus. On peut aisément supposer que l'action des eaux en bordure de l'auge englacée (particulièrement en période de débâcle glaciaire où elles étaient fort abondantes) a contribué à abaisser le niveau du plateau de telle sorte qu'à chaque poussée glaciaire le débordement du glacier sur celui-ci s'en trouva facilité (Fig.25).

2.4. La poussée glaciaire sur le plateau des Terres Froides et ses conséquences dans la mise en place du réseau hydrographique

Nous venons d'envisager les possibilités de détournement de cours d'eau, tel le Guiers, lors de la progression glaciaire. Il est assez curieux de constater la position radiale des thalwegs importants actuels par rapport à cette avancée (Fig.26). Aux maximums glaciaires, la progression glaciaire s'effectuait d'Est en Ouest passant par-dessus les Chaînes de l'Épine et du Mont Tournier que les glaces franchissaient notamment au niveau du col de la Crusille. Lors de la phase de retrait, les eaux abondantes circulant sur la couverture glaciaire devaient s'épandre de façon aléatoire vers les extrémités du glacier de piedmont ou elles entaillaient le substratum molassique (Fig.26). Ainsi s'expliquerait l'origine de vallées telles celles de la Save (1), de Sermérieu (2), du Ver (3), de St Savin (4), de la Bourbre moyenne (5), de la Bourbre supérieure (7), du lac de Paladru (9), de l'Ainan (10). Cependant certains axes peuvent avoir été induits peu ou prou par des

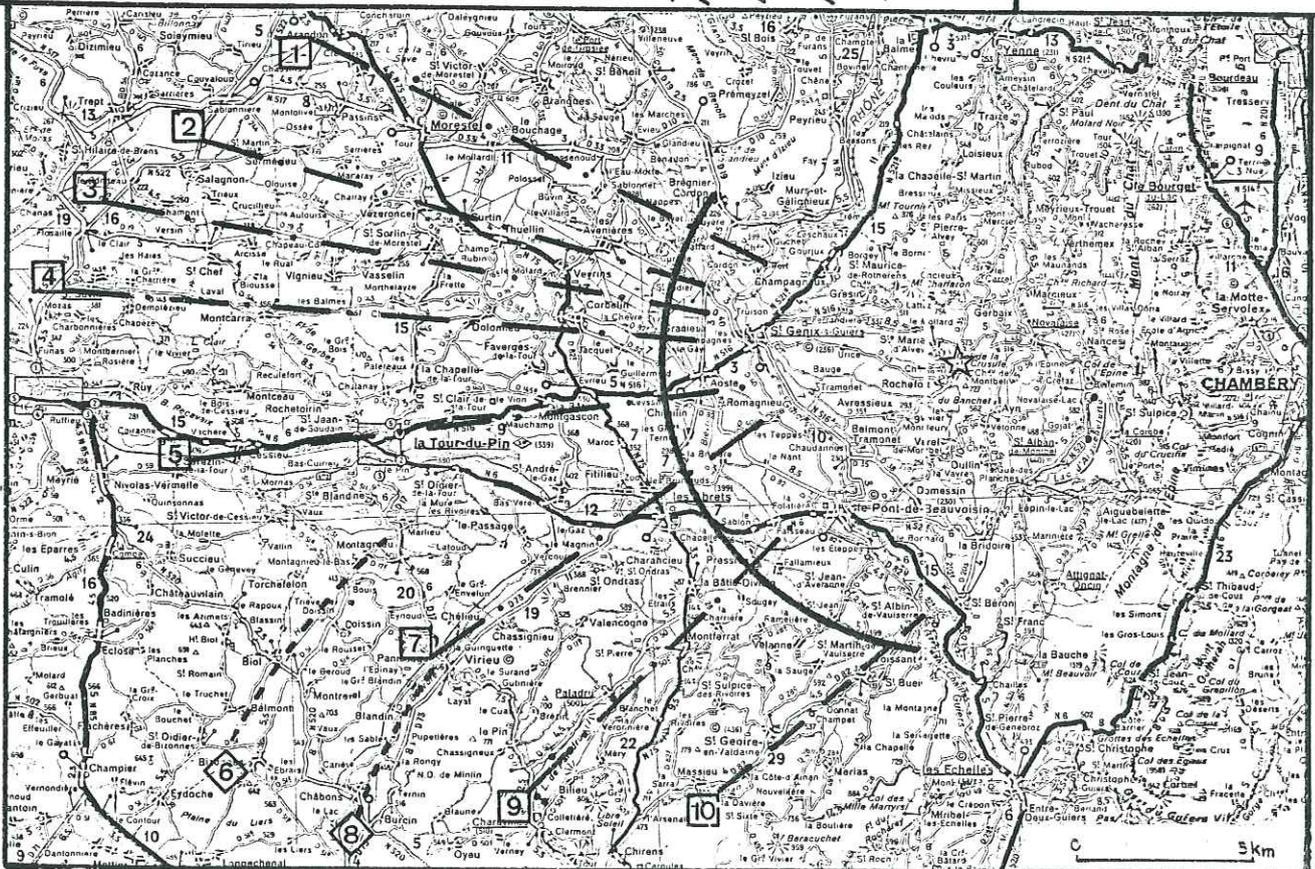
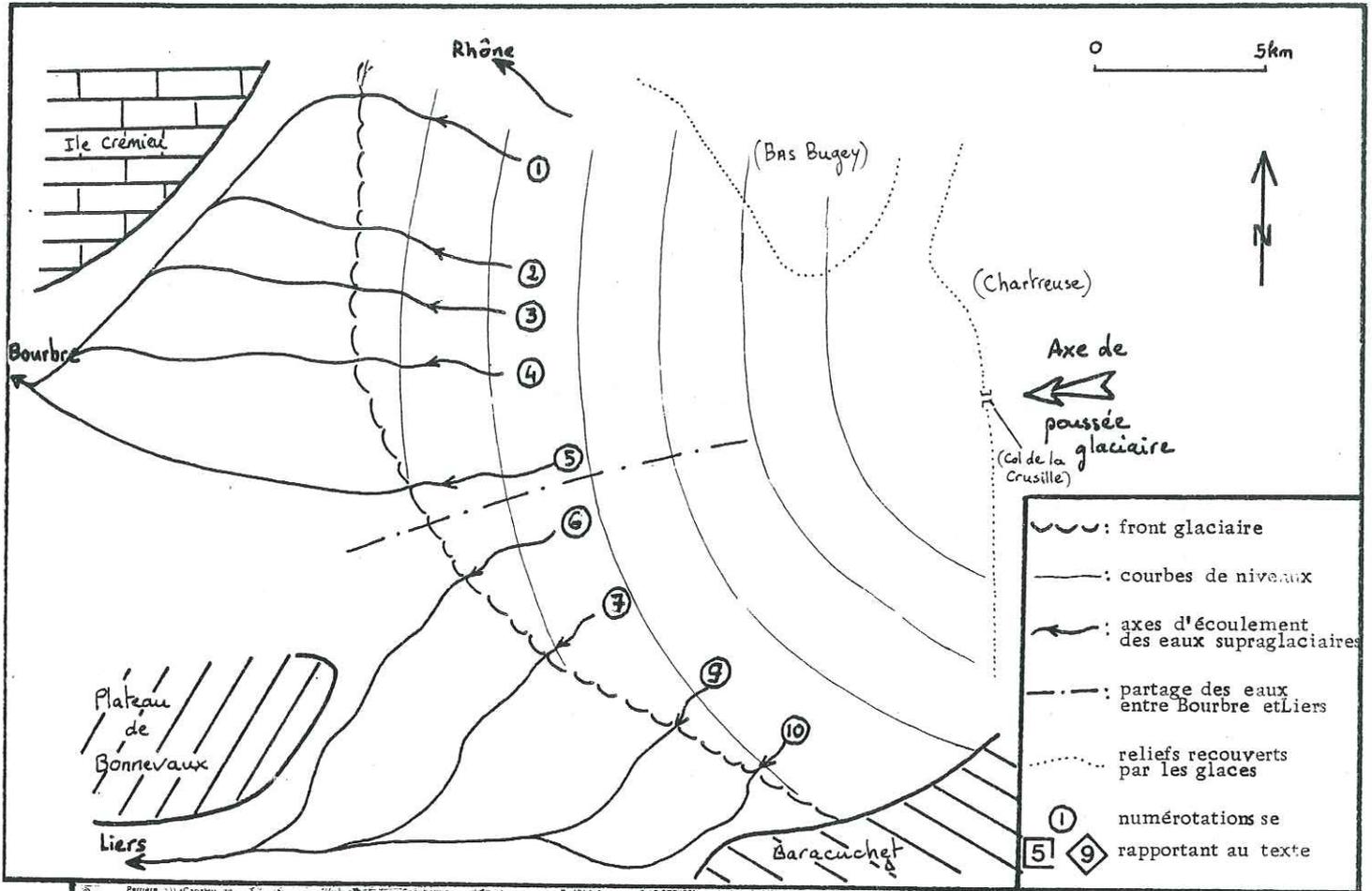


Fig. 26 - Essai d'interprétation glaciaire de l'origine des axes rayonnants des principaux cours d'eau actuels

accidents tectoniques sous-jacents à la molasse car si les directions remarquables Nord 120° de l'Ile Crémieu et du Bas-Bugey ne semblent pas reconduites ici, par contre des structures anticlinales profondes (reconnues lors de campagnes géophysiques régionales, C. Germain et G. Demaison, 1958, Fig.28) pourraient avoir engendré des accidents cassants propices à la superposition des vallées actuelles de la Bourbre supérieure (8) et de l'Hien (6). Lors des phases d'avancées glaciaires ultérieures, ces différents thalwegs seront autant d'axes utilisés par les langues du glacier et élargis de l'aval vers l'amont par les eaux de fonte lors de leur recul. Ainsi la vallée de l'Hien est-elle plus élargie à son amont actuel (ancien aval de poussée glaciaire), la vallée de la Bourbre moyenne est large jusqu'à la Tour-du-Pin, puis beaucoup plus étroite et divisée en deux bras à l'Ouest de Fitolieu (moindre érosion du fait de l'enfouissement plus long sous la glace alors que l'aval était attaqué par les eaux).

2.5. LES VARIATIONS DE TRACE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE LORS DU RETRAIT GLACIAIRE

La différence d'altitude du plateau molassique entre le Sud (élevé) et l'Ouest (plus bas) va provoquer, lors du retrait glaciaire, un basculement important du réseau hydrographique vers l'Ouest avec un important drainage des eaux méridionales en un chenal de bordure glaciaire (matérialisé sur la carte de la Fig.26 par un arc de cercle) résultant peut-être du retour du Guiers à travers les gorges de Chailles déglacées.

Il est frappant de constater la régularité de l'arc de cercle dessiné par le rebord du plateau molassique : son centre se situe au niveau du col de la Crusille, soit un rayon de 11,5 kilomètres. Le bord du plateau est relativement raide, ce qui se conçoit bien à partir d'une érosion fluvio-glaciaire.

Le seuil de Fitolieu (Fig.29) représente un point de déversement des eaux de ce chenal vers l'Ouest : ces eaux ont abaissé et aplani le relief en un triangle d'altitude comprise entre 350 et 390 m (voir plus loin), ce qui dénote une période de relative stabilité dans le retrait glaciaire (stade 7 de retrait, Fig.27, soit le stade de Lancin de R.

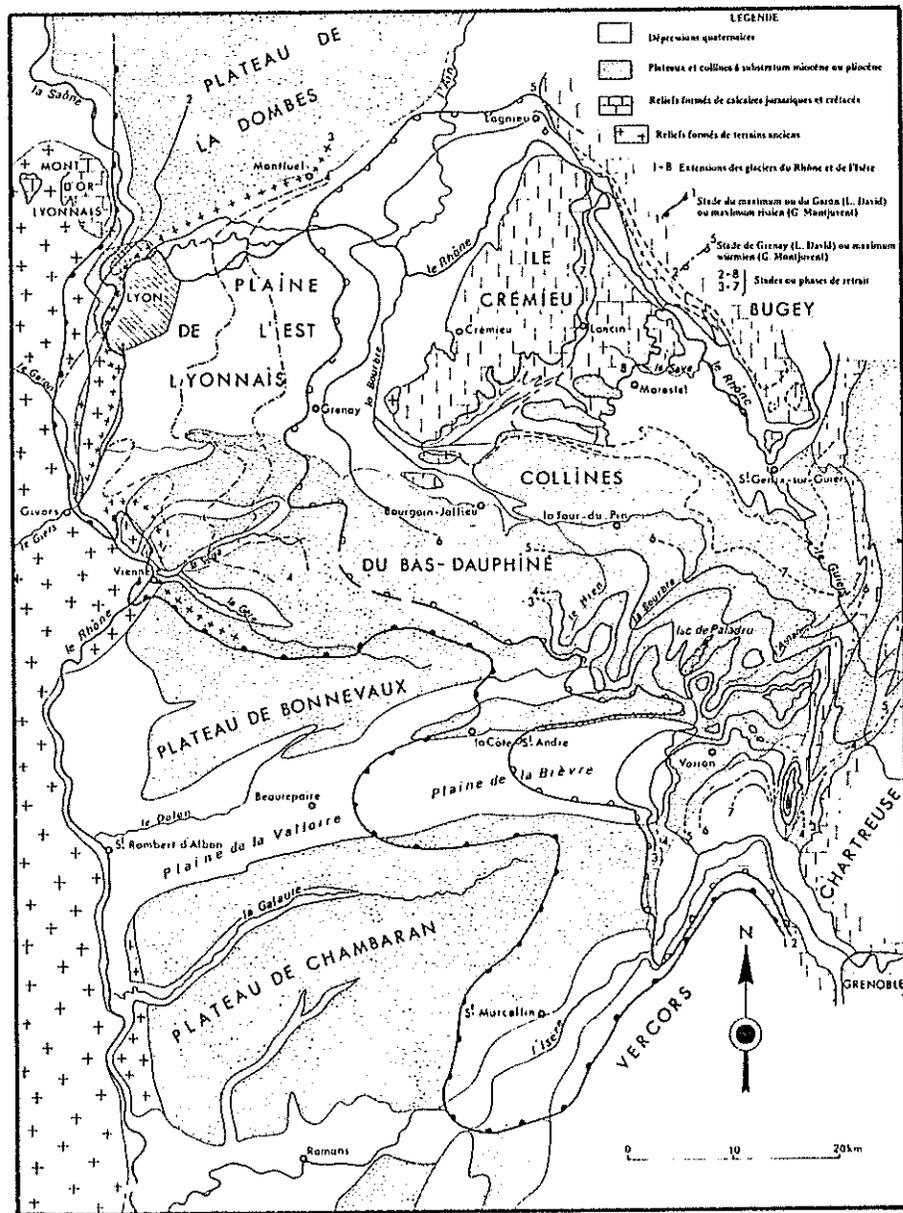


Fig. 2 / Extension des glaciers du Rhône et de l'Isère et leurs phases de retrait (en partie d'après L. DAVID, M. GIDON, G. MONTJUVENT et E. STEINFATZ). d'après R. Enay, 1981

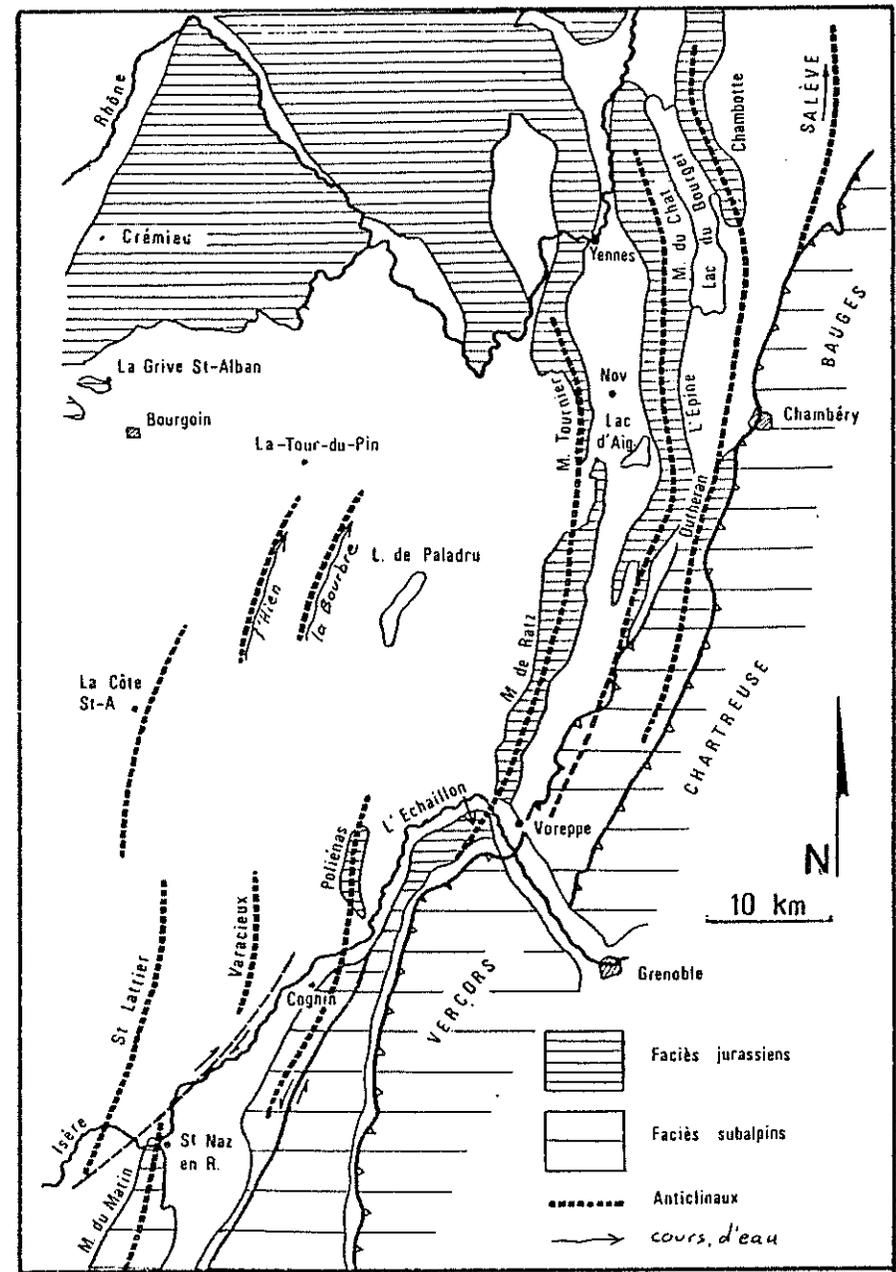
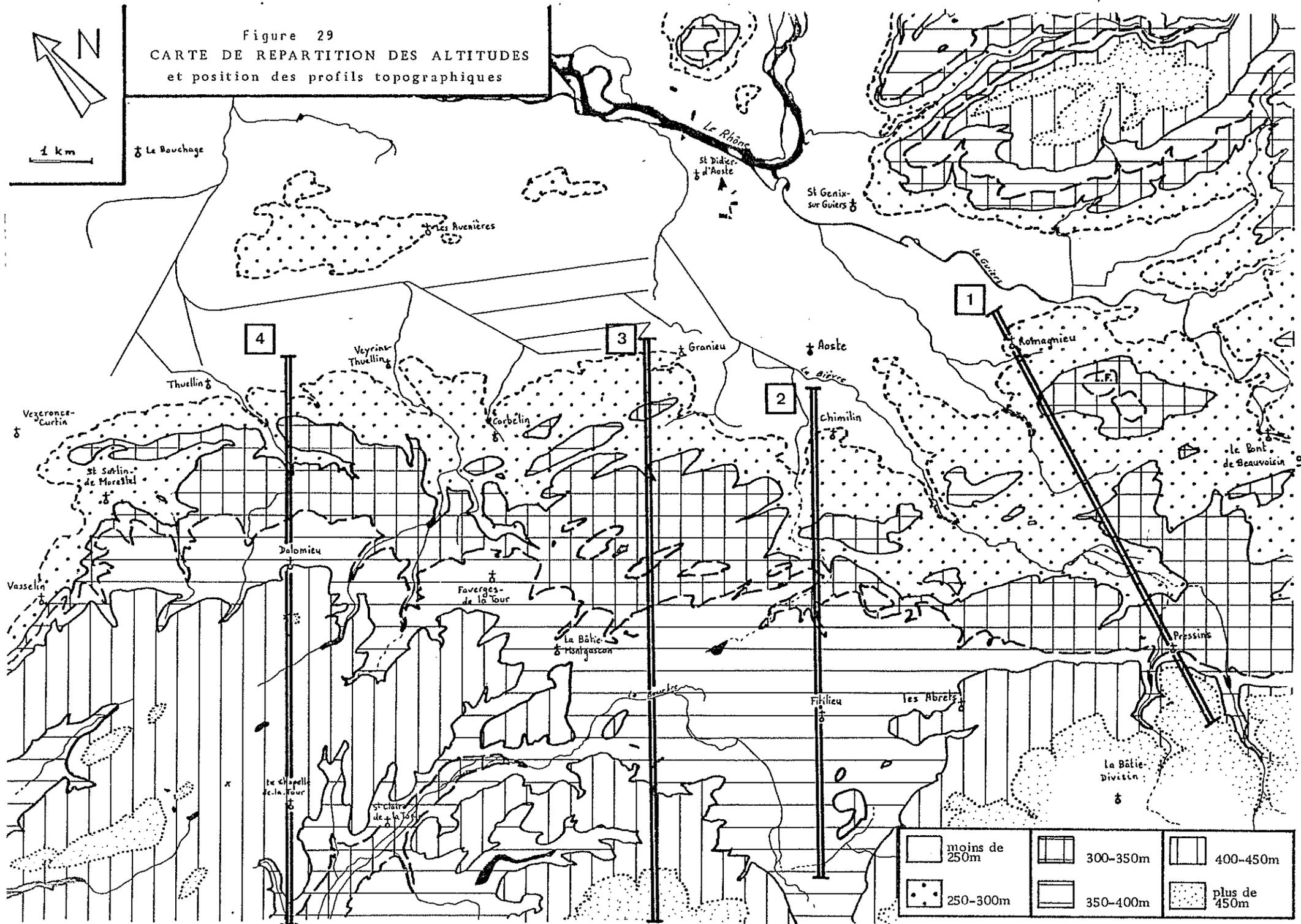


Fig. 28 - Passage des plis jurassiens aux plis subalpines d'après C. GERMAIN et G. DEMAISON, in J. DEBELMAS, 1974.

Figure 29
 CARTE DE REPARTITION DES ALTITUDES
 et position des profils topographiques



Enay, 1981). Le recul glaciaire a de nouveau provoqué le détournement des eaux vers le Nord-Ouest : au stade de Morestel (R. Enay, 1981), les eaux ont entaillé une sorte de gradin entre 300 et 350 m du Sud-Ouest de Chimilin jusqu'à Saint Sorlin de Morestel. Le relief actuel garde encore partiellement l'empreinte du réseau hydrographique de cette époque ; nous avons pu ainsi interpréter et retracer les directions d'écoulement nord-ouest bordant le glacier (Fig.32 et 31) à partir de l'observation des cartes et photographies aériennes.

Enfin, un dernier changement s'est opéré lors de la fonte des glaces : l'écoulement latéral au glacier a perdu son alimentation amont (qui s'est déversée directement dans la plaine d'Aoste). Un réseau hydrographique local s'est alors développé en direction du Nord vers le nouveau niveau de base constitué par un lac post-glaciaire : il a donc recoupé et partiellement utilisé l'ancien réseau hydrographique comme cela apparaît sur la Fig. 31.

2.6.LES PROFILS MORPHOLOGIQUES EN BORDURE DE LA PLAINE D'AOSTE

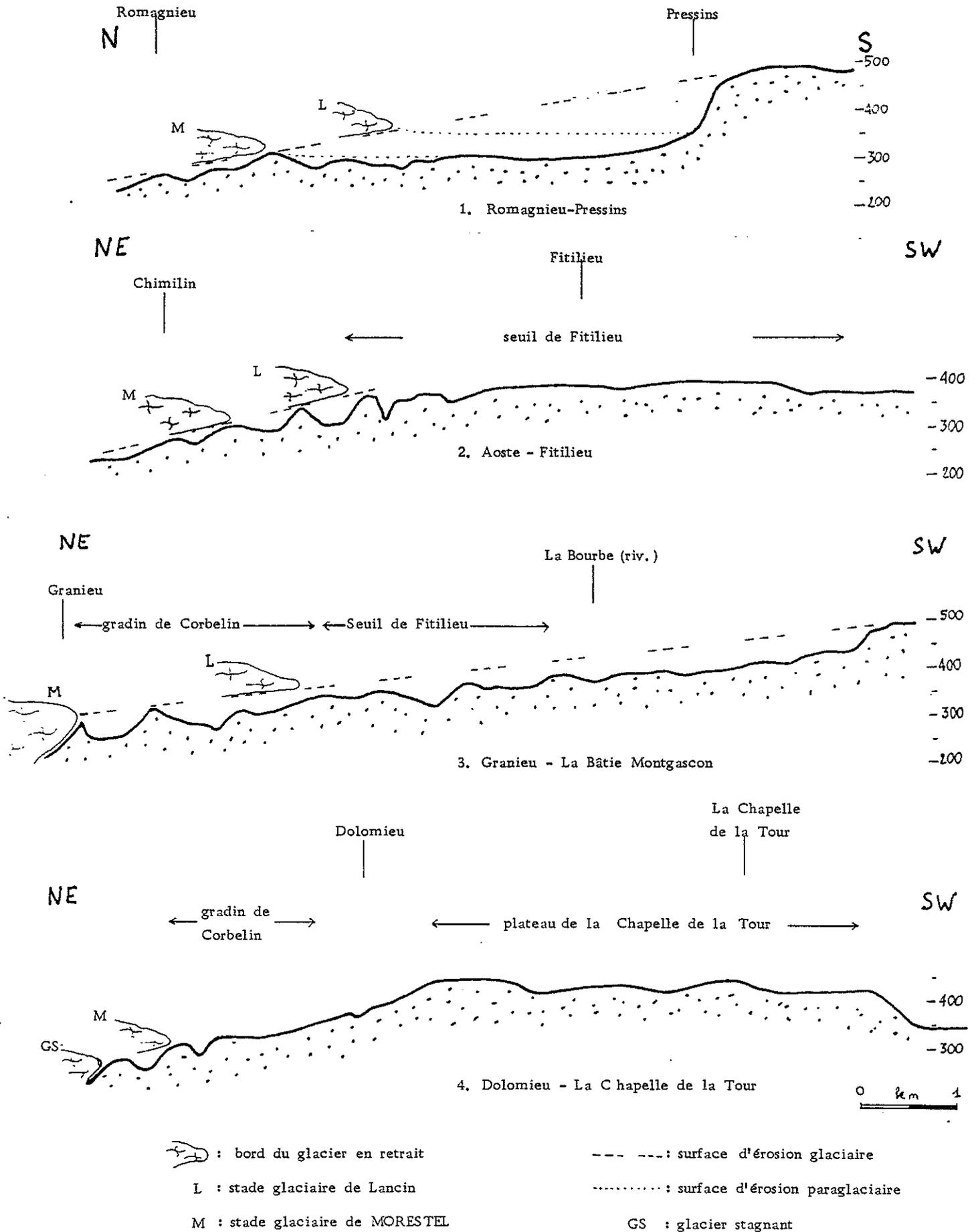
Ainsi l'étude morphologique, réalisée en se replaçant dans un contexte de retraits glaciaires importants, nous permet-elle de comprendre l'hétérogénéité des formes de cette région. Par exemple, si nous étudions différents profils NE-SW (Fig.30) réalisés entre la plaine d'Aoste-Veyrins et le plateau des Terres Froides (Fig.29), nous pouvons expliquer les différences entre les pentes enregistrées de l'un à l'autre (la lecture d'un profil s'effectuant du point le plus haut vers le plus bas, suivant en cela la chronologie de l'érosion) :

- Profil 1 , Romagnieu-Pressins :

La pente est anormalement forte entre 450 et 350 m : le bord du plateau a été érodé pendant une période relativement longue. C'est la marque du chenal de bordure glaciaire qui est probablement resté actif jusqu'à la fin du stade de Lancin (L).

Entre 350 et 300 m, la pente est plus atténuée : le glacier effectue un nouveau retrait et vient se positionner autour de 300 m, stade de Morestel (M). Localement, des buttes préservées de l'érosion témoignent par leurs dépôts glaciaires du niveau antérieur du fond de l'auge (Fig.29, Le Fayet (L.F.), au Sud-Est de Romagnieu).

Fig. 30- Profils morphologiques entre la plaine d'Aoste-Veyrins et le plateau des Terres Froides



En dessous de 300 m , le profil est très plat et dénote un contexte beaucoup moins érosif.

- Profil 2, Aoste-Fitilieu :

Le relief est très peu incliné entre 380 et 350 m ; jusqu'à la fin du stade de Lancin, cette zone a été aplanie par les eaux issues de Chartreuse, du glacier et de la Bourbre supérieure, formant ce que l'on appelle le seuil de Fitilieu. La grande quantité d'eau en ce secteur explique l'ampleur de l'aplanissement.

Entre 350 et 250 m la pente est régulière : il n'apparaît pas de gradin lié au stade de Morestel dans ce secteur, soit qu'il ait été érodé par la suite, soit qu'une grande partie des eaux aient cheminé par-dessus le glacier.

- Profil 3, Granieu-La Bâtie-Montgascon :

On observe bien les deux gradins successifs de Fitilieu et de Corbelin liés aux deux stades de Lancin et de Morestel, celui de Corbelin entaillant en partie (Fig.30) le seuil de Fitilieu. Ceci dénote un passage relativement rapide du stade de Lancin à celui de Morestel (réchauffement climatique temporaire entre deux phases plus froides ?).

En dessous de 300 m la pente représente le flanc d'auge glaciaire.

- Profil 4, Dolomieu - La Chapelle-de-la-Tour :

Entre 450 et 300 m le profil correspond au flanc de l'auge glaciaire (dépôts glaciaires). Seule existe une entaille en-dessous de 350 m, prolongeant le gradin de Corbelin du profil précédent et drainant ses eaux vers Saint-Sorlin-de-Morestel.

En dessous de 300 m, le redressement de la pente résulte de l'érosion par les eaux latérales au glacier stagnant dans le couloir des Avenières (5).

Côté Sud-Ouest, le profil peu incliné du plateau de La Chapelle-de-la-Tour descend brusquement à partir de 400 m en direction de la vallée de la Bourbre moyenne, conséquence de l'activité érosive des eaux de fonte.

2.7. REPARTITION DE L'ALTITUDE

Une étude des surfaces représentées sur la carte de la Fig.29, outre les terrains d'altitude inférieure à 250 m (environ un tiers de l'ensemble), nous donne la répartition suivante :

| | <u>Ensemble de la carte</u> | <u>Est de St Genix</u> |
|-----------|-----------------------------|------------------------|
| 250-300 m | 25,4 % | 19,4 % |
| 300-350 m | 15,6 % | 20,5 % |
| 350-400 m | 24,3 % | 21,7 % |
| 400-450 m | 23,4 % | 14,0 % |

- Les altitudes supérieures à 450 m sont peu représentées ici car elles concernent davantage le centre et le Sud du plateau molassique ;

- La tranche 400-450 m peut sembler importante : pour l'essentiel elle correspond à la surface du plateau de La Chapelle-de-la-Tour, surface probablement nivelée et aplanie lors des phases glaciaires si l'on en juge par l'orientation est-ouest des affleurements supérieurs à 450 m ;

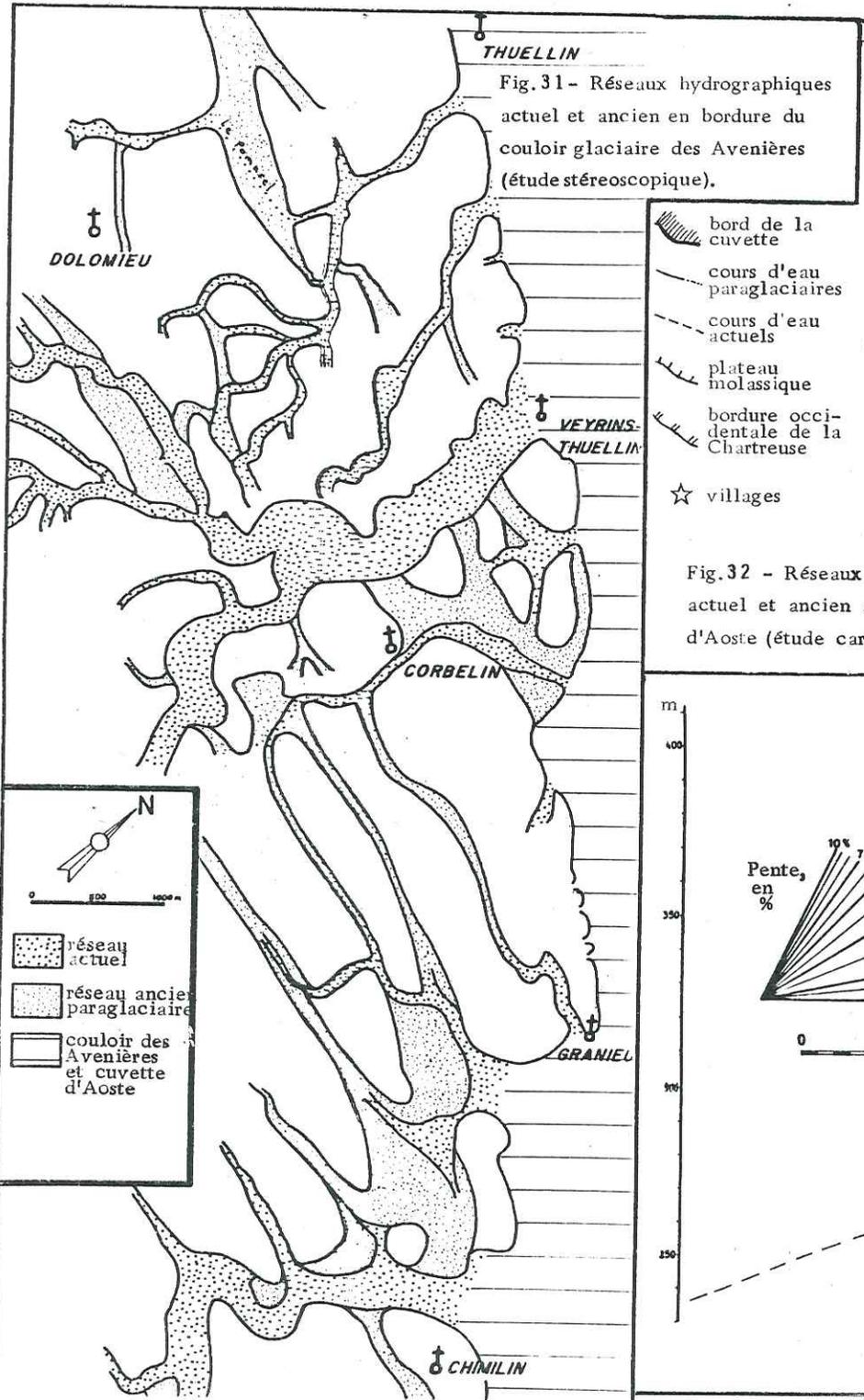
- La tranche 350-400 m présente 3 zones différentes sur la carte :

- . zone de Dolomieu, de largeur proche du kilomètre ;
- . zone de Fitolieu, vaste surface triangulaire qui a elle seule, représente les 2/3 de la surface de cette tranche ;
- . zone de Pressins, très étroite.

- La tranche 300-350 m moins importante que les autres est très découpée au profit de la tranche inférieure ;

- La tranche 250-300 m prend plus d'importance en direction de Pont-de-Beauvoisin.

Par comparaison, on a observé la répartition des surfaces molassiques à l'ENE de St Genix : les surfaces forment des bandes de largeurs semblables traduisant une pente régulière de 250 à 450 m. Le relief a subi une érosion régulière, il ne montre pas de niveaux surcreusés au détriment des autres (histogramme de répartition de l'altitude légèrement croissant, caractérisant cette forme en croupe). Son flanc sud, encore recouvert de dépôts morainiques, atteste l'absence d'une érosion importante depuis la dernière phase glaciaire ; le flanc



- bord de la cuvette
- cours d'eau paraglaciaires
- cours d'eau actuels
- plateau molassique
- bordure occidentale de la Chartreuse
- ☆ villages

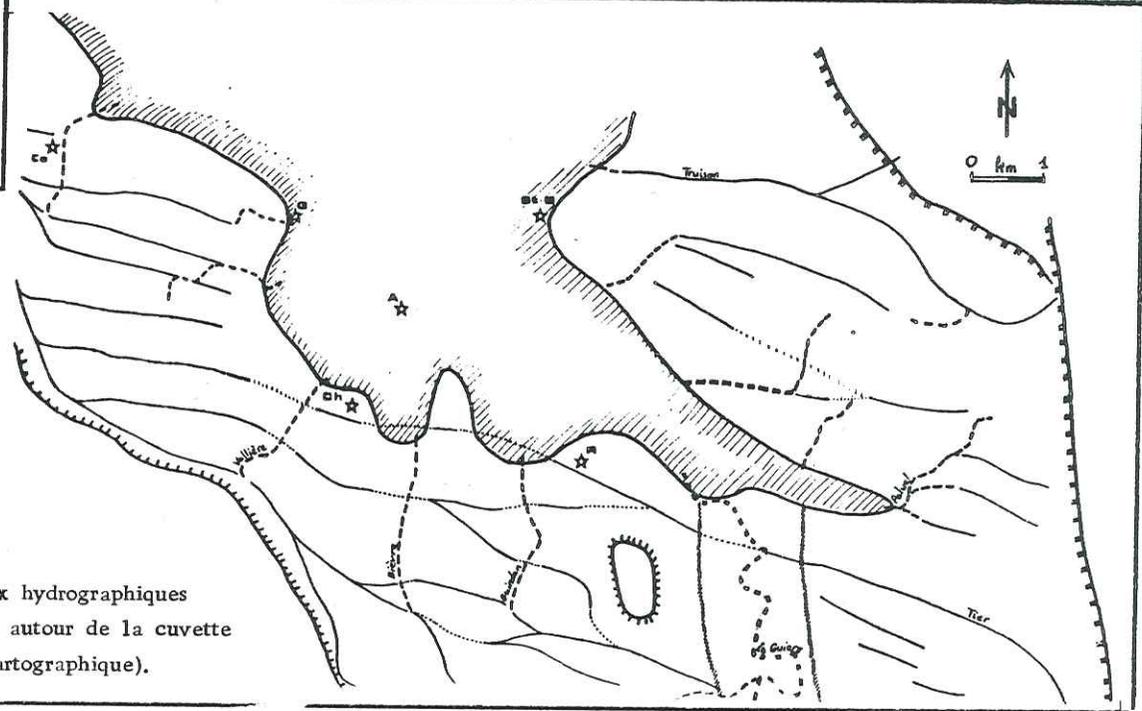
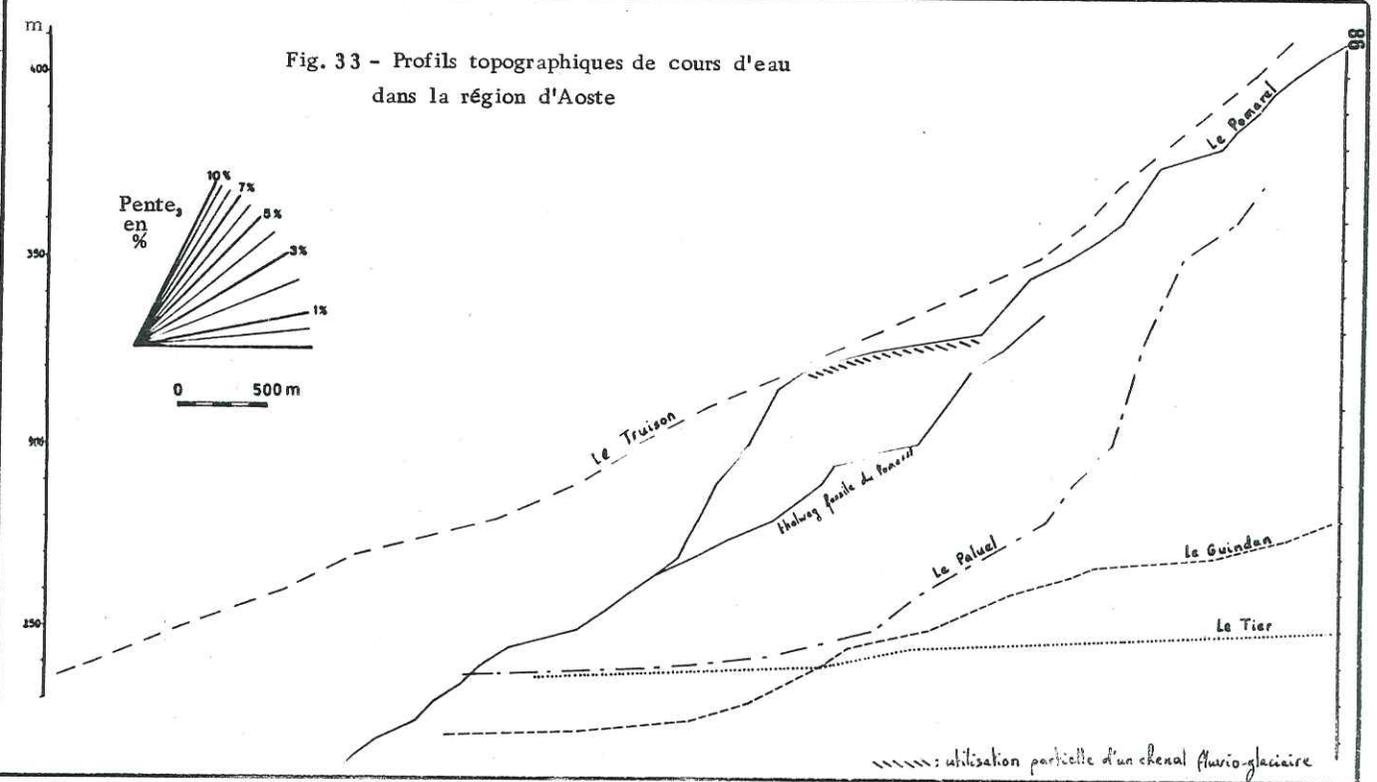


Fig. 32 - Réseaux hydrographiques actuel et ancien autour de la cuvette d'Aoste (étude cartographique).

- N
- 0 500 1000 m
- réseau actuel
 - réseau ancien paraglaciaire
 - couloir des Avenières et cuvette d'Aoste



nord, sans dépôts glaciaires, présente une pente plus importante et résulte de la poursuite du creusement après la fonte des glaces (ce que confirme l'allure du profil d'équilibre du ruisseau de Truisson, cf. Fig. 33).

2.8. ETUDE DE THALWEGS ANCIENS ET ACTUELS

2.8.1. Etude stéréoscopique du gradin de Corbelin

La reprise d'anciennes directions d'écoulement WNW par le réseau hydrographique orienté vers le Nord (couloir des Avenières) et vers l'Est (cuvette d'Aoste) apparaît bien sur photographies aériennes.

Le réseau actuel recoupe profondément le réseau qui s'était développé parallèlement aux glaces du couloir des Avenières : le chenal fossile entre Dolomieu et Thuellin devait représenter un drain de l'importance de celui de Veyrins et rejoignait St Sorlin de Morestel en aval (Fig.31 et 34). On peut se demander pourquoi ces écoulements WNW ne se sont pas poursuivis lors de la baisse du niveau des glaces. L'hypothèse d'une érosion régressive depuis le bord de l'auge avec capture du chenal est envisageable. Il semble plus probable cependant que le réseau Sud-Nord ait été antérieur à celui orienté ESE-WNW : en ce cas, lors du retrait glaciaire, il se trouvait enfoui sous les dépôts morainiques alors que se développait un réseau de marge glaciaire. Le retrait des glaces lui a permis par la suite de déblayer son ancien lit et de reprendre son cours vers le Nord.

De même le ruisseau au Sud-Est de Granieu recoupe-t-il trois anciens chenaux de direction Nord 280°, isolés de toute zone d'alimentation actuelle.

2.8.2. Etude des traces d'anciens thalwegs sur cartes à 1/50 000 et 1/25 000

Nous avons relevé systématiquement les directions de ce qui pouvait représenter d'anciens thalwegs érodés et souvent isolés de tout écoulement actuel : là encore on retrouve cette direction WNW (Fig.32).

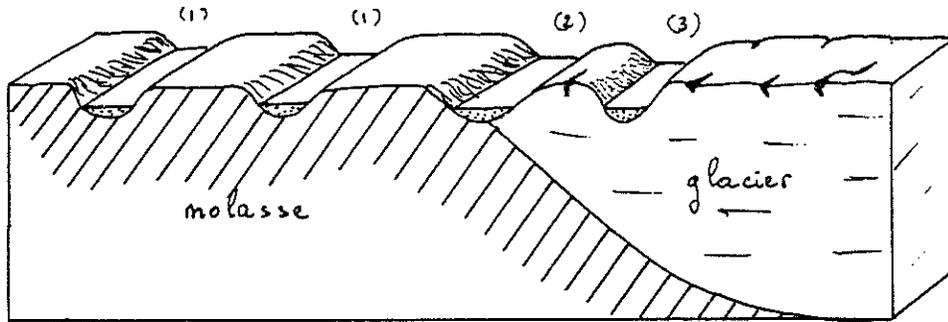


Figure 34
Différentes positions de chenaux
(bloc schématique N-S à l'Ouest
de Granieu)

- 1 : Chenaux de marge glaciaire entaillant le substratum
- 2 : Chenal de marge à flanc de colline (glace imperméable et angle α éloigné de la verticale)
- 3 : Chenal glaciaire

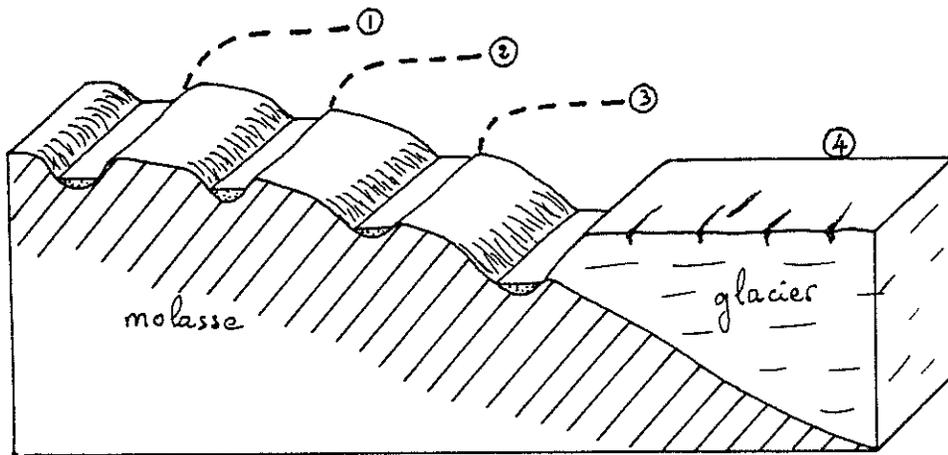


Figure 35
Chenalisation de la marge
glaciaire à flanc de colline
lors de quatre phases succes-
sives de retrait glaciaire.
(1 , 2 , 3 , 4)

(Bloc schématique selon l'axe
de la Bièvre)

Figure 36

Chenaux de marge glaciaire,
Stornarfjallet, Ouest Suède
(D'après photographie in R.F.FLINT,
1971).

Ceci est très semblable à la vue
aérienne du couloir des Avenière
(axe de la vallée) en direction
sud, avec les chenaux du gradin
de Corbelin sub-parallèles à la
vallée.

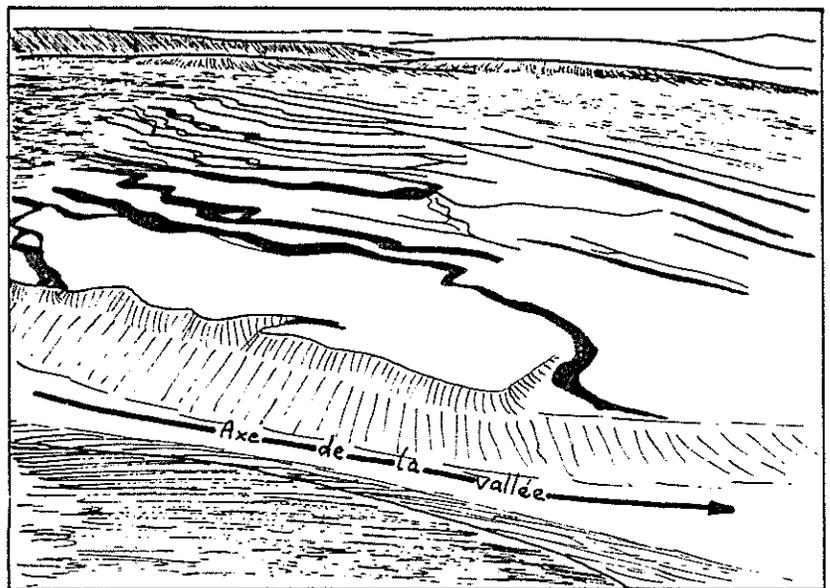
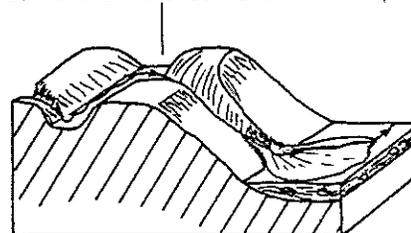


Figure 37

Recoupement du réseau hydrographique
périglaciaire par le réseau hydrographique
post-glaciaire.

Ancien chenal d'orientation W.NW. partiellement utilisé



Il est même possible de relier ces éléments de chenaux dont on retrouve souvent la trace de part et d'autre de vallées actuelles dirigées vers le Nord : ainsi en est-il le long des ruisseaux de Vallière, de la Bièvre et du Guindan. Les tronçons d'un même chenal ainsi reconstitué ne sont pas nécessairement à des altitudes équivalentes, certains ayant pu conserver un certain écoulement dans le nouveau réseau Nord-Sud : on n'observe de renversement du sens d'écoulement qu'en rive gauche de la plaine de Vallière où quelques eaux issues du gradin de Corbelin ont ré-entailé et utilisé ces axes.

Comme dans le secteur de Corbelin vu précédemment, on observe donc la réorientation vers le Nord d'un réseau hydrographique paraglaciale orienté auparavant vers l'Ouest-Nord-Ouest (Fig.37). Ces chenaux peuvent s'être développés ensemble sur un gradin latéral au glacier (gradin de Corbelin, cf. Fig.34 et 36) lors d'un stade glaciaire, ou bien successivement lors du retrait glaciaire, comme cela pourrait être le cas en bordure sud de la cuvette d'Aoste (Fig.35).

2.8.3. Profils de cours d'eau anciens et actuels (Fig.33)

L'étude de la pente des cours d'eau nous permet d'envisager leur histoire : une pente raide est l'indice d'un thalweg peu évolué, en cours d'érosion ; un lit très plat indique un alluvionnement important. De l'aval vers l'amont, le profil d'un cours d'eau tend vers une forme parabolique.

Nous nous sommes intéressé aux ruisseaux de deux secteurs à évolution différente situés :

- d'une part en rive droite du Guiers (Savoie) où, comme nous l'avons vu, l'activité fluvio-glaciaire a été peu importante (Le Truison, Le Paluel) en dehors des écoulements issus du Sud-Est (Le Tier);
- d'autre part en bordure de la cuvette d'Aoste (Le Guindan) et du couloir des Avenières (Le Pomarel).

A. Le Truison (Est de Saint-Genix sur Guiers, Savoie)

Sa pente est très régulière et évolue de 2 % à l'aval vers 4 % à l'amont. Le profil ne montre pas d'irrégularité : l'histoire de ce thalweg est continue, il n'y a probablement pas eu de perturbations dans

l'évolution du lit, pas de niveau de base provisoire plus élevé que l'actuel qui aurait pu induire une reprise d'érosion par la suite.

B. Le Paluel (Est d'Avressieux, Savoie)

Très plat en aval, il dépasse les 10 % de pente à l'amont. C'est un cours d'eau à profil moins évolué. En aval il s'écoule sur une surface plane construite par les alluvions du Guiers. En amont de chaque confluence (280 m, 300 m), la pente se redresse.

D'après la Fig.33, il semble que le Paluel se soit établi postérieurement aux écoulements fluvioglaciers par basculement du drainage d'une direction Nord-Ouest vers une direction Sud-Ouest et recouplement des chenaux pré-existants.

C. Le Tiers (Sud de Belmont-Tramonet, Savoie)

C'est un thalweg hérité des écoulements fluvioglaciers : sa pente est très faible à l'aval comme à l'amont (2,5‰) mais s'accroît jusqu'à un peu plus de 1 % au centre du profil. En fait les niveaux très peu inclinés correspondent à un tracé du lit sur des sédiments lacustres, la pente intermédiaire formant le déversoir du plan d'eau supérieur dans le plan d'eau inférieur.

D. Le Guindan (Sud-Est de Romagnieu)

Ce thalweg s'est développé à l'époque finiglaciaire lors de la redistribution du réseau hydrographique en direction du Nord. Son profil, assez régulier (autour de 1 à 2 %), est cependant marqué par deux niveaux plus plats à 245-250 m et vers 270 m, pouvant correspondre à deux niveaux de base temporaires (glacier en retrait, pour le niveau supérieur, et lac glaciaire vers 230-240 m pour le plus bas) ayant permis ces aplanissements localisés. Le niveau inférieur actuel correspond à celui des alluvions du Guiers.

E. Le Pomarel (Sud de Thuellin)

Son profil est très régulier (entre 3 et 4 % de pente) en amont et en aval. Par contre le milieu du profil, marqué par une pente faible (inférieure à 1 %) suivie d'une pente importante (8 %), résulte certainement de l'intervention humaine.

En effet le Pomarel amont devait se déverser dans le chenal fluvio-glaciaire de direction ouest-nord-ouest (Fig.31) : à une époque récente le ruisseau a été dévié vers la combe la plus proche, rejoignant un autre chenal fini-glaciaire de pente sensiblement équivalente à celle du Pomarel amont (thalweg fossile du Pomarel, cf. Fig.33).

En conclusion

Des inclinaisons supérieures à 2-3 % caractérisent des thalwegs encore en cours d'évolution. Des valeurs plus inférieures (moins de 1 %) indiquent des secteurs à dépôts alluviaux actuels, ou anciens (s'ils sont repris par l'érosion : pente plus forte à leur aval).

Ces secteurs anciens sont les témoins des anciens niveaux de base de l'écoulement local des eaux qui correspondent à des stades donnés du retrait glaciaire pendant lesquels les profils des cours d'eau tendaient à acquérir une pente faible en aval.

2.8.4. Anciens méandres du Rhône dans le couloir des Avenières (Fig.39)

L'observation de photographies aériennes stéréoscopique de ce couloir nous a permis de retrouver certains méandres laissés par le Rhône lors du déplacement de son cours au Nord de la butte des Avenières.

- Remblaiement des méandres : assez net en aval de Thuellin (cf. carte géologique de 1976 à 1/50 000), le cheminement des méandres est plus confus vers l'amont : ceci résulte d'un envasement et du développement des tourbières plus important à l'Est du cône de Veyrins qui ont entravé l'écoulement naturel vers l'Ouest. De ce fait les méandres, en amont du cône, sont enfouis sous une plus importante couche de limons qui ont nivelé ce secteur (voir ch.5) :

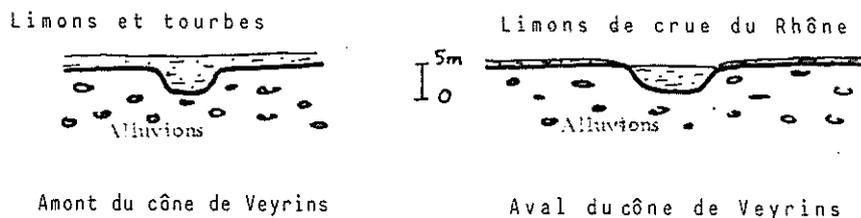
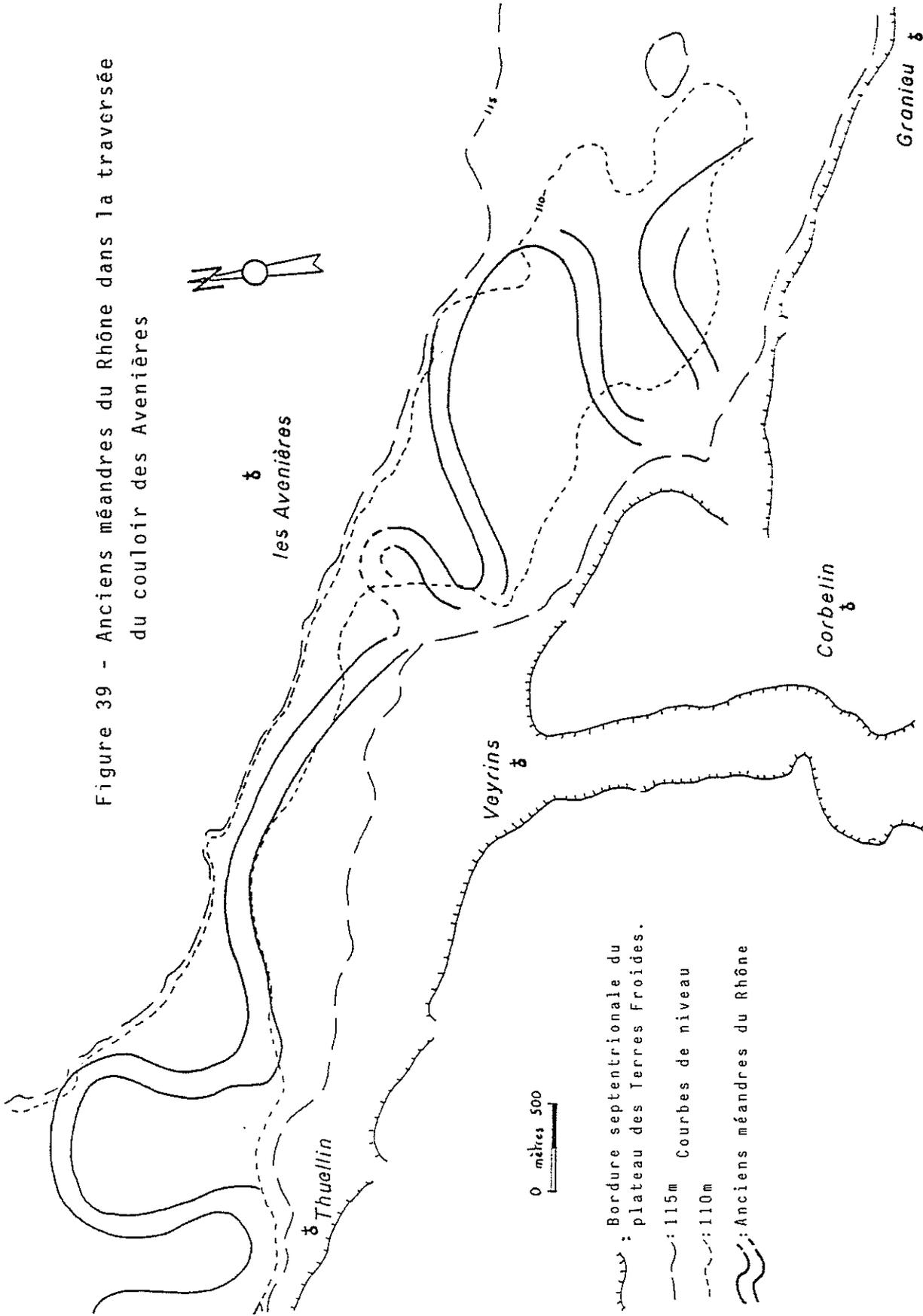


Figure 38 - Remblaiement des méandres du couloir des Avenières

Figure 39 - Anciens méandres du Rhône dans la traversée
du couloir des Avenières



De plus, l'aval est resté sous l'influence des crues du Rhône qui s'épandent encore dans la plaine de Brangues : les anciens méandres ont joué le rôle de drain pour l'évacuation des eaux de crue jusqu'à la mise en place du réseau de canaux qui draine aujourd'hui la plaine.

- Incidence de la végétation : l'abandon des méandres a entraîné leur colmatage progressif par les limons de débordement lors des crues du Rhône et par le développement de tourbières. Une végétation spécifique s'y est développée alors que les anciennes rives caillouteuses (bien que recouvertes de limons, mais sur une moindre épaisseur) ont permis le développement d'espèces moins hygrophiles.

Ainsi sur la carte de végétation établie par G. Pautou et al. (1979), le groupement herbacé à Molinia coerulea, mésohygrophile, borde assez régulièrement ces anciens méandres envahis par des groupements herbacés et forestiers hygrophiles.

- Position des derniers méandres : on distingue trois secteurs de l'amont vers l'aval :

- . De Granieu au cône de Veyrins : le Rhône a eu tout loisir d'y développer ses sinuosités. Les méandres retracés sont les plus visibles : ils représentent la dernière position du lit du Rhône avant l'abandon du couloir. Ce dernier a cependant été entièrement balayé par les eaux qui ont régulièrement construit de nouveaux méandres en recoupant les anciens (parfois encore décelables). Au contact du cône de Veyrins les méandres se resserrent.
- . Le cône de Veyrins qui s'étend jusqu'à Thuellin a contraint le Rhône à l'entailler au pied de l'île des Avenières : les méandres n'ont pu se développer.
- . A partir de Thuellin, on entre dans la plaine de Brangues où le Rhône a pu largement étaler ses sinuosités (carte géologique 1976).

2.9. CONSIDERATIONS DIVERSES

2.9.1. Déglaciation

Toutes ces formes sont-elles le résultat d'une seule grande phase de retrait glaciaire ? Nous ne le pensons pas car dans le détail on a des témoignages de reprise de l'activité glaciaire.

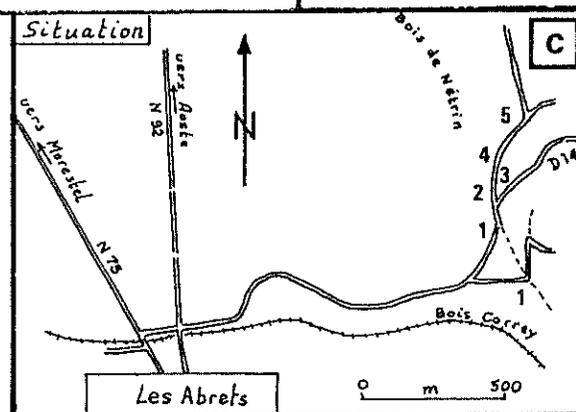
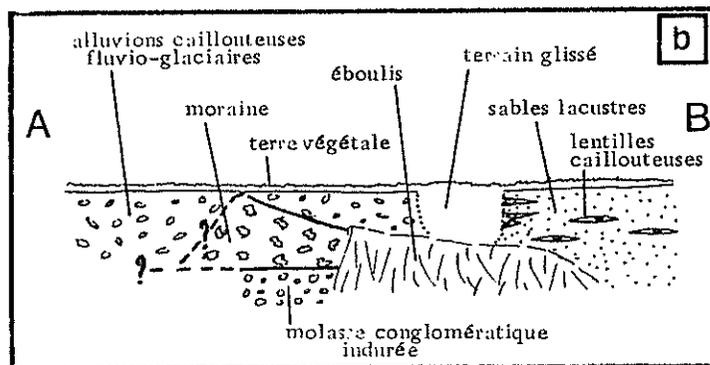
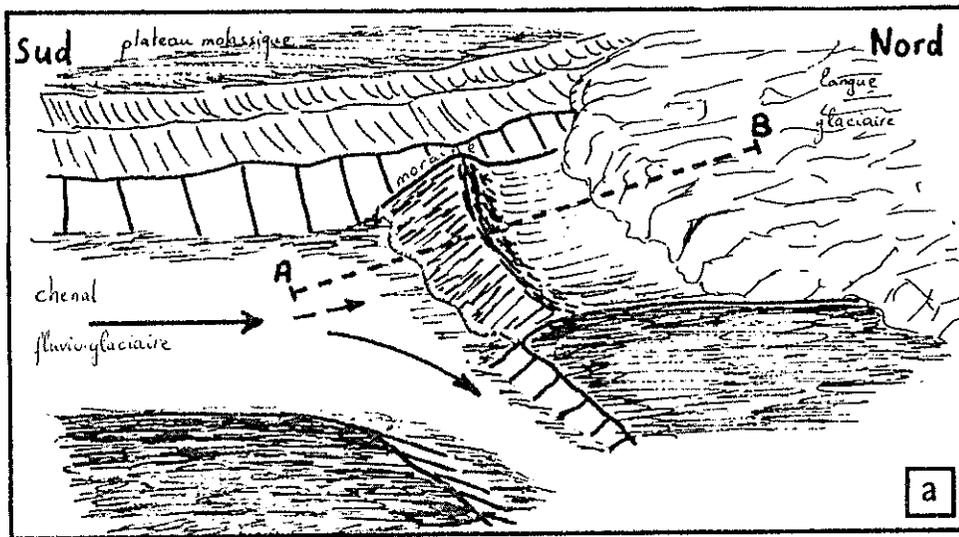


Fig. 40 Interprétation de la carrière

N°5 du Bois de Nérin

- a- Reconstitution paléomorphologique
- b- Coupe dans l'axe de la carrière (la partie caillouteuse au Sud de la moraine a été déduite à partir des observations faites dans la carrière N°3).
- c- situation des carrières de Bois Nérin (1 & 5) et Bois Correy (1)

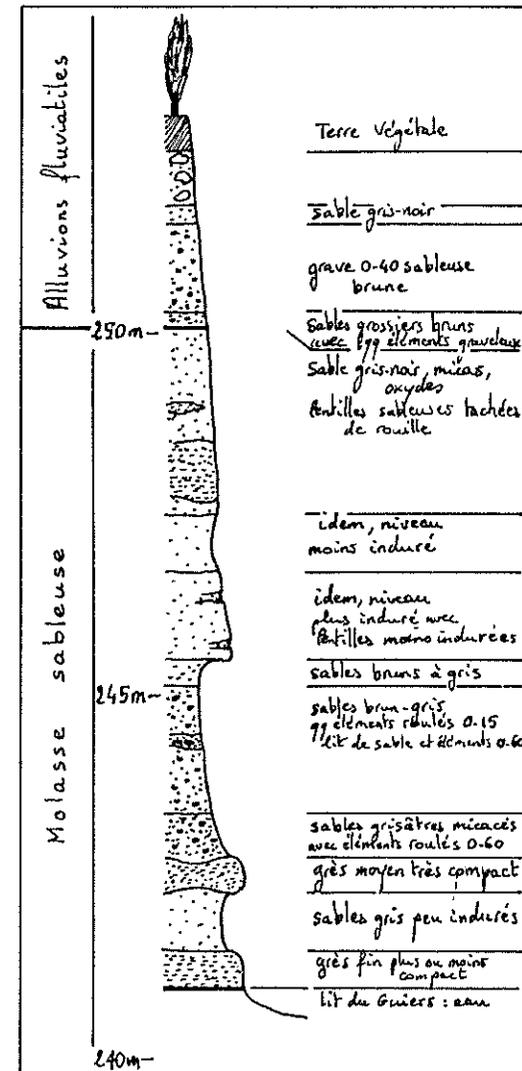


Fig. 41-log de la rive gauche du Guiers en amont du pont de Pont de Beauvoisin d'après le C. E. T. E de Lyon.

En effet, au Bois de Nétrin (carrière n°5), un vallum morainique barre le chenal fluvio-glaciaire, témoignant d'un retour des glaces après un épisode de retrait important ayant permis à des écoulements fluviaux de creuser ce chenal à un niveau inférieur à 300 m. Lors du retour de la langue glaciaire, les eaux arrivant par l'amont du chenal (Fig.40 a, flèches noires) ont été détournées vers le Nord-Est.

A l'aval de cette moraine (au Nord), la sédimentation est sableuse dans le chenal alors qu'elle est caillouteuse à l'amont (Fig.40 b). Lors du retrait de la langue glaciaire vers le Nord, un lac s'est établi et s'est comblé d'abord de sables dans lesquels sont venus s'intercaler, peu à peu, des venues caillouteuses de plus en plus nombreuses résultant du comblement du chenal par les alluvions deltaïques. Celles-ci ont fini par passer par-dessus le vallum pour envahir à nouveau le chenal vers le Nord, cachetant ainsi le vallum.

La présence d'un plan d'eau dans lequel se sont déposées les alluvions justifie que cette moraine n'ait pas été démantelée par l'action des eaux. D'autre part, lors de la mise en place du vallum les eaux cheminaient par le chenal nord-est qui a été le premier comblé par les alluvions deltaïques. Celles-ci ont par la suite débordé par dessus le vallum et envahi le chenal nord-ouest.

Il n'est donc pas impossible qu'en aval de ce chenal nous ayons d'autres vallums morainiques enfouis sous les dépôts fluvio-glaciaires.

La présence de terrains glissés empêche d'observer la continuité des alluvions caillouteuses fluvio-glaciaires dans les sables lacustres. On pourrait donc aussi les considérer comme non synchrones : les glaces étant encore présentes en arrière de la moraine (Fig.40 a), les dépôts fluvio-glaciaires deltaïques ont envahi l'espace créé entre le vallum morainique et le front glaciaire. Par la suite les glaces se sont retirées, laissant un creux dans lequel s'est établi un lac peu à peu comblé par des sables et des venues caillouteuses. Cette hypothèse est cependant moins plausible du fait de l'abondance de galets en bordure sud de la partie sableuse de l'affleurement.

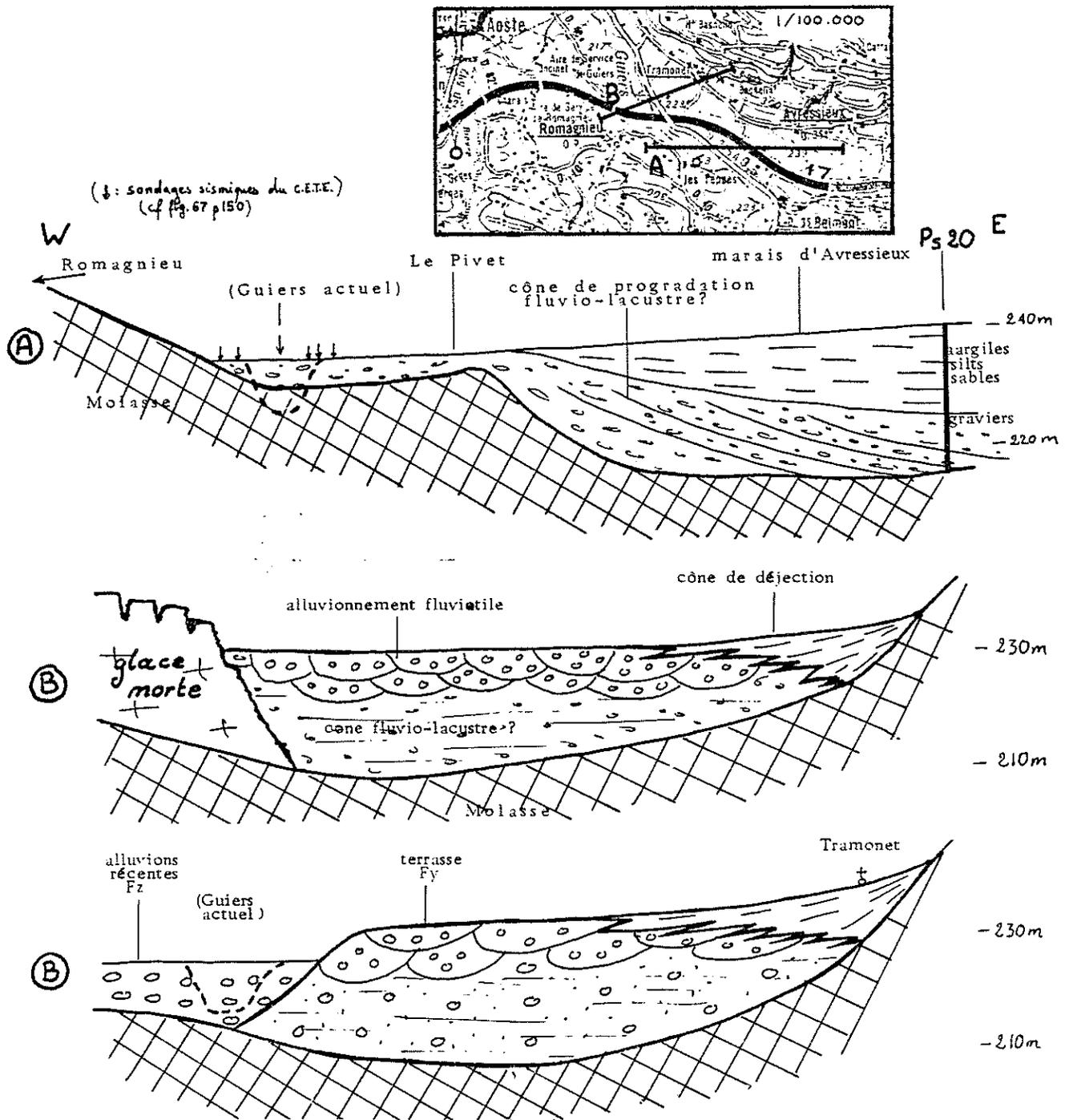


Fig.42 - Hypothèse de mises en place successives des dépôts post-glaciaires le long du Guiers (Est de Romagnieu).

2.9.2. Cours du Guiers en aval de Pont-de-Beauvoisin

La raideur des versants nous induit à considérer ce lit comme postérieur aux crues glaciaires. Le Guiers coule actuellement sur la molasse ou sur très peu d'alluvions entre Pont-de-Beauvoisin et Belmont-Tramonet. A Pont-de-Beauvoisin même, il coule sur la molasse qu'il a entaillée de 10 mètres, alors que l'agglomération repose sur 3 m d'alluvions graveleuses (Fig.41) cartographiées sous l'appellation Fy en aval (cf. carte géologique de 1976).

Hypothèse : lors du retrait glaciaire, le Guiers qui s'écoulait par le Sud et l'Ouest de Pont-de-Beauvoisin (Bièvre actuelle) s'est détourné vers le Nord du fait de l'obturation de son cours par les cônes de déjection issus du plateau molassique au Sud-Est de Pont-de-Beauvoisin, (Pressins, Fallamieux, les Eteppes).

Temporairement, un lac a dû se former en amont de ces barrages jusqu'à un niveau inférieur à 285 m, niveau qui aurait permis le déversement des eaux par le thalweg du Guindan. De plus, les terrasses recoupées par le Guiers ne dépassent pas 280 m d'altitude de part et d'autre du cours d'eau.

Le déversoir du lac a repris partiellement la direction d'anciens chenaux : cela est visible au niveau du premier méandre au Nord de Pont-de-Beauvoisin, aligné sur deux thalwegs à l'Est et à l'Ouest qui n'en formaient probablement qu'un seul auparavant. A partir de Belmont-Tramonet, le Guiers prend une direction Nord-Ouest correspondant à celle du Tier.

Le cours d'eau s'est rapidement encaissé dans les sables peu indurés de Pont-de-Beauvoisin du fait d'un débit important et d'une nouvelle pente plus forte que la précédente (parcours raccourci de plus de 2 km pour parvenir à son niveau de base à l'Est de Romagnieu) qui en ont favorisé l'érosion. Si on fixe le niveau de base en aval vers 225 m(*) (toit de la molasse à l'Est de Romagnieu, d'après les sondages sismiques du C.E.T.E.), et la cote du Guiers vers 270 m à Pont-de-Beauvoisin (niveau maximum de la plaine au Sud), cela représente une pente de près de 6°/∞ pour son nouveau cours alors que l'ancienne n'était que de 4°/∞.

* Ce niveau de 225m a pu résulter d'accumulations d'alluvions fluvio-glaciaires en aval des dernières glaces du stade de Morestel, alluvions qui forment actuellement les terrasses entre Morestel et Malville (Fig.48)

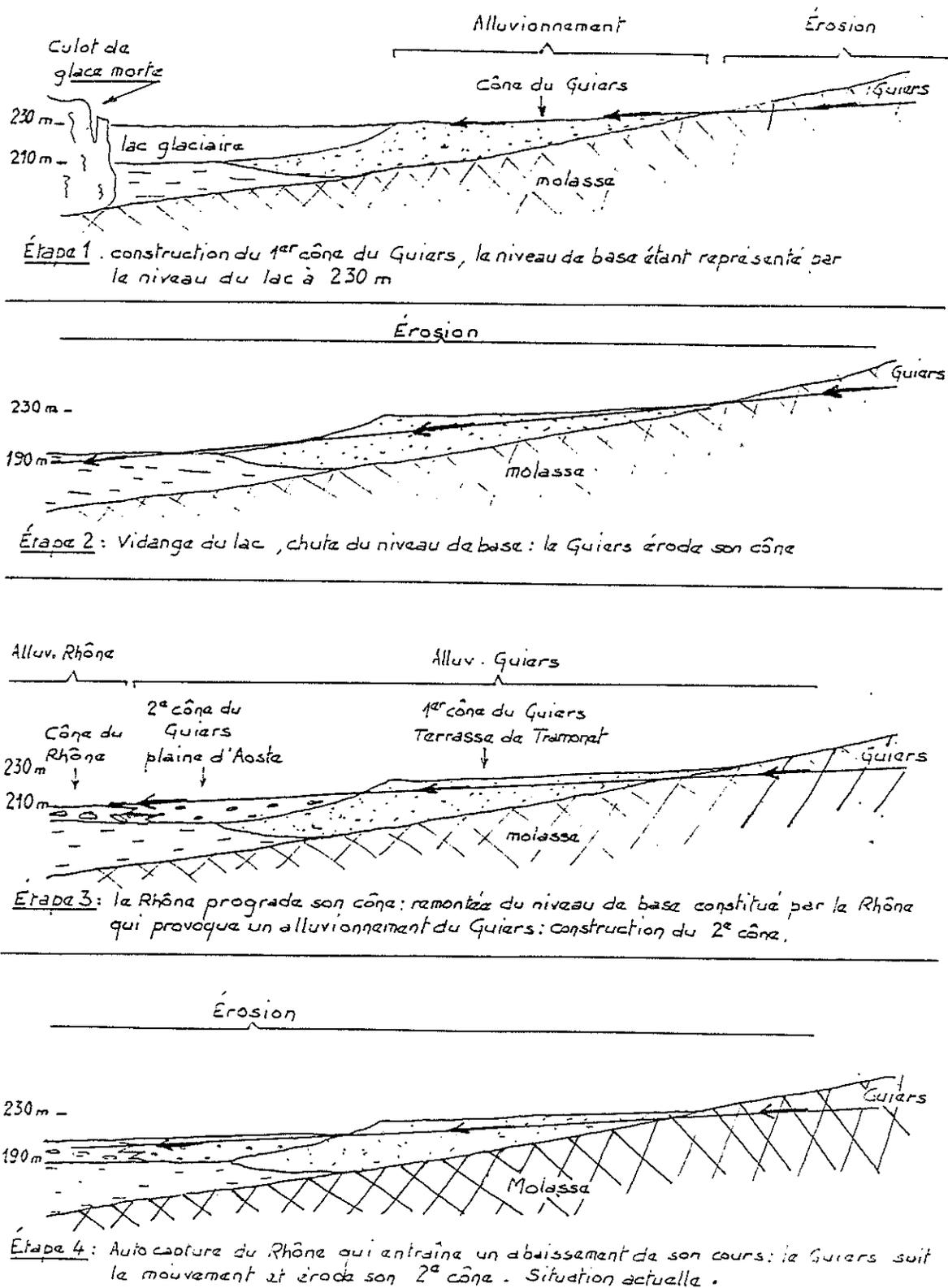


Figure 43 - Mécanisme des oscillations du niveau de base du Guiers dans la plaine d'Aoste.

D'autre part le sondage pénétrométrique EDF PS 20 (cf. Annexes) réalisé dans le marais d'Avressieux a traversé 23 m d'alluvions récentes avant d'atteindre la molasse à la cote 216 m : ce niveau inférieur de près de 10 m à celui du Guiers montre que l'action érosive des glaces ne s'est pas exercée dans le talweg du Guiers bien qu'elle se soit manifestée au niveau des marais d'Avressieux. Elle n'aurait pas épargné la vallée du Guiers si celle-ci avait existé (Fig.42).

Ayant terminé sa phase d'érosion aval, le Guiers a repris son alluvionnement, progradant ses alluvions sur le lit qu'il venait de creuser (remontée du niveau de base lacustre ?) jusqu'à l'Est de Romagnieu où il les a étalées en bordure est du culot de glace persistant sur la plaine d'Aoste-Romagnieu (Fig.42). De ce fait, il barrait l'écoulement du Paluel et créait à ce niveau un lac latéral à son cône (actuel marais d'Avressieux dont le fond, entre 216 et 224 m est comblé de graviers pouvant correspondre à la bordure du cône du Guiers étalée latéralement (cf. coupe pénétrométrique PS 20).

Après la fonte du culot de glace morte un lac a persisté à un niveau semblable : le cône du Guiers a dû peu à peu progresser par dessus les alluvions argileuses lacustres à travers la plaine, se joignant vers l'aval aux alluvions deltaïques du Rhône (datées à 8560 BP ; J.P. Bravard , 1983). Après la vidange du lac (abaissement probable du niveau de son déversoir par érosion régressive des dépôts fluvio-glaciaires barrant la vallée en aval du stade de Morestel (Fig.48), le Guiers s'est enfoncé dans ses dépôts et dans les argiles lacustres jusqu'à la cote approximative de 185 m (cf. Ch.4).

Le Rhône, pour sa part érodait ses alluvions deltaïques (vers 6330 BP ; J.P. Bravard, 1983) et, bloqué vers le Nord par la terrasse de La Bruyère (cf§ 2.9.3), passait alors par le couloir des Avenières, entaillant le cône de Veyrins à son extrémité nord. Par la suite, il a progressivement accumulé ses alluvions fluviales sur toute la plaine,

surélevant son lit d'une dizaine de mètres par-dessus les dépôts lacustres (début de l'alluvionnement dans le couloir des Avenières daté à 5500 BP ; J.P. Bravard).

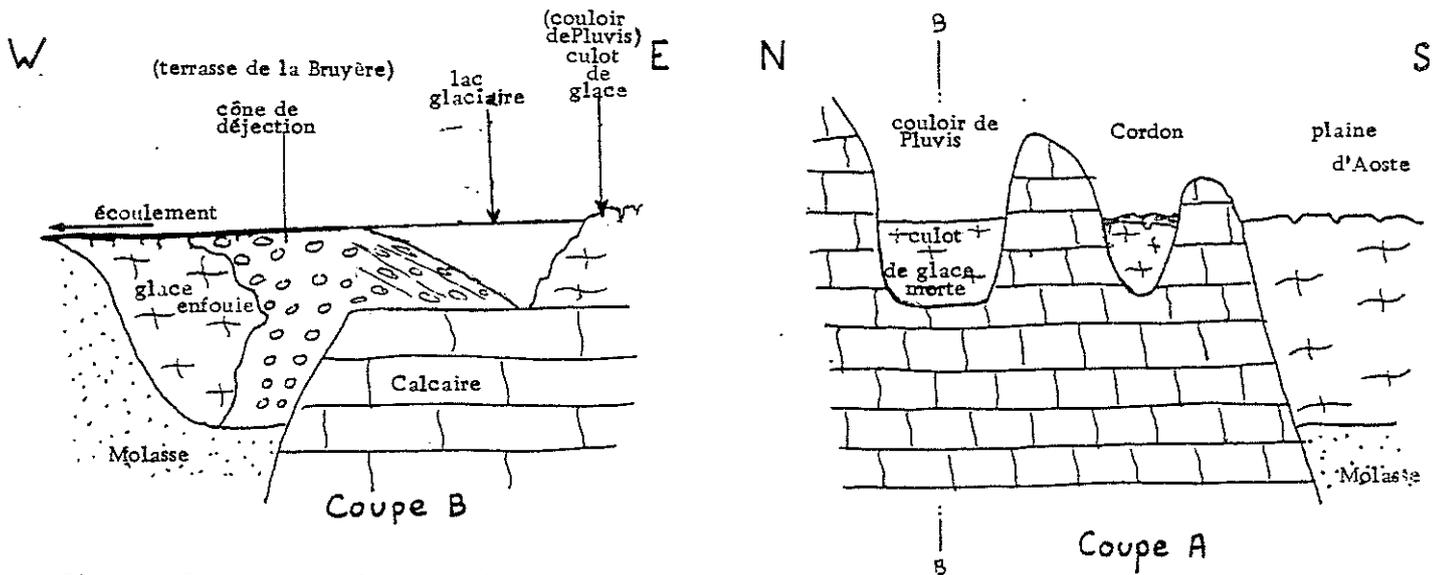


Fig.44a - Interpretation schématique des dépôts de la terrasse de La Bruyère, dans un contexte de débâcle glaciaire

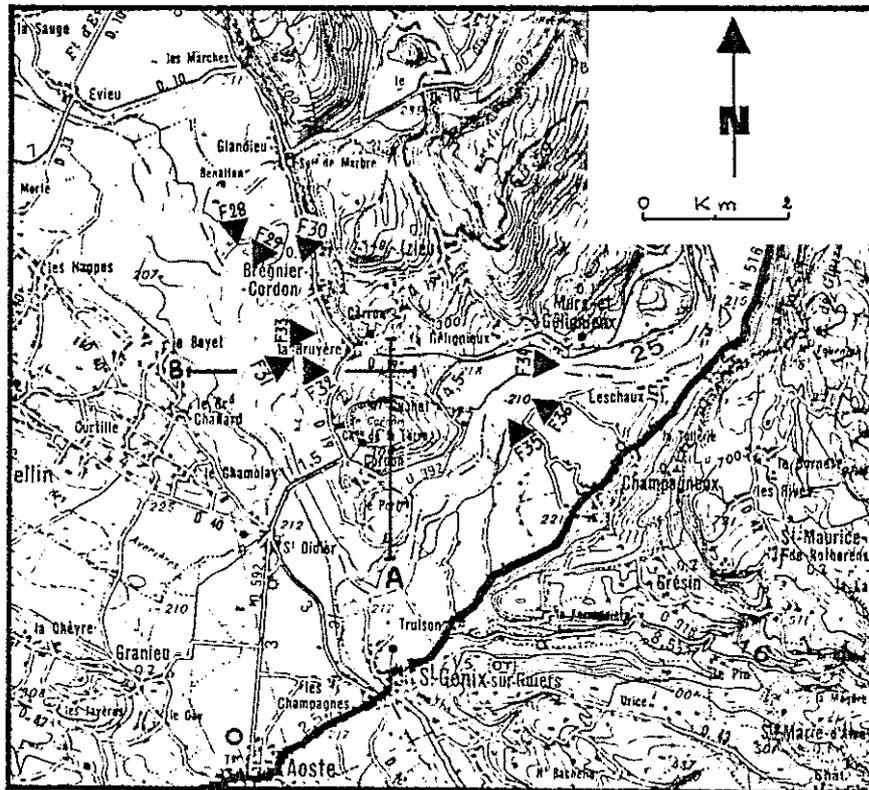


Fig.44b - Position des coupes interprétatives de la terrasse de La Bruyère et des sondages de reconnaissance de la C.N.R. (Cf. Annexe II)

A son contact, le Guiers a également rehaussé son cône et l'a intriqué dans les alluvions du Rhône, repoussant ce dernier contre la terrasse de La Bruyère. La trouée réalisée à travers celle-ci au Moyen-Age (soit 1600 ans en arrière, J.P. Bravard) a provoqué un abaissement du niveau de base. En conséquence le Guiers s'est à nouveau enfoncé dans ses alluvions, tel qu'on peut le voir actuellement en aval de Pont-de-Beauvoisin où il coule sur la molasse, deux à trois mètres en contrebas de ses alluvions Fy. Le niveau de base actuel (plaine vers 210 m) est donc plus bas que celui ayant précédé l'époque du dépôt des alluvions Fy (estimé à 225 m précédemment).

2.9.3. Origine de la terrasse de La Bruyère, près de Brégnier-Cordon

Actuellement isolée par les alluvions modernes Fz contre les versants calcaires de Brégnier-Cordon, cette formation caillouteuse pourrait représenter une terrasse de kame.

Sa formation résulte d'une accumulation de matériaux à l'aval d'un culot de glace morte obturant le couloir de Pluvis, séparant la partie aval de glace en appui contre l'Ile des Avenières du versant calcaire du Mont de Cordon. L'importante "crevasse" s'est progressivement comblée, lors de la fonte des glaces, par progradation d'un cône d'alluvions au sein d'un lac glaciaire (progradation d'Ouest vers l'Est, d'après les observations de la C.N.R. ; G. Charamel, communication orale). Ces alluvions, issues du Nord, pourraient provenir du torrent du Gland dévié de son cours par les masses de glaces mortes présentes à l'Ouest de Glandieu.(Fig.44).

L'écoulement des eaux vers l'aval s'est réalisé au travers de l'Ile des Avenières en entaillant les dépôts glaciaires du Nord (couloir Fy de la carte géologique). La terrasse de kame a pu alors relier le versant de Brégnier-Cordon à l'Ile des Avenières, son niveau coté à 225m à l'Est s'affaissant vers l'Ouest (environ 210m) au moment de la fonte des glaces. Ce seuil, pressenti par J.P. Bravard (1983) qui le compare aux formations fluvio-glaciaires locales, aurait peu à peu disparu par la suite sous l'action érosive des eaux du Rhône acculé contre la terrasse par les crues et la progradation du cône du Guiers.

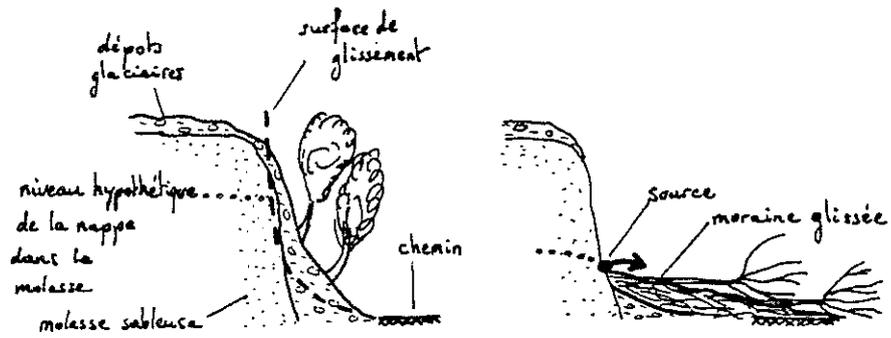


Fig. 45 - Phénomène de glissement dans les moraines argileuses plaquées contre les versants molassiques

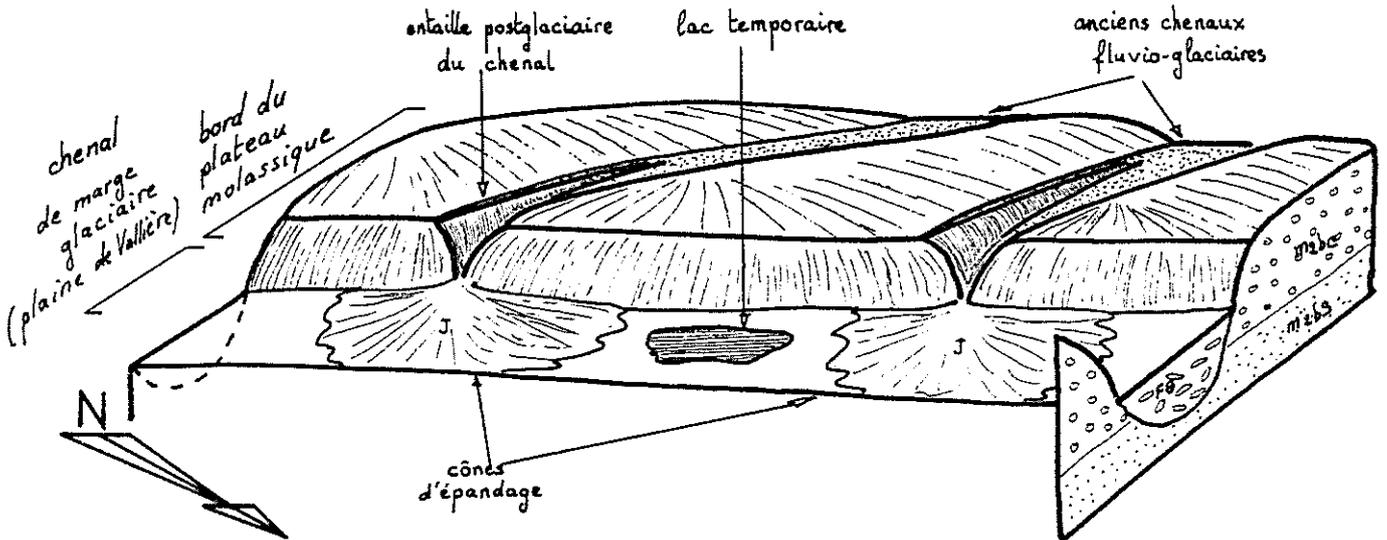


Fig. 46 - Représentation schématique des relations entre cônes d'épandage et chenaux fluvioglaciers dans la plaine de Vallière.

2.9.4. Evolution récente des reliefs laissés par les glaciers

Depuis la fin de la dernière débâcle glaciaire, les agents d'érosion ont peu transformé le relief.

- L'activité cryoclastique est réduite : elle s'exerce sur les rares affleurements non recouverts par la végétation. On observe ainsi aux périodes froides de l'année la desquamation des affleurements de molasse sableuse. Très rapidement, le talus acquiert une pente d'équilibre et la végétation s'installe, bloquant toute érosion ultérieure par les eaux de ruissellement.

- L'activité due aux eaux (érosion ou alluvionnement) se traduit par différentes formes :

. glissements de terrain :

très limités en surface (dizaines de mètres), ils concernent des flancs de thalwegs creusés dans la molasse et plâtrés d'argiles morainiques.

En bordure nord du couloir des Avenières on a pu observer une niche d'arrachement de quelques mètres (Fig. 45). Ici le talus molassique était recouvert des restes de moraine latérale (galets striés et argile blanche compressée et injectée en filonnets dans le sable coquillier molassique).

L'action conjuguée de la pression hydrostatique de la nappe aquifère et du vent sur les arbres a provoqué le glissement de la couverture morainique sur le chemin et découvert ainsi la molasse sableuse. Quand nous avons fait ces observations, de l'eau s'écoulait à la base des sables mis au jour.

. Alluvionnement

- évolution des formes préexistantes : des cônes de déjection se sont installés au pied des thalwegs suspendus des anciens écoulements glaciaires recoupés par le réseau hydrographique postérieur (plaine de Vallière). Localement, ils ont pu barrer les chenaux plus récents devenus à leur tour fossiles (Fig.46), entraînant la formation de lacs temporaires.

- progradation des cônes fluviatiles : à partir

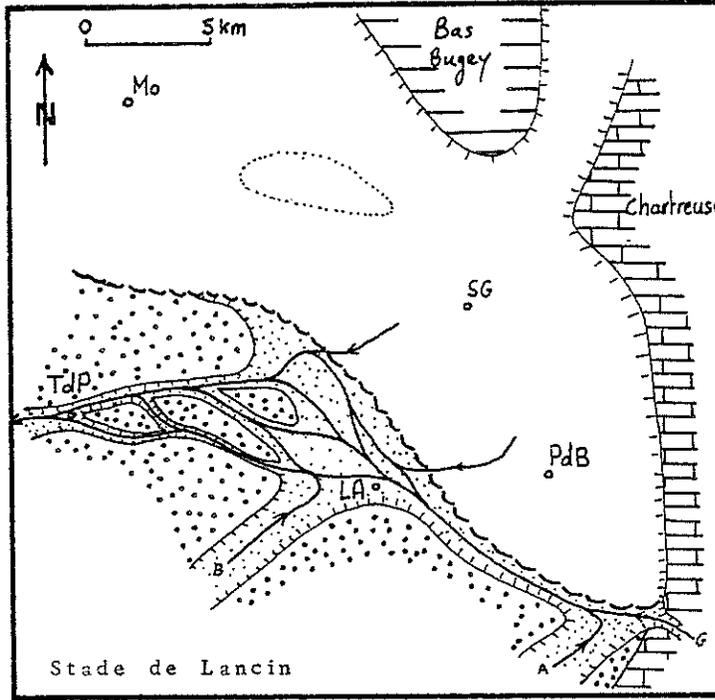
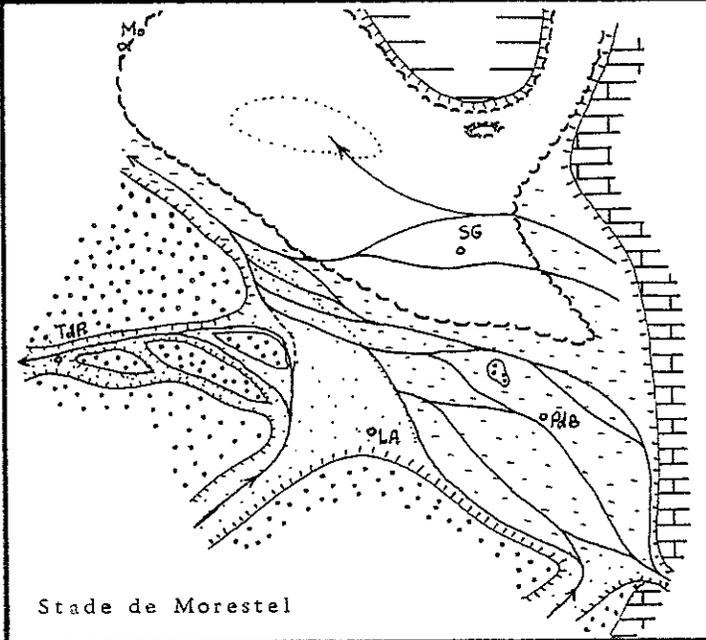
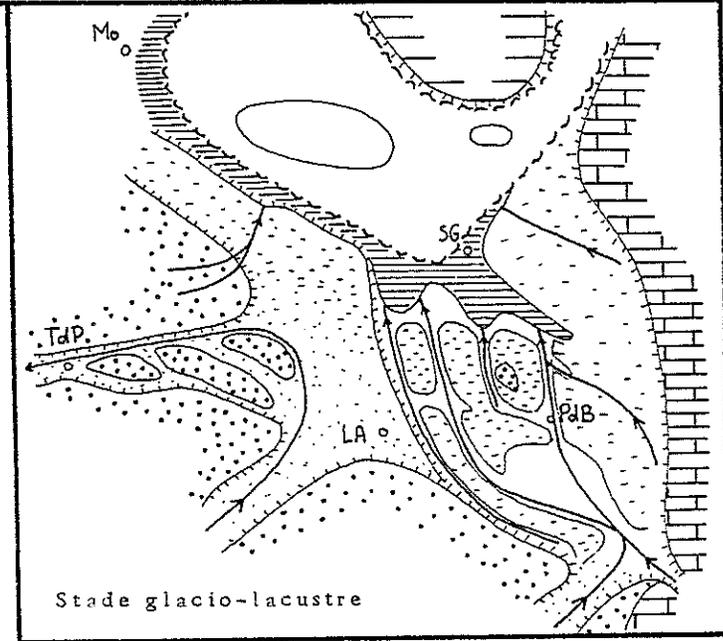


fig. 47 - Essai de reconstitution des écoulements para-glaciaires à différents stades de déglaciation

-  surfaces hors des remaniements fluvio-glaciaires
-  surfaces déglacées lors du stade de Lancin pouvant avoir été soumises à l'érosion fluvio-glaciaire
-  surfaces déglacées lors du stade de Morestel pouvant avoir été soumises à l'érosion fluvio-glaciaire
-  lac bordant le glacier en retrait
-  butte des Avenières englacée
-  côte
-  écoulements fluvio-glaciaires
-  glacier



- Mo : Morestel
- SG : Saint Genix sur Guiers
- TdP : La Tour du Pin
- LA : Les Abrets
- PdB : Pont de Beauvoisin
- G : Guiers
- B : Bourbre
- A : Ainan



d'observations et de datations de sédiments prélevés lors de forages à la base du cône de progradation, J.P. Bravard (à paraître) a pu reconstituer l'histoire du Rhône dans notre secteur. De son étude, il ressort que le fleuve a progradé ses sédiments par le couloir des Avenières et ne s'est déversé par Bréguier-Cordon qu'au début du Moyen- Age.

L'apport d'alluvions rhodaniennes dans la cuvette d'Aoste a rehaussé le niveau de base du Guiers (Fig.43) et de la Bièvre qui ont alluvionné à leur tour, construisant ainsi l'actuelle plaine d'Aoste et maintenant le cours du Rhône au-delà des Champagnes. Ce thème sera abordé dans le chapitre concernant la reconnaissance du sous-sol (Chapitre 4).

3. CONCLUSION

Au cours de ce chapitre, nous avons essayé de comprendre les formes actuelles en reconstituant l'histoire de cette région, essentiellement depuis la dernière phase glaciaire.

Cette histoire s'appuie sur des observations qui, par comparaison avec les systèmes glaciaires actuels induisent certaines déductions. Par exemple, les détournement de cours d'eau lors de poussées glaciaires ont été réels aussi bien en Europe (Rhin, Meuse, Tamise, cf. Fig.24) qu'en Amérique du Nord. De même, la réorganisation du réseau hydrographique d'abord parallèle à l'auge glaciaire puis perpendiculaire à son ancienne direction est encore parfaitement observable en Suède (Fig.36) et en Laponie.

A partir de nos observations des traces de chenaux fluvio-glaciaires, nous proposons une reconstitution des écoulements périglaciaires lors des stades glaciaires de Lancin et de Morestel (R. Enay, 1981), et lors du début de la fonte du culot de glace morte (stade glacio-lacustre).

- Stade de Lancin : le niveau de base, contrôlé par le glacier, se situait au-dessus de 350 m. Le passage du Guiers issu des gorges de Chailles déglacées, s'effectuait vers la Bourbre moyenne par le seuil de Fitolieu ;

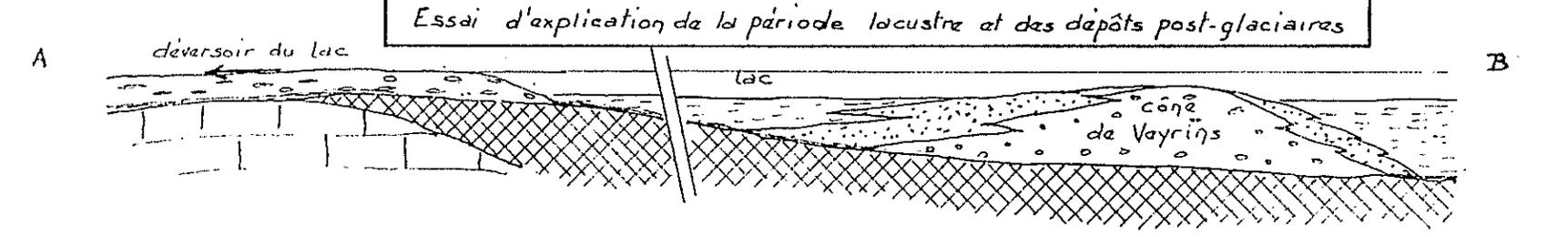
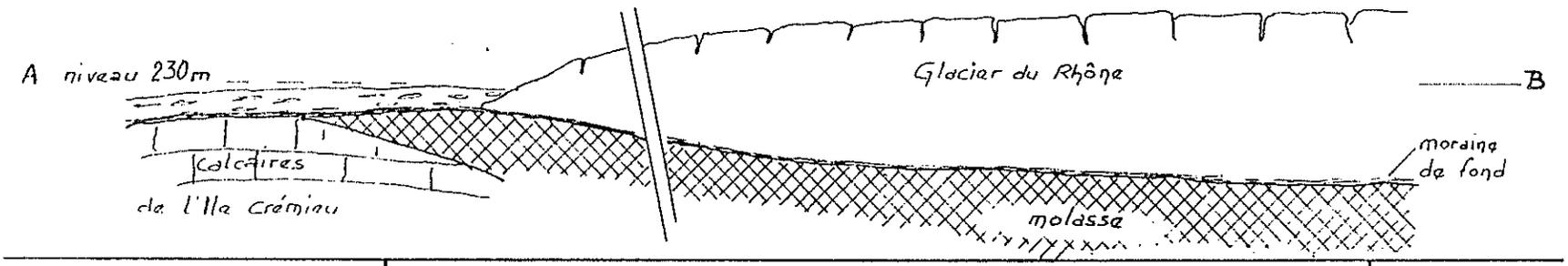
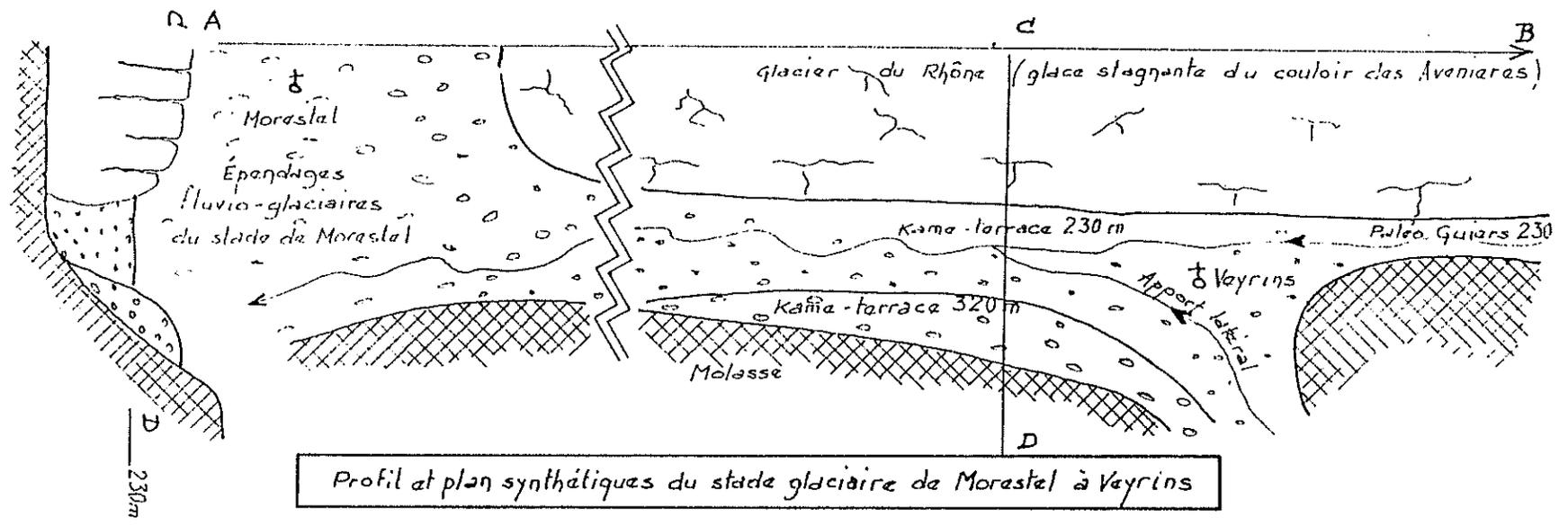


Fig 48 - Agencement des différents dépôts fluvio-glaciaires et post-glaciaires en aval du cône de Veyrins.

- Stade de Morestel : l'abaissement du niveau des glaces vers 300 permet aux eaux issues du Sud-Est de s'échapper vers le Nord-Ouest par le "gradin" de Corbelin-Saint Sorlin de Morestel. La Bourbre n'a pas suivi ce chemin et a continué seule son cheminement par la vallée de La Tour du Pin.

Pendant ce stade, des écoulements supra-glaciaires issus de l'Est étaient encore possibles et pouvaient rejoindre le gradin de Corbelin ou s'écouler vers le Nord-Ouest par-dessus l'île des Avenières englacée. Celle-là finira par en garder des traces lors de l'accentuation de la fonte glaciaire qui la dégagera de sa couverture de glace.

- Stade glacio-lacustre : niveau des eaux vers 230-250 m. Les écoulements supra-glaciaires sont impossibles, les eaux lacustres ceinturant le culot de glace. Le réseau hydrographique rejoint au plus court les eaux du lac, abandonnant la direction Nord-Ouest. Les chenaux placés au flanc du plateau molassique sont tronçonnés par des cônes de déjection tels ceux de Veyrins, de Pressins, et de Fallamieux. Le Guiers se détourne vers le Nord (par Pont-de-Beauvoisin).

CHAPITRE 4

GEOMETRIE DU RESERVOIR AQUIFERE,
DE LA PLAINE D'ÂOSTE AU COULOIR DES AVENIÈRES

4.1. INTRODUCTION

La reconnaissance du réservoir aquifère (dimensions, composition intrinsèque, zones d'apport et de déversement) permettra de préciser les sites les plus favorables à une recherche d'eau, sites susceptibles de faire l'objet d'études approfondies (forages, essais de pompage) par la suite.

Dans un premier temps il convient donc de cerner la géométrie de ce réservoir. Pour cela le couloir des Avenières et la plaine d'Aoste ont fait l'objet de deux campagnes importantes de prospection géophysique électrique menées respectivement la première par la CPGF en 1964 et 1965, la seconde par nous-même en 1982 et 1983. Elles sont utilement complétées par quelques études sismiques (Compagnie Nationale du Rhône -C.N.R.-, Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement - C.E.T.E.-), des sondages d'essais pénétrométriques (Centre expérimental de recherches et d'études du bâtiment et des travaux publics -C.E.B.T.P.-), et divers forages de recherche d'eau (Direction Départementale de l'Agriculture de l'Isère - D.D.A.-).

4.2. PROSPECTION GEOPHYSIQUE ELECTRIQUE APPLIQUEE A L'ETUDE D'UN RESERVOIR AQUIFERE

4.2.1. Bref rappel sur le principe

Le principe de la prospection électrique par injection consiste en un envoi de courant dans le sol par des électrodes A et B, courant qui engendre ainsi en fonction des terrains rencontrés un certain champ électrique dont on mesure le potentiel en surface entre les électrodes M et N.

On en déduit alors la résistivité apparente a du terrain pour des longueurs de AB et MN données. Le report de l'ensemble des résistivités apparentes sur des abaques de courbes permet la détermination des résistivités et épaisseurs des couches traversées (Fig. 54).

4.2.2. Etudes locales antérieures de notre secteur prospecté

Un certain nombre d'organismes ont, ces dernières années, utilisé ce procédé de reconnaissance du sous-sol dans la région d'Aoste et ce à des fins variées :

- Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) pour le compte de la CNR : reconnaissance du remplissage alluvial en vue de l'aménagement hydro-électrique du Haut-Rhône ;

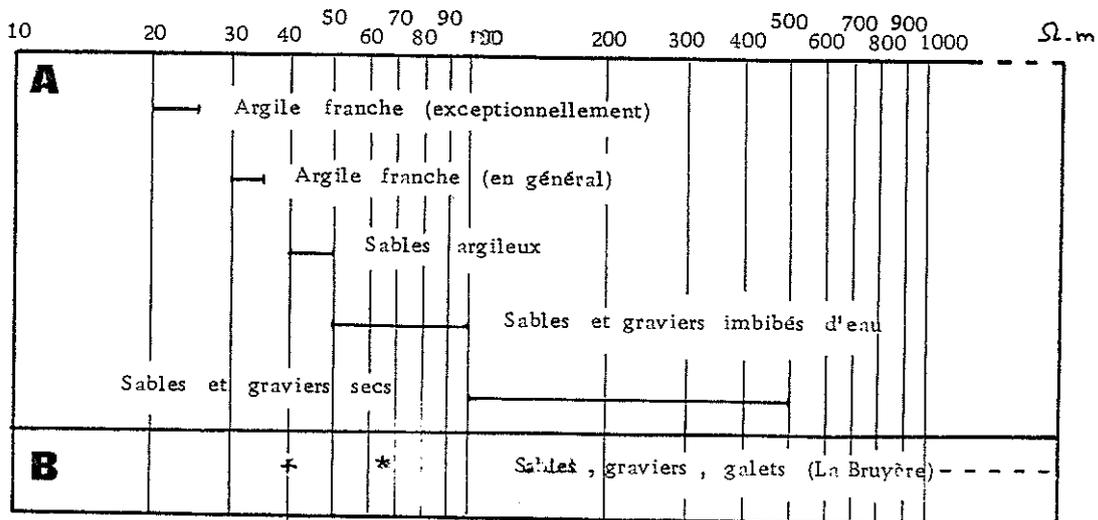
- Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement (C.E.T.E.) : recherche d'emplacements de carrières pour la construction de l'autoroute A43 Lyon-Chambéry ;

- Compagnie de Prospection Géophysique Française (C.P.G.F.), et Direction Départementale de l'Agriculture de l'Isère (D.D.A.) : connaissance de l'aquifère.

A. Les travaux de la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.)

Ils concernent surtout le lit du Rhône, hors de notre secteur, mais certaines mesures sont intéressantes pour la connaissance des résistivités :

- 30 sondages électriques ont été étalonnés sur des forages existants (dossier "Chute de Sault-Brenaz. Essais de prospection électrique dans la plaine de Brangues" (16-31 Juillet 1949) (tableau A).



+ : Sables-miocènes du Chamolay et probablement molasse sous-jacente.

* : Molasse miocène du Content (environs de Belley, hors du secteur étudié)

- - - : Alluvions de la terrasse de La Bruyère (Bregnier-Cordon)

Tableau 5: Fourchette des résistivités de terrains proposée par CGG.

- 4 sondages électriques près de Brégnier-Cordon dont :
 - * 2 calés sur les forages de la CNR (terrasse de la Bruyère) ;
 - * 2 placés sur des affleurements miocènes (Chamolay et Le Content), (Tableau B).

(dossier "Etude par prospection géophysique dans la région de Brégnier-Cordon, Ain", 1er-30 Avril 1953).

Le grand nombre de forages ayant permis le calage de ces résistivités d'alluvions permet de considérer leurs valeurs comme bien établies. Il se peut cependant que les valeurs obtenues dans la plaine d'Aoste diffèrent quelque peu par le fait d'un mode de sédimentation moins influencé par le Rhône (alluvions plus argileuses, mode de dépôt différent,...). D'autre part ces valeurs ne sont établies que pour des alluvions récentes, superficielles, reconnues sur moins de 10 mètres d'épaisseur.

B. Les recherches de matériaux par le C.E.T.E.

Le but étant l'ouverture de carrières dans des matériaux grossiers à proximité de l'autoroute A43 alors à l'état de projet, la prospection électrique concerne des dépôts glaciaires graveleux en contact avec la molasse conglomératique.

Au lieu-dit "Les Ferrières" (Sud-Ouest de Romagnieu, CD 142 e), les résultats électriques calés sur deux sondages Highway (dossier P/3355) ont donné :

- molasse conglomératique : $130 < \rho < 450 \Omega m$
- Grave argileuse, limon graveleux, sables limoneux : $240 < \rho < 1200 \Omega m$
- grave propre ou sable graveleux propre : $\rho \approx 1600 \Omega m$

Les résultats obtenus entre Meudenin (Ouest-Sud-Ouest de Chimilin) et la RN 75, calés sur un sondage et des observations géologiques, sont assez proches des précédents :

- sables limoneux graveleux secs : $550 < \rho < 1100 \Omega m$
- sables limoneux graveleux humides $\rho \approx 190 \Omega m$
- formations glaciaires limoneuses $\rho \approx 250 \Omega m$

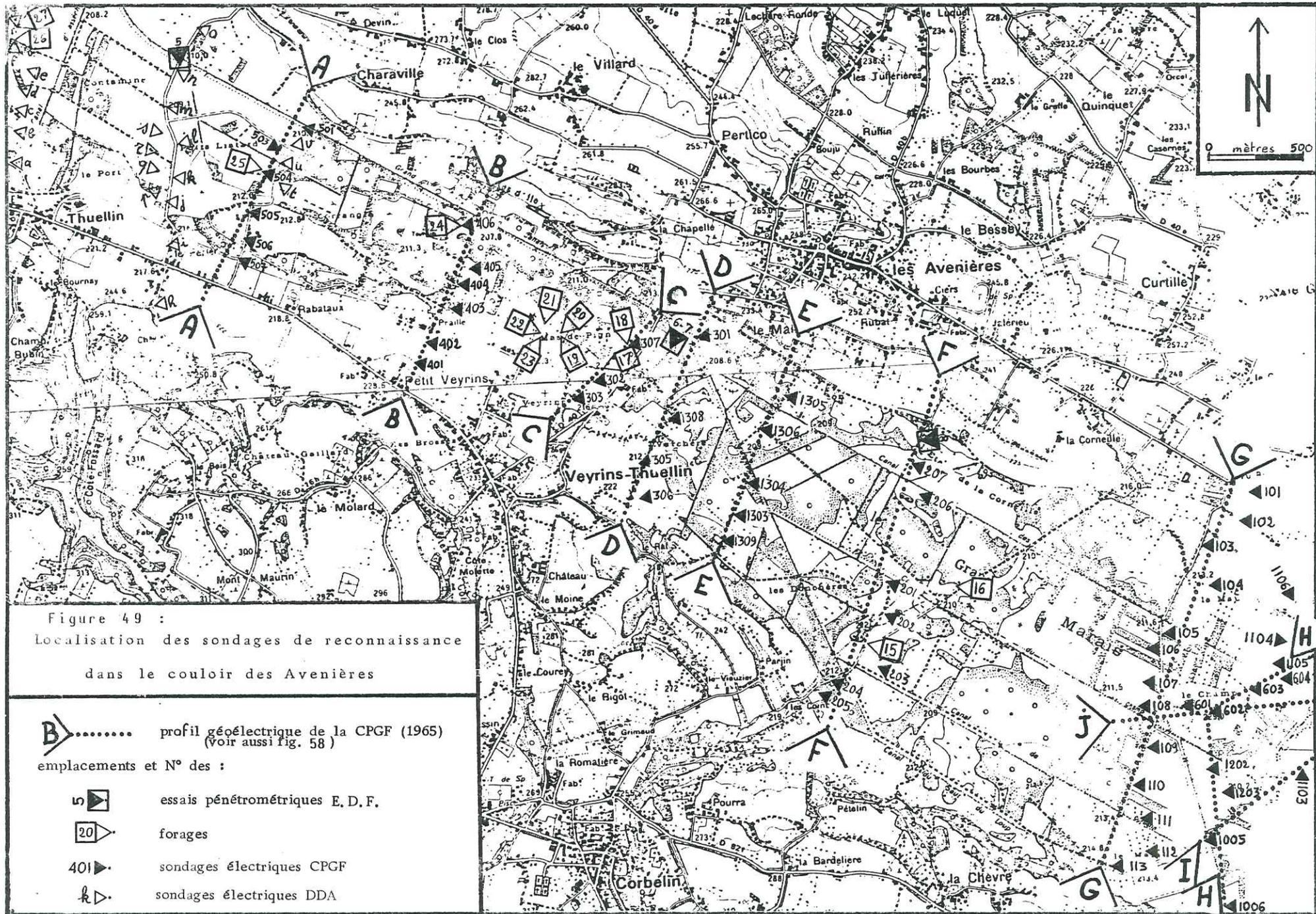


Figure 49 :
Localisation des sondages de reconnaissance
dans le couloir des Avenières

B..... profil géoélectrique de la CPGF (1965)
(voir aussi fig. 58)

emplacements et N° des :

-  essais pénétrométriques E. D. F.
-  forages
-  sondages électriques CPGF
-  sondages électriques DDA

Donc dans l'ensemble les formations glaciaires caillouteuses sèches présentent une fourchette de résistivités allant de 240 m (grave argileuse) à 1600 m (grave propre ou sable graveleux propre).

La présence d'eau dans une formation fait chuter la résistivité en-dessous de 200 ohms-mètres.

La molasse conglomératique (Tortonien deltaïque), en fonction de sa nature plus ou moins graveleuse et de son induration, passe de 130 à 450 m.

Ces résultats diffèrent notablement de ceux trouvés par la C.G.G. : les formations concernées ici ne sont pas des alluvions récentes. Les sables et graves limoneux résultent d'une altération de surface de la molasse conglomératique ou de placages glaciaires. Le terme "graveleux" utilisé traduit ici la présence de graviers et de galets 5-50, si l'on s'en réfère au sondage de Meudenin. D'autre part ces formations sont sèches pour la plupart : les résistivités sont donc beaucoup plus élevées.

4.2.3. Etude du couloir des Avenières (Fig. 49)

Cette étude réalisée par la C.P.G.F. (1965) a permis de localiser les terrains les plus résistants sous la couverture argileuse. La D.D.A. l'a complétée par des reconnaissances géo-électriques le long du profil A (PA) et plus au Nord-Ouest (Nord de Thuellin).

La connaissance du contexte morphologique local nous a amené à modifier partiellement les profils interprétatifs des résultats de sondage : ainsi certaines formations non cartographiées (dépôts glaciaires de Les Combes-Parjin) ou mal différenciées les unes des autres (cône de Veyrins et alluvions lacustres) ont été prises en considération.

A. Les différentes formations du couloir (Fig.50)

Les profils sont placés perpendiculairement à l'axe du couloir. Plutôt que de les analyser coupe après coupe nous étudierons chaque formation de l'amont (Sud-Est, profil J) vers l'aval (Nord-Ouest, profil A), selon le sens d'écoulement des agents successifs du façonnement (érosion ou dépôt)

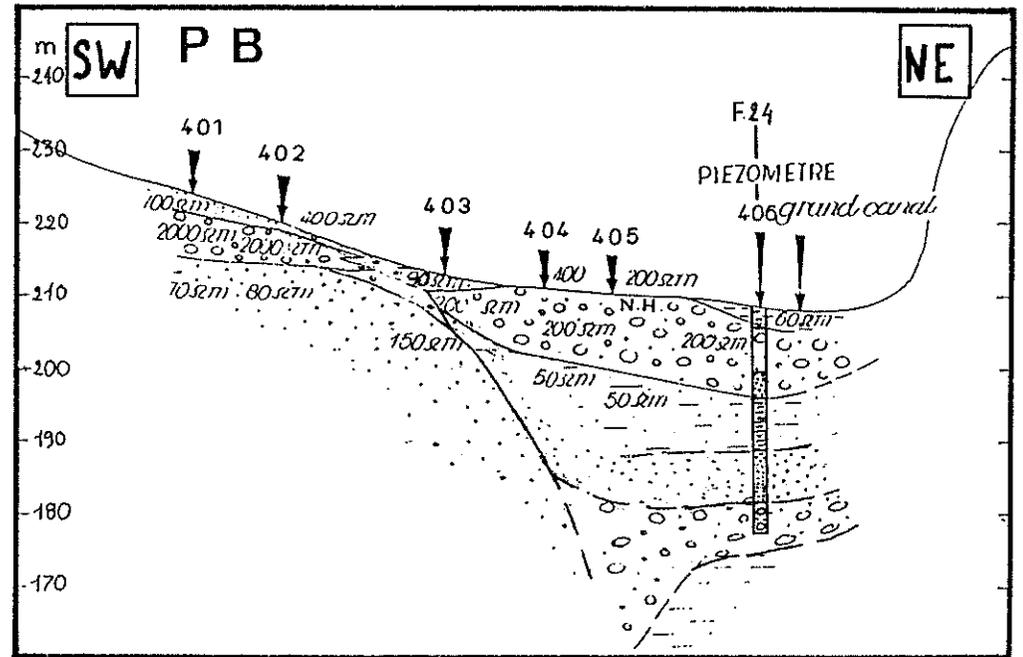
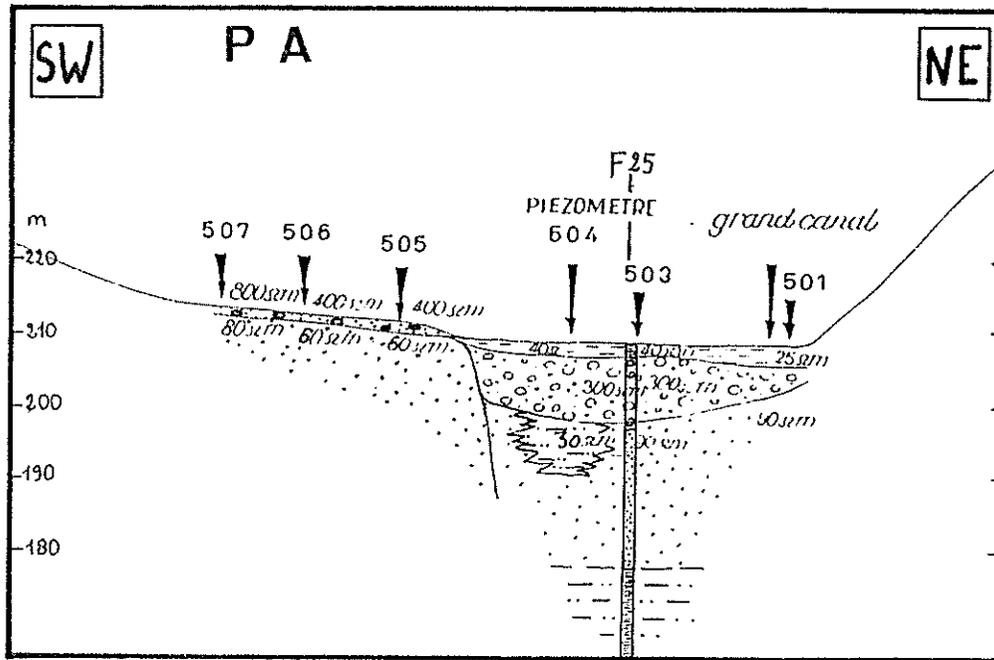
Figure 50 :

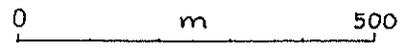
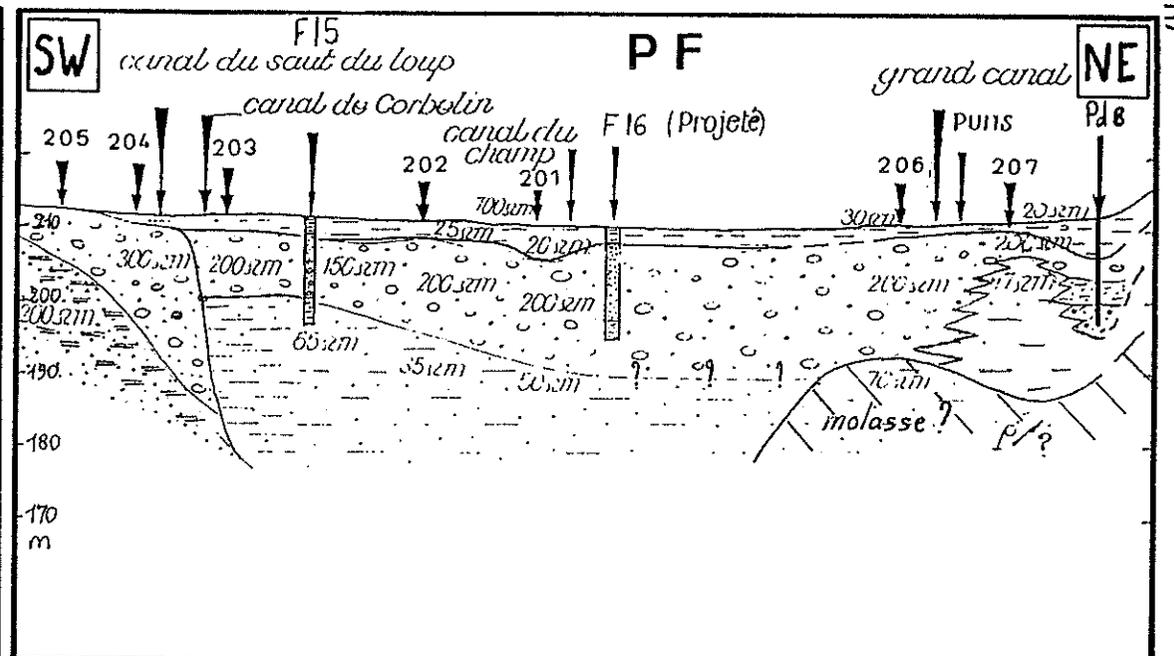
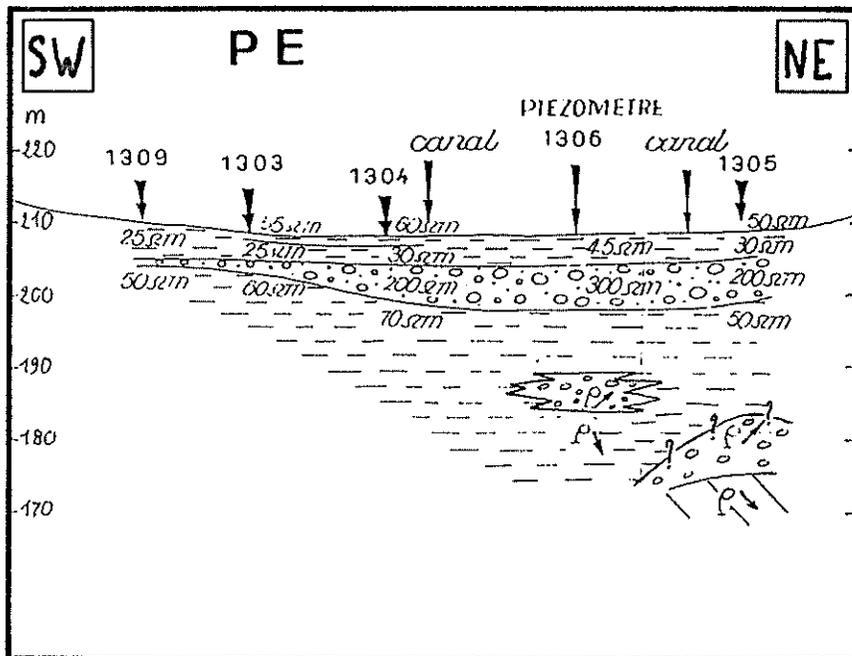
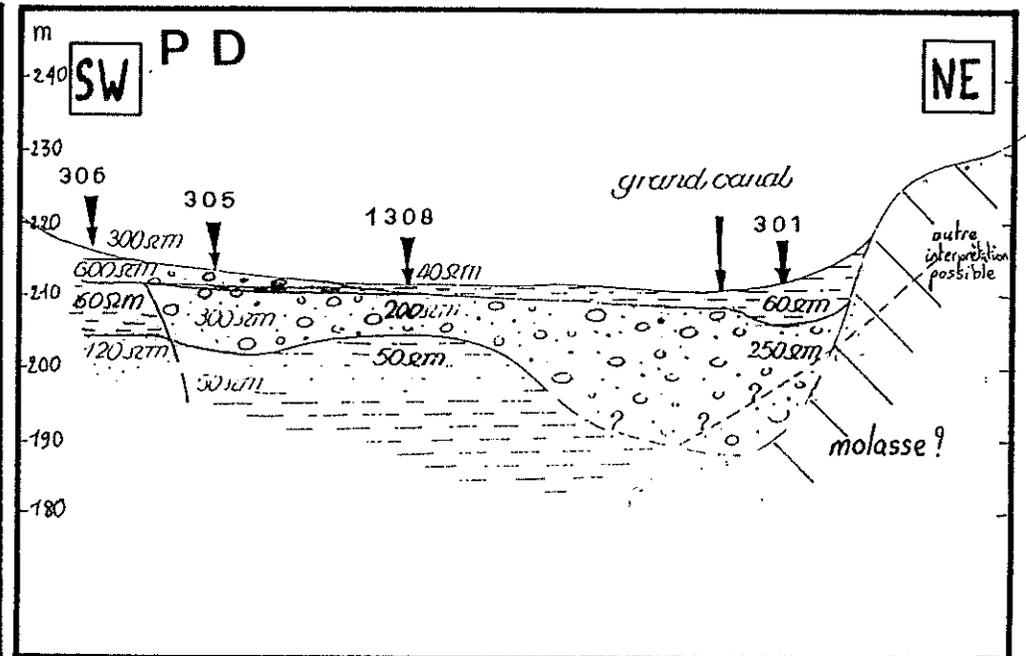
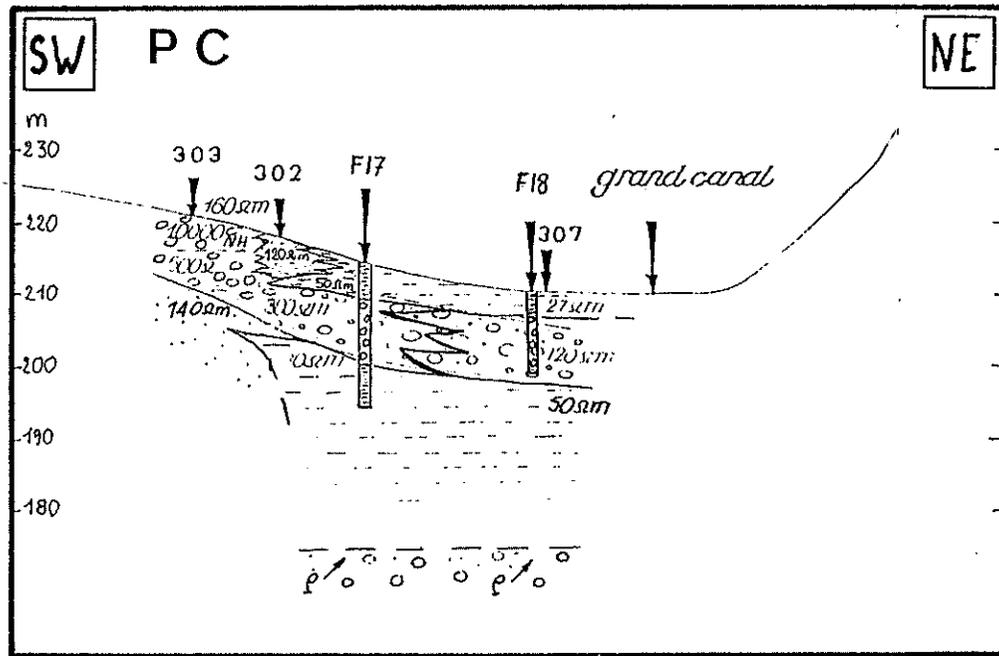
Profils géo-électriques du couloir des Avenières. (PA,PB,PC,PD,PE,PF,PI,PJ,PG,PH)

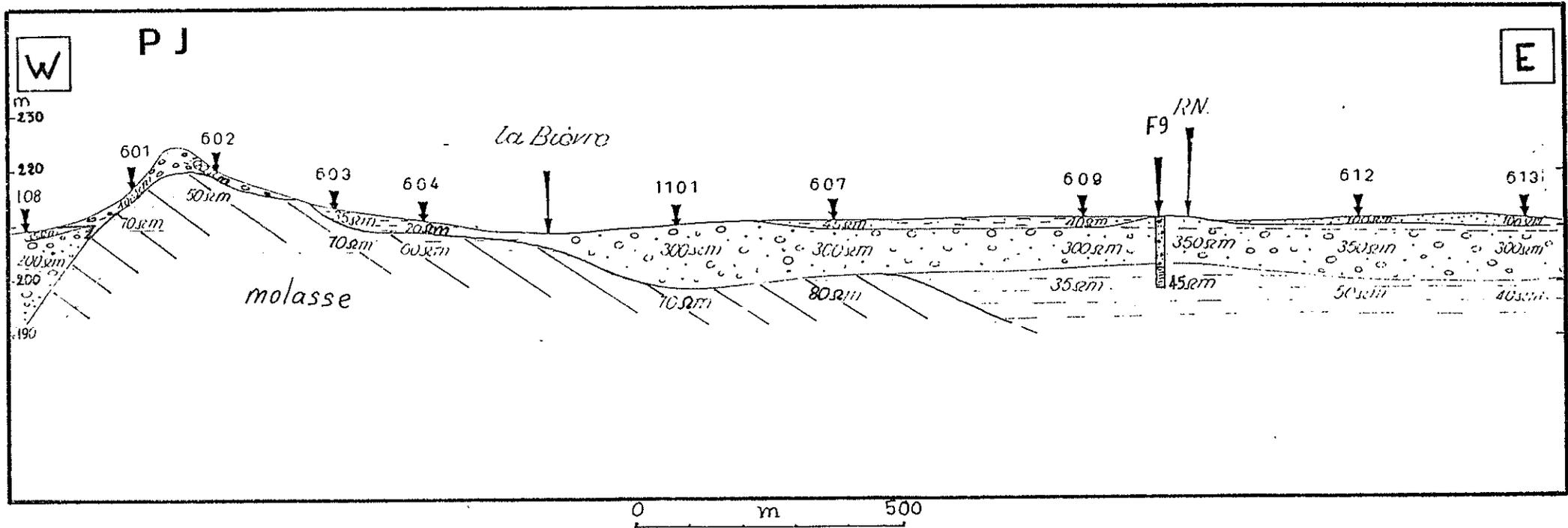
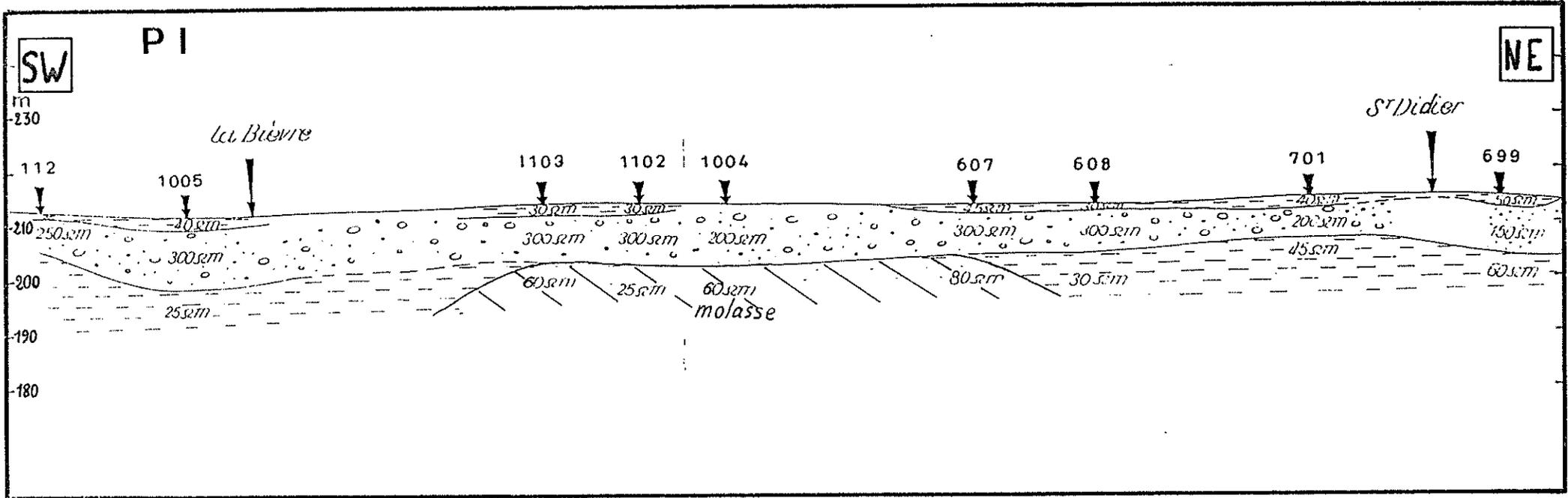
Coupes de la C.P.G.F. (1965) modifiées en tenant compte de la géomorphologie locale

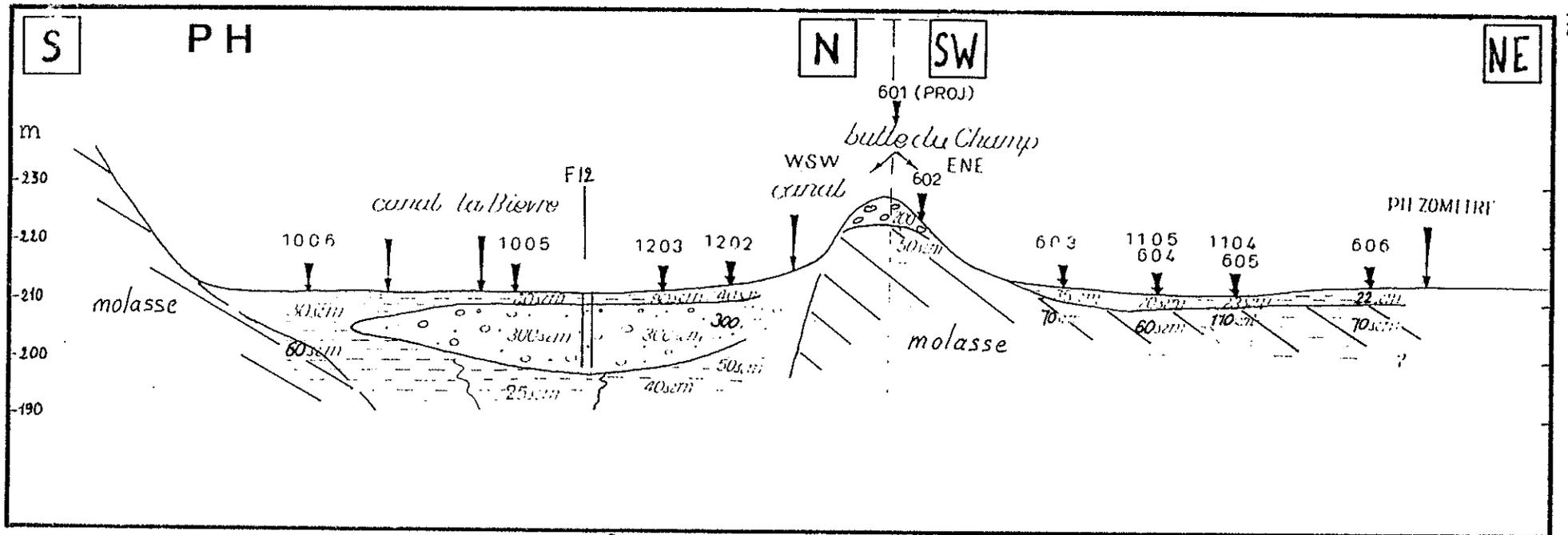
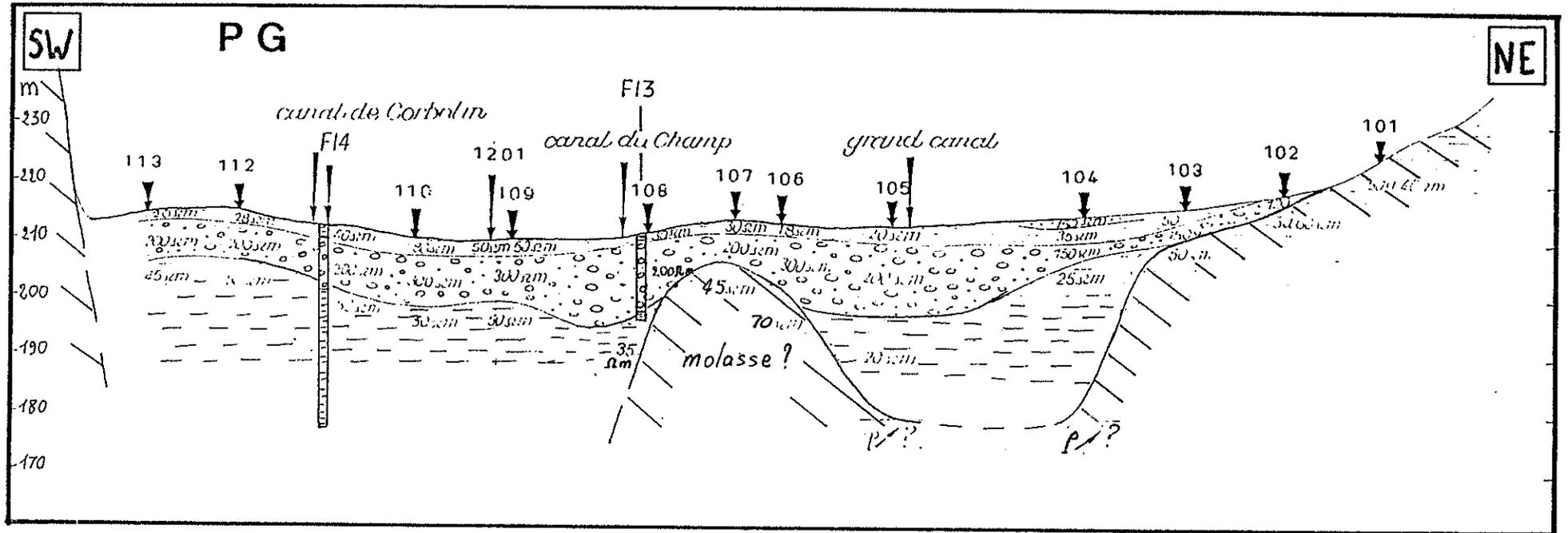
-  limon de surface
-  sables, graviers, galets
-  silt, argile
-  matériel sableux
-  matériel morainique ?
-  molasse

0 m 500









0 m 500

1. Le substratum molassique; affleurant sous les dépôts fluvio-glaciaires de la carrière de la butte du Champ (H et J), on le situe directement sous les alluvions dans l'axe de la Bièvre (Sud-Ouest de Saint-Didier, profil I). Au Sud du Champ, il n'est pas atteint par les sondages sauf au point 1006 (H), alors qu'au Nord il est sub-affleurant et ferme le couloir. En allant vers le Nord-Ouest, on repère le prolongement molassique de la butte qui s'enfonce sous les alluvions récentes (G, puis F, vers 190 m). A l'aplomb des Avenières, sa présence est hypothétique vers 175 m (E), alors qu'au point 301 (D) on touche probablement le flanc molassique de l'île des Avenières. Plus au Nord-Ouest, sa présence est improbable au-dessus de 170 m.

2. Les formations de bordure :

- La butte du Champ présente un encapuchonnement d'alluvions fluvio-glaciaires (cf. Chapitre 3) ;

- Les formations grossières fluvio-glaciaires et glaciaires de Les Combes-Parjin apparaissent bien (F) : elles présentent un rebord abrupt au contact du sillon anciennement rempli de glace. En E le point 1309 ne les atteint pas en profondeur.

- Le cône de Veyrins : constitué d'alternances de lits caillouteux et sablo-argileux (comme l'ont montré les forages), sa résistivité est variable bien que généralement supérieure à 500 ohms-mètres en surface (alluvions caillouteuses sèches). Entaillé anciennement par l'érosion du Rhône jusque vers 210 mètres (D), il a depuis recouvert les alluvions rhodaniennes d'alluvions de plus en plus fines de l'amont vers l'aval (C et B) de même qu'en direction du Nord-Ouest (résistivités des alluvions sèches décroissant de 10 000 en C, puis 2000 en B, à 800 ohms-mètres en A, alors que celles des alluvions de la nappe phréatique passent de 500 ohms-mètres dans les alluvions grossières (C) à des valeurs de 60 ohms-mètres dans les parties sablo-argileuses).

3. Les dépôts fluvio-glaciaires enfouis : les alluvions glaciaires ou fluvio-glaciaires que l'on observe sur la butte du Champ peuvent également se retrouver en placage sur le substratum molassique enfoui. Ce pourrait être le cas aux points 1305 (E), 405 et 406 (B), d'autant plus que le forage F24 (Annexes) s'est arrêté entre -27 et -30 mètres dans des graviers polygéniques à éléments alpins (G. Demarq, 1965). Ces dépôts profonds sont peut-être d'origine intraglaciaire, ou

fluvio-glaciaires de recouvrement de glaces mortes, "effondrés" lors de la fonte de celles-là (kettles), à moins qu'il ne s'agisse d'un prolongement du cône de Veyrins postérieurement à la présence glaciaire.

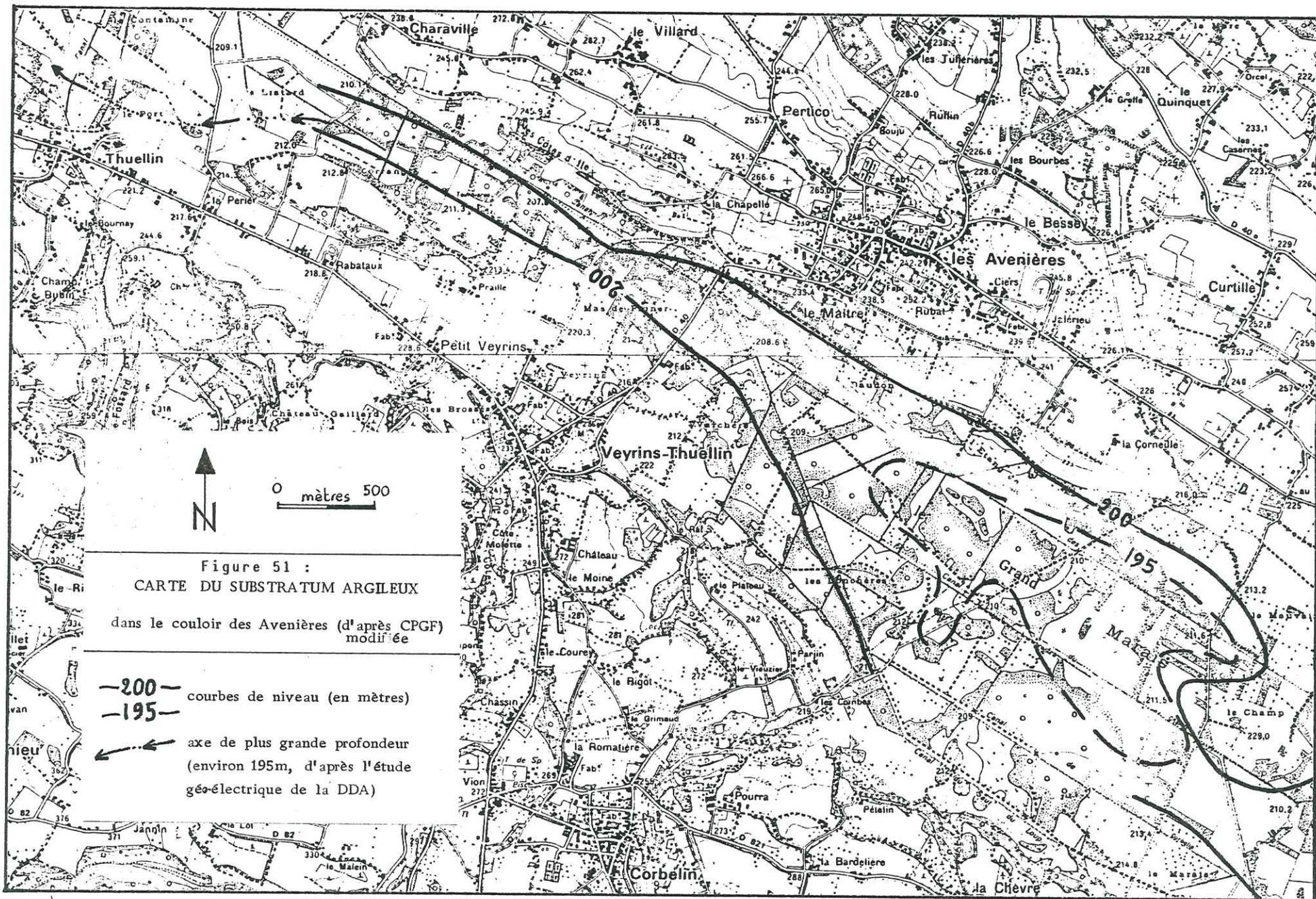
4. Les "argiles" glacio-lacustres : leur résistivité passe d'une valeur moyenne de 30 ohms-mètres du côté de Granieu (G et I) à 50 autour du cône de Veyrins et plus en aval. Ceci peut indiquer une évolution vers une nature plus silto-sableuse des dépôts, ce que l'on constate d'après les résultats de forages réalisés dans l'ensemble du couloir. Le point 1306 (E) présente une lentille caillouteuse issue probablement du cône de Veyrins et intercalée dans les dépôts. Dans l'ensemble leur épaisseur est inconnue en amont du cône de Veyrins (F14 arrêté à la cote 178 mètres dans les argiles) alors qu'en aval le sondage F26 atteint des sables (molassiques?) vers la cote 162 m reconnus seulement sur 20 centimètres ! (Il est à rappeler que le sondage F 29 de la C.N.R. situé en bordure du Rhône sur le site de l'usine hydro-électrique de Brégnier-Cordon, au Nord des Avenières, s'est enfoncé dans ces argiles jusqu'à la cote 107 m sans atteindre le substratum).

5. Les alluvions fluviales : elles recouvrent partout les formations argileuses, s'y enfonçant par endroits jusqu'à la cote 195 m entre Granieu (G) et Thuellin (les cotes 190 m atteintes en F et D sont très hypothétiques). Leur puissance maximale est donc de 15 mètres. Leur résistivité est généralement de 200 ohms-mètres, mais elle atteint souvent 300 ohms-mètres et descend à 120 ohms-mètres au point de passage le plus étroit entre le cône de Veyrins et l'île des Avenières (zone à alluvions plus fines ?).

6. Les formations limoneuses de surface : leur résistivité se tient autour de 30 ohms-mètres et leur épaisseur varie entre 1 et 4 m. Elles sont partout présentes entre Granieu et le cône de Veyrins, alors qu'en aval elles sont moins épaisses en A, et absentes aux points 404 et 405 (profil B).

B. Les résultats de sondages électriques complémentaires de la D.D.A. (cf. annexes).

De l'Est au Nord de Thuellin, ils confirment les interprétations selon lesquelles on aurait un remplissage graveleux rhodanien sur un substratum sablo-argileux (65 à 90 ohms-mètres). Selon l'axe de plus grande profondeur ce remplissage atteint environ 13 mètres avec des résistivités variant de 200 à 300 ohms-mètres.



C. Carte du substratum argileux dans le couloir des Avenières
(Fig. 51).

A partir de l'interprétation des sondages électriques il a été tracé une carte du substratum argileux (C.P.G.F., 1965). Nous l'avons rectifiée en fonction des données acquises lors des observations de terrain (chapitres 3 et 4) et de nos interprétations de diagrammes pénétrométriques E.D.F. En aval (Nord de Thuellin) les sondages de la D.D.A. nous ont permis de tracer l'axe probable de plus grande profondeur de ces alluvions (cote voisine de 195 m).

De Granieu vers Thuellin, en considérant la courbe de niveau 200 mètres, on observe donc :

- une étroiture entre Granieu et la butte du Champ, alors qu'au Nord de celle-ci un épaulement molassique ferme le couloir (profil H) ;

- de nets élargissement et approfondissement au niveau du Grand Marais (cote inférieure des alluvions en-dessous de 195 m, avec une divergence latérale en direction du ruisseau issu de Corbelin) ;

- une étroiture longue de 2,5 kilomètres à l'aplomb du cône de Veyrins ;

- un probable élargissement au niveau de Thuellin (axe de plus grande profondeur à la cote 195 m).

A l'origine, on a certainement eu une lutte d'influence entre les alluvions du cône de Veyrins tendant à barrer le couloir et le Rhône déblayant le passage en direction de la plaine de Brangues au Nord-Ouest. Ceci est à rapprocher des observations morphologiques sur photos aériennes présentées au chapitre 3.

Il semblerait donc qu'il puisse y avoir communication entre la nappe des alluvions du couloir et celle de la plaine d'Aoste (Fig.61). En fait leur comportement est différent une grande partie de l'année (voir 2ème partie, Chapitre 2).

Fig. 52 - Corrélation entre sondages au voisinage de la zone de captage de Veyrins.

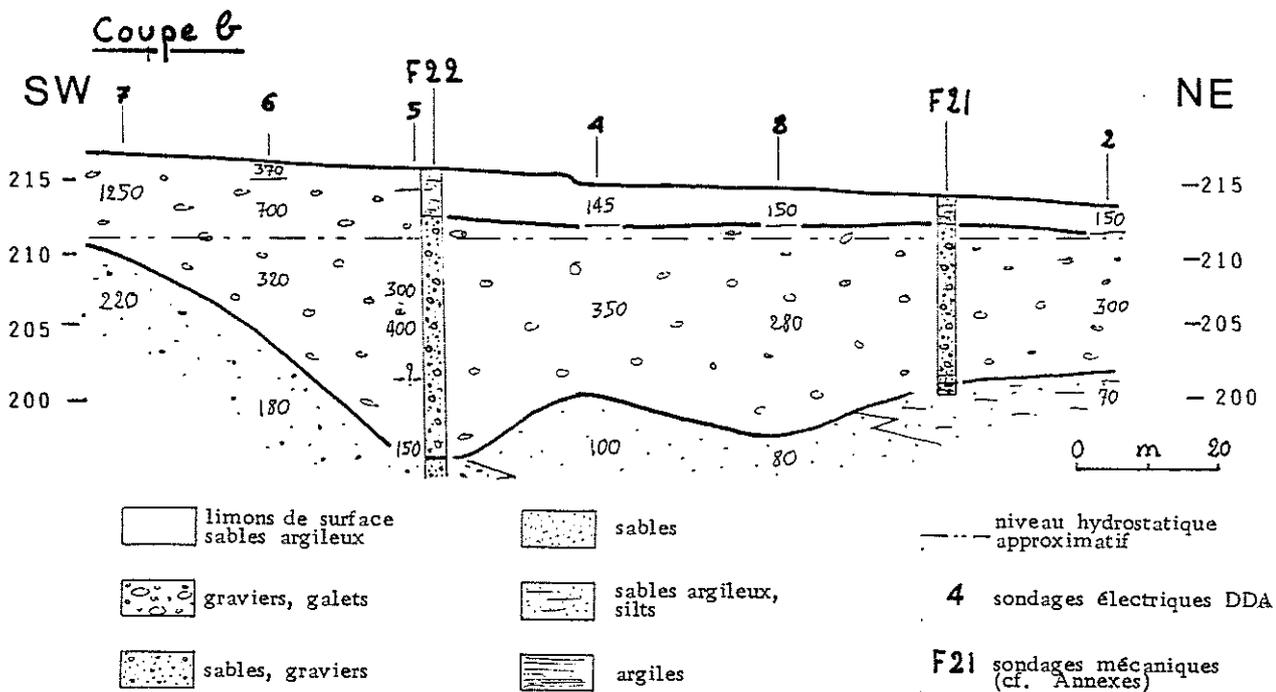
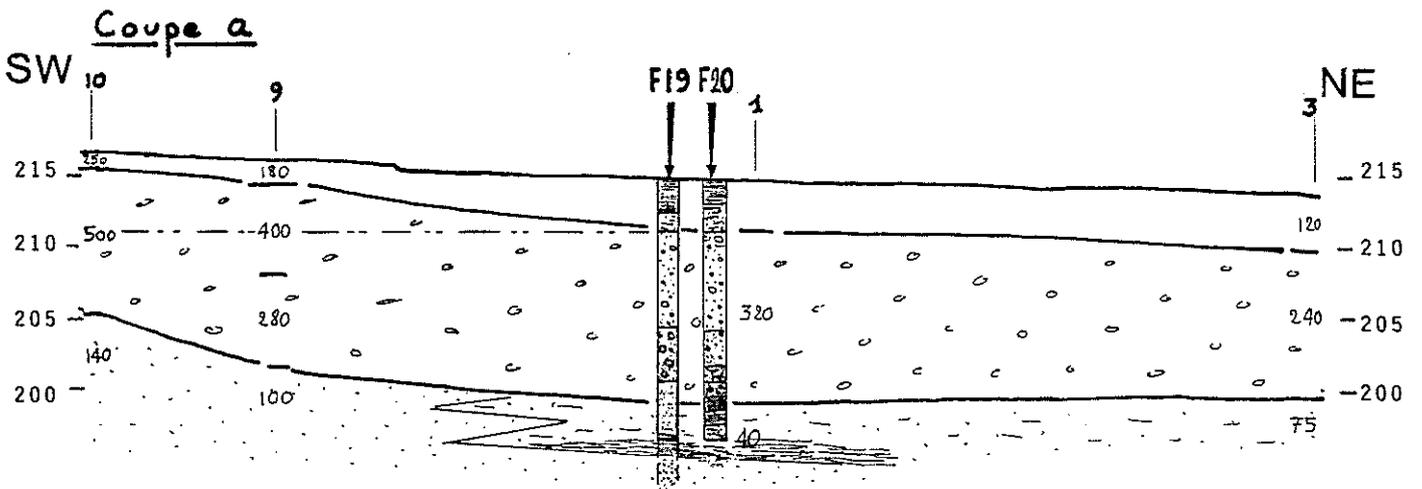
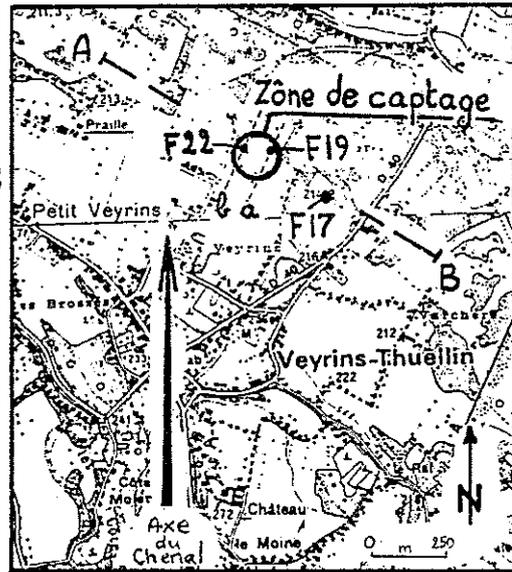
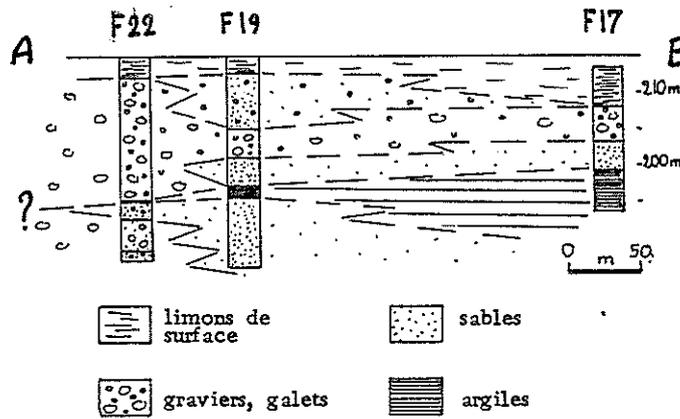


Fig. 53 - Coupes géo-électriques sur la zone de captage au Nord-Est de Veyrins-Thuellin (d'après interprétation de la DDA, modifiée)

D. Approche de la géométrie du cône de Veyrins

Ce cône de déjection placé au débouché d'une importante "gouttière" drainant les eaux issues du plateau molassique présente des potentialités aquifères intéressantes. Le Syndicat Intercommunal des Eaux des Abrets et la Direction Départementale de l'Agriculture ont procédé à des mesures géo-électriques pour définir l'emplacement d'un second puits de pompage en 1981.

Vingt-trois sondages électriques ont été réalisés sur l'emplacement de la station de pompage au Nord-Est de Veyrins-Thuellin (13 par Géo-Investigations, et 10 par la D.D.A.). De ces sondages qui s'appuyaient sur les forages F20 et F21, il ressort que la résistivité s'accroît du Sud-Est vers le Nord-Ouest (Fig. 53), ce qui s'explique aisément d'une part en comparant avec la coupe corrélative (Fig. 52) établie à partir de forages, et d'autre part en considérant l'axe du couloir à l'origine du cône : le prolongement de cet axes passe entre la zone de captage et le hameau de Praille. Or il est bien connu que les matériaux les plus grossiers transportés lors des crues les plus violentes se déposent plutôt dans l'axe du chenal dont ils sont issus, ce qui semble être le cas ici.

Ainsi le sondage F22 le plus près de l'axe présente les plus fortes résistivités en profondeur (300 à 400 ohms-mètres) et seulement une passée d'argile de 10 cm d'épaisseur à 20 mètres de profondeur (vers 196 m), alors qu'en s'éloignant vers l'extérieur du cône (F21, coupe b) ou latéralement (F19 et F20, coupe a) on a respectivement une couche à résistivité de 280-300 ohms-mètres surmontant des silts argileux vers 201 m (F21), et une couche à résistivité de 320 ohms-mètres par dessus des argiles vers 197-200 m (F19 et F20). Plus en profondeur, le sondage F22 présente des graviers et galets (jusque vers la cote 185 m) alors que le sondage F19 reste, à la même cote, dans les sables fins.

Tout ceci semble indiquer qu'en se plaçant entre Praille et la zone de pompage, on a de fortes chances d'avoir des résistivités fortes résultant du dépôt d'alluvions grossières, avec une moindre proportion d'argiles et sur de plus grandes épaisseurs, donc d'obtenir un meilleur coefficient de perméabilité.

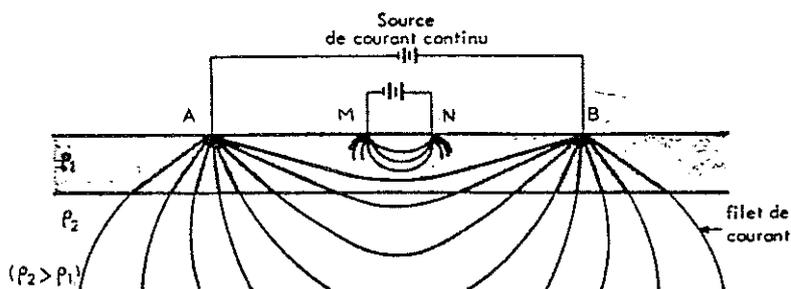


Figure 54 :représen tation du dispositif Schlumberger et des champs électriques créés lors de l'envoi de courant entre les électrodes A et B.

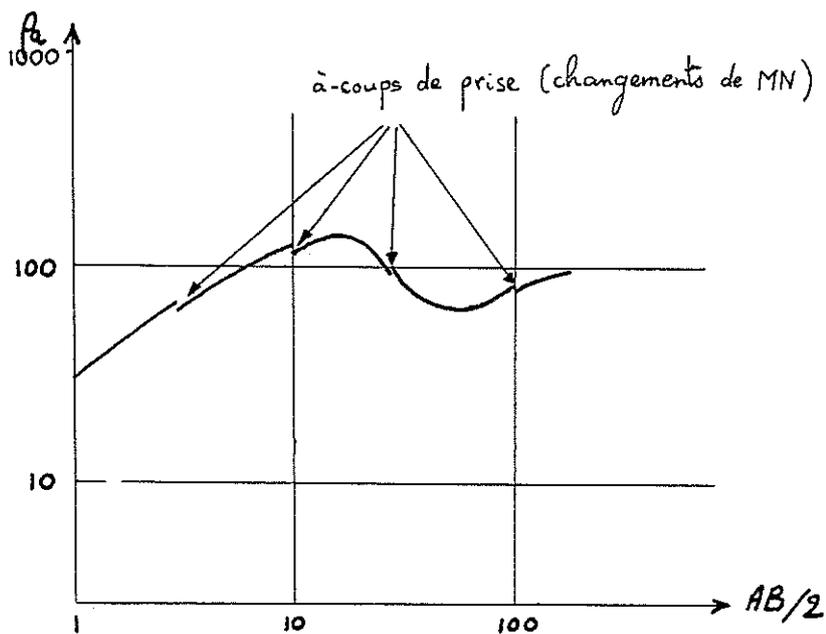


Figure 55 :type de courbe de terrain le plus souvent obtenue lors de l'étude géophysique de la plaine d'Aoste (Isere)

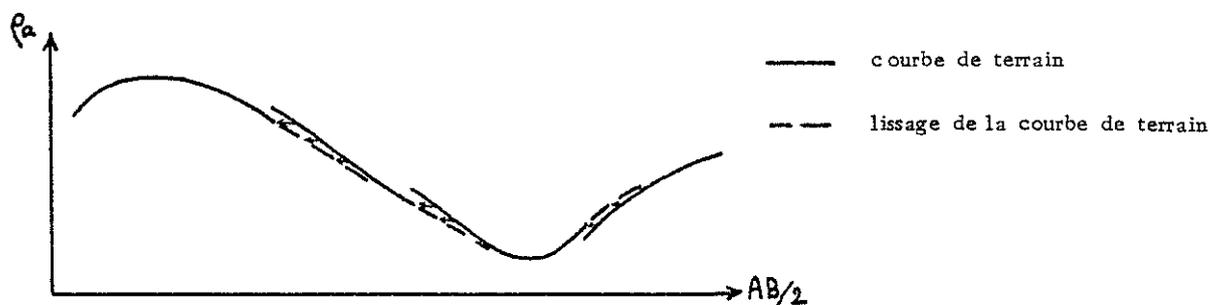


Figure 56 - Lissage de la courbe expérimentale

4.2.4. Etude de la plaine d'Aoste

A. Méthode de prospection géophysique électrique

Nous avons utilisé la méthode des résistivités avec un dispositif de mesure Schlumberger (déplacement de deux paires d'électrodes : A et B, électrodes d'injection, M et N, électrodes de mesure du potentiel induit, Fig. 54). Pour des raisons pratiques de manipulation sur le terrain, nous avons utilisé des rapports entre les distances AB et MN compris entre $4 < AB/MN < 20$, les mesures n'étant doublées pour une distance AB donnée que lors du changement de longueur MN.

Exemple : $MN/2 = 0,25$ m puis $0,75$ m, pour $AB/2 = 3$ m (des essais pour deux valeurs de $AB/2$ successives, par exemple de 30 m et 40 m, avec $MN/2 = 2,5$ m et $7,5$ m, ont confirmé la superposition des courbes lors des à-coups de prise).

L'appareil utilisé, mis au point par M. Bonhomme, permet une lecture directe du potentiel induit P_i indépendamment de la valeur de la polarisation spontanée P_s . Les mesures n'ont pas été poursuivies au-delà de $AB/2 = 200$ m (soit $AB = 400$ m), distance à partir de laquelle la puissance de l'appareil est insuffisante pour assurer une validité des résultats (P_s trop grande par rapport à P_i).

Le lissage des points de la courbe expérimentale a été réalisé selon le principe du report des points vers la gauche (in Abaques de sondage électrique, 1963), (Fig. 56).

Pour l'interprétation des courbes, on a utilisé les abaques deux-terrains présentées par P.K. Bhattacharya et H.P. Patra (1968). Dans quelques cas les résultats ont pu être visualisés par traçage de la courbe d'interprétation à l'aide d'un micro-ordinateur Hewlett Packard 85 de la Compagnie de Prospection Géophysique Française (agence Lyon Sud-Est) utilisant un programme réalisé à partir de la fonction-noyau de Gosh.

Ainsi certaines interprétations de sondages électriques ont-elles pu être testées : c'est le cas des sondages 10.0, 12.1, 12.2, 12.5, 12.6, 12.7, 15.1, 15.2 et 15.3. Dans l'ensemble les courbes de

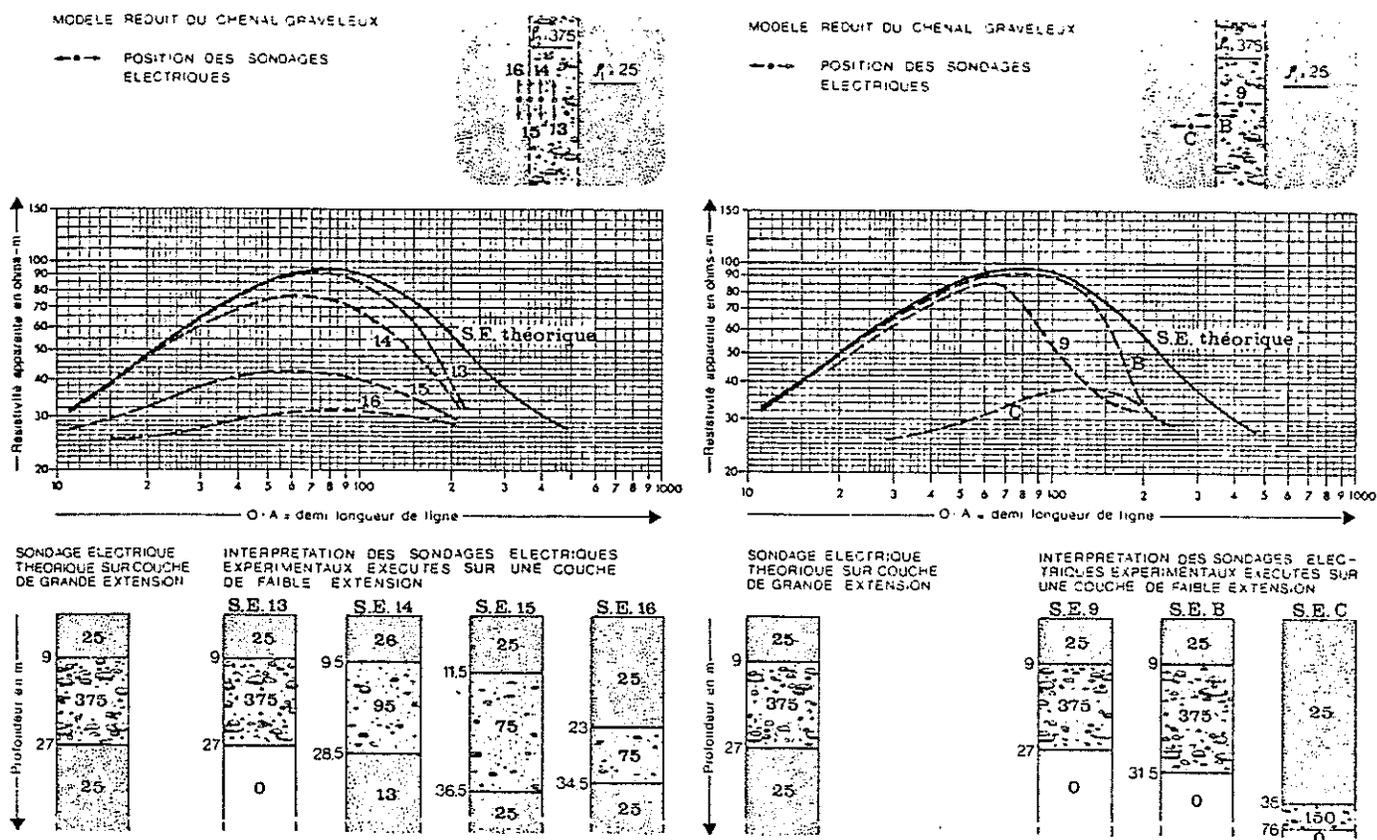


Fig. 57 Sondages électriques sur modèles réduits (Bois du Morand), d'après B. Chapellier.

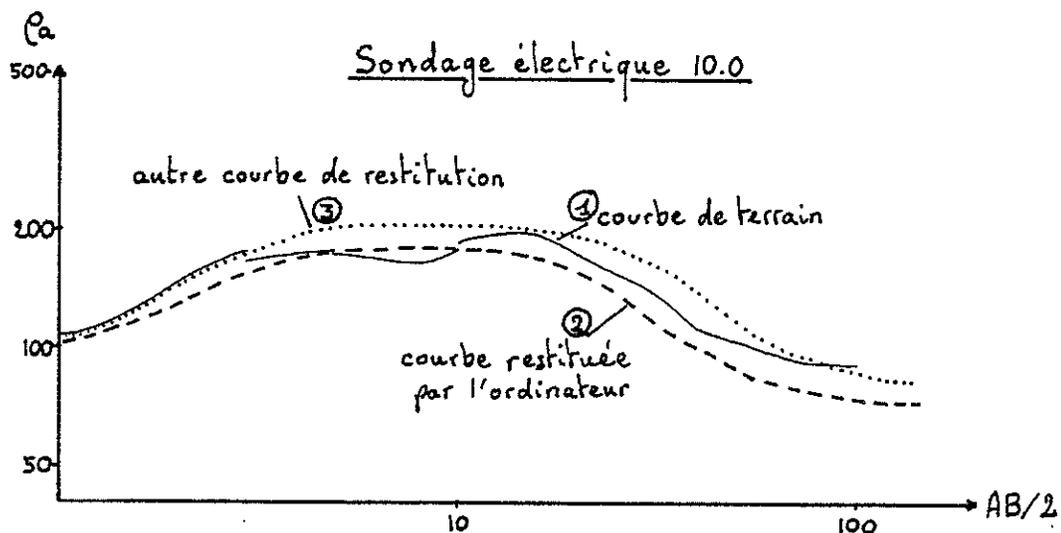


Fig. 58 - Comparaison entre courbe de terrain et courbes de restitution.

terrain et celles restituées par l'ordinateur se superposent bien. Seul le sondage 10.0, dont la courbe de terrain présentait deux bosses rapprochées, n'a pu trouver une restitution fidèle (Fig. 58) : ceci provient peut-être de l'implantation du sondage sur la butte de Brangues-Masset dont la topographie a dû influencer les résistivités apparentes (aucune autre influence due aux installations souterraines n'étant probable dans ce secteur de cultures).

Méthode d'interprétation de la courbe de terrain :

1. On utilise les abaques deux-terrains : dans le cas du sondage 10.0, il existait un problème d'appréciation sur les valeurs du 3ème terrain du fait des points très rapprochés ;

2. Utilisation de la HP 85 : on visualise l'interprétation faite en 1 par traçage de la courbe 2. Celle-ci ne présentant pas de creux en son centre, on a délibérément exagéré les résistivités vers le haut (2ème et 4ème terrain) ou vers le bas (3ème terrain) pour essayer d'une part de mieux coller à la courbe montante et descendante de terrain, d'autre part de créer la dépression due au 3ème terrain au centre de la courbe. Ceci nous a donné, après différents essais, la courbe 3.

Valeurs utilisées :

| Terrain n° | Courbe 1 (d'après abaques) | | Courbe 2 | | Courbe 3 | |
|------------|-------------------------------|------|----------|------|----------|------|
| | R | h | R | h | R | h |
| 1 | 67 | 0.40 | 90 | 0.90 | 90 | 0.90 |
| 2 | 280 | 1.80 | 280 | 1.80 | 500 | 1.50 |
| 3 | 130 | 2.70 | 130 | 2.70 | 20 | 0.50 |
| 4 | 453 | 2.60 | 450 | 2.60 | 500 | 5.00 |
| 5 | 73 | | 73 | | 80 | |

3. Comparaison des courbes obtenues : dans le cas du sondage 10.0, on voit que la courbe 3 est meilleure que la 2 à la montée, mais s'éloigne de la courbe de terrain lors de sa descente : ceci provient de l'exagération de l'épaisseur du terrain 4 (5m).

A la descente, les courbes 2 et 3 s'abaissent plus que la courbe de terrain 1 .

Le terrain 3, quoique de valeur faible (20 ohms-mètres), n'apparaît pas bien sur la courbe 3 : en augmentant son épaisseur (nous avons testé une épaisseur de 4 mètres) on déplace vers la droite et vers le bas résistivité et épaisseur apparentes du 4ème terrain.

4. En conclusion on peut donner les fourchettes de valeurs suivantes :

| | <u>Résistivité (Ω .m)</u> | <u>Epaisseur (m)</u> |
|--------------|---|----------------------|
| 1er terrain | 90 | 0.90 |
| 2ème terrain | 280 à 500 | 1.50 à 1.80 |
| 3ème terrain | 130 | 2.70 |
| ou | 20 | 0.50 |
| 4ème terrain | 450-500 | 3.00 |
| 5ème terrain | 90 | |

On voit que dans ce cas précis on n'a pu lever l'indétermination sur le 3ème terrain (effet de la topographie?). L'aide d'un programme informatique, intéressante pour vérifier l'exactitude d'interprétations de terrains à partir d'abaques, a ses propres limites d'utilisation.

On retiendra donc les points intéressants suivants :

- une visualisation rapide de l'interprétation,
- une possibilité d'intervention sur les résistivités et épaisseurs, avec la possibilité d'intercaler un autre terrain, pour mieux coller à la courbe de terrain ;
- une plus grande précision sur les épaisseurs en tenant compte que toute convexité ou concavité atténuée par rapport aux courbes directrices doit faire soupçonner la présence d'un terrain à résistivité intermédiaire de faible épaisseur (phénomène de disparition), à moins qu'il ne s'agisse d'une hétérogénéité latérale.

B Influence d'une anisotropie : le problème des chenaux

Nous avons constaté, sur certaines courbes de terrain, des à-coups de prise plus importants : entre 10 et 20 % de différence entre

les deux résistivités apparentes obtenues lors du changement de MN pour une même distance AB. Ces sondages sont la plupart du temps réalisés sur des zones à deuxième couche résistante : alluvions du bord du Guiers et de l'Est de Brangues-Masset, terrasse fluvio-glaciaire de Granieu. Nous pensons que ces terrains présentent une anisotropie horizontale due à une granulométrie différente des alluvions déposés lors de la divagation de chenaux fluviatiles. Le fait d'avoir une ligne AB importante (jusqu'à 400 m) peut entraîner une recoupe de ces chenaux : l'à-coup de prise marque alors une plus ou moins grande difficulté du courant à circuler à travers le terrain atteint latéralement. L'effet de tels chenaux peut avoir une influence importante sur l'interprétation des sondages comme l'a montré D. Chapellier (1981) sur un modèle réduit de chenal graveleux (Fig. 57).

Ainsi la position et l'orientation de la ligne AB sont importantes pour avoir le plus de chances de sonder une fraction de terrain la plus isotrope possible, ce qui revient à réaliser des sondages pluridirectionnels, procédé d'investigation beaucoup plus lent.

C. Prospection et interprétations géophysiques de la plaine d'Aoste

Nous avons réalisé une prospection électrique de l'ensemble de la plaine depuis Romagnieu et Chimilin au Sud, jusqu'au Rhône (Saint-Didier d'Aoste) au Nord (Fig. 59). Manquant de données de sondages profonds (la plupart s'arrêtent entre 10 et 15 m), nous avons calé nos résistivités sur des affleurements latéraux reconnus de molasse ou de fluvio-glaciaire (butte du Champ). De plus nous avons pu vérifier certaines de nos interprétations lors du suivi de quatre forages réalisés postérieurement à cette étude (F10 à F13), et en comparer d'autres avec nos interprétations de diagrammes d'essais pénétrométriques réalisés par E.D.F. (cf. annexes).

Les difficultés d'interprétation des résultats de sondages (faible contraste entre certaines formations, ou résistivités semblables pour des formations différentes) nous ont parfois poussé à tenir compte du contexte morphologique dans le choix d'une interprétation préférentiellement à une autre. Cependant certaines corrélations sont plus hypothétiques : elles sont signalées par des points d'interrogation et des tirets sur nos profils.

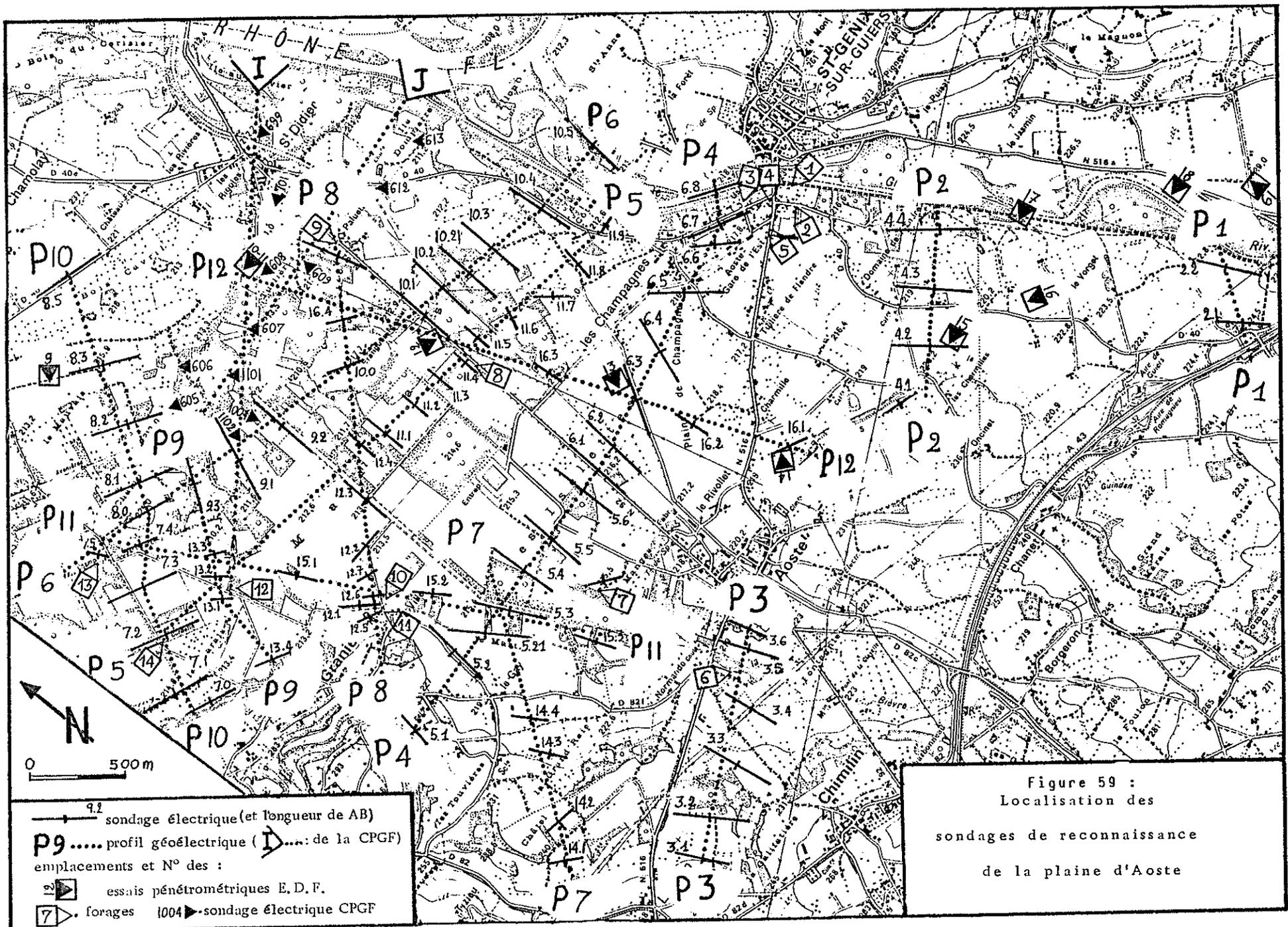


Figure 59 :
Localisation des
sondages de reconnaissance
de la plaine d'Aoste

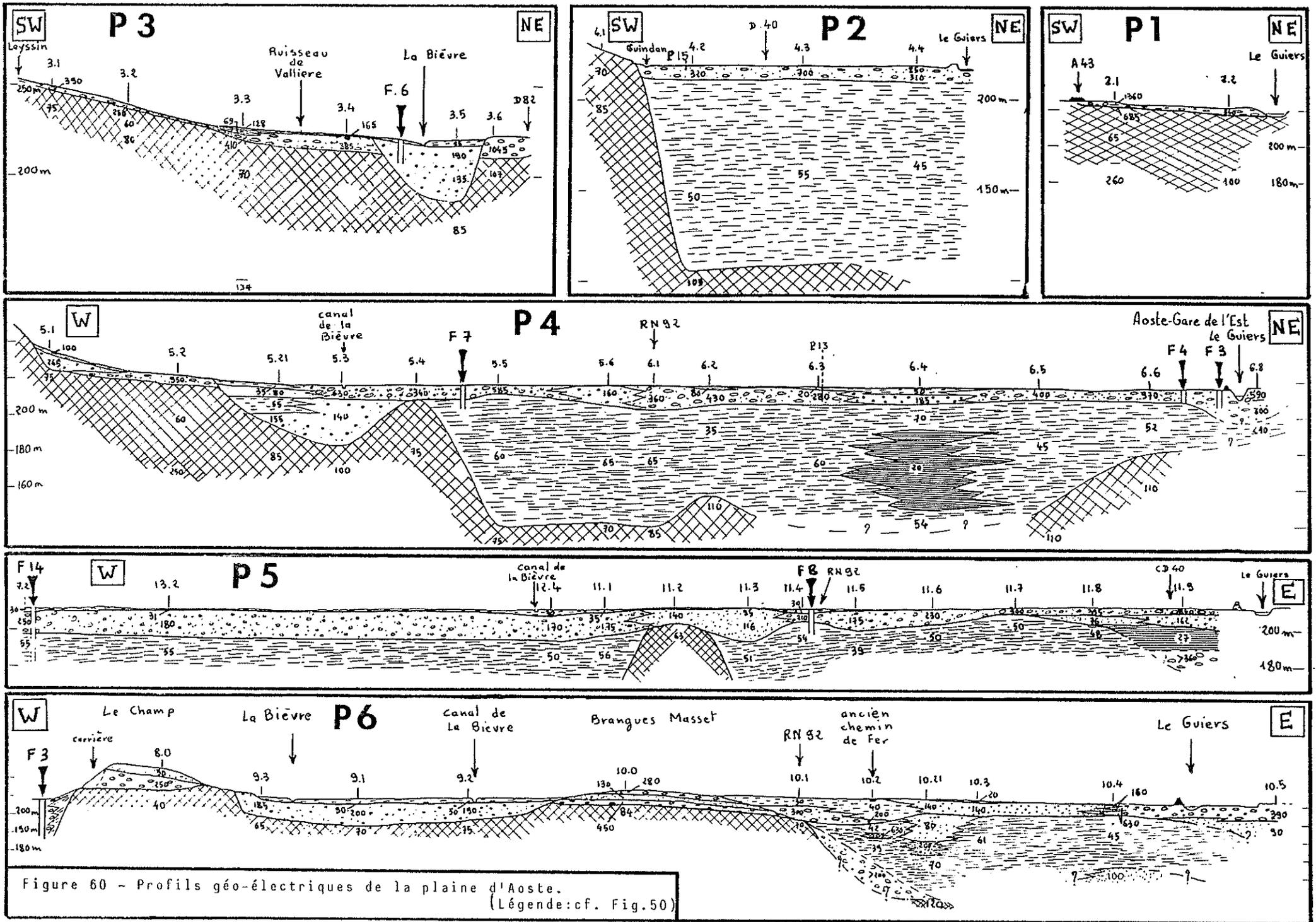
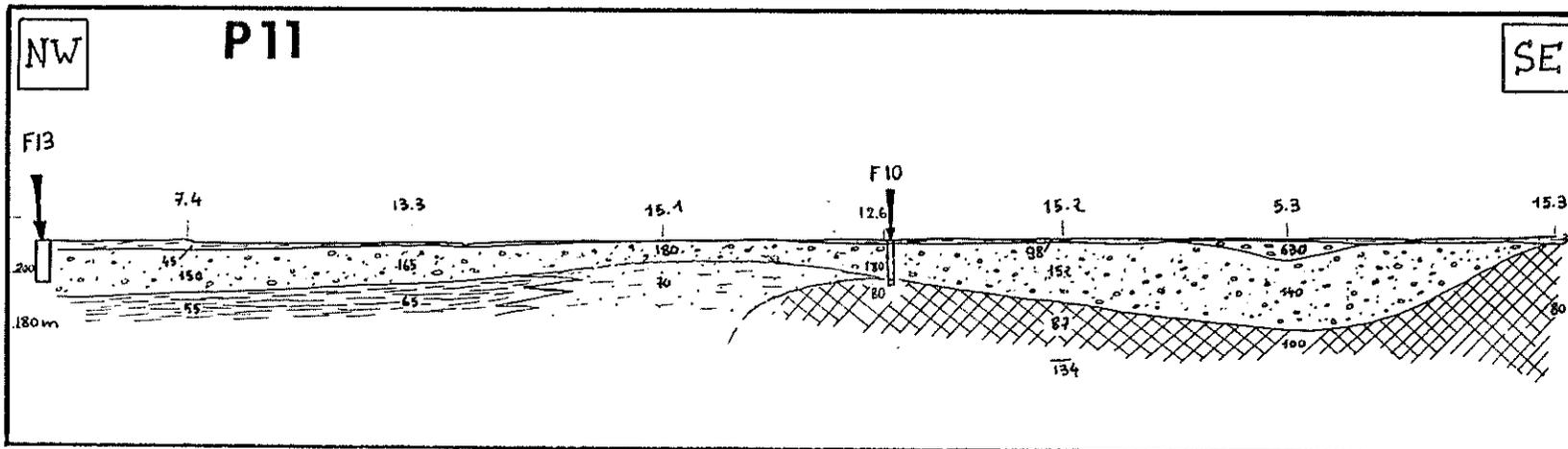
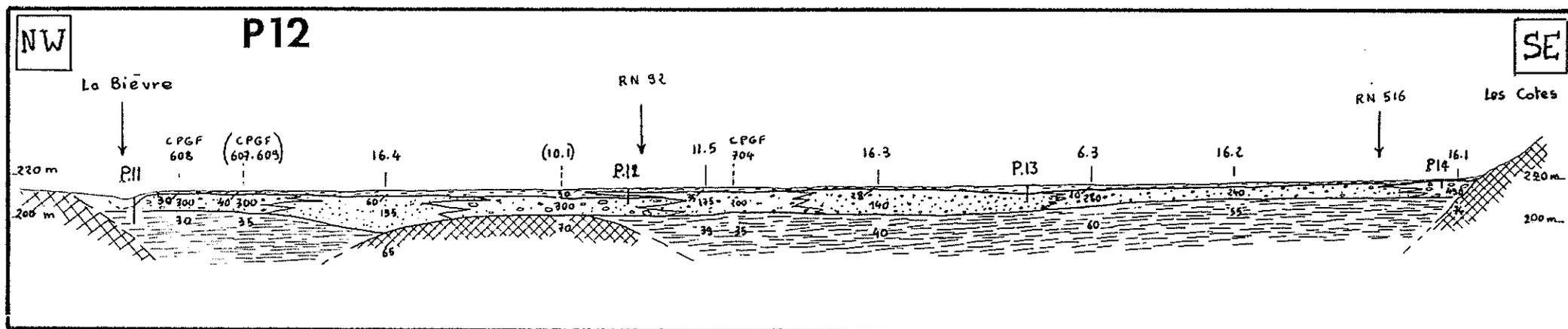


Figure 60 - Profils géo-électriques de la plaine d'Aoste.
(Légende: cf. Fig. 50)



0 m 1000

135



Nous présentons successivement du Sud vers le Nord les résultats tirés des profils géo-électriques établis d'après nos interprétations de sondages (Fig. 60). Successivement seront étudiées les formations molassiques, glaciaires, fluvio-glaciaires, lacustres et alluviales.

1. Le substratum molassique : il forme le fond du lit du Guiers près de Romagnieu (profil P1 et sondages sismiques du C.E.T.E.), mais s'enfonce très rapidement (cote 110 m au P2), montrant l'importance du surcreusement glaciaire et de son comblement postérieur. Par contre le surcreusement est bien moindre le long de la Bièvre (cote 175 m près de Chimilin).

Sous la plaine d'Aoste (P4), il est très proche de la surface du côté de Granieu, tout en présentant un surcreusement à l'aplomb du canal de la Bièvre, alors qu'au centre de la plaine il est repéré vers la cote 140 m et probablement en-dessous entre la RN 92 et Aoste-Gare de l'Est, à partir de laquelle il remonte pour affleurer en rive droite du Guiers.

Sur le profil P5, il n'a pu être atteint (longueur de AB insuffisante), sinon peut-être sous le point 11.2, indiquant un prolongement possible de la molasse de la butte de Brangues-Masset en direction du Sud (points 11.2 et 6.2). Plus au Nord, les deux buttes (P6) ont un noyau molassique sub-affleurant alors que vers l'Est et le Nord (P8) le toit de la molasse s'enfonce en dessous de la cote 160 m.

En bordure ouest de la plaine, on trouve la molasse à faible profondeur (à moins de 10 mètres), alors qu'entre Granieu et les buttes du Champ et de Brangues-Masset elle s'enfonce en-dessous de la cote 160 m.

Au Nord-Est du Champ, la molasse est présente en surface, comme cela apparaissait déjà d'après l'étude de la C.P.G.F. (voir §442c), obturant ainsi une partie du couloir des Avenières. Sa résistivité augmente en profondeur, indiquant une probable induration sous forme de bancs de grès.

Ainsi la molasse est-elle fortement érodée sous la plaine d'Aoste à l'est d'une ligne passant par Brangues-Masset et Aoste (cote inférieure à 160 m), ceci jusqu'au Nord de Romagnieu où le substratum est atteint vers la cote 110 m. Cette "cuvette" se prolonge vers le couloir des Avenières, probablement de profondeur équivalente (voir paragraphe 423) ; en passant entre Granieu et les deux buttes de Brangues-Masset et du Champ.

2. Les dépôts morainiques : leur diversité de composition rend difficile leur détermination par la méthode de prospection géophysique électrique. C. Armand (1978) attribue aux argiles à blocs des résistivités entre 35 et 120 ohms-mètres, pouvant atteindre des valeurs de 180 à 290 ohms-mètres dans le cas de faciès compactés.

En l'absence de coupe de terrain et compte tenu des observations morphologiques, géologiques (blocs erratiques, galets enrobés d'argile compactée) et géophysiques (résistivité de la 2ème couche supérieure à celle enregistrée pour la molasse, alors que celle de la 3è s'en rapproche), nous pensons que la butte de Châtel (P7) est un reste morainique d'une des dernières poussées glaciaires.

A l'Est de Brangues-Masset, une formation résistante (plus de 200 ohms-mètres), décelée en profondeur au pied de la butte, pourrait être d'origine morainique ou fluvio-glaciaire.

3. Les dépôts fluvio-glaciaires : ils coiffent les buttes du Champ et de Brangues-Masset. Sur cette dernière, on note des alternances d'alluvions à résistivités différentes.

A l'Ouest d'Aoste, ils recouvrent sur 5 à 10 m le versant molassique, formant une terrasse fluvio-glaciaire (cf. Chapitre 2) jusqu'à Granieu.

4. Les alluvions lacustres : elles comblent la cuvette d'Aoste jusqu'à une cote voisine de 200 m. Ce sont, d'après les sondages, des sables argileux, des silts ou des argiles, ce qui explique les variations de résistivités enregistrées (entre 20 et 70 ohms-mètres, moyenne sur 48 sondages = 50 ohms-mètres) selon leur nature plus ou moins sableuse.

A l'Ouest d'Aoste, un chenal recoupe la terrasse fluvio-glaciaire décrite précédemment : il s'agit (d'après la coupe du forage F6, Annexes) de sables et graviers qui devaient se déverser dans le lac par progradation d'alluvions deltaïques par-dessus des silts et argiles lacustres. Sa profondeur s'accroît depuis Aoste (point 3.5 : cote 186 m) vers Granieu (point 14.4 : cote 178 m), pour coiffer au point 12.2 des argiles lacustres à la cote 175 m. Au cours de ce cheminement les résistivités passent de 135-140 à 98-120 ohms-mètres, ce qui peut être expliqué par une granulométrie plus fine à l'aval.

En bordure aval du Guiers (P5 et P6) on trouve, aux alentours des cotes 180 à 190 m, des passées plus grossières (résistivités dépassant les 200 ohms-mètres) probablement d'origine rhodanienne à une époque où le Rhône progradait son cône à travers la plaine (J.P. Bravard, à paraître).

5. Les dépôts alluviaux : ils sont omniprésents au-dessus de 195 à 205 m. Selon leur origine ils sont plus ou moins grossiers ou sableux.

En rive gauche du Guiers les résistivités dépassent nettement 300 ohms-mètres : d'après les observations (gravières), on a des sables, graviers et galets (jusqu'à 30 cm) sur une épaisseur ne dépassant pas 8 mètres (sondages électriques, forages F1 à F5), sauf à proximité du Guiers (points 6.8 du profil P4, et 10.5 du profil P6) où des épaisseurs supérieures à 10 mètres sont probables.

Sur le profil P4, les résistivités de ces alluvions sont également importantes (fréquemment supérieures à 400 ohms-mètres), alors que sur les profils P5 et P6 les valeurs sont rarement supérieures à 200 ohms-mètres. Des alluvions à plus forte résistivité existent donc immédiatement au Nord d'Aoste, que l'on ne retrouve pas entre le Guiers et Branges-Masset plus au Nord. Ces alluvions ont été déposées par le Guiers (cf. Chapitre 2B, analyse pétrographique). On devrait pouvoir retrouver leur trace au Nord de Granieu, ce qui n'est pas le cas (résistivités inférieures à 200 ohms-mètres) : en fait soit ces alluvions sont de plus en plus fines de l'amont vers l'aval, formant sur la plaine un vaste cône de déjection, soit elles sont davantage colmatées par les argiles vers l'aval.

Sur l'ensemble de la plaine d'Aoste, le mur de ces alluvions se situe vers une profondeur de 15 mètres à l'Ouest d'une ligne d'Aoste-Saint-Didier, mais à une profondeur inférieure à 10 mètres à l'Est.

6. Les dépôts de surface : leurs épaisseurs restent inférieures à 4 mètres, et plus généralement ne dépassent pas deux mètres. Ce sont des limons dont les résistivités se situent entre 30 et 50 ohms-mètres. On les trouve de façon certaine sur au moins 1 mètre d'épaisseur dans les quatre premiers mètres de sous-sol, du Nord-Ouest au Nord-Est de Granieu, selon un polygone limité par La Ville (Granieu), le profil P 10 jusqu'au Champ et les points 16.4 au Nord et 10.3 à l'Est de Brangues-Masset. Il en est de même sur une partie de la plaine de Champagne (triangle formé par les points 16.2, 16.3 et 6.5), et le long de la Bièvre (points 3.6, 15.2 et 5.21).

On les localisera également en consultant la carte d'équirésistivités AB=3 m (Fig. 63) sur laquelle sont portées les résistivités de la première couche de sous-sol.

D. Le substratum des alluvions grossières de la plaine d'Aoste (Fig.61)

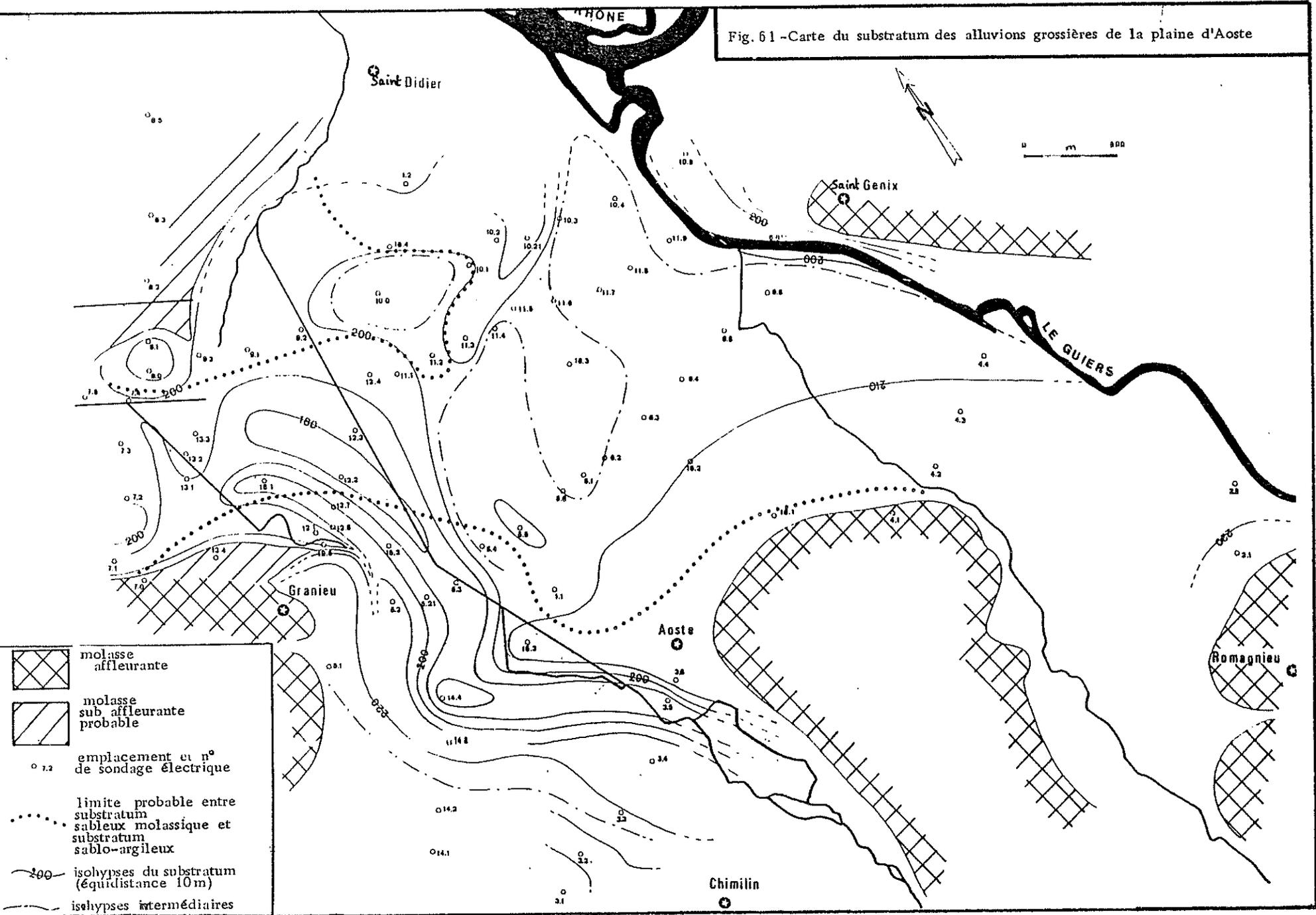
De l'interprétation des sondages électriques nous avons déduit les cotes du toit des formations imperméables (molasse ou argiles lacustres), ce qui permet de visualiser par une carte en courbes de niveau le relief du substratum des alluvions grossières (sables, graviers, galets).

Le chenal d'Aoste à Granieu, orienté au Nord-Ouest puis au Nord, atteint par endroit la cote 180 m, soit une profondeur d'environ 30 m, pour une largeur de 300 à 400 m. Issu de la vallée de la Bièvre, il rejoint le couloir des Avenières, mais sa base remonte alors vers les niveaux 190-200 m, niveaux qui se prolongent également vers le Nord-Est entre les buttes du Champ et de Brangues-Masset.

Le long du Guiers, un chenal est pressenti en aval de Saint-Genix. Il pourrait s'enfoncer en-dessous de la cote 200 m. Seuls deux sondages placés en rive droite nous ont permis de l'identifier.

Entre le Guiers et la Bièvre, le substratum se tient à une cote assez uniforme (vers 205-210 m sous la plaine de Champagne, et au-dessus en se rapprochant des collines, entre Aoste et Romagnieu).

Fig. 61 - Carte du substratum des alluvions grossières de la plaine d'Aoste



-  molasse affleurante
-  molasse sub affleurante probable
- 7.2 emplacement et n° de sondage électrique
- limite probable entre substratum sableux molassique et substratum sablo-argileux
- 100 isohypses du substratum (équidistance 10m)
- - - isohypses intermédiaires

Sur cette même carte, nous avons matérialisé par une ligne en pointillés le passage présumé du substratum sableux (molasse) au substratum argileux, ceci d'après nos interprétations de sondages électriques. On voit ainsi que les sables molassiques, à la base des alluvions, se situent au Sud-Ouest d'une ligne passant du Nord de Granieu au Nord d'Aoste, et qu'ils forment la gouttière du chenal précédemment décrit.

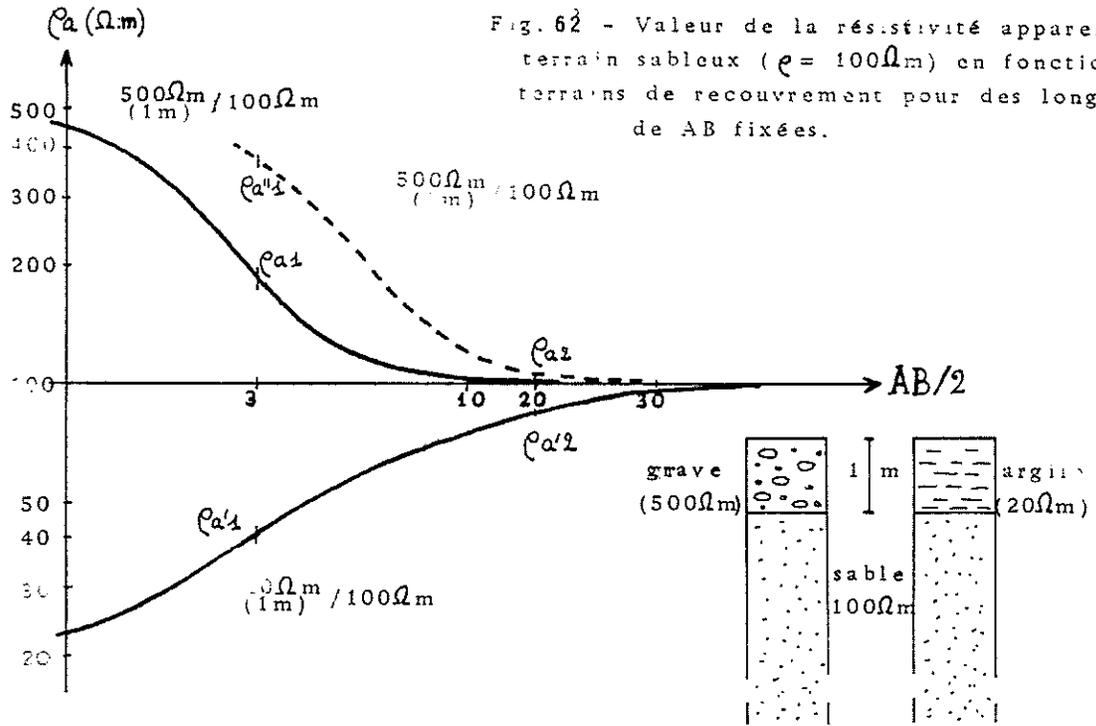
Par ailleurs, ils forment également le substratum du passage entre les buttes du Champ et de Brangues-Masset.

E. Les cartes d'équirésistivités établies à partir de longueurs de AB données

Le nombre de sondages électriques réalisés (80) nous a permis de tracer des cartes d'équirésistivités apparentes en utilisant des valeurs fixes de AB. Ces cartes n'ont pas la précision qu'aurait pu apporter une étude spécifique s'appuyant sur des traînées électriques. Cependant de telles visualisations permettent la zonation de secteurs à comportement électrique semblable, ceux-ci pouvant par la suite faire l'objet de reconnaissance en profondeur (sondages électriques localisés) pour les plus intéressants d'entre eux.

Cette approche qualitative présente l'avantage de mieux saisir l'ensemble des relations existant entre les différentes sortes d'alluvions (ici, entre les chenaux fluviatiles à éléments graveleux et leurs zones latérales sablo-argileuses). D'autre part, on n'a pas à interpréter des courbes de terrain perturbées par l'hétérogénéité latérale des alluvions (cas de l'utilisation des sondages électriques). De plus cette première approche permet de délimiter les secteurs faiblement résistants, impropres à une étude approfondie à l'aide de sondages électriques.

A partir des valeurs de résistivités apparentes en chacun des points, nous avons tracé les courbes d'équirésistivités en tenant compte de la géologie de surface dans notre interprétation. Ainsi, pour les cartes de résistivité apparente avec AB petit (6 et 40 m), les discontinuités entre les terrains fluvio-glaciaires et holocènes ont été prises en compte.



Lors de l'interprétation, il faut, bien sûr, considérer le fait que la résistivité apparente résulte non seulement du terrain inférieur atteint par le champ électrique, mais également des terrains supérieurs. Par exemple, un terrain sableux recouvert par des graves ou par des argiles sur une épaisseur identique (Fig. 62) présentera une exagération (ρ_{a1} , ρ_{a2}) ou une minorisation ($\rho_{a'1}$, $\rho_{a'2}$) de sa résistivité réelle pour des longueurs données de AB. De même, si l'épaisseur du terrain supérieur augmente, la résistivité apparente sera davantage sous son influence (ρ_{a1} et $\rho_{a'1}$).

Le fait de fixer une longueur de ligne AB ne donne donc pas forcément la résistivité apparente d'une profondeur définie et identique à tous les sondages.

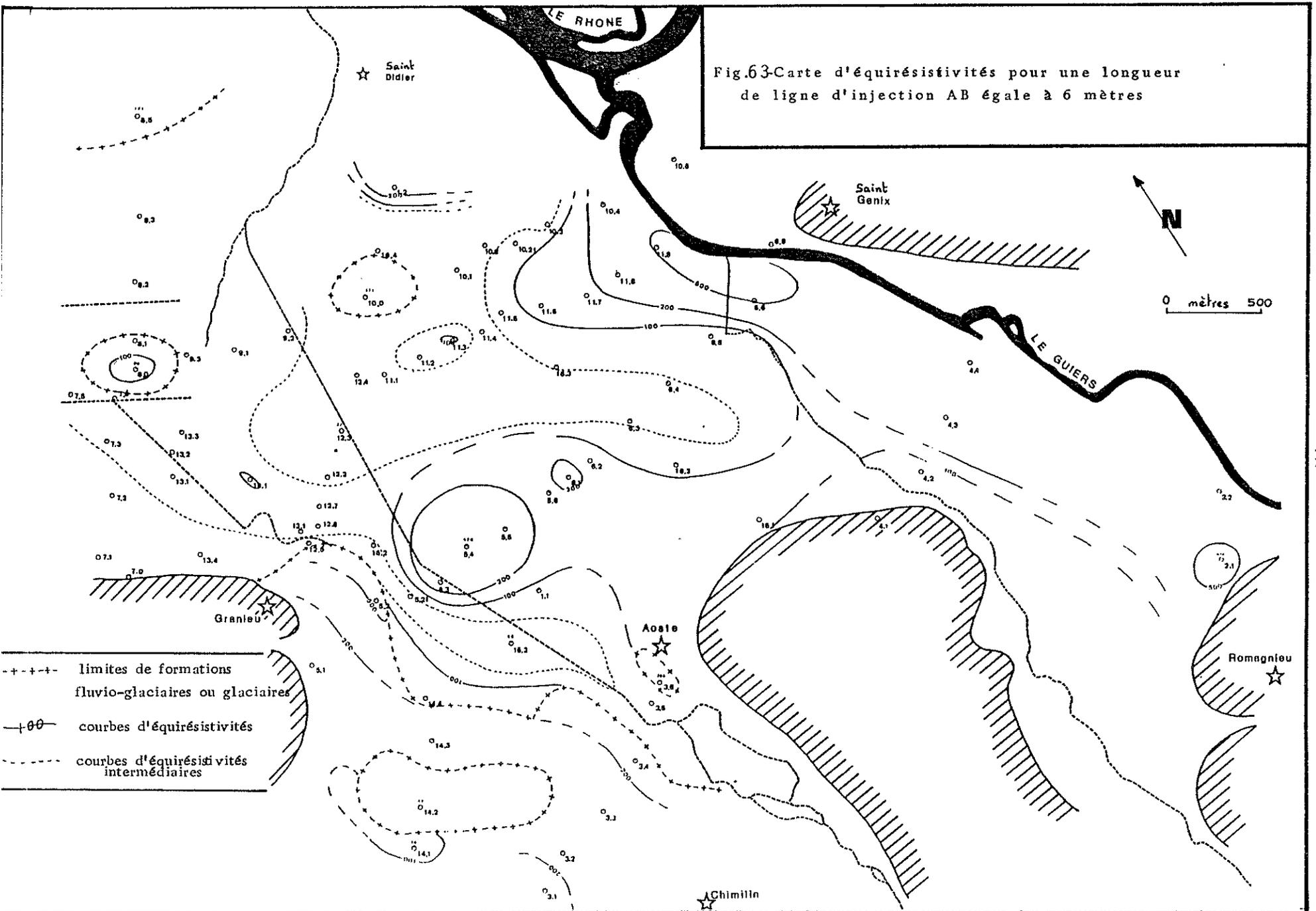
Dans le cas qui nous préoccupe, les données de sondages révèlent trois couches de terrains superposés : argileuse, graveleuse, sablo-argileuse. Avec trois cartes d'équirésistivités réalisées à partir des longueurs de AB de 6 m, 40 m et 140 m, on a une vue globale sur la capacité conductrice des terrains :

- avec AB = 6 m, les données recueillies concernent le premier mètre du sous-sol ;
- avec AB = 40 m, on se situe au plus haut des résistivités apparentes donnant une courbe en cloche lors de sondages électriques ;
- avec AB = 140 m les résistivités apparentes tendent vers celles du substratum. Le contraste aurait sans doute été plus intéressant avec un AB de 200 ou 300 m, mais le nombre de valeurs pour ces longueurs est insuffisant.

Ceci permet de localiser :

- les secteurs où la nappe sera protégée en surface par une couche argileuse ;
- les points où la résistivité des alluvions graveleuses est la plus grande : (en effet, si l'ensemble de la plaine a pu recevoir des alluvions perméables, certains axes présentent des sous-écoulements préférenciels (en raison d'espaces intergranulaires moins colmatés par les argiles) et sont donc plus résistants ;
- des zones où la résistivité apparente attribuable au troisième terrain est anormalement forte, laissant supposer un encaissement du deuxième terrain dans son substratum, ou une plus grande résistivité réelle de ce deuxième terrain.

Fig.63-Carte d'équirésistivités pour une longueur de ligne d'injection AB égale à 6 mètres



Ainsi, d'après la carte AB = 6 m (Fig. 63), nous avons deux secteurs de moindre résistivité apparente (inférieure à 50 ohms-mètres):

- la première est une bande étroite qui s'étire d'Aoste au couloir des Avenières en passant au pied de Granieu ;
- la seconde ceinture la butte de Brangues-Masset et s'étale entre Aoste et Aoste-Gare de l'Est.

Ce sont des zones plus limoneuses ou tourbeuses.

Les zones à résistivité plus prononcée se situent en rive gauche du Guiers, et au bord de la terrasse fluvio-glaciaire entre le Sud-Ouest d'Aoste et l'Est de Granieu : plus de 200 ohms-mètres. Au Nord d'Aoste une bande de terrains assez résistants semble relier d'Est en Ouest le Guiers au canal de la Bièvre, matérialisant ainsi peut-être un ancien axe d'écoulement de celui-ci au Nord d'Aoste.

La carte AB = 40 m (Fig. 64) confirme les secteurs précédents à résistivité apparente importante. Des zones à faible résistivité sur la carte AB = 6m affichent ici des valeurs entre 100 et 200 ohms-mètres qui, compte-tenu du premier terrain argileux, sont sous-estimées. C'est le cas :

- du passage entre les buttes de Brangues-Masset et du Champ;
- au Nord-Est de Granieu, au pied de la terrasse fluvio-glaciaire.

Sans doute avons-nous ici un exemple de terrains graveleux recouverts d'argiles.

D'autre part une vaste plage de résistivité inférieure à 100 ohms-mètres s'étale de la plaine de Champagne jusqu'à la Bièvre et au Nord de Granieu : elle représente peut-être une zone latérale aux axes de passage du Rhône et du Guiers vers le couloir des Avenières.

Sur la carte AB = 140 m (Fig. 65) ne figurent plus les contours des dépôts fluvio-glaciaires : avec cette longueur de ligne la résistivité apparente obtenue concerne probablement le substratum molassique sous-jacent. Les secteurs les plus résistants concernent :

- la partie sud-ouest entre le Nord de Granieu et Aoste. On note une bande à résistivité apparente supérieure à 90 ohms-mètres en bordure de la terrasse fluvio-glaciaire, ce que l'on a déjà remarqué sur la carte précédente ;

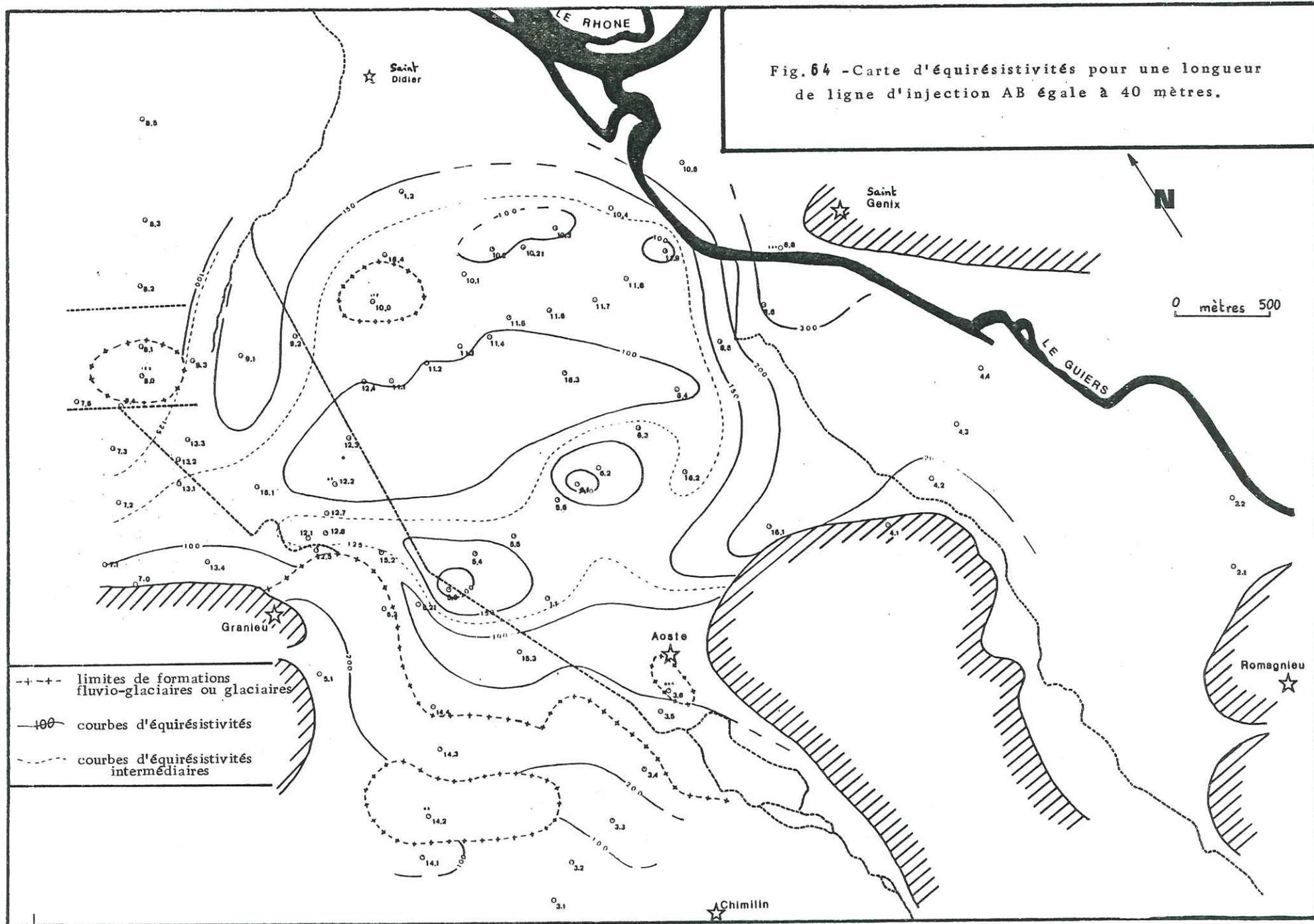
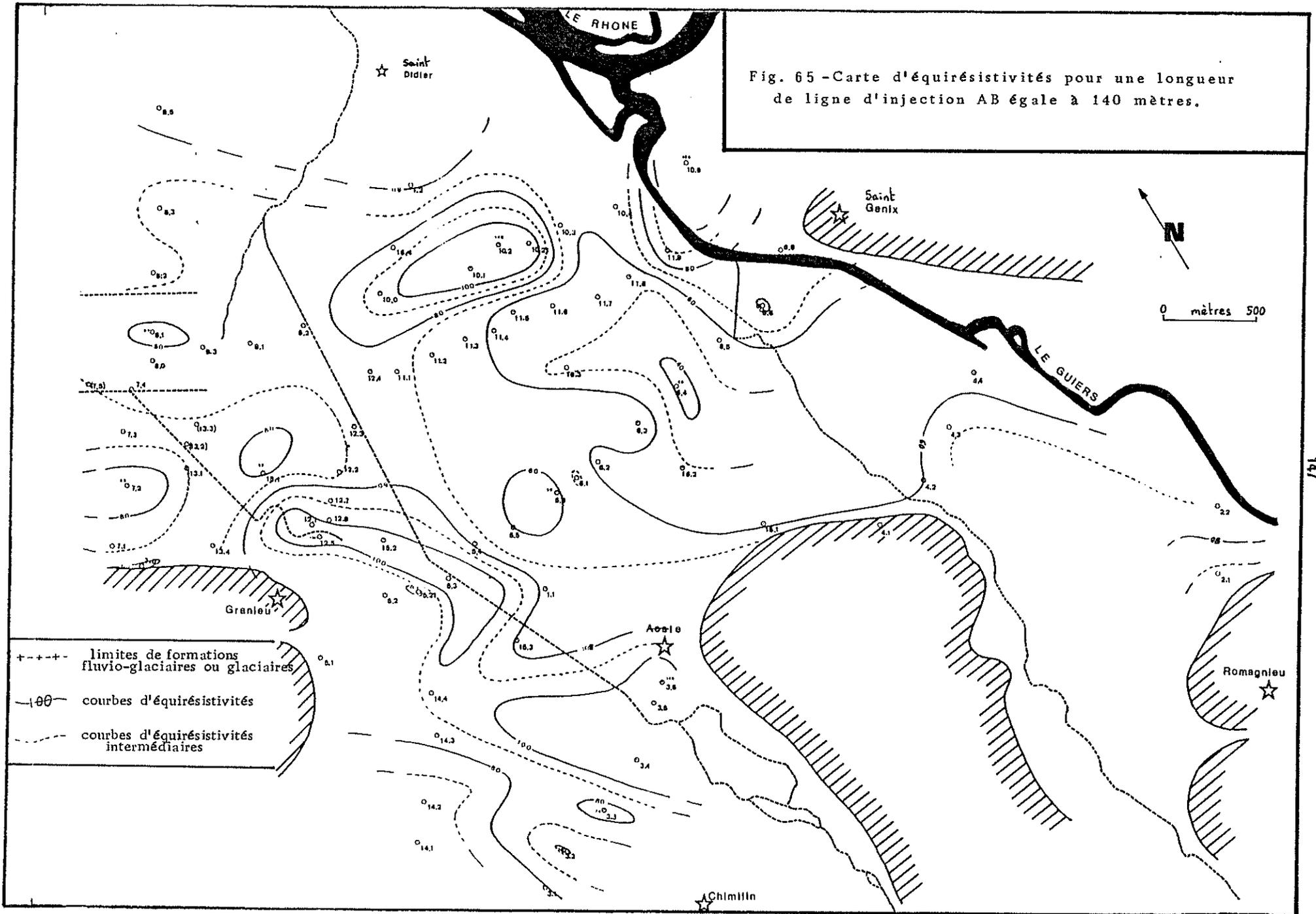


Fig. 65 - Carte d'équirésistivités pour une longueur de ligne d'injection AB égale à 140 mètres.



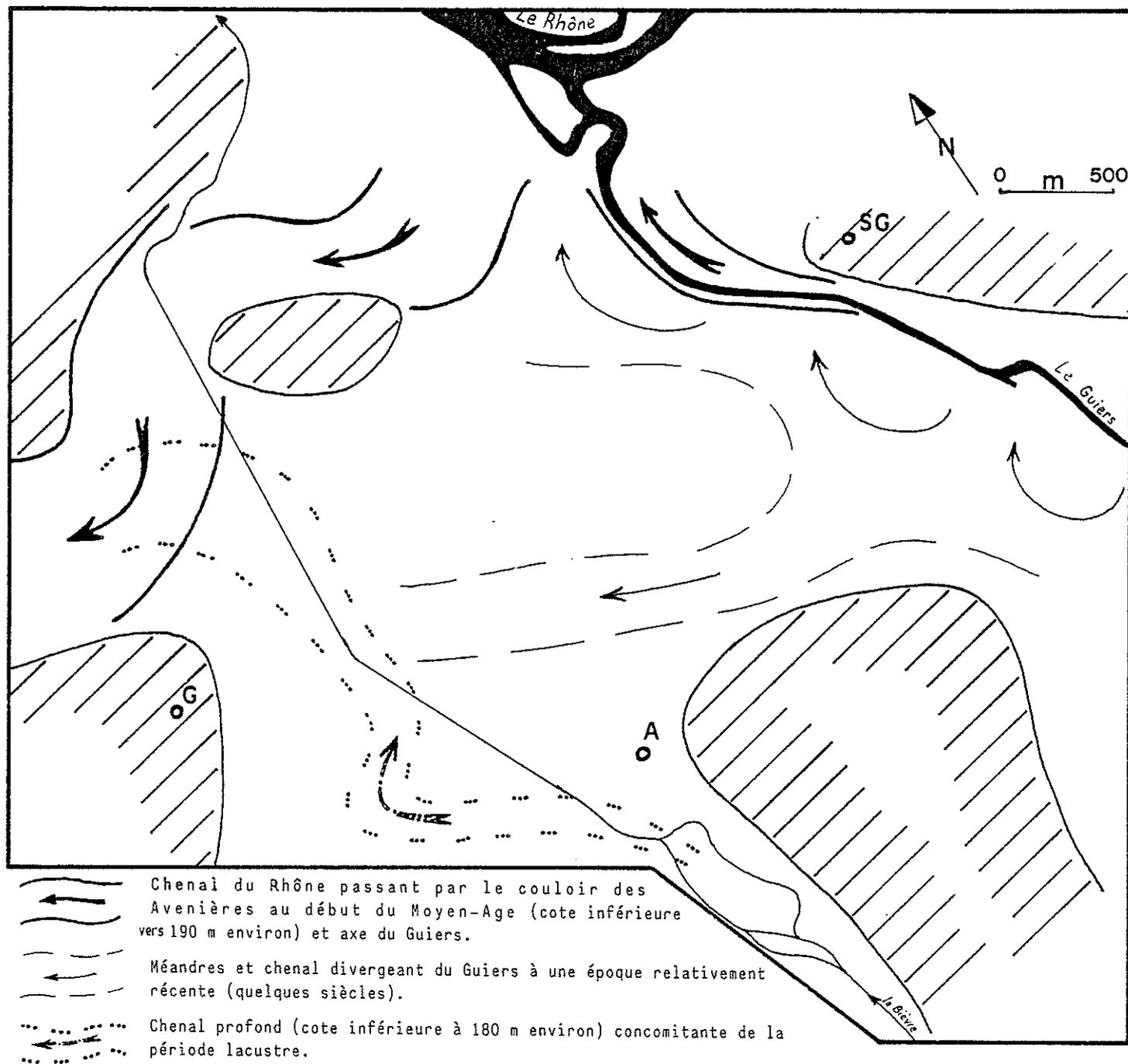


Figure 66 - Carte synthétique des différents chenaux envisagés d'après les sondages effectués sur la plaine d'Aoste.

- la butte de Brangues-Masset dont les résistivités supérieures à 90 ohms-mètres se prolongent vers l'Est.

De ces trois cartes on peut déduire les zones les plus intéressantes (Fig. 66) :

1. Un chenal profond, bien marqué, au bord de la terrasse fluvio-glaciaire de Granieu à Aoste, à valeurs moyennes de résistivité apparente ;

2. des zones plus résistantes dans la seconde couche :

. en rive gauche du Guiers, avec une diffluence possible en direction de Granieu ;

. entre les buttes de Brangues-Masset et du Champ, en direction du couloir des Avenières.

3. Un secteur plus conducteur (plus argileux) s'étirant d'Aoste-Gare de l'Est jusqu'entre Granieu et Brangues-Masset.

A la suite de l'étude de ces cartes, il serait intéressant de préciser, par un complément de trainés électriques, d'une part l'existence d'une liaison Est-Ouest entre le Guiers et la Bièvre, d'autre part la présence d'un paléochenal profond entre Aoste et Granieu (Fig.66). Ce paléochenal serait intéressant à préciser en raison de l'axe de sous-écoulement qu'il pourrait impliquer : le bassin versant de la Bièvre (66km²) peut en effet assurer une bonne alimentation en eau à l'amont de ce chenal.

4.3. La prospection sismique réfraction

Elle consiste à provoquer un ébranlement dans le sol (explosif, choc mécanique) et à mesurer la vitesse de déplacement de l'onde de choc. Celle-ci reflète la compacité de la roche : les roches meubles peu indurées ont des vitesses beaucoup plus lentes que les roches massives.

La Compagnie Nationale du Rhône a défini des valeurs de vitesses propres à la vallée du Rhône entre les barrages de Sault-Brénaz et de Brégnier-Cordon. Celles-ci sont présentées dans le tableau suivant :

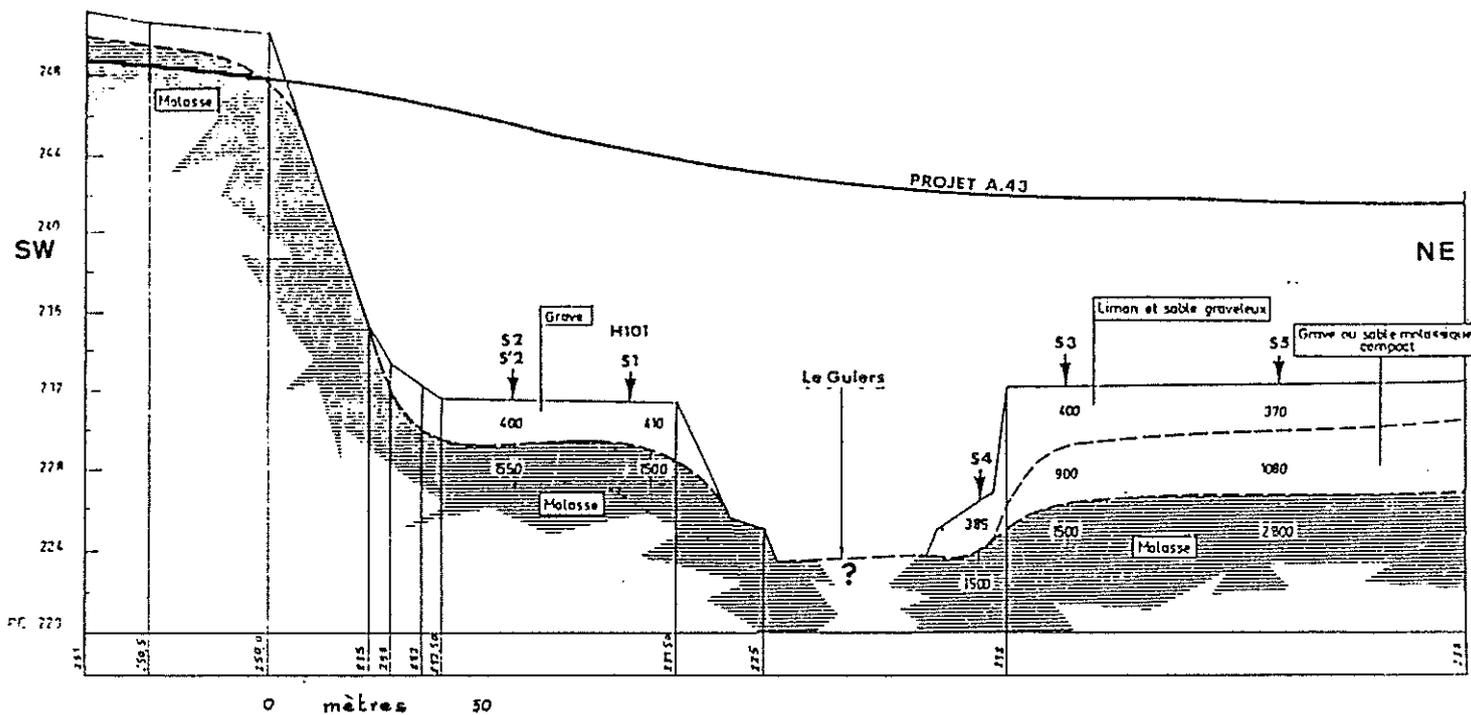


Figure 67 - Profil géosismique transversal au lit du Guiers à l'Est de Ronagnieu (D'après le C.E.T.E.)

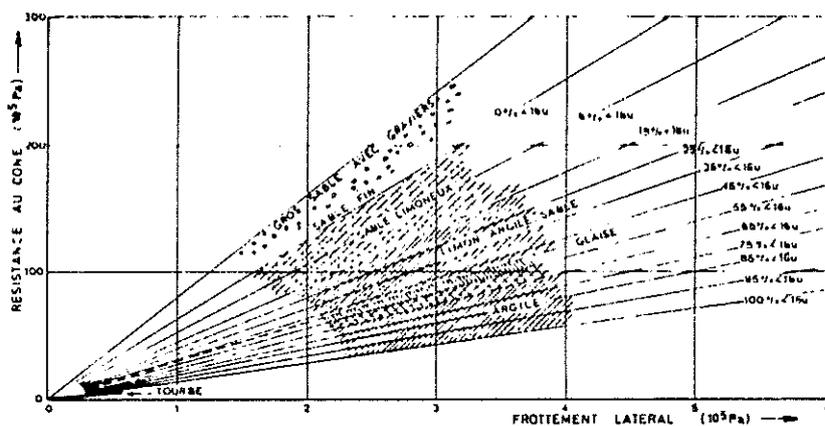


Figure 68 - Relation entre q_c et F_s et le type de sol d'après Begemann (In M.Cassan)

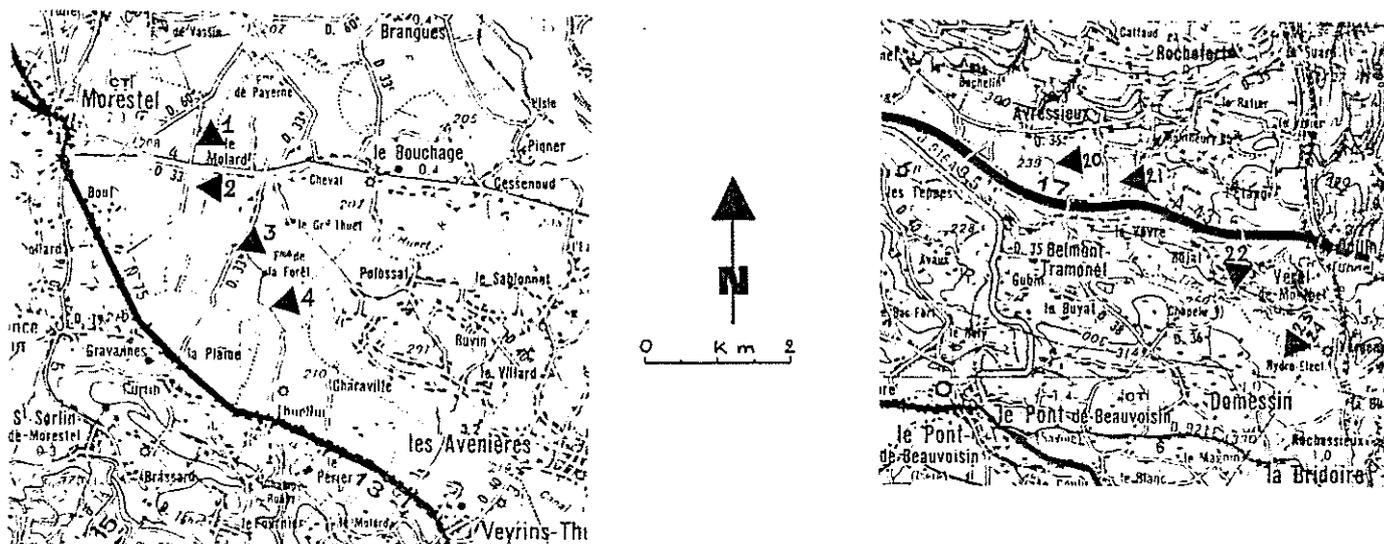


Figure 69 - Position de certains sondages pénétrométriques à l'Ouest et à l'Est du secteur étudié.

Tableau 6 : Vitesses de propagation des ondes dans les terrains de bordure du Rhône, d'après la C.N.R.

| <u>Nature de la roche</u> | <u>Vitesses</u> |
|---------------------------|-----------------|
| Alluvions sèches | 1000 à 2000 m/s |
| Alluvions humides | 1800 à 2000 m/s |
| Molasse | 2500 m/s |
| Calcaire | 4000 à 5000 m/s |

Dans le secteur de Chamolay (Nord-Ouest de Saint Didier d'Aoste) les résultats sont les suivants :

Sables miocènes : vitesse de 1900 à 2000 m/s

Molasse plus indurée (en profondeur) : vitesse de 2300 m/s

Le Centre d'Etudes techniques de l'Equipement (1966) a utilisé cette prospection à l'Est de Romagnieu pour différencier la molasse des dépôts meubles du Guiers (Fig. 67). De cette étude, il ressort qu'en cet endroit les vitesses de propagation des ondes dans la molasse se tiennent entre 1500 et 2800 m/s, alors qu'elles n'atteignent pas 1100 m/s pour les 6 mètres d'alluvions qui la recouvrent au maximum..

On a donc de façon certaine un substratum molassique à faible profondeur sous des alluvions meubles à l'Est de Romagnieu sans surcreusement glaciaire sous le lit du Guiers.

4.4. LES SONDAGES D'ESSAIS PENETROMETRIQUES

La technique consiste à mesurer la pression nécessaire à l'enfoncement d'un train de tiges dans le sol. Les essais ont été exécutés par le Centre expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP) sur les emplacements prévus de pylônes électriques haute tension de l'Electricité de France (ligne Creys-Grande Ile).

Nous avons interprété les diagrammes pénétrométriques en utilisant le diagramme de Begemann (Fig. 68) pour les essais statiques.

Ces essais numérotés de 1 à 24 intéressent, pour certains, des zones hors de notre secteur d'étude :

- de Ps 1 à PS 3 : au Sud-Est de Morestel (Fig. 69),
- le Ps 4 se situe près de l'échelle limnimétrique 304 (Fig.76),
- de Ps 20 à PS 24 : au Nord-Est de Pont-de-Beauvoisin, Savoie (Fig. 69).

Les autres sondages sont localisés sur les cartes des figures 49 et 59.

- Les Ps 1 à PS 3 montrent la continuité du même type de sédimentation dans la plaine du Bouchage. Les PS 20 à PS 24 sont indiqués pour des raisons géomorphologiques (connaissance des surcreusements le long de deux cours d'eau : le Paluel au niveau du marais d'Avressieux -PS 20 et PS 21-, et le Tier -Pd 22, PS 23 et PS 24-).

- Le Ps 5 placé au Nord-Est de Thuellin confirme, sur plus de 8 m d'épaisseur, la nature graveleuse du sous-sol décelée par les sondages électriques p à s de la DDA (Fig. 49).

- Le Pd 6 a rencontré des sables et graviers jusqu'à 14,50 m de profondeur. Situé entre les sondages 301 et 307 de la CPGF, il confirme l'augmentation d'épaisseur du terrain intermédiaire qui passe de 13 m au point 307 à 20 m au point 301.

- Le Pd 8, profil F a traversé des sables et graviers entre 5 et 8,50 m de profondeur. A 11,50 m il atteint une couche sablo-graveleuse qui pourrait également être de la molasse sableuse du substratum. De même le Ps 9 situé non loin du point 103 atteint vers 5,50 m une couche semblable que l'on a interprétée comme étant de la molasse sableuse sur le profil PG.

- Les essais Pd 10 et Ps 11, placés près de la Bièvre (SW de Saint-Didier), ont décelé, sous 2 à 3 mètres d'argile, une couche d'alluvions grossières jusqu'à 7 m de profondeur, reposant sur des sables argileux que la géophysique avait également repérés (profil PI, point 608 de la CPGF et profil P 12).

- les sondages placés au travers de la plaine d'Aoste (profils P 12 et P2) ont confirmé la nature grossière des alluvions dans les premiers mètres du sous-sol : seul le Pd 13 ne présente pas de couche gravelo-caillouteuse, ce qui confirme le sondage géophysique électrique placé en 16.3 (140 ohms-mètres) (Fig.60, profil P 12) et la carte d'équirésistivités pour AB = 40 m (Fig. 64).

4.5. CONCLUSIONS

Au cours de ce chapitre, différentes techniques d'investigation du sous-sol ont permis la reconnaissance du réservoir aquifère. Pour une grande part les données recueillies proviennent de la prospection géophysique électrique.

L'aquifère se situe très généralement à faible profondeur (moins de 15 m), dans des alluvions perméables qui vont des dépôts sableux (résistivités autour de 100 ohms-mètres) à des dépôts beaucoup plus caillouteux (résistivités supérieures à 500 ohms-mètres).

Les alluvions de la nappe du couloir des Avenières présentent une fourchette de résistivités beaucoup plus étroite (150 à 300 ohms-mètres) que ceux de la plaine d'Aoste. Ceci est dû probablement à une granulométrie plus fine des alluvions d'origine rhodaniennes, alors que la plaine d'Aoste est un vaste cône de déjection du Guiers avec des zones à éléments grossiers et d'autres plus argileuses.

Sur 7 kilomètres de long pour 500 à 2000 m de large, la profondeur repérée se tient entre 10 et 15 m - exceptionnellement 20 m - , sous 1 à 5 mètres de couverture argileuse. Le contact amont avec la plaine d'Aoste passe par une ligne Granieu-butte du Champ, soit sur un front de 750 mètres (on verra plus loin -2ème partie- que le contact entre les deux nappes est limité). Latéralement, l'aquifère est bordé par les contreforts molassiques redressés de l'Ile des Avenières et les formations glaciaires ou de déjections au pied du plateau molassique. Ces dernières peuvent être intégrées au volume aquifère (au pied de Corbelin) ou constituer des réservoirs indépendants (cône de Veyrins-Thuellin) en semi-liaison avec celui du couloir.

En profondeur existe un second réservoir, difficilement évaluable dans ses dimensions, à plus de 25 m de profondeur au sein ou plus probablement sous les alluvions argileuses. Sa résistivité est bien supérieure à celle des alluvions argileuses : ceci pourrait indiquer un prolongement du cône graveleux de Veyrins ou également de la molasse sableuse qui affleure de part et d'autre du couloir.

Le réservoir du cône de Veyrins, est isolé de celui du couloir par des formations de bordures plus argileuses. Il passe sans doute partiellement en dessous (voir 2ème partie). Ceci s'explique par le fait que l'extrémité aval supérieure argileuse du cône a été partiellement entaillée par le chenal du Rhône au pied des Avenières. Sa base forme un niveau imperméable bloquant les communications avec sa partie inférieure plus perméable.

La plaine d'Aoste possède un réservoir superficiel (généralement inférieur à 10 m d'épaisseur) graveleux, à couverture argileuse peu épaisse ou absente sur un substratum silto-argileux très épais. Les résistivités supérieures à 300 ohms-mètres au Nord d'Aoste semblent matérialiser un ancien bras du Guiers en direction de la Bièvre. Plus au Nord le réservoir est plutôt sableux (résistivités de 100-150 ohms-mètres) sur la plaine de Champagne jusqu'en direction de Granieu, mais retrouve des résistivités comparables à celles du couloir des Avenières autour et au Nord de la butte de Bragues-Masset jusqu'au Rhône (alluvions graveleuses, apportées par le Rhône?).

A l'aplomb de la Bièvre, un surcreusement d'origine fluvio-glaciaire ou postérieur atteint 25 mètres de profondeur pour des résistivités relativement modestes (100-150 ohms-mètres): la granulométrie de cette partie du réservoir est sans doute plus fine (sables) ou mêlée d'argiles.

Le réservoir a la forme d'un triangle rectangle dont l'hypothénuse s'étire sur 7 km entre le Nord de Romagnieu et le couloir des Avenières. L'angle opposé se situe au Nord de Saint Didier, ce qui donne des dimensions de 6,5 km pour le côté limité par le Guiers, et de 3 km pour le côté nord-ouest, soit une superficie de 11 km² approximativement. Ses limites sont le Guiers à l'Est, les collines molassiques au Sud, le bord du plateau au Sud-Ouest, l'extrémité de l'Île des Avenières et le Rhône au Nord.

Le volume d'alluvions concernées (approximativement, en prenant une épaisseur moyenne de 10 mètres) serait d'une centaine de millions de mètres-cubes, soit avec un coefficient de porosité de 5 % un volume d'eau de 5 millions de mètres-cubes.

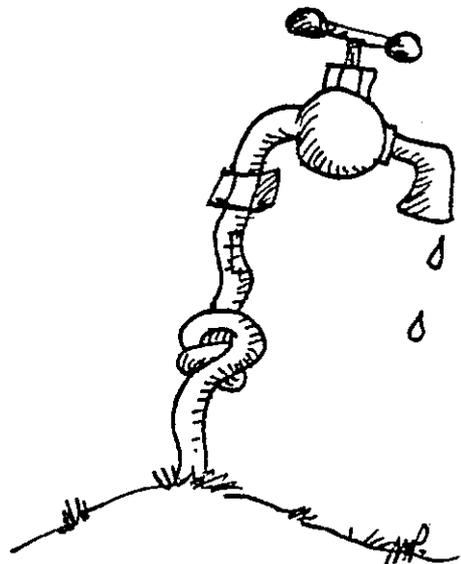
DEUXIEME PARTIE

HYDROGEOLOGIE

CHAPITRE 1 - HYDROCLIMATOLOGIE

CHAPITRE 2 - COMPORTEMENT DES NAPPES AQUIFÈRES

CHAPITRE 3 - CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX
DE LA RÉGION D'AOSTE



CHAPITRE 1

HYDROCLIMATOLOGIE

1 - LES RELEVES METEOROLOGIQUES

Placée en bordure des reliefs calcaires du Bas-Bugey et de la Chartreuse, notre zone d'étude est directement soumise aux perturbations originaires de l'Ouest. Des stations météorologiques locales nous ont permis de comparer leurs résultats de mesures avec ceux de la station que nous avons installée au Nord de Granieu dans le couloir des Avenières. Il s'agit :

- de la station de Faverges-de-la Tour, située sur le plateau à 394 m d'altitude, pour les précipitations;
- des stations de Bourgoin (254 m) et de Courtenay (280 m), pour les relevés de température.

1.1 - La pluviométrie

Du point de vue des précipitations, notre zone d'étude bénéficiait surtout des enregistrements effectués à Faverges-de-la-Tour (394 m), ceux de Pont-de-Beauvoisin (Isère) et de La Balme (Ain) présentant une pluviométrie plus accentuée du fait de la proximité des reliefs.

Notre station de Granieu, placée à 210 m d'altitude dans le couloir des Avenières (250 m à l'Est du point R 186, fig.74) nous a permis d'apprécier les différences climatiques entre la plaine et le plateau des Terres Froides (environ 400 m d'altitude). Le pluviographe a fonctionné de Mars à Décembre 1982:

| 1982 | Alt. | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Totaux |
|----------|------|------|------|----|----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|--------|
| Faverges | 394 | 73 | 17 | 93 | 17 | 71 | 125 | 82 | 89 | 106 | 149 | 161 | 137 | 1120 |
| Granieu | 210 | (73) | (17) | 82 | 17 | 73 | 92 | 80 | 94 | 109 | 143 | 156 | 138 | 1074 |

(73): valeur déduite des précipitations enregistrées à Faverges; les valeurs sont données en millimètres.

La comparaison mois par mois des deux stations ne fait apparaître que peu de différence, si ce n'est en juin (125 mm à Faverges, 92 mm à Granieu) en raison d'un orage le 22 qui n'a affecté que le plateau (21 mm) alors que la plaine n'était que peu concernée (3,5 mm).

Ces développements orageux violents sont assez courants entre Juin et Octobre sur le plateau; tous n'arrosent pas la plaine d'Aoste qui peut rester en dehors de ces précipitations. Le reste de l'année, les précipitations issues de l'Ouest ne semblent pas concernées par les différences d'altitude (effet dû au relief du plateau qui "masque" les creux: il pleut autant à La Tour du Pin (339m), qu'à Faverges (394m).

Nous avons considéré les précipitations mensuelles de Faverges-de-la-Tour au cours des 19 années précédentes (de 1964 à 1982). Nous donnerons la moyenne X, l'écart-type S, ainsi que les valeurs extrêmes minimale m et maximale M.

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Année |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| X | 79 | 80 | 97 | 74 | 96 | 95 | 80 | 87 | 107 | 87 | 102 | 85 | 1070 |
| S | 34 | 44 | 47 | 36 | 34 | 39 | 47 | 32 | 74 | 56 | 45 | 45 | 166 |
| m | 10 | 8 | 18 | 17 | 32 | 24 | 8 | 26 | 8 | 3 | 11 | 9 | 749 |
| M | 139 | 166 | 182 | 127 | 157 | 169 | 164 | 141 | 255 | 229 | 161 | 183 | 1318 |

La moyenne trentenaire (1951-1980) est de 1064 mm, celle des 10 dernières années (1972-1982) de 1113 mm, la pluviosité tend donc à augmenter au cours de la dernière décennie.

Pour l'année 1982, nous avons, à Granieu, l'indicatif saisonnier suivant:

| | |
|-----------|---|
| Hiver | 250 mm, soit 23% des totaux pluviométriques |
| Printemps | 172 mm, soit 16% |
| Eté | 266 mm, soit 24% |
| Automne | 408 mm, soit 37% |

donc la succession A, E, H, P, tout comme à Faverges.

Nous remarquerons cependant que cet indicatif saisonnier est fortement marqué par les précipitations d'automne (37%), alors que sur les 19 années précédemment utilisées pour calculer les moyennes à Faverges, les pourcentages saisonniers moyens sont les suivants:

$$H = 22,8\%; P = 25,0\%; E = 24,5\%; A = 27,7\%$$

soit la succession A, P, E, H

qui traduit des automnes pluvieux et des hivers plus secs.

Cela signifie que l'année 1982, déficitaire en pluie au printemps (64% de la moyenne hivernale), et moyennement arrosée en été, a enregistré un fort excédent au automne (138 % de la moyenne automnale).

Cela aura des conséquences sur les variations des nappes, comme nous le verrons dans le chapitre 2.

Globalement, à Faverges-de-la Tour, 50% des totaux pluviométriques annuels sont compris entre 968mm et 1305mm. Les valeurs décennales et centenaires sont calculées à partir des 19 années considérées:

- année décennale sèche: 847 mm
- année décennale humide: 1293 mm
- année centenaire sèche: 642 mm
- année centenaire humide: 1497 mm

1.2 - Les températures

Nos mesures, quoique limitées dans le temps en raison d'incidents mécaniques, nous ont permis de vérifier la similitude de nos résultats avec ceux des stations de Bourgoïn-Jallieu (254 m) et de Courtenay-Baulieu (280 m).

| 1982 | Alt. | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | my. |
|-----------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| Bourgoïn | 254 | 5.7 | 5.2 | 6.5 | 9.9 | 15.2 | 19.8 | 22.6 | 19.3 | 18.5 | 12.0 | 8.3 | 4.8 | 12.3 |
| Granieu | 210 | (5.7) | (5.2) | (6.5) | 10.0 | 15.4 | 19.6 | 21.4 | 18.3 | 17.3 | 12.3 | (8.3) | (4.8) | 12.1 |
| Courtenay | 280 | 4.4 | 4.3 | 5.7 | 9.3 | 13.7 | 18.6 | 21.3 | 18.2 | 17.2 | 10.5 | 7.4 | 3.7 | 11.2 |

(5.2): valeur déduite des mesures effectuées à la Station de Bourgoïn-Jallieu, pour les mois non enregistrés.

Les températures de Granieu sont semblables à celles de Bourgoïn au printemps et en début d'automne, alors que les mois d'été (Juillet à Septembre) sont moins chauds et donnent des températures proches de celles de Courtenay.

On peut admettre, en l'absence d'enregistrements durant l'hiver, qu'en dehors de l'été, saison pendant laquelle la station de Bourgoïn-Jallieu enregistre des températures plus élevées du fait de sa position encaissée, les températures de cette station et de celle de Granieu sont voisines. En été par contre, Courtenay, quoique d'altitude supérieure, présente les mêmes températures que celles de Granieu (inférieures de 1° à celles de Bourgoïn).

Nous avons comparé nos mesures de 1982 avec celles de l'année moyenne obtenue, comme pour la pluviométrie, à partir des résultats acquis, de 1964 à 1982 sur la station de Bourgoïn, et de 1971 à 1982 sur celle de Courtenay.

Bourgoin

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Année |
|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| X | 2.6 | 4.6 | 7.1 | 10.1 | 14.7 | 18.1 | 20.4 | 19.6 | 16.3 | 11.9 | 6.6 | 3.0 | 11.2 |
| S | 1.9 | 2.2 | 1.6 | 1.4 | 1.0 | 1.4 | 1.4 | 1.1 | 1.4 | 1.8 | 1.2 | 2.0 | 0.5 |
| m | -0.4 | 0.1 | 2.9 | 7.6 | 13.0 | 16.2 | 18.2 | 17.8 | 12.8 | 7.8 | 4.2 | -1.5 | 10.6 |
| M | 6.2 | 8.4 | 10.3 | 12.7 | 16.3 | 21.2 | 22.7 | 21.5 | 18.5 | 14.4 | 8.7 | 6.2 | 12.3 |

Courtenay

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Année |
|---|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| X | 1.4 | 3.8 | 5.9 | 8.9 | 13.5 | 16.8 | 19.1 | 18.7 | 15.2 | 10.8 | 5.4 | 2.1 | 10.1 |
| S | 2.2 | 2.0 | 2.2 | 1.3 | 1.1 | 1.7 | 1.4 | 1.1 | 1.6 | 1.5 | 1.3 | 1.5 | 0.6 |
| m | -1.4 | 0.1 | 1.4 | 6.8 | 12.2 | 15.2 | 17.1 | 17.1 | 12.0 | 8.6 | 3.0 | -0.2 | 9.3 |
| M | 4.8 | 6.4 | 9.2 | 15.5 | 15.0 | 20.4 | 21.3 | 20.1 | 17.2 | 13.2 | 7.4 | 4.0 | 11.2 |

Ainsi l'année 1982 est la plus chaude des années considérées: 12°3 au lieu de 11°2 de température moyenne à Bourgoin. Ceci apparaît dans les valeurs obtenues en Janvier (5°7 au lieu de 2°6), supérieures à celles de Février (5°2), et explique la quasi absence de neige sur le plateau de Faverges-de-la-Tour pendant l'hiver. Les températures de Juin, Juillet, Septembre sont 2° au-dessus de leurs valeurs moyennes mensuelles, celles de Novembre et Décembre dépassent les moyennes de 1°7.

Les moyennes saisonnières sont les suivantes (sur les années étudiées)

| Saison | Bourgoin | Courtenay |
|-------------------|----------|-----------|
| Hiver (D, J, F) | 3.4 | 2.4 |
| Printemps (M,A,M) | 10.6 | 9.4 |
| Eté (J, J, A) | 19.4 | 18.2 |
| Automne (S,O,N) | 11.6 | 10.5 |

En 1981-1982, nous obtenons:

| Saison | Bourgoin | Granieu | Courtenay |
|-------------------|----------|---------|-----------|
| Hiver (D, J, F) | 5.1 | 5.1 | 4.1 |
| Printemps (M,A,M) | 10.5 | 10.6 | 9.6 |
| Eté (J,J,A) | 20.6 | 19.8 | 19.4 |
| Automne(S,O,N) | 12.9 | 12.6 | 11.7 |

En l'absence de relevés de températures sur le plateau des Terres Froides, nous avons calculé un gradient thermique moyen entre Bourgoin (254 m, 11°2) et La Tour du Pin (339 m, 10°5 de moyenne pour les années 1971 à 1982). Nous obtenons une valeur de gradient de 0,8°/100m, soit une température moyenne annuelle possible de 10°1 à Faverges-de-la-Tour.

En 1982, le gradient thermique entre Bourgoin et La Tour-du-Pin est de 0,9°/100 m, ce qui donne une température annuelle moyenne

de 11.0° pour Faverges. En utilisant les différences de température entre ces deux stations, on a extrapolé les valeurs de températures mensuelles en 1981-1982 pour une altitude de 370 m.

| | O | N | D | J82 | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|----------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Bourgoin | 12.4 | 5.7 | 4.3 | 5.7 | 5.2 | 6.5 | 9.9 | 15.2 | 19.8 | 22.6 | 19.3 | 18.5 | 12.0 | 8.3 | 4.8 |
| La Tour du Pin | 11.5 | 5.2 | 3.7 | 5.0 | 4.5 | 5.9 | 8.8 | 14.0 | 18.8 | 21.2 | 18.5 | 17.7 | 11.5 | 7.5 | 4.1 |
| Faverges 370m | 11.2 | 5.0 | 3.5 | 4.7 | 4.2 | 5.7 | 8.4 | 13.6 | 18.4 | 20.7 | 18.2 | 17.4 | 11.3 | 7.2 | 3.8 |

En utilisant les valeurs mensuelles, la température moyenne obtenue pour l'année 1982 est alors de 11.1°, ce qui correspond assez bien à la valeur précédemment calculée à partir du gradient thermique annuel (11.0°).

1.3 - Les vents (Fig. 70)

Nous reprenons ici les valeurs obtenues auprès de la NERSA par J.P. BOZONAT (rapport DDA/remembrement, 1982). Les mesures de vents sont effectuées sur le site EDF de Creys-Malville, à une quinzaine de kilomètres au NNW de Granieu.

Les vents calmes (vitesses inférieures à 1 m/s) représentent plus de 50% des mesures. La vitesse moyenne est de 2,2 m/s. Les vents violents sont rares.

La direction des vents est le plus souvent NW-SE, ce qui correspond à l'axe de la vallée du Rhône et du couloir des Avenières. L'orientation principale N 300° représente 10.8% des mesures, l'orientation secondaire et opposée à la précédente N 120° totalise 6.3% des mesures (fig.68).

Les fréquences des vitesses sont les suivantes:

| | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| vitesses en m/s | 0-0.9 | 1-1.9 | 2-2.9 | 3-3.9 | 4-4.9 | 5-5.9 | 6-6.9 | 7-7.9 | 8 et + |
| fréquence en % | 50.6 | 16.6 | 12.6 | 8.1 | 5.0 | 3.4 | 2.1 | 1.0 | 0.6 |

2 - EVAPOTRANSPIRATION ET BILANS HYDRIQUES

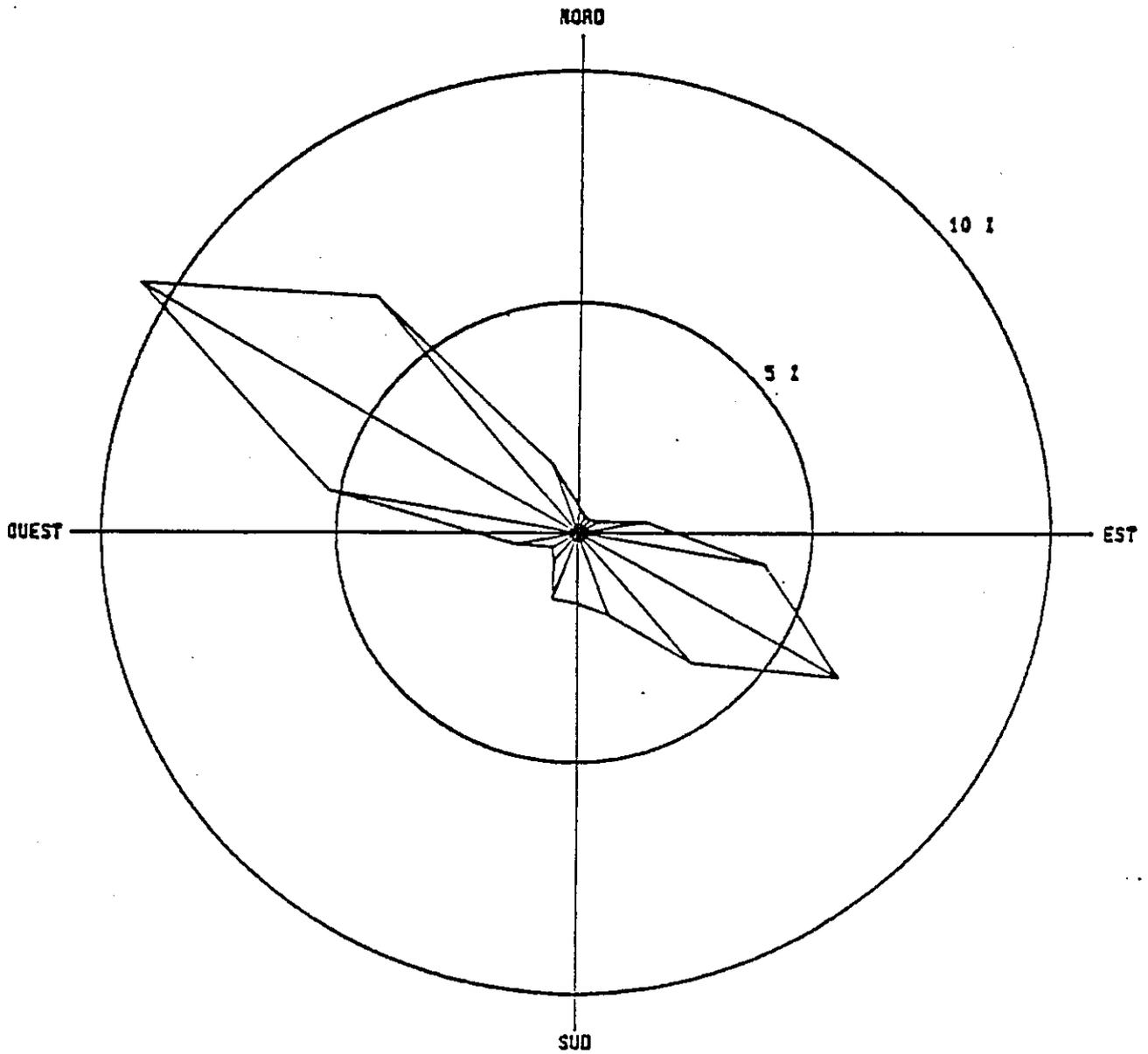
Différents auteurs ont essayé de quantifier l'importance de l'évapotranspiration (TURC, CONTAGNE, THORNTHWAITE,...): elle représente une bonne part de l'eau précipitée qui retourne à l'atmosphère sous l'effet de l'évaporation de l'eau du sol et de l'activité biologique des végétaux.

Figure 70 - FREQUENCE DES DIRECTIONS DU VENT

NOVEMBRE 1910 - SEPTEMBRE 1981

CREYS 10 M

ANNEE



OMBRE D OBSERVATIONS 133393

FREQUENCE DES VENTS CALMES 50.58 %

(D'après document E.D.F.)

2.1 - L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L. TURC propose la formule suivante: $ETP = 0.40 \frac{t}{t + 15} \times (I_g + 50)$
avec $I_g = I_{gA} \times (0.18 + 0.62 \frac{h}{H})$

qui tient compte:

- . de la durée mensuelle d'insolation h, en heures/mois;
- . de la durée astronomique du jour H, en heures/mois;
- . de l'énergie de la radiation solaire atteignant le sol sans atmosphère, I_{gA} , en cal/cm²/jour;
- . de la température moyenne mensuelle en degrés celsius.

* I_g représente alors la radiation globale moyenne d'origine solaire, en cal/cm²/jour, sachant que H et I_{gA} sont fonction de la latitude et données par des tables;

* ETP est alors l'évapotranspiration potentielle calculée en mm.

Ainsi, pour connaître l'ETP des bassins versants du Pissoud et de la Bièvre, nous avons utilisé les données d'ensoleillement de la station d'Ambérieu (Ain), la plus représentative de l'insolation sur notre secteur d'étude, et les températures extrapolées à partir des valeurs mesurées à Bourgoin et à La Tour-du-Pin. Les valeurs mensuelles d'ETP obtenues ont été reportées dans le bilan hydrique de G.W. THORNTWAITE (§ 2.2).

2.2 - Bilans d'eau pour l'année 1982

La méthode de C.W. THORNTWAITE a été appliquée pour les bassins versants du Pissoud et de la Bièvre, en tenant compte:

1. de la pluviométrie mensuelle: les précipitations utilisées sont celles enregistrées à Faverges-de-la-Tour.

Pour le Pissoud, le bassin versant présente une médiane altimétrique de 375 m et une moyenne de 370 m, proches de la cote de la station (394 m), (Fig.71).

Pour la Bièvre, l'altitude médiane du bassin versant est de 350 m, la moyenne altimétrique de 365 m. Nous estimerons que les précipitations sont équivalentes à celles enregistrées à Faverges, étant donné qu'ici la pluviosité croît davantage en fonction du rapprochement des reliefs cartusiens qu'en raison de l'altitude (la station de Pont-de-Beauvoisin, quoique située à 230 m, a reçu 1 258 mm d'eau en 1982).

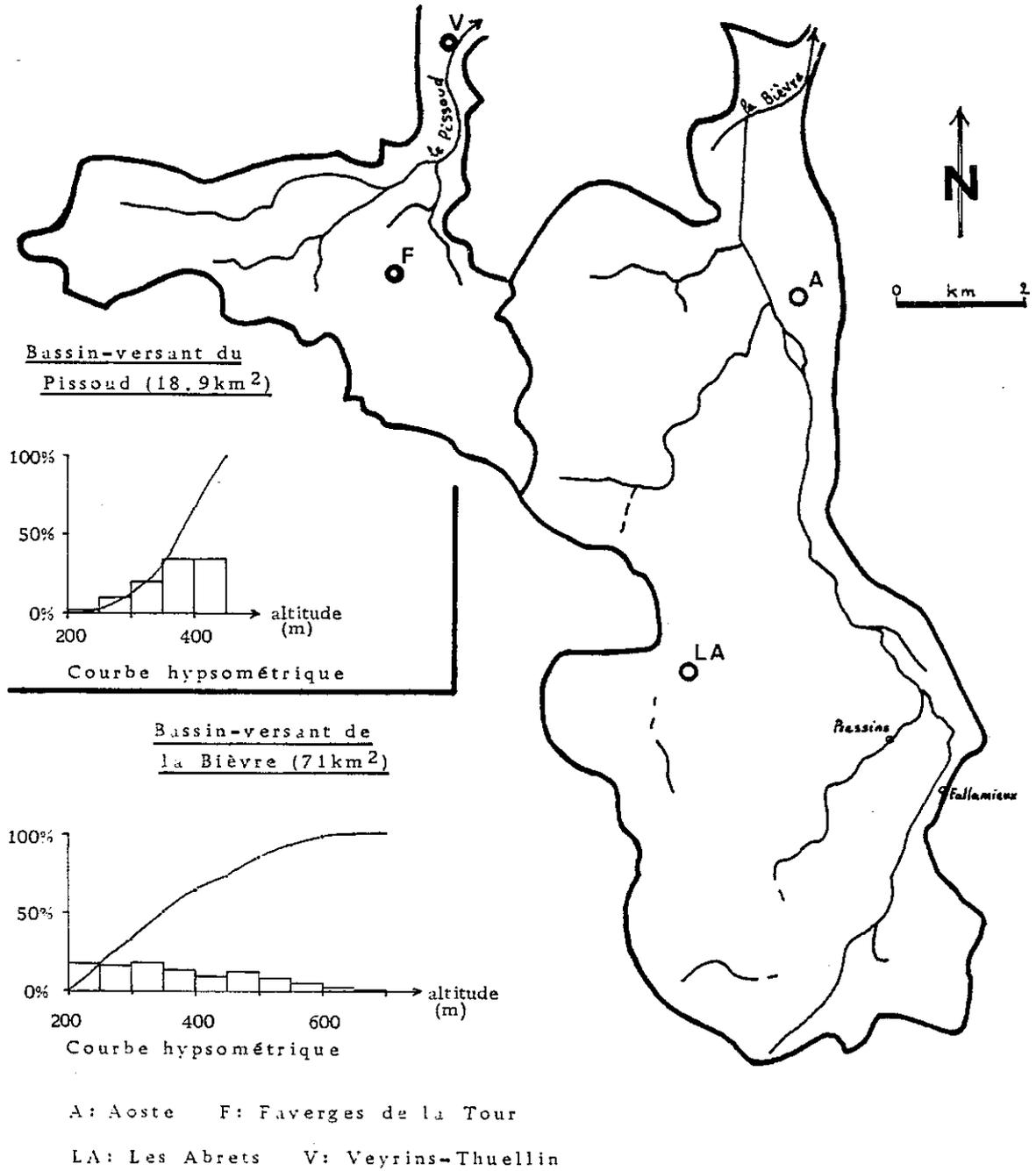


Figure 71 - Bassins-versants du Pissoud et de la Bièvre.

2. de l'évapotranspiration potentielle ETR calculée d'après la formule de TURC vue précédemment (§ 2.1):

3. de l'évapotranspiration réelle ETR, égale à l'ETP lorsque la pluviométrie mensuelle atteint ou dépasse l'évapotranspiration mensuelle. Les précipitations excédentaires participent alors au maintien d'une réserve d'eau utile dans le sol, réserve estimée généralement en France à une tranche d'eau de 100 mm (CASTANY). Si l'apport dû aux précipitations entraîne un dépassement de ces 100 mm, l'excédent constitue alors le "water-surplus" (THORNTWAITE). Au contraire, si les précipitations sont plus faibles que l'évapotranspiration, on enregistrera un déficit en eau qui entraînera l'utilisation d'une partie de la réserve d'eau contenue alors dans le sol (variation de la réserve). Si ces conditions pluviométriques persistent, la réserve du sol s'épuisera.

4. de la pluviométrie utile, portion de la pluviométrie qui reste une fois déduite la part évapotranspirée; elle sera positive en cas de "water-surplus", négative si l'ETR est supérieure aux précipitations.

Ceci nous permettra de calculer l'écoulement Q qui transite à l'aval du bassin par ruissellement et infiltration . En effet, dans la formule d'équilibre du bilan:

$$P = ETR + Q$$

nous mesurons P et calculons ETR. Différents auteurs (THORNTWAITE, CASTANY) admettent que la moitié du "water-surplus" est utilisée par l'écoulement le mois correspondant, le reste n'étant que progressivement restitué à l'aval et comptabilisé le mois suivant dans les calculs.

La lame d'eau ainsi obtenue pour l'écoulement mensuel permet de connaître le débit possible de transit à l'aval du bassin versant. En effet, en considérant la surface S du bassin versant et la lame d'eau écoulée Q, nous obtenons le volume transité à l'aval dans le mois, soit le débit d'écoulement mensuel moyen en litres par seconde.

L'usage de limnigraphes en aval des bassins versants permettrait de quantifier la part due au ruissellement R dans les écoulements évacués et de saisir l'importance de l'infiltration I (débit des nappes):

$$I = Q - R$$

Tableau 7 : Bilan d'eau pour les bassins de la Bièvre et du Pissoud, en 1982

| 1982 | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Année |
|---------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|------|------|--------|
| Pluviométrie | 73 | 17 | 93 | 17 | 71 | 125 | 82 | 89 | 106 | 149 | 161 | 137 | 1120 |
| ETP | 13 | 19 | 33 | 75 | 98 | 113 | 125 | 101 | 80 | 34 | 22 | 9 | 722 |
| ETR | 13 | 19 | 33 | 75 | 98 | 113 | 109 | 89 | 80 | 34 | 22 | 9 | 694 |
| P utile: P - ETR | 60 | -2 | 60 | -58 | -27 | 12 | -27 | 0 | 26 | 115 | 139 | 128 | |
| Variation réserve | | -2 | | -58 | -85 | -73 | -100 | -100 | -74 | | | | |
| Réserve d'eau utile | 100 | 98 | 100 | 42 | 15 | 27 | 0 | 0 | 26 | 100 | 100 | 100 | |
| Excédent Water surplus | 60 | | 58 | | | | | | | 41 | 139 | 128 | |
| Écoulement mm | 80 | 40 | 49 | 25 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | 21 | 80 | 104 | 423 |
| B.V. du Pissoud l/s | 560 | 310 | 340 | 180 | 85 | 40 | 20 | 10 | 5 | 150 | 580 | 760 | 2501/s |
| B.V. de la Bièvre l/s | 2120 | 1170 | 1300 | 680 | 320 | 160 | 80 | 50 | 25 | 560 | 2190 | 2750 | 9501/s |

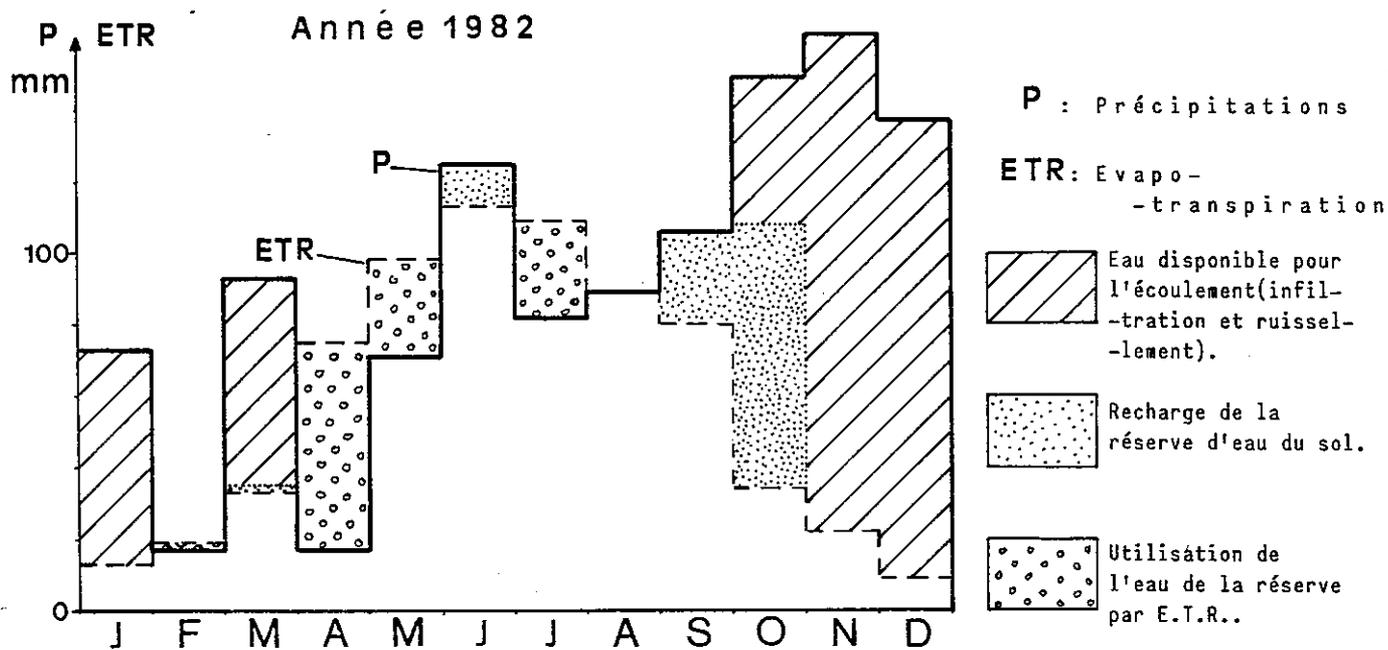


Figure 72 - Bilan de l'eau à l'altitude moyenne de 370 m
(Faverge de la Tour)

Dans la réalité, la part de l'écoulement qui s'infiltré atténue les différences entre les écoulements mensuels. Ainsi, les écoulements d'été calculés ne représentent pas la réalité, les débits affichés étant déjà, à eux seuls, nettement inférieurs aux débits de la Bièvre ou du Pissoud: seule la valeur moyenne sur l'année peut être retenue. Il faut donc considérer que, dans notre région, la part du "water-surplus" utilisable le mois correspondant est inférieure à la moitié, le reste s'écoulant progressivement au cours des mois suivants et participant à un débit assez régulier tout au long de l'année.

Le bilan hydrique montre, pour l'année 1982, une importante contribution de la réserve à l'évapotranspiration (6 mois sur 12): les faibles précipitations de printemps (jusqu'en Mai) n'ont pu compenser, à elles seules, l'évapotranspiration qui a utilisé dès cette époque la réserve d'eau entretenue par les systèmes des plantes à faible profondeur. Aux mois de Juillet et Août, la réserve de 100mm (CASTANY) étant épuisée et les pluies insuffisantes, l'évapotranspiration réelle ETR est en déficit par rapport à l'évapotranspiration potentielle ETP. Cela signifierait en principe un dessèchement de la surface du sol, ce qui ne s'est pas réalisé en raison du pouvoir de rétention de l'eau dans le sol qui augmente proportionnellement à l'augmentation de sa dessiccation, et de la possibilité pour les plantes d'utiliser des eaux plus en profondeur.

Les excédents en eau sont faibles en Janvier, Mars et Octobre, absents d'Avril à Septembre. Ils sont importants au cours des deux derniers mois, alors que la réserve d'eau utile a retrouvé ses 100 mm en Octobre, ce qui permet à la pluviométrie utile d'être totalement disponible sous la forme d'écoulement.

Sur l'ensemble de l'année 1982, on obtient des débits d'écoulement moyens de:

- 250 l/s à l'aval du bassin versant du Pissoud, à Veyrins-Thuellin;
- 950 l/s à l'aval du bassin versant de la Bièvre, à Saint-Didier-d'Aoste.

Ces valeurs, obtenues par le calcul à partir du bilan hydrique de THORNTHWAITE, sont théoriques. Pour la Bièvre, il est possible que des axes de sous-écoulements issus du Guiers participent à l'alimentation de la nappe et augmentent d'autant cette valeur de 950 l/s.

Sur ces deux bassins versants, nous obtenons un écoulement spécifique théorique de 13 l/s/km², valeur qui regroupe le ruissellement et l'infiltration.

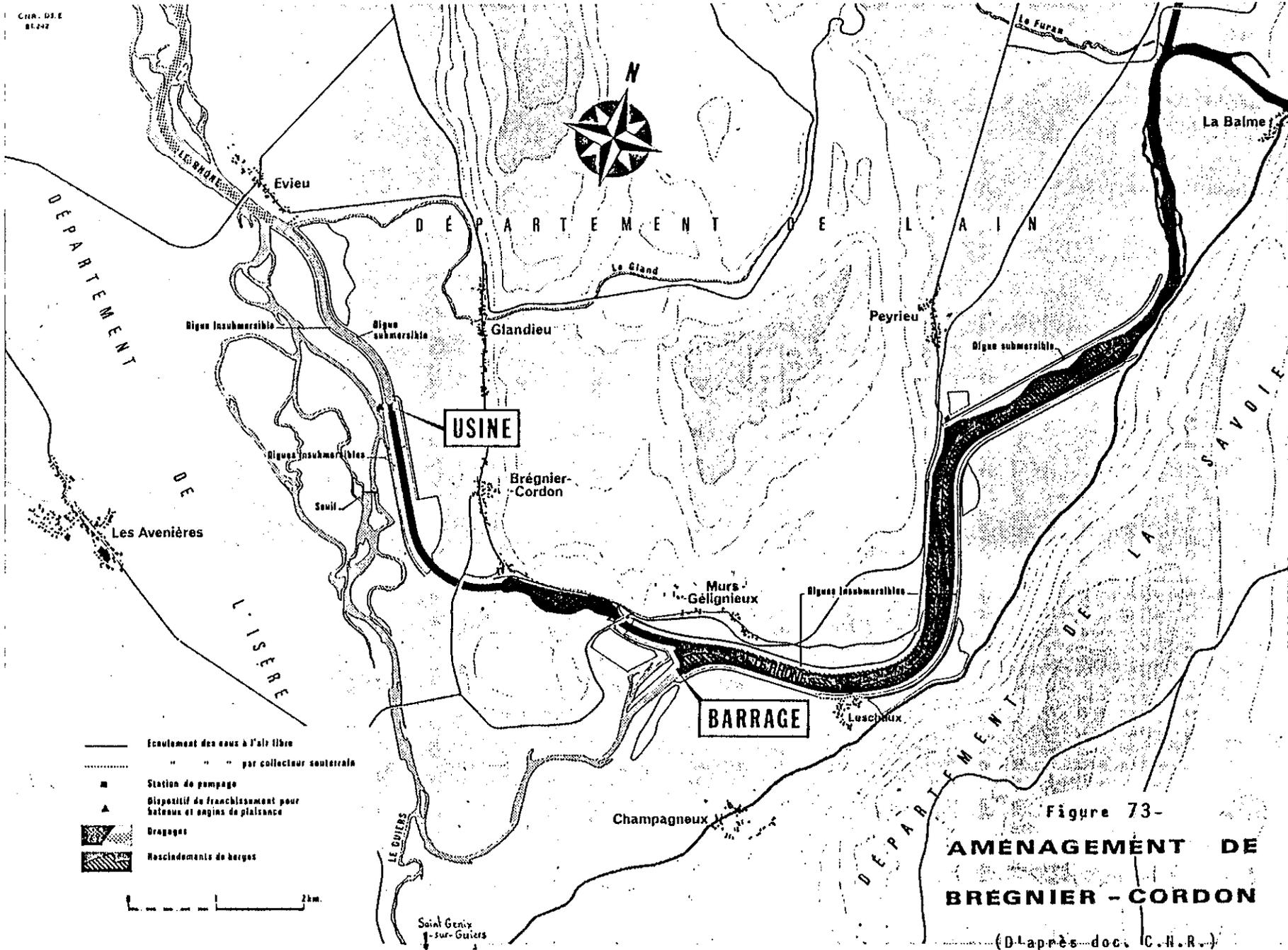


Figure 73-
**AMÉNAGEMENT DE
 BRÉGNIER - CORDON**

(D'après doc. C.H.R.)

3 - HYDROLOGIE

Avertissement

Toute étude hydrologique nécessite des données chiffrées des débits de rivières . Nous ne présentons ici que les grandes lignes du comportement hydraulique des cours d'eau, en raison de la faiblesse des moyens mis en oeuvre:

- absence de limnigraphes à l'aval des bassins-versants étudiés;
- tarages de stations sur la Bièvre (point 303, fig.77) et sur les canaux (points 304 et 305, fig.76), initialement envisagés par la CNR, non réalisés;
- indisponibilité provisoire des enregistrements des débits du Guiers, effectués en 1982 à l'Est de Romagnieu (Les Teppes) par le Service hydrologique centralisateur.

3.1 - Le Rhône

Ses fluctuations nous intéressent du fait de son rôle de barrage hydraulique en aval de la nappe de la plaine d'Aoste.

Les débits sont enregistrés par la Compagnie Nationale du Rhône à Sault-Brénaz, 35 km en aval de Saint-Didier d'Aoste. Entre ces deux points viennent s'ajouter les eaux de quelques ruisseaux issus du Bas-Bugey, en rive droite et des Terres Basses en rive gauche, dont les débits sont proportionnellement très inférieurs à celui du Rhône.

On peut considérer que les débits à Sault-Brénaz et à Saint-Didier d'Aoste sont assez proches en dehors des périodes de grandes crues:

- débit moyen annuel (1920-1982): 449 m³/s à Sault-Brénaz;
- débit moyen annuel (1956-1977): 413 m³/s à La Balme (NW de Saint-Didier)

Lors des crues importantes, la plaine du Bouchage, à l'aval de Saint-Didier, se trouve inondée et joue, de ce fait, un rôle de volant régulateur qui atténue les pics de crues et entraîne leur étalement dans le temps (cas possibles pour les débits supérieurs à 1000 m³/s).

A la station de La Balme, l'ajustement d'une loi de Gumbel aux débits maximums enregistrés entre 1953 et 1977 conduit à attribuer des débits de:

- 1800 m³/s à la crue décennale (crue de Février 1957);
- 2300 m³/s à la crue centenaire;
- 2800 m³/s à la crue millénaire (adaptation de Gumbel réalisée par la CNR).

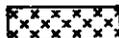
Fig.74 - Débits du Rhône à

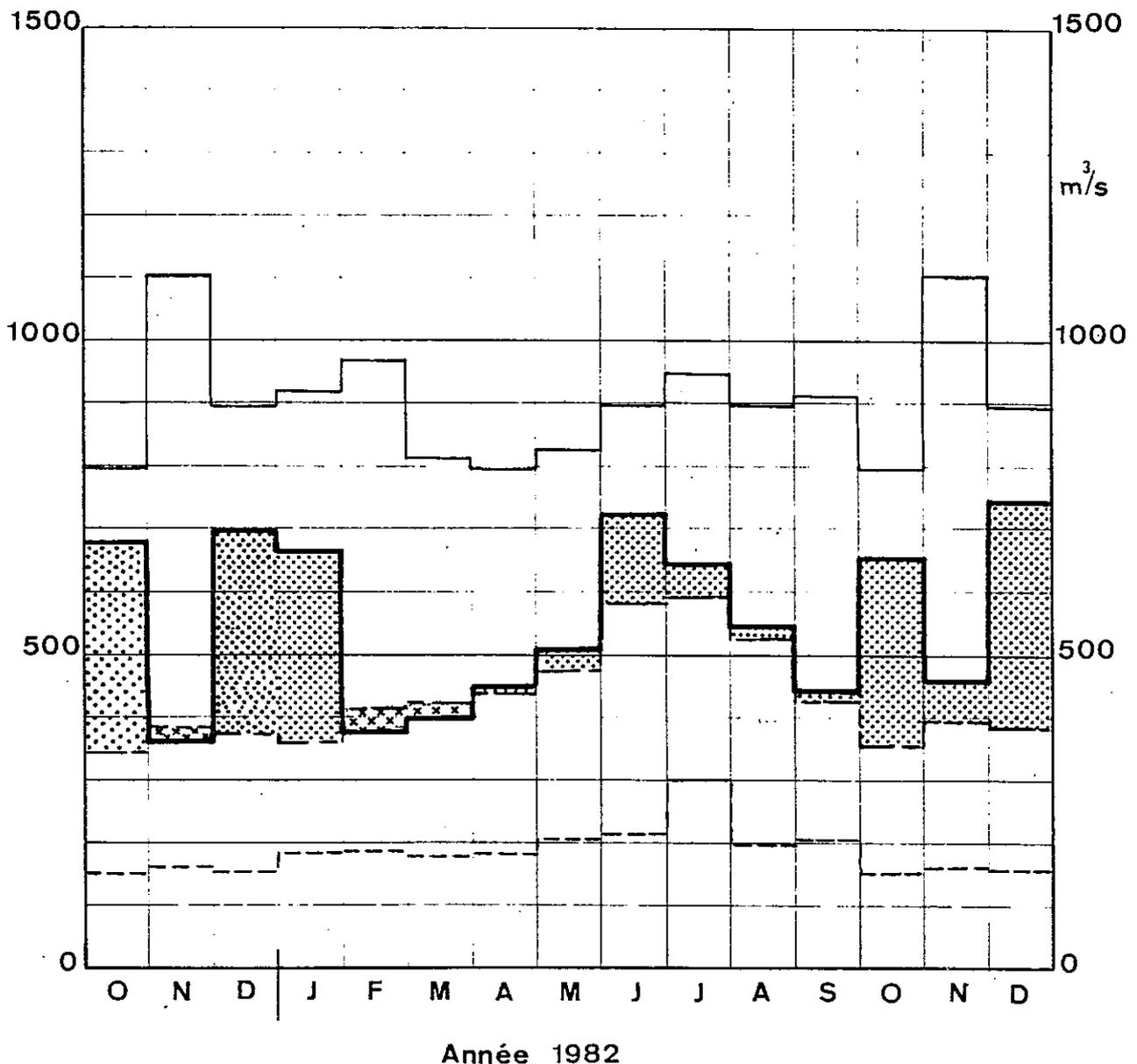
SAULT-BRENAZ

(D'Octobre 1981 à Décembre 1982)

(D'après document C.N.R.)

- Débits mensuels maxima de la période 1920.1982
- - - Débits mensuels minima de la période 1920.1982
- · - Débits mensuels moyens de la période 1920.1982
- Débits mensuels année 1982

-  Déficit sur année moyenne
-  Excédent sur année moyenne



L'aménagement du barrage de Brégnier-Cordon par la CNR (en fin de réalisation) court-circuite le Rhône en amont de Saint-Genix-sur-Guiers (fig. 73). Les débits maintenus en aval de la confluence avec le Guiers ne devraient pas dépasser 40 m³/s (C.N.R., dossier d'impact sur l'environnement, 1979): un seuil est donc prévu pour maintenir la cote du fil de l'eau. Néanmoins, près de la confluence avec le Guiers, le niveau du Rhône sera inférieur de 60 cm au niveau de son débit d'étiage (165 m³/s), et inférieur de 1,50m au niveau de son débit semi-permanent (380 m³/s), ce qui se répercutera sur le comportement aval de la nappe issue de la plaine d'Aoste (voir chapitre 2).

- Régime du Rhône:

La station limnimétrique placée à La Balme (Ain), 13 kilomètres en amont de Saint-Genix, donne les débits moyens mensuels suivants (C.N.R. période 1956-1977):

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Débit moyen m ³ /s | 332 | 408 | 399 | 419 | 454 | 522 | 550 | 484 | 392 | 305 | 343 | 350 |

Soit un régime nivo-glaciaire, avec augmentation nette du débit de Mai jusqu'en Août (maximum en Juillet: 550m³/s), et une faible influence des pluies en Novembre-Décembre (350m³/s).

Les débits caractéristiques à La Balme sont les suivants (C.N.R.1979)

- . Etiage absolu 90 m³/s
- . Etiage conventionnel (débit dépassé 355 jours par an)..... 165 m³/s
- . Débit semi-permanent 380 m³/s
- . Débit moyen 413 m³/s
- . Débit dépassé 10 jours par an 850 m³/an

Le diagramme des débits mensuels de l'année hydrologique 1981-1982 à Sault-Brénaz (fig. 74) présente, outre un pic de débit pendant l'été, un second pic en Décembre-Janvier 1982 et un troisième, isolé, en Octobre. Ces deux derniers résultent des précipitations supérieures à la moyenne que l'on a enregistrées à ces époques, et de la douceur exceptionnelle du mois de Janvier qui a pu transformer en pluie jusqu'à une altitude élevée les précipitations ordinairement neigeuses.

Les précipitations importantes enregistrées en Novembre (161mm à Faverges de la Tour) affectent peu le débit du Rhône: en fait la perturbation est restée bloquée sur la vallée du Rhône et ses bordures (notre région) et a peu touché le bassin du Haut Rhône, ce qui explique le creux observé en Novembre pour les débits du Rhône à Sault-Brénaz.

Le débit annuel de 1982 à cette station est de 24% supérieur à celui de la moyenne annuelle: 555 m³/s au lieu de 449 m³/s. Nous concluons donc que le rôle de barrage hydraulique joué par le Rhône en aval de la nappe de la plaine d'Aoste a été plus important que lors d'une année à débit moyen du Rhône, ce qui s'est traduit par un niveau plus haut de la nappe en aval (cf.chapitre 2).

3.2 - Le Guiers

Il borde la plaine d'Aoste depuis Romagnieu jusqu'au Rhône . Au siècle dernier, son cours présentait plusieurs méandres qui ont disparu, côté Dauphiné, à la suite de la construction de digues. Cet aménagement a provoqué un phénomène d'érosion avec encaissement du lit du Guiers vers l'amont (NE de Romagnieu) en conséquence de l'augmentation de la pente du lit. Par contre, en aval, la digue a dû être récemment renforcée au niveau du domaine des Flandres, (Sud de Saint-Genix) car la boucle de méandre qui s'est développée depuis, côté Savoie, lui renvoie les eaux perpendiculairement à son axe.

- Régime du Guiers

Les résultats des mesures de débit enregistrées en 1981-1982 à l'ancienne usine hydroélectrique des Teppes (Romagnieu) n'ont pu être exploités (dépouillement des mesures en cours par le Service Hydrologique centralisateur). Ceci ne nous a pas permis de préciser les interactions possibles entre les débits du Guiers et le niveau de la nappe.

La répartition des débits moyens mensuels entre 1964 et 1975 est la suivantes (CNR 1979):

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|----------------------------------|------|------|------|------|----|------|----|-----|------|------|------|----|
| Débit moyen m ³ /s | 13.5 | 15.1 | 18.9 | 23.5 | 22 | 17.1 | 11 | 8.4 | 11.7 | 10.3 | 15.2 | 16 |

soit un régime nivo-pluvial bien défini, avec un pic principal en Avril (23,5 m³/s) et Mai (22 m³/s) qui correspond à la fonte des neiges, et un pic secondaire en Novembre - Décembre (16 m³/s) qui résulte des pluies d'automne.

Les débits caractéristiques sont les suivants:

| | |
|--|------------------------|
| . Etiage absolu | 3 m ³ /s |
| . Etiage conventionnel (débit dépassé 355 j/an)..... | 4 m ³ /s |
| . Débit semi-permanent | 12 m ³ /s |
| . Débit moyen | 15.4 m ³ /s |
| . Débit dépassé 10 jours par an | 47 m ³ /s |

Le maximum journalier enregistré entre 1964 et 1975 est de 148 m³/s (CNR).

Compte-tenu de l'année exceptionnelle enregistrée pour les précipitations (déficit au printemps, excès en automne), nous pensons qu'en 1982 les débits d'été ont pu être un peu moins importants (moindre enneigement), mais que les précipitations d'Octobre à Décembre (+63%) ont induit des débits nettement supérieurs aux moyennes mensuelles. Nos relevés mensuels au pont de Saint-Genix (fig. 75), quoique peu représentatifs des débits mensuels, montrent une période de hautes-eaux de Mars à Mai qui correspond à la fonte des neiges (précipitations printanières faibles), une période de basses-eaux de Juillet à Septembre, et une nette remontée d'Octobre à Décembre (précipitations importantes).

3.3 - La Bièvre

Issue du Plateau des Terres Froides (Sud-Ouest de Pont-de-Beauvoisin, fig.71) ou elle porte encore les noms de ruisseau des Rajans (Fallamieux) et ruisseau de la Corbassières (Pressins), elle rejoint la plaine d'Aoste après un parcours de 12km à travers le plateau, puis les collines molassiques. Elle est alors presque entièrement canalisée à travers la plaine jusqu'au Nord de Saint-Didier d'Aoste où elle atteint le Rhône. Son bassin versant représente une surface de 71km² et s'étire sur 16km de long.

La C.N.R. a placé une échelle limnimétrique à Saint-Didier: le tarage de cette station n'a finalement pas été réalisé. Nous estimons les débits moyens en ce point à 500 l/s. Ces débits se trouvent toute-

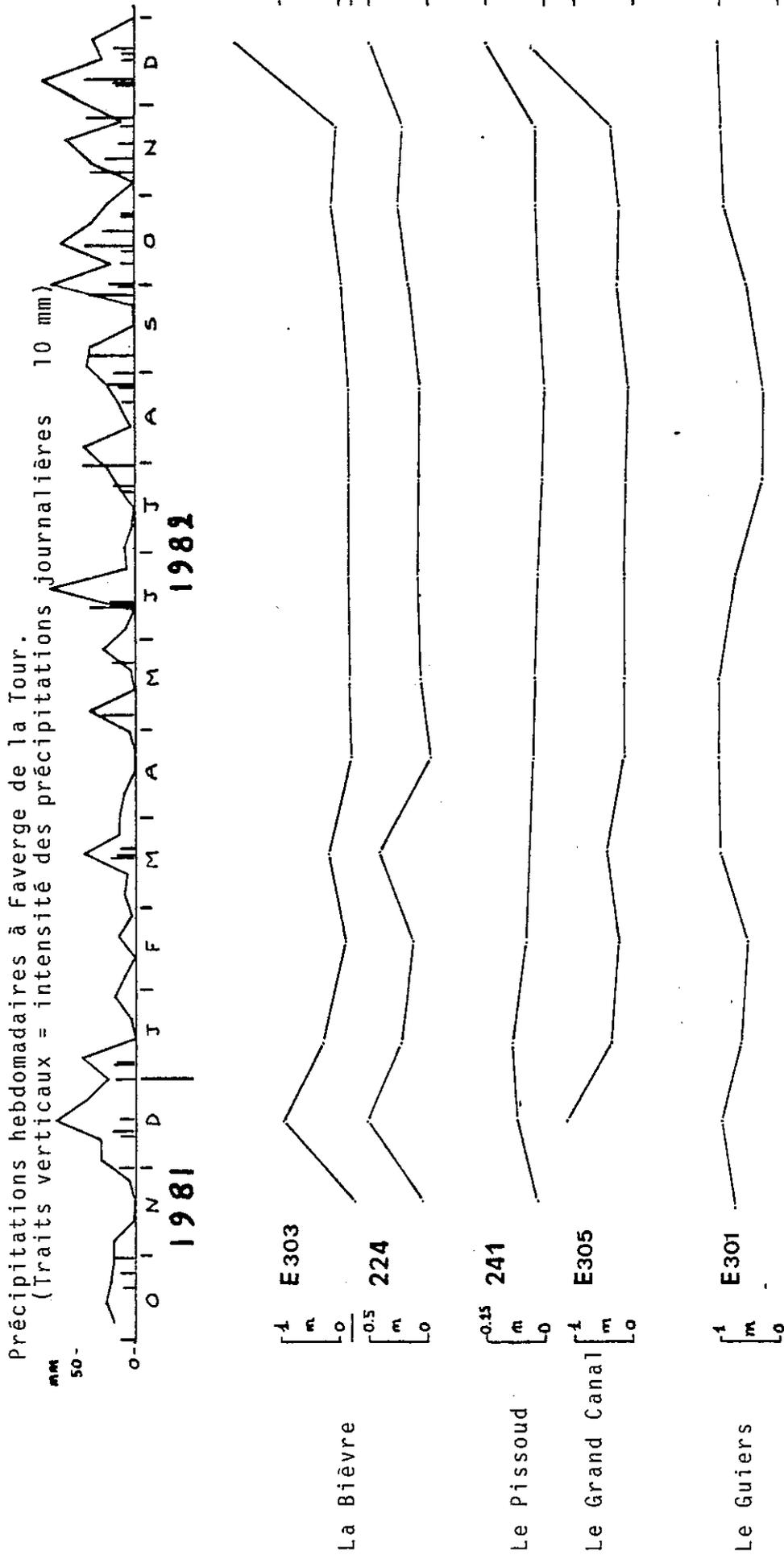


Figure 75 - Variations mensuelles du niveau de cours d'eau.
 (Les références se rapportent aux figures 74 et 75)

fois faussés lors des hautes-eaux du Rhône (débits supérieurs à 1000m³/s) car les eaux du fleuve remontent alors le lit de la Bièvre, contrariant son écoulement naturel. Lors de la pointe de crue du 8 janvier 1982 (1520 m³/s à Saül-Brénaz) le niveau des eaux dépassait le tablier du pont de Saint-Didier, soit une cote de 210.5 m et une remontée du lit de la Bièvre sur plus de 2,5 km jusqu'en direction de la butte du Champ.

Nous avons effectué des relevés mensuels du niveau de l'eau sur l'échelle de Saint-Didier (E 303) et au pont situé au NE de Granieu (point 224, fig. 77). Nous les avons reportés sur un diagramme (fig. 75): hormis les hauteurs anormales mesurées en Décembre 1981 et 1982 qui représentent en fait le niveau du Rhône en crue, nous n'observons que 50 cm de battement entre les valeurs extrêmes de l'année, le niveau le plus haut (Mars) correspondant à une mesure effectuée lors d'une période pluvieuse.

Le débit aval de la Bièvre est donc relativement stable tout au long de l'année en dehors des crues, ce qui indique une bonne alimentation par les nappes qu'elle draine, notamment celle de la plaine d'Aoste (cf. Chapitre 2).

3.4 - Le ruisseau du Pissoud

Son bassin d'alimentation occupe une bonne part du plateau des Terres Froides au niveau de Faverges-de-la Tour (fig. 71). Sa forme est grossièrement triangulaire avec une base amont de 9km, distante de 5km de son exutoire aval (Veyrins-Thuellin).

Nous ne possédons aucun renseignement sur les débits qui transitent à l'aval du bassin. Toutefois, les relevés mensuels du niveau de l'eau effectués au pont de Chassin (entre Corbelin et Veyrins-Thuellin) ne montrent pas d'étiage réel du cours d'eau pendant les mois d'été: le niveau s'abaisse de 14cm entre Janvier et fin Août. Le débit estimé est d'une centaine de litres/seconde en aval de Veyrins-Thuellin.

3.5 - Le grand canal

Son bassin d'alimentation, qui englobe celui du Pissoud, a une surface de 57km² dont une dizaine constitue le couloir des Avenières drainé par de multiples canaux.

Quelques mesures de débits effectuées par la CNR, 800 mètres en aval de notre point de relevé E 305, permettent de se faire une idée du débit écoulé à l'exutoire du grand canal :

En Mai 1983, en période sèche, mais trois jours après des précipitations orageuses (30mm le 1/05), on obtient:

le 4/05 , $Q = 1.56 \text{ m}^3/\text{s}$

En Mai 1980, en période pluvieuse, mais après cinq jours secs:

le 20/05 , $Q = 0.68 \text{ m}^3/\text{s}$

En Juin 1982, après un mois de Mai moyennement pluvieux (71mm) et après cinq jours secs:

le 9/06 , $Q = 0.486 \text{ m}^3/\text{s}$

Le débit de Juin 1982 ($Q = 0.486 \text{ m}^3/\text{s}$) semble assez représentatif du débit d'écoulement moyen en dehors des périodes orageuses. Celui de Mai 1983 (1,6 m³/s) est significatif de période de fin de crues, ce qui permet d'envisager des débits de crue supérieurs.

Nos relevés mensuels à l'aval (près de Polossat, NE de Thuellin) n'indiquent pas de baisse sensible pendant la saison d'été (fig. 75). Le débit aval semble régulier en toutes saisons en dehors des périodes pluvieuses.

Comme pour la Bièvre à Saint-Didier, les crues du Rhône se font sentir à l'aval du bassin, avec des inondations dans la plaine du Bouchage. Les hauteurs d'eau tout à fait anormales mesurées en Décembre 1981 et 1982 marquent en réalité le niveau des eaux de crues du Rhône et non un débit exceptionnel du grand canal.

En conclusion, il semble que les débits des petits cours d'eau issus du plateau des Terres Froides soient assez constants tout au long de l'année en dehors des périodes perturbées. Les étiages sont peu marqués, ce qui indique une alimentation régulière à partir des nappes superficielles ou de celle de la molasse.

Les débits du Guiers accusent par contre une baisse progressive de Juin à Août, alors que les basses-eaux du Rhône ont lieu en Février-Mars puis Septembre pendant l'année 1982.

4 - CONCLUSIONS DE L'ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Avec des précipitations de 1120mm et une température moyenne de l'ordre de 11° à Faverges-de-la-Tour, l'année 1982 présente une pluviométrie normale, mais les températures les plus chaudes depuis 1964.

On enregistre un net déficit en eau au printemps (64% de la moyenne) alors que l'automne est nettement marqué par les pluies (138% de la moyenne). Ceci donne globalement une année moyenne.

Sur les 1120mm d'eau précipitée, l'évapotranspiration en soustrait 695mm, les 425mm restant représentent la lame d'eau écoulee, soit un écoulement spécifique théorique de 13 l/s/km².

Le déséquilibre entre les saisons (manque d'eau au Printemps, surplus au Automne), transparaît dans l'établissement du bilan hydrique, avec un épuisement apparent de la réserve d'eau utile en Juillet et Août. Ce bilan permet de proposer un écoulement théorique moyen à l'aval des bassins de:

- la Bièvre: 950 l/s
- Le Pissoud: 250 l/s

écoulement peut-être supérieur en ce qui concerne la Bièvre dont le ruissellement de surface est de l'ordre de 500l/s à Saint-Didier. Le débit du Rhône (555 m³/s) est supérieur de 24% à celui d'une année moyenne. Ses crues d'hiver perturbent les écoulements aval de la Bièvre et du grand canal, et provoquent des inondations dans les parties basses. Ses variations de débit sont importantes, passant de 1520 m³/s le 8 janvier à 239 m³/s le 7 novembre, débit supérieur toutefois à l'étiage conventionnel (165 m³/s).

Le Guiers présente des hautes-eaux en Avril - Mai avec la fonte des neiges, puis en Novembre-Décembre consécutivement aux précipitations d'automne. Son étiage se situe en Août. En l'absence de données de débits pour l'année 1982, on constate que la courbe des relevés mensuels du niveau du Guiers au pont de Saint-Genix suit les variations mensuelles de débit d'une année moyenne, sauf d'Octobre à Décembre ou

les niveaux atteignent des valeurs semblables à ceux d'Avril. Pour les trois derniers mois, les débits ont certainement dépassé nettement les valeurs moyennes établies entre 1964 et 1975.

Les petits cours d'eau tels que la Bièvre et le Pissoud sont sensibles aux orages qui augmentent rapidement leur débit, mais ne présentent pas de réels étiages pendant l'été, ce qui résulte d'une alimentation régulière tout au long de l'année par les eaux de nappe (drainage).

CHAPITRE 2
COMPORTEMENT DES NAPPES AQUIFERES

1 - LES RESERVOIRS AQUIFERES

Au cours de la première partie de cette étude, nous avons présenté les différentes formations géologiques. Les potentialités aquifères diffèrent des unes aux autres.

- La molasse sableuse, helvétique ou tortonienne marine: sa nature lui confère une assez bonne potentialité aquifère, mais les perméabilités restent à préciser (la médiane granulométrique des sables est comprise entre 0,2 et 0,4 mm, et le d_{10} moyen se tient autour de 0,17mm, cf. 1ère partie, chapitre 2).

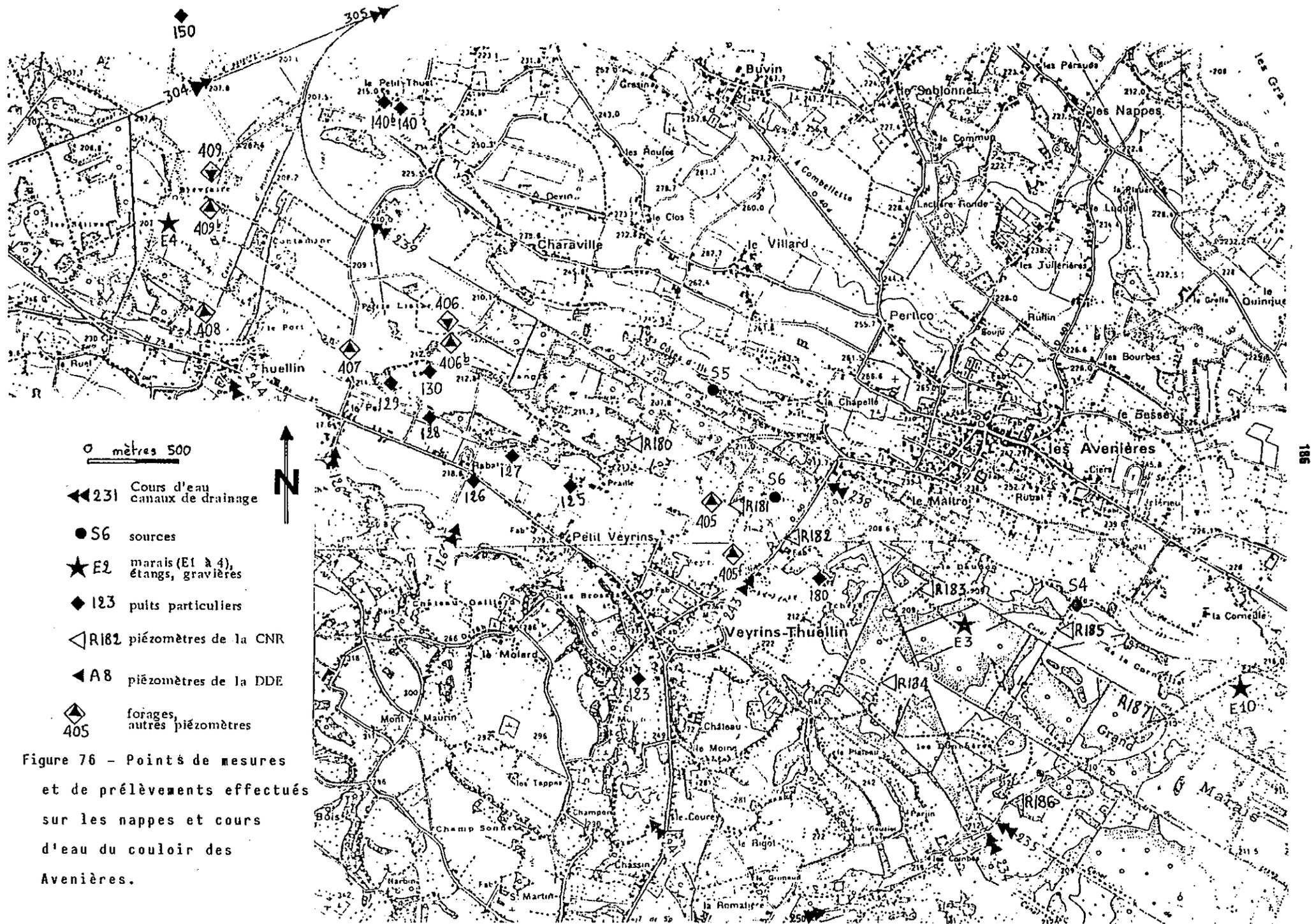
- La molasse conglomératique du Tortonien deltaïque: sa nature granulométrique est variée, des lits de sables ou d'argile alternent au sein d'un conglomérat grossier. Du fait du mode de dépôt deltaïque, la sédimentation présente une certaine anisotropie latérale; la perméabilité sera donc irrégulière dans le détail.

Sur l'ensemble du Bas-Dauphiné, D. ROUSSELOT (1978) estime les valeurs de perméabilité comprises entre 10^{-5} et 10^{-3} m/s, d'après des résultats d'essais de pompage. En l'absence de mesures dans notre secteur septentrional, on peut retenir une valeur moyenne de perméabilité de 10^{-4} m/s.

- Les placages morainiques sont à forte composante argileuse: la perméabilité sera faible. Ce type de formation très compactée ("marc" des Avenières) ne peut renfermer de réservoir aquifère.

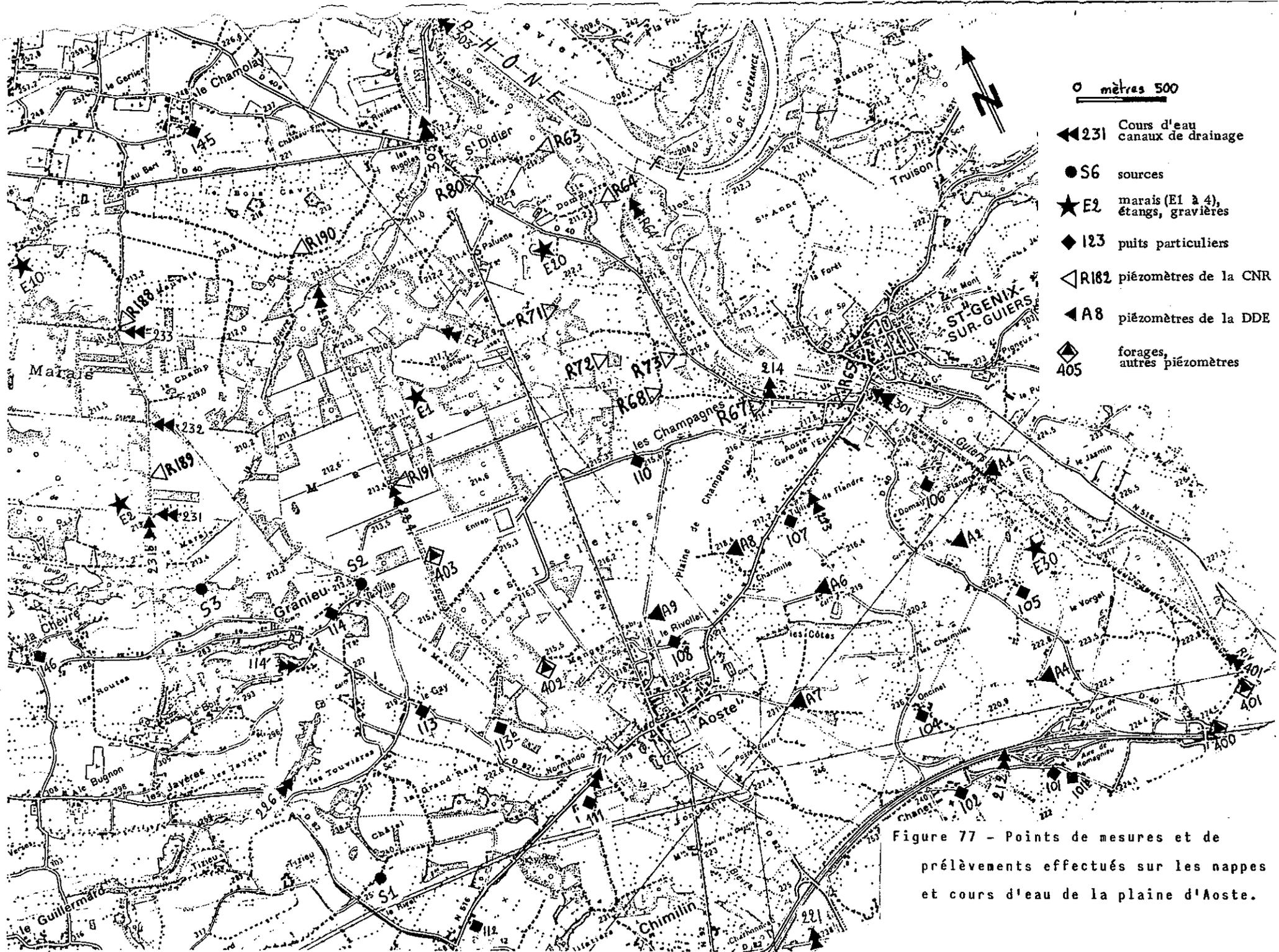
- Les dépôts fluvio-glaciaires sont très caillouteux et présentent un certain intérêt en tant que réservoir aquifère possible. Ils s'accumulent souvent sur des épaisseurs de plus de 10m dans des gouttières creusées dans le substratum molassique, jouant ainsi le rôle de drains au Nord du plateau des Terres Froides (fig. 46). Leur perméabilité est certainement intéressante: il arrive fréquemment qu'aucun ruissellement ne persiste en surface, toutes les eaux s'infiltrant. Les nappes de sillon qu'ils renferment ne semblent pas exploitées actuellement dans la région.

- Les cônes de déjection sont en général de faible développement au pied du plateau des Terres Froides. Ils se composent alors de matériel local remanié (fig.). Certains toutefois ont une extension



- 0 mètres 500
- ← 231 Cours d'eau
canaux de drainage
- S6 sources
- ★ E2 marais (Et à 4),
étangs, gravières
- ◆ 123 puits particuliers
- ◁ R182 piézomètres de la CNR
- ◁ A8 piézomètres de la DDE
- ◆ 405 forages,
autres piézomètres

Figure 76 - Points de mesures
et de prélèvements effectués
sur les nappes et cours
d'eau du couloir des
Avenières.



0 mètres 500

- ◄◄231 Cours d'eau canaux de drainage
- S6 sources
- ★E2 marais (E1 à 4), étangs, gravières
- ◆I23 puits particuliers
- ◁R182 piézomètres de la CNR
- ▲A8 piézomètres de la DDE
- ◆405 forages, autres piézomètres

Figure 77 - Points de mesures et de prélèvements effectués sur les nappes et cours d'eau de la plaine d'Aoste.

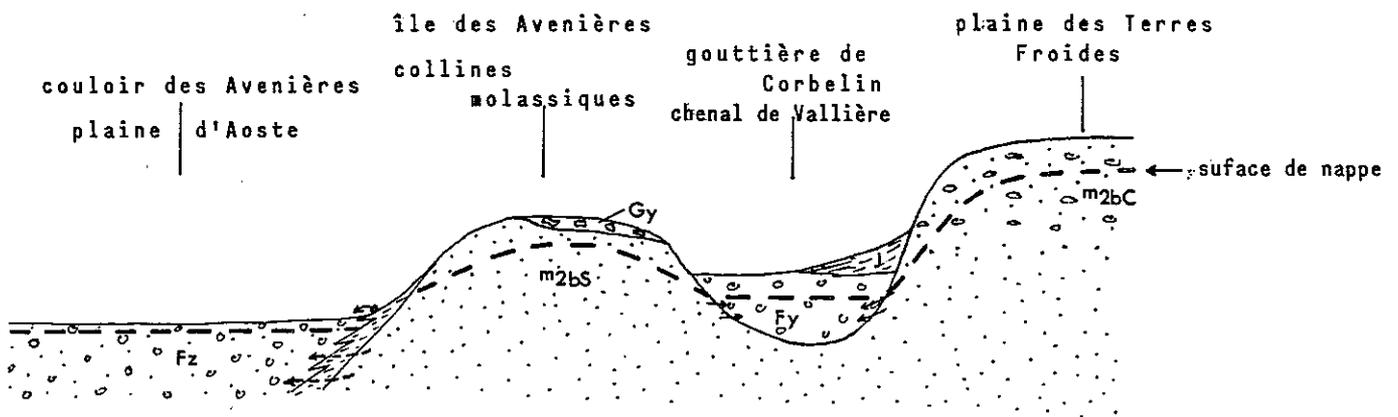


Figure 78 - Agencement des différents types de réservoirs aquifère.

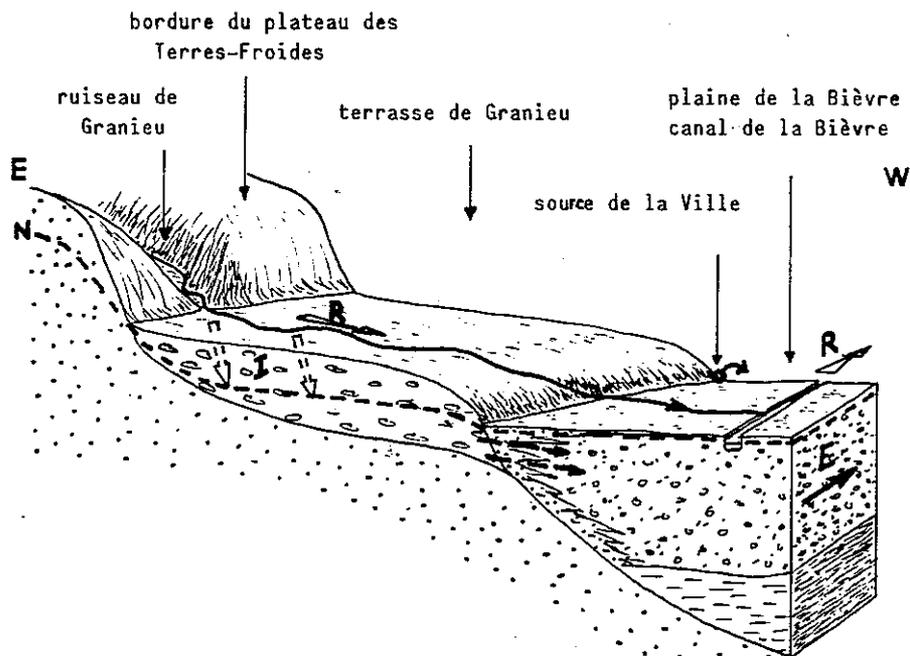


Figure 79 - Cheminement des eaux issues du versant molassique en direction de la plaine d'Aoste.

- N : Surface de la nappe
- R : Ruissellement
- I : Infiltration
- E : Ecoulement de la nappe d'Aoste

spatiale beaucoup plus vaste (cône de Pressins-Fallamieux), ou prolongent des gouttières comblées par des alluvions fluvioglaciales (cône de Veyrins). D'après les données de sondage, ils se présentent comme une alternance de couches sablo-argileuses et caillouteuses, en accord avec le mode de dépôt.

A Veyrins, la perméabilité est de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} m/s d'après les résultats des essais de pompage effectués par la D.D.A.

- Les alluvions récentes d'origine fluviale forment le vaste réservoir aquifère de la plaine d'Aoste, et le réservoir plus étroit des Avenières. Les perméabilités mesurées varient entre 10^{-3} et 5.10^{-4} m/s pour des épaisseurs voisines de 10 mètres (CPGF, 1965).

2 - LES FLUCTUATIONS DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES

2.1 - Nappes de la molasse sableuse

Des relevés mensuels ont été réalisés en bordure de la plaine d'Aoste et du couloir des Avenières. Les nappes concernées sont localisées au sein des buttes isolées (Sud-Est d'Aoste, points A7, 104, 102, fig. 77) ou au flanc ouest de l'Ile des Avenières (points 140, 140b, fig. 76). Leur alimentation dépend donc uniquement des infiltrations consécutives aux précipitations.

Les courbes tracées à partir des relevés effectuées au Petit Thuet (point 140) et au Sud-Est d'Aoste (point A7) montrent bien qu'après une recharge des nappes pendant l'hiver 1981-1982, il y a une vidange progressive jusqu'au mois de septembre, vidange importante au point A7, avec un battement de nappe de près de 3m (fig. 82). Les pluies d'Octobre arrêtent ce processus et amorcent la recharge dont l'amplitude est très nette en Décembre.

Les pluies de Mars et d'été qui atteignent ou dépassent une lame d'eau mensuelle précipitée de 90mm n'ont pas de réel effet de recharge en 1982, l'eau participant en grande partie à l'activité biologique des plantes.

2.2 NAPPE DE LA PLAINE D'AOSTE

2.2.1 - Géométrie du réservoir

Elle est définie d'après l'étude géophysique présentée dans notre première partie (Ch.4). Sa forme grossièrement triangulaire s'allonge entre Romagnieu, Granieu et Saint-Didier-d'Aoste. La surface couverte est approximativement de 11km² pour une épaisseur moyenne d'une dizaine de mètres. Ceci représente un volume de 110 millions de mètres cubes d'alluvions d'origine fluviatile, de nature sableuse à caillouteuse variable d'un point à l'autre.

Le mur de ces alluvions est partiellement constitué par les sables molassiques (pour la partie du réservoir proche des collines molassiques, bord sud-ouest à sud-est), mais surtout par les sédiments argilo-sableux lacustres.

La terrasse caillouteuse d'origine fluvio-glaciaire au Sud-Ouest d'Aoste à Granieu, de même que les collines molassiques du Sud-Est d'Aoste jusqu'à Romagnieu, participent à l'alimentation latérale du réservoir (fig.79).

Les thalwegs de la Bièvre et du Guindan collectent les eaux issues du plateau des Terres Froides et des collines molassiques et alimentent la nappe en amont de la plaine.

En rive gauche du Guiers, entre Romagnieu et Aoste-Gare de l'Est, les relations entre la nappe et le Guiers sont délicates à apprécier par manque de nivellement des points d'eau relevés. Nous verrons (§ 2.2.3) que le Guiers draine la nappe à l'Est de Romagnieu et participe à son alimentation plus en aval.

Latéralement, la rive gauche de la Bièvre entre la butte du Champ et Saint-Didier d'Aoste est colmatée (cf. § 2.3), formant une limite latérale imperméable. Il est possible que, lors des grandes crues du Rhône, une diffluence de la nappe située en rive gauche de la Bièvre s'établisse temporairement en direction du couloir des Avenières.

2.2.2 - Etude hydrodynamique

a/ Evolution spatiale de la nappe entre Aoste et le Rhône: à partir des relevés piézométriques effectués de Novembre 1981 à Décembre 1982 (cf. annexes), nous avons établi deux cartes de nappes, l'une en période de recharge (17 Décembre 1981), l'autre en période de vidange (25 Août 1982).

En l'absence de cotes N.G.F. pour un certain nombre de points relevés, ces cartes sont réalisées à partir des mesures effectuées dans les piézomètres de la C.N.R. et dans quelques forages et piézomètres dont les altitudes ont été déterminées. La densité des points utilisés est donc faible en comparaison des points surveillés. Seule la partie aval de la plaine d'Aoste est représentée, ainsi que la nappe amont du couloir des Avenières jusqu'à Veyrins-Thuellin.

. nappe haute du 17 Décembre 1981 (fig. 80): l'écoulement est divergent sur l'ensemble de la plaine, avec des axes de drainages latéraux constitués par le Guiers à l'Est, et la Bièvre à l'Ouest. Au niveau du pont de Saint-Genix, on enregistre un axe d'alimentation résultant d'infiltrations d'eaux issues du Guiers plus en amont (cf. § 2.2.2.b). En aval, le Rhône en crue (débit supérieur à 1200 m³/s) alimente latéralement la nappe et bloque son écoulement: la courbe 209,50 m, au Nord de Saint-Didier, se referme sur elle-même en raison de la remontée des eaux du Rhône par le lit de la Bièvre. Les eaux de celle-ci ne peuvent plus se déverser dans le Rhône et participent à l'inondation des terres basses du secteur aval de Saint-Didier.

Au Nord de Granieu, nous avons représenté un axe d'écoulement probable en direction du passage entre les deux buttes du Champ et de Branges-Masset: ceci résulte d'apports en eau non négligeables qui transitent sous la terrasse de Granieu (fig.77) et de la présence d'une limite latérale considérée comme imperméable qui contraint les eaux de la nappe à s'écouler vers le Nord. D'autre part, l'ancien cours de la Bièvre draine, à partir de l'Est de la butte du Champ, un certain volume d'eau (débit de l'ordre de 20 l/s) avant de rejoindre le canal.

Sur le canal de la Bièvre, trois seuils successifs perturbent le gradient hydraulique entre Aoste et l'Est de Granieu, ce qui explique l'irrégularité de l'espacement entre les courbes isopièzes.

Le gradient hydraulique i de la nappe d'Aoste semble s'accroître de l'amont vers l'aval. A l'Est de la butte de Branges-Masset, il est de l'ordre de 2,5%. La perturbation engendrée par la butte sur l'écoulement de la nappe n'est pas définie: il semble toutefois (§ 2.2.2.c) que celle-ci puisse constituer un obstacle à l'écoulement de la nappe; le resserrement de la section d'écoulement permettrait d'expliquer l'augmentation du gradient hydraulique, compte-tenu de la formule de Darcy:

$Q = K \times S \times i$ avec Q: débit de la nappe (m³/s)
 K: coefficient de perméabilité (m/s)
 i: gradient hydraulique (sans dimension)
 S: section de la nappe (m²)

Un resserrement de la section S, compensé par une augmentation du gradient i, permet de conserver le débit initial Q de la nappe.

D'autre part, la perméabilité plus élevée en bordure du Guiers (résistivité des alluvions supérieures, cf. 1ère partie: Ch.4) favorise le drainage de la nappe.

. nappe basse du 25 Août 1982 (fig.81): l'écoulement général de la nappe est similaire à celui de Décembre.

Le gradient hydraulique i, plus faible à l'Est de Brangues (1,8%), indique un aplatissement de la surface de la nappe en phase de vidange du fait de l'affaiblissement des apports amont.

La différence entre les niveaux de la nappe et de la Bièvre est moins prononcée (niveau de la nappe au point R 191 supérieur de 12cm au fil de l'eau au point 224).

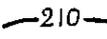
Seule la partie aval de la nappe présente un changement: en effet, le Rhône n'a plus qu'un débit d'environ 500 m³/s (571 m³/s à Sault-Brénaz); son niveau est donc beaucoup plus bas qu'en Décembre et ne lui permet pas d'alimenter la nappe.

b/ Evolution des niveaux piézométriques dans le temps: nous considérerons le comportement de la nappe en amont d'Aoste - gare de l'Est (relevés mensuels, cf. Annexes) et en aval (relevés hebdomadaires effectués par la C.N.R.). Les points d'eau relevés sont reportés sur le plan de la figure 77 .

. En amont d'Aoste - Gare de l'Est (fig.82)

D'après l'étude du niveau de la nappe réalisée sur les forages F1 à F5 (archives DDA), le piézomètre R65 est directement sous l'influence du niveau du Guiers qui alimente la nappe en amont du pont de Saint-Genix. Le battement entre Mars et Septembre est faible (0,23m) alors que le niveau du Guiers varie de 1,02m pendant la même période. Néanmoins, on retrouve des variations semblables à celles du niveau du Guiers mais atténuées, les variations journalières du niveau de la rivière n'étant pas reproduites ici. Par exemple les basses eaux du 12 janvier ne se répercutent pas au niveau du piézomètre.

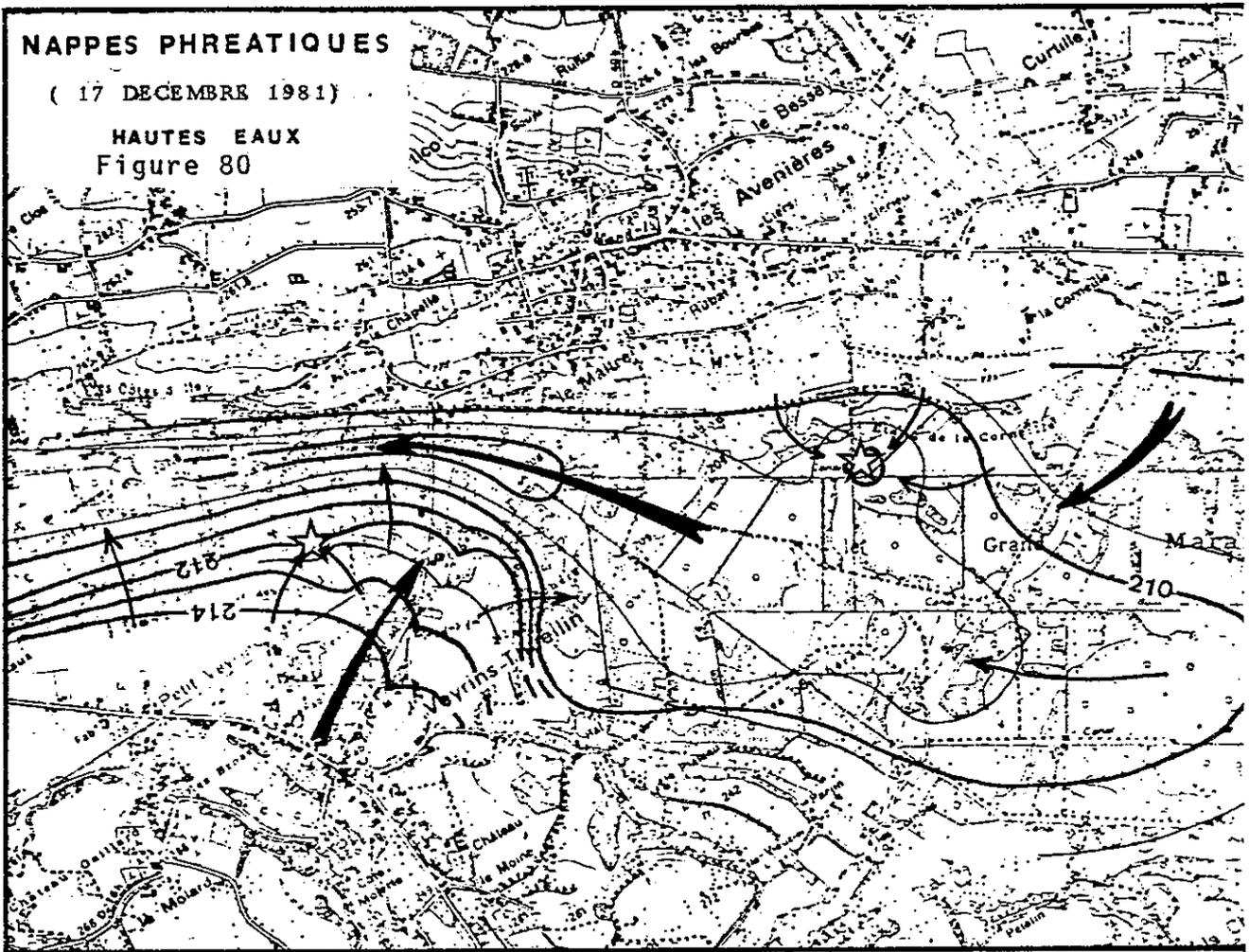
Légende des cartes de nappes phréatiques (fig.80et81)

-  : nappe des sables molassiques sous des dépôts limoneux
-  : buttes à matériel fluvio-glaciaire pointant au-dessus de la plaine
-  : courbes isopièzes (intervalle: 1m)
-  : courbes isopièzes intermédiaires
-  : courbes isopièzes probables
-  : axes d'apport ou de drainage
-  : filets d'écoulement
-  : stations de pompage

NAPPES PHREATIQUES

(17 DECEMBRE 1981)

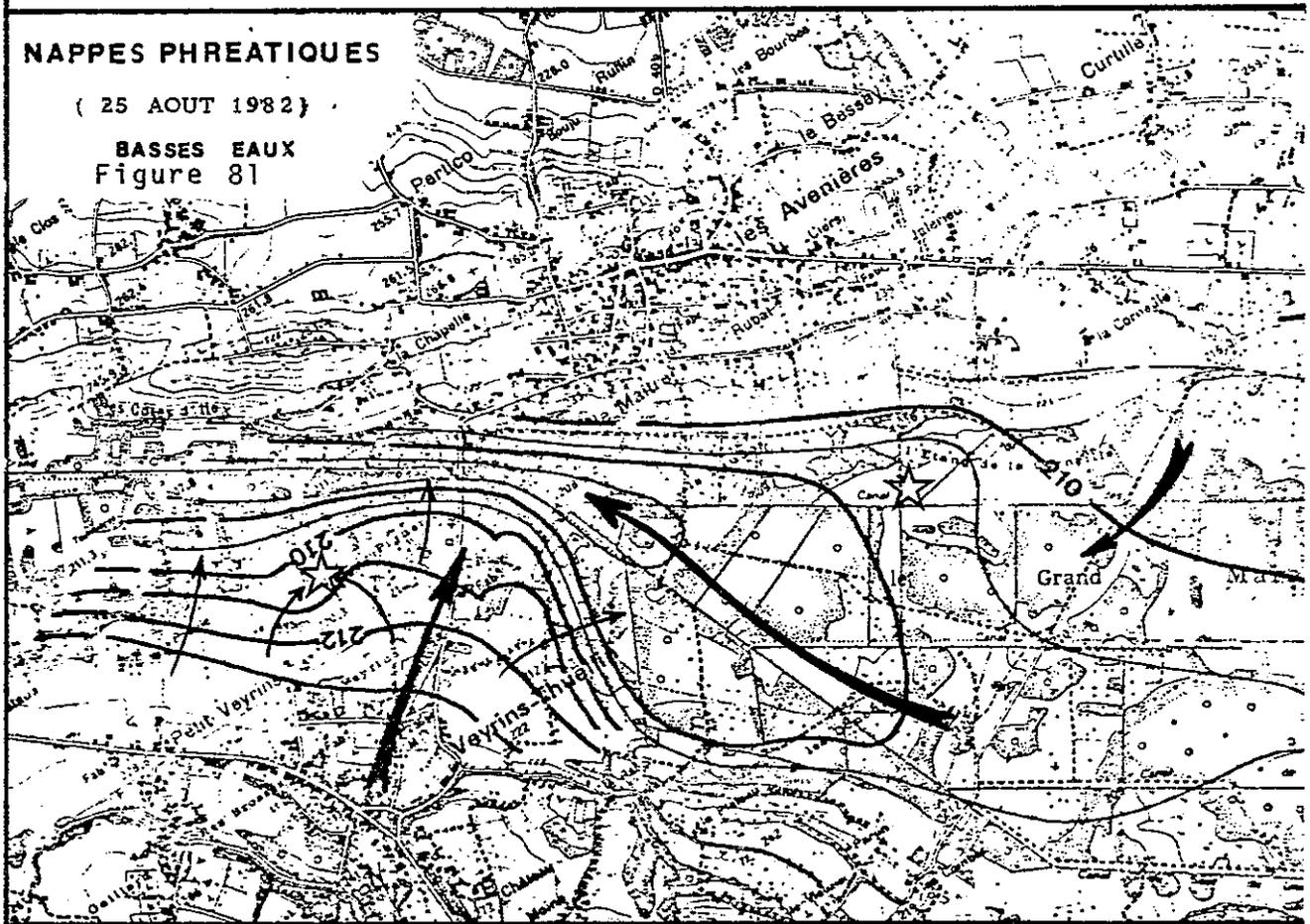
HAUTES EAUX
Figure 80

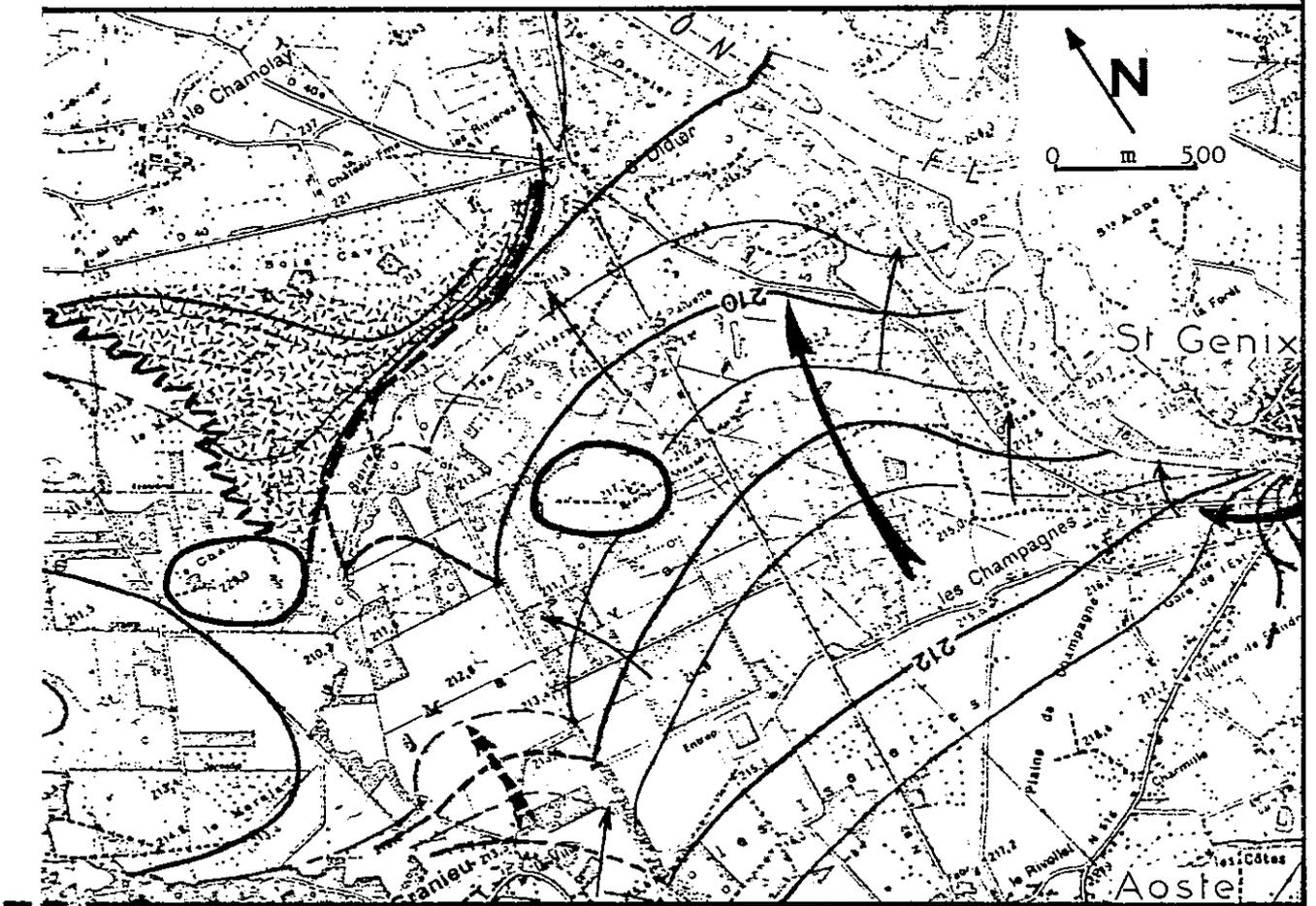
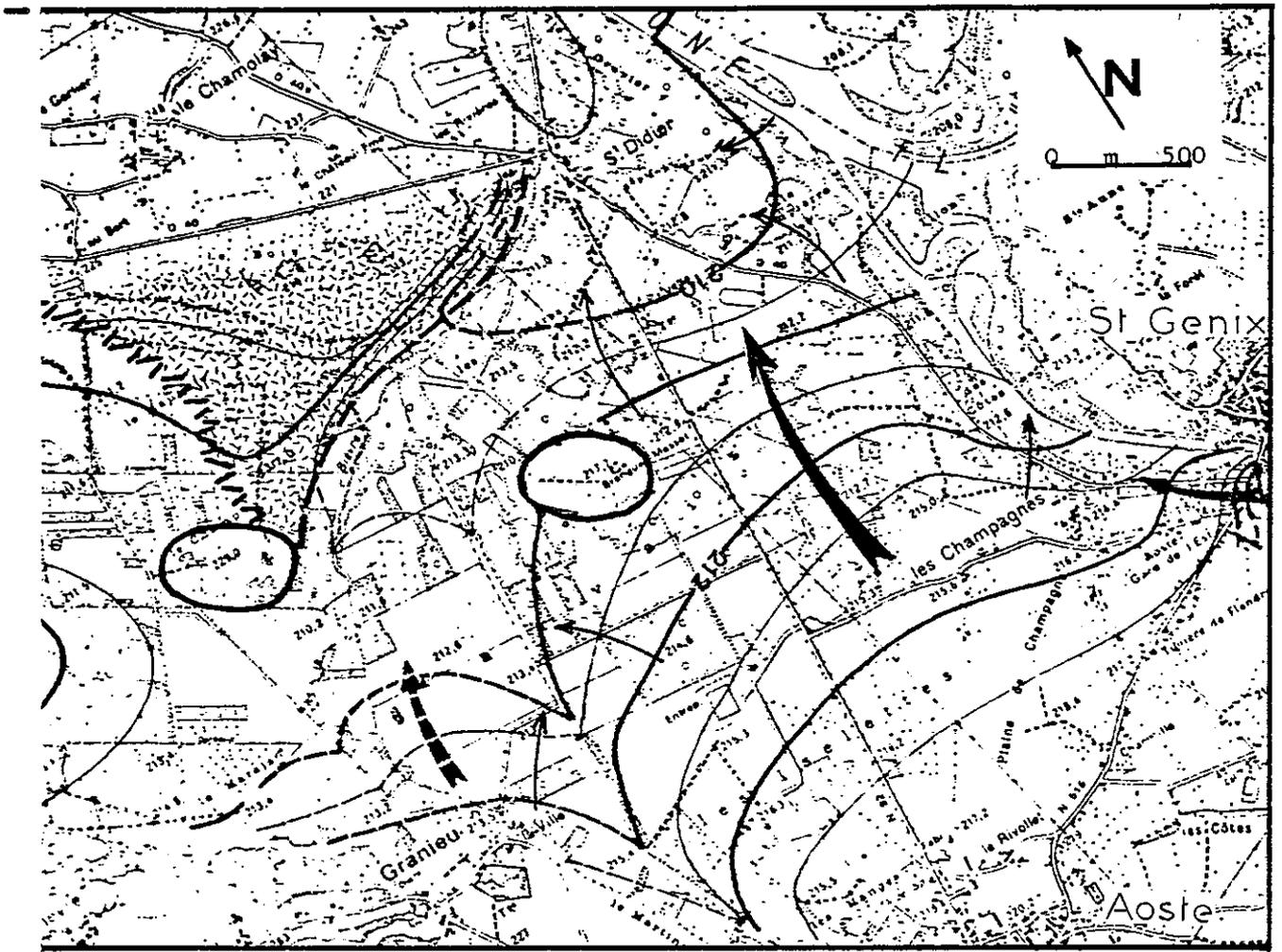


NAPPES PHREATIQUES

(25 AOUT 1982)

BASSES EAUX
Figure 81





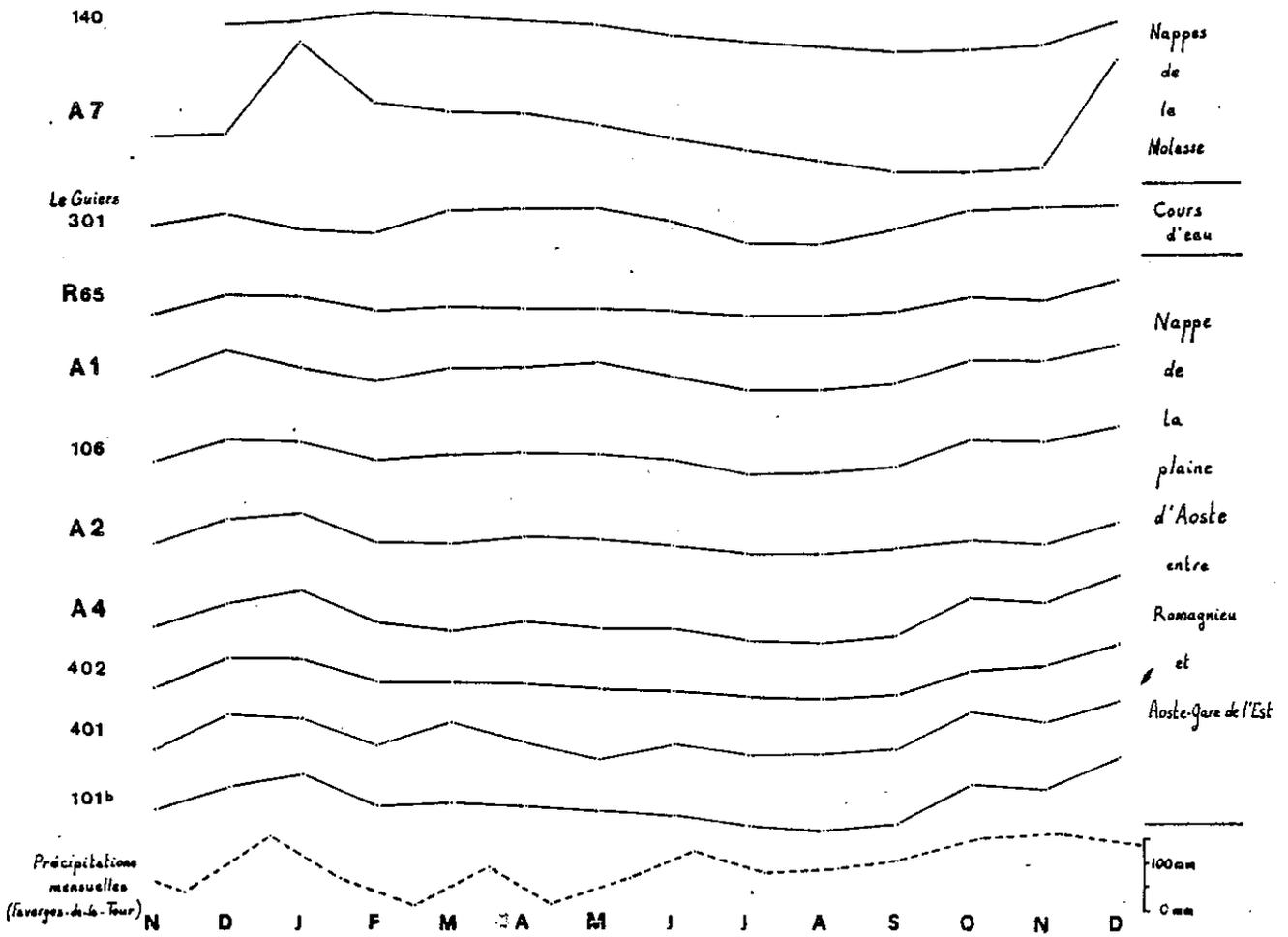


Figure 82 - Variations mensuelles des nappes de la molasse et de la plaine d'Aoste en amont d'Aoste gare de l'Est, comparées aux précipitations mensuelles et aux niveaux du Guiers.

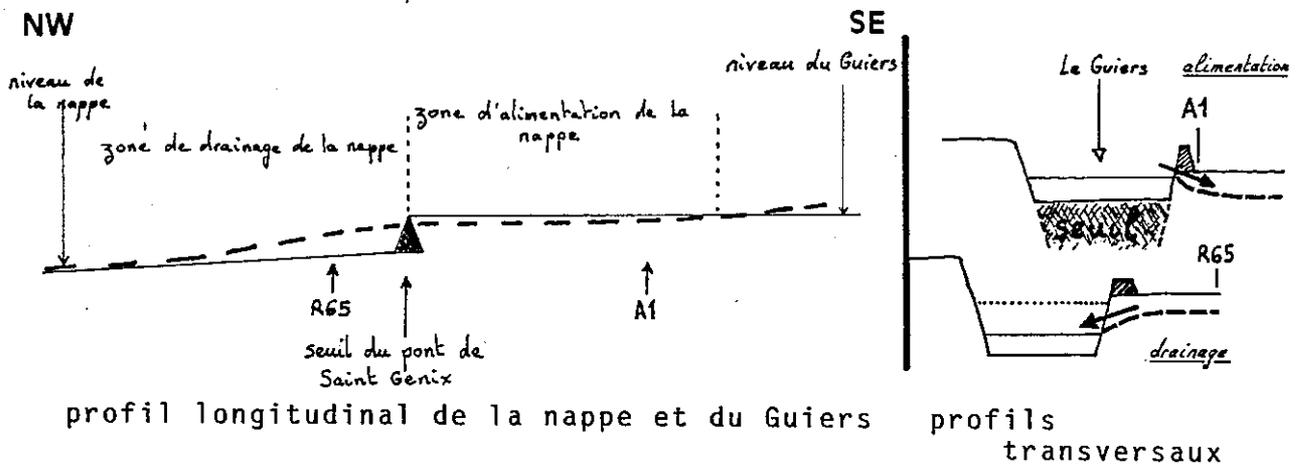


Figure 83 - Mécanismes d'alimentation et drainage de la nappe par le Guiers dans le secteur d'Aoste - gare de l'Est.

L'apport d'infiltrations issues du Guiers à la nappe peut être considéré comme régulier et peu influencé par le débit de la rivière.

- Le piézomètre A1 est situé en bordure du Guiers: la courbe des relevés mensuels est assez semblable à celle du Guiers (301). C'est notamment le seul point présentant une baisse en Janvier du même ordre de grandeur que celle du Guiers.

Placé en un point particulièrement soumis à l'action des eaux du Guiers (projetées perpendiculairement à l'axe de la digue en raison de la courbure du méandre), il est certainement alimenté par la rivière.

- Le puits 106, situé à 250 m du Guiers, présente des variations du niveau piézométrique assez proches de celles du piézomètre A1. Il est cependant moins influencé par le cours d'eau puisque l'on n'observe pas de remontée du niveau entre Février et Mai, moment des hautes eaux du Guiers, mais seulement un maintien du niveau. Ce point semble donc être à la limite d'influence des apports du Guiers.

- Le piézomètre A2, pour sa part, est alimenté par la nappe: on n'observe pas de remontée en Septembre, Octobre et Novembre comme pour le point 106. La recharge est tardive: ce n'est qu'en Décembre qu'elle se manifeste, sans pour autant atteindre le niveau de Décembre 1981, alors que partout ailleurs ce niveau est atteint ou dépassé. En Janvier 82, le niveau progresse encore alors qu'il n'a pas plu les 6 j. précédents. Il existe donc un décalage entre les périodes de pluies et la remontée de la nappe: un certain laps de temps est nécessaire pour que la recharge atteigne le point A2.

- Le piézomètre A4 et le puits 101b sont influencés par le régime des pluies (fortes recharges en Janvier, et d'Octobre à Décembre 1982). Les variations sont importantes, elles représentent une vidange progressive de la nappe entre Janvier et Août, suivie d'une recharge plus rapide jusqu'en Décembre (remontée de 1,40m). Le niveau du puits 105, non représenté, suit également des variations semblables.

- Le piézomètre 401 très proche du Guiers, mais situé au pied de la colline de Romagnieu, présente des variations du niveau de la nappe indépendantes de celles de la rivière. La nappe remonte à la suite de périodes pluvieuses (Mars, Juin), alors que la vidange de la nappe au point 101b n'est pas perturbée.

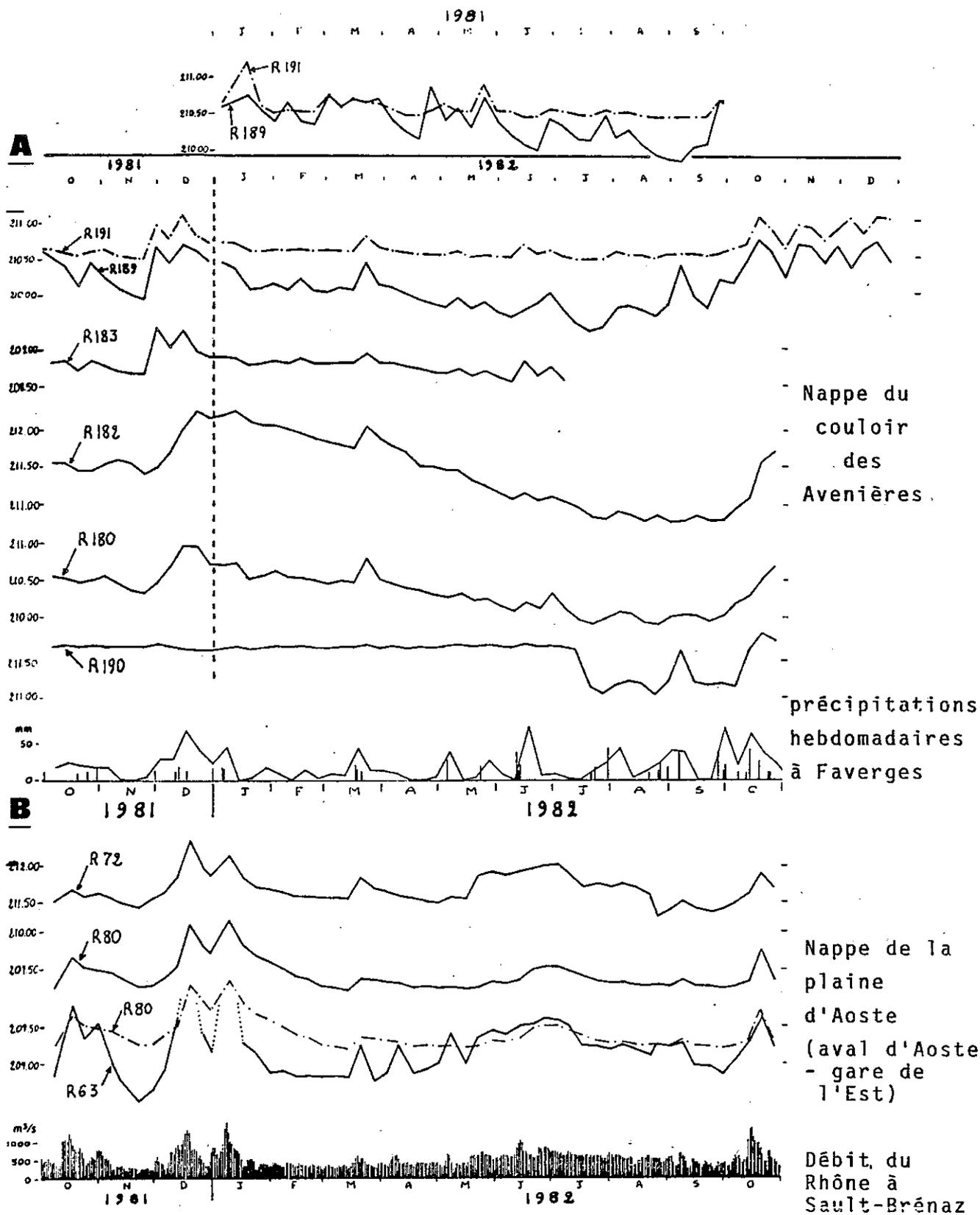


Figure 84 - Variations hebdomadaires de la nappe du couloir des Avenières (A) et de l'aval de la nappe d'Aoste (B) comparées avec les précipitations et les débits du Rhône.

En conclusion, l'alimentation de la nappe par le Guiers n'est évidente qu'entre les points A1 et R65, et peut-être 106; les niveaux piézométriques des points A2, 105, A4 et 101b, situés à plus de 300m de la rive, ne sont pas influencés par les débits du Guiers. Entre Aoste - Gare de l'Est et Romagnieu, la nappe est donc alimentée par les infiltrations issues des collines molassiques. Les apports du Guiers sont inexistant~~s~~ au pied de Romagnieu (point 401), possibles plus en aval de son cours (sur les 250 premiers mètres de sa rive gauche), très probables à partir du point A1.

. En aval d'Aoste - Gare de l'Est

- Le niveau de la nappe au point 402 a un comportement régulier tout au long de l'année (fig. 82 , NW d'Aoste; forage F7, annexes): la recharge s'effectue jusqu'en Janvier 1982, puis la vidange se poursuit sans perturbation jusqu'en août, une nouvelle recharge s'amorçant à partir de septembre.

En ce point, la nappe est peu soumise à l'influence des pluies: les précipitations du printemps ne l'affectent pas directement comme au point 401. Son niveau est toujours supérieur à celui de la Bièvre canalisée (point 224 de la figure 77) puisque d'une part la nappe se vidange pendant l'été, alors que le niveau de la rivière reste stable entre avril et août, et que, d'autre part, son battement est de 1,17 m pour seulement 0,54 m en ce qui concerne la Bièvre. Seule intervient donc l'alimentation amont de la nappe en ce secteur.

Au piézomètre R 191 (fig.84a), 1300 m plus au Nord, le comportement de la nappe est semblable, mais les relevés hebdomadaires apportent plus de précision : ainsi les précipitations de mars et de juin se traduisent par un petit pic de remontée de niveau. Le nivellement effectué sur la Bièvre au point 224 a permis de vérifier que la nappe reste plus haute que le fil de l'eau tout au long de l'année : de 8 cm en période d'étiage (juillet) à 26 cm en période de recharge (décembre).

- Aux piézomètres R 72, R 80 et R 63, les relevés sont hebdomadaires. Les variations en ces trois points sont directement tributaires du niveau du Rhône qui joue un rôle de barrière hydraulique et donc de soutien de la nappe (fig.84b). La différence des battements de la nappe d'un point à l'autre est due à la plus ou moins grande proximi-

té d'une zone d'alimentation à variation de niveau importante (le Rhône) ou de drainage permanent (la Bièvre). La direction de l'écoulement de la nappe dépend directement du niveau des eaux du Rhône, donc de son débit.

Le niveau de la nappe au piézomètre R 63 est sensible aux variations de débit du Rhône (fig.84b) : ses fluctuations, bien qu'atténuées, se retrouvent assez bien au point R 72 situé en amont, alors qu'au point R 80 plus rapproché, elles sont nettement moins marquées en raison du drainage permanent en direction de la Bièvre.

Le niveau de la nappe est en général plus haut au point R 80 qu'au point R 63. Ceci s'inverse à certaines époques de l'année : lors des crues importantes de décembre 1981 et janvier 1982, puis lors de la période des hautes eaux du début d'été (mai à juillet), ce qui permet d'éviter une vidange de la nappe lors de la période sèche et donc de maintenir le niveau piézométrique sur l'ensemble de la plaine (fig.85).

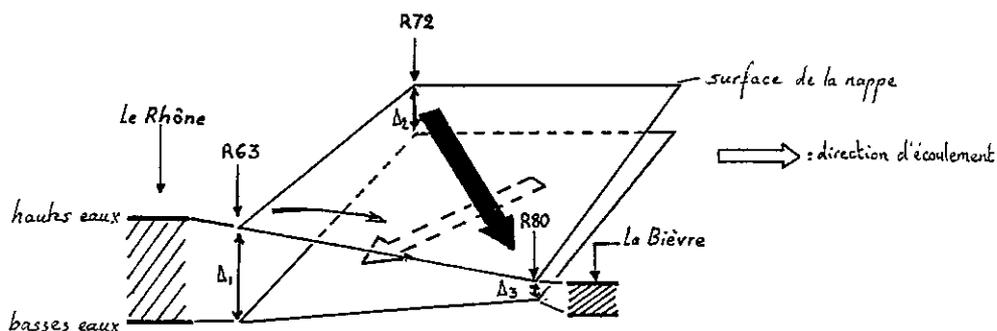


Figure 85 - Variation de la direction d'écoulement de la nappe d'Aoste en fonction du débit du Rhône.
(Δ : battement de la nappe)

Un abaissement du niveau du Rhône à l'aval de la nappe, tel qu'il est prévu par la C.N.R. (étude d'impact sur l'environnement, 1979) aura pour conséquences :

- un arrêt de l'alimentation de l'aval de la nappe par le Rhône;
- un abaissement généralisé de l'ensemble de la nappe à la suite de la disparition du barrage hydraulique, abaissement de l'ordre de 1,50 m en aval si le débit maintenu est de 150 m³/s (au lieu des 850 m³/s entre mai et juillet 1982), et de 2 à 3 m en aval si le débit d'été n'est maintenu qu'à 10 m³/s comme il est prévu (C.N.R.).

c/ Battements de la nappe de la plaine d'Aoste : les relevés effectués de novembre 1981 à décembre 1982 ont servi à élaborer une carte des battements de la nappe (fig.86).

Cette carte permet de visualiser rapidement les zones à fort battement qui sont soumises à des variations importantes d'alimentation. C'est le cas de la nappe en bordure du Rhône dont le niveau est tributaire de celui du fleuve en période de crue (cf. 222, a et b). C'est également le cas de secteurs alimentés par la nappe des collines molassiques : lors des épisodes de vidange ou de recharge de la nappe, les variations sont plus importantes en amont qu'en aval. Ainsi s'explique l'importance décroissante des battements du Nord de Romagnieu vers le Guiers (fig.89) et le battement de 1,63 m enregistré à l'aval de la nappe de la terrasse de Granieu (fig.86).

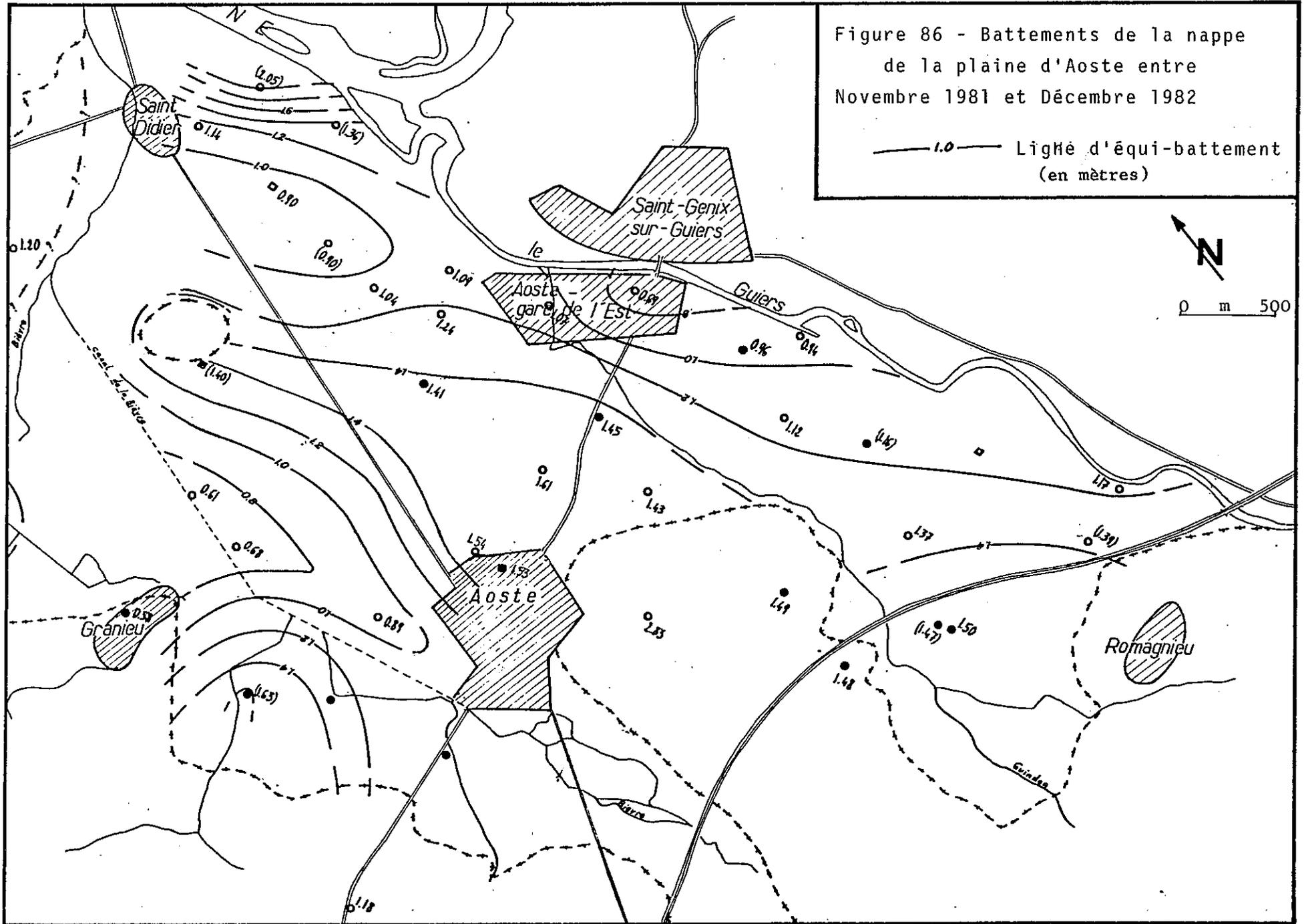
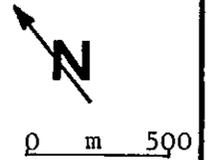
Un autre secteur à fort battement apparaît bien sur la carte : il se situe selon un axe issu de la butte de Brangues-Masset jusqu'à l'Est d'Aoste. En fait, on a vu (§ 222 a) que l'écoulement de la nappe est divergent sur l'ensemble de la plaine en aval d'Aoste : cet axe pourrait représenter la direction de l'écoulement de cette nappe divergente. Il peut encore représenter la ligne de coalescence de deux nappes issues l'une du sud d'Aoste (thalweg de la Bièvre), l'autre du Sud-Est (apports du Guiers). Au contact de la butte, la nappe se scinde en deux sous-nappes qui ceignent cet obstacle. Si on réalise une coupe perpendiculaire à cet axe, on observe que la cote de la nappe en son centre est supérieure à celle des bordures (fig.90) : lorsque les apports amont faiblissent, le niveau de l'axe de la nappe s'abaisse plus rapidement que les bordures, ce qui apparaît bien dans notre cas.

Les zones à faible battement sont localisées :

- autour d'Aoste-Gare de l'Est, le Guiers maintenant un niveau assez constant du fait de son alimentation permanente de la nappe (cf. 222 b) ;

Figure 86 - Battements de la nappe
de la plaine d'Aoste entre
Novembre 1981 et Décembre 1982

— 1.0 — Ligne d'équi-battement
(en mètres)



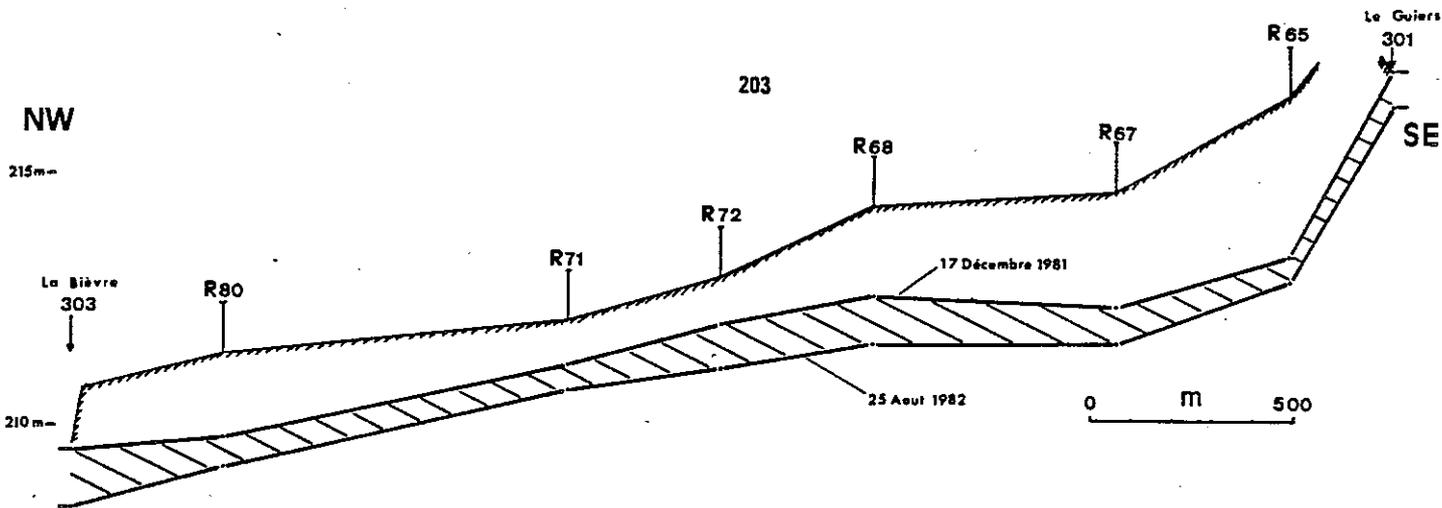


Figure 87 - Profil en long de la plaine d'Aoste entre le pont de Saint-Genix et Saint Didier d'Aoste, et battements entre hautes et basses eaux

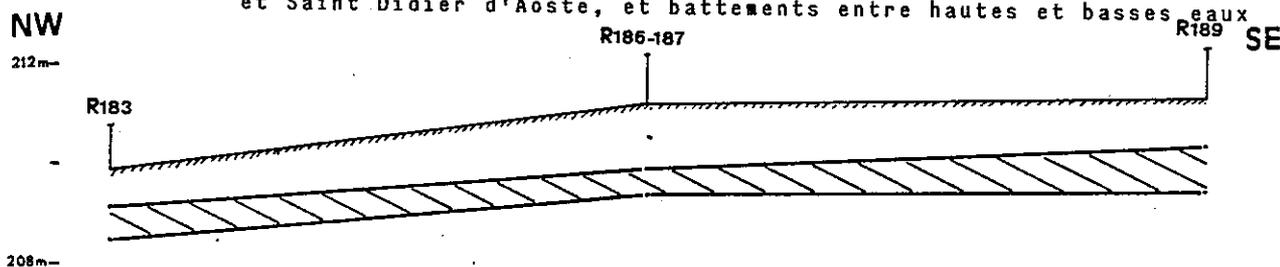


Figure 88 - Profil en long de la nappe du couloir des Avenières (secteur du Grand Marais) entre Granieu et Veyrins, et battements entre hautes et basses eaux.

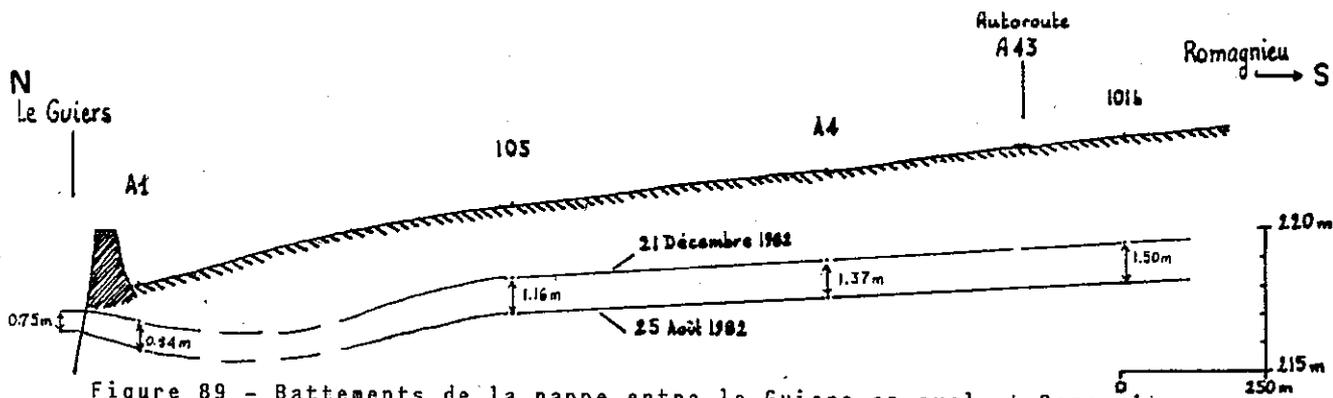


Figure 89 - Battements de la nappe entre le Guiers en aval et Romagnieu en amont.

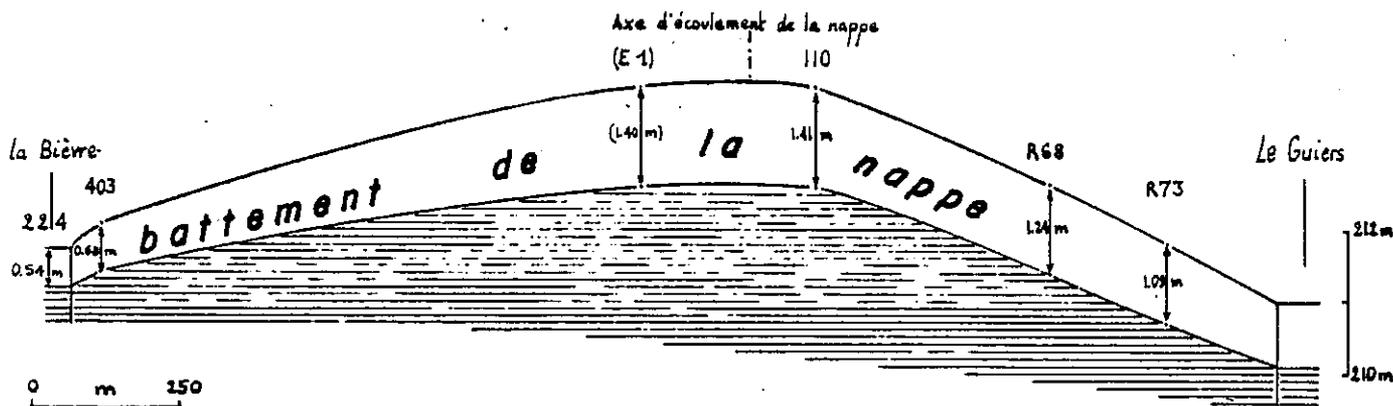


Figure 90 - Schéma explicatif des variations d'amplitude des battements de la nappe de la plaine, en aval d'Aoste. (les cotes des points E₁ et 110 sont approximatives)

- à l'Est de Granieu, la nappe restant constamment à un niveau légèrement supérieur à celui de la Bièvre. Il semblerait que l'écoulement soit assez stable tout au long de l'année ;

- au Sud de Saint-Didier, où le niveau de la nappe est soutenu pendant l'été par les eaux relativement hautes du Rhône qui imposent un niveau de base local assez élevé.

Les niveaux de hautes et basses eaux en aval d'Aoste-Gare de l'Est ont été reportés sur un profil de nappe (fig.87) : on localise ainsi deux secteurs à faible battement (points 301-R 65, et R 71-R 80) qui correspondent aux zones précédemment décrites (Guiers et Sud de Saint-Didier), et un secteur à fort battement (point 303) sous l'influence des crues du Rhône.

2.3 - Nappe du couloir des Avenières

2.3.1 - Géométrie du réservoir

L'étude géophysique réalisée par la CPGF et réinterprétée (1ère partie, ch. 4) permet d'en apprécier les dimensions. La forme est celle d'un "couloir" de 8 km de long sur 0,5 à 2 km de large, l'épaisseur d'alluvions graveleuses varie entre 10 et 15 mètres, sous 2 à 5 m de limons argileux. La surface est d'environ 9,5 km², ce qui représente un volume d'alluvions de l'ordre de 100 millions de mètres-cubes déposées par le Rhône (cf. 1ère partie, ch. 3).

Jusqu'au cône de Veyrins, le mur de la nappe est formé d'alluvions argilo-sableuses d'origine lacustre, situées à une cote moyenne de 195 m. En aval du cône, sa nature devient conglomératique à ciment calcaire sur moins d'un mètre d'épaisseur (forage F 25) et sépare ainsi la nappe du couloir d'une nappe plus profonde située dans les alluvions sableuses issues du cône de Veyrins (fig. 91).

Le toit de la nappe supérieure est partout présent en amont du cône mais s'amincit vers l'aval en dehors des tracés d'anciens méandres où l'épaisseur reste importante (cf. 1ère partie, ch. 4). La nappe est donc captive, mais le niveau piézométrique reste en-dessous de la surface topographique.

Le bord nord-est du couloir, constitué par l'Ile des Avenières, participe à l'alimentation latérale de la nappe à partir de ses sables molassiques : ses apports sont toutefois réduits, la bordure de l'Ile étant en grande partie recouverte d'argiles morainiques, imperméables aux infiltrations.

Le bord sud-ouest reçoit les eaux issues du plateau molassique, à partir d'infiltrations de surface issues des cours d'eau et à partir de la nappe de la molasse drainée par ce couloir encaissé dans les formations molassiques. La zone d'apports la plus importante est celle issue du cône de Veyrins, prolongement de la gouttière de Corbelin qui entaille le plateau (bassin versant du Pissoud, 2ème partie, ch. 1). Les forages l'ont reconnue sur une trentaine de mètres: elle est constituée d'une alternance de couches de sables, graviers, galets et de niveaux argileux. Les forages F 19 et F 24 (réalisés en 1965), F 25 (1976) et F 26 ont rencontré, sous une première nappe captive une nappe en charge dont la nature plus sableuse vers l'aval correspond à l'extrémité du cône à éléments plus fins. Ceux-ci ont été érodés jusqu'à la cote 195 m par les alluvions du Rhône plus grossières: le contact est souligné par un niveau d'alluvions grossières conglomérées et donc imperméables.

2.3.2 - Etude hydrodynamique

a/ Evolution spatiale de la nappe du couloir : le comportement de la nappe en aval du cône de Veyrins ne sera pas abordé en raison de l'absence de cotes NGF. Les cartes de nappe sont établies à partir des relevés du niveau de la nappe du couloir effectués sur les piézomètres de la CNR et différents forages, piézomètres et puits à cotes NGF reconnues. Elles concernent la nappe aquifère supérieure entre le secteur du Grand-Marais et le Nord-Ouest du cône de Veyrins (fig. 80 et 81):

. nappe haute du 17 décembre 1981 : son écoulement converge vers le centre du couloir qui draine toutes les eaux issues des versants. Les apports issus du cône présentent un écoulement divergent marqué: par leur importance, ils contribuent à soutenir le niveau de la nappe en amont du cône (barrage hydraulique souterrain). Un autre secteur à apports limités issus du Sud-Est des Avenières semble se dessiner en bordure nord-est du Grand-Marais : il pourrait résulter des infiltrations d'eau collectées par le drain que forme la dépression fluvio-glaciaire en bordure est des Avenières.

L'influence des pompages sur le niveau piézométrique est bien visible :

30 AOÛT 2003

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 21 - Fax 04 76 51 40 58
 Mail: gtafour@ujf-grenoble.fr

- à la station de Veyrins-Thuellin, où les courbes piézométriques 213 m et 212,50 m de la nappe présentent une inflexion ; les filets d'eau convergent vers le puits de pompage (débit moyen : 60 l/s);

- à la station de l'Etang de la Corneille (Sud des Avenières), où la nappe du couloir, à gradient hydraulique i très faible, est nettement marquée par le pompage industriel de la société Stevens-Genin qui abaisse son niveau de plus de 50 cm.

Le gradient hydraulique i de la nappe du couloir est très faible dans le secteur amont du Grand-Marais : moins de 0,3 ‰, en raison de la faiblesse des apports (le resserrement de la section de la nappe au niveau de Veyrins n'a pas de conséquences visibles sur i). Par contre, celui du cône de Veyrins, autour de 4 ‰ au centre de l'écoulement, atteint des valeurs de 10 à 15 ‰ sur les bords : il y a donc un bombement net de la surface piézométrique dû à un drainage aval plus faible que l'alimentation amont. Ce drainage plus faible résulte d'une diminution de la perméabilité K qui induit une augmentation de i :

$$i = \frac{Q}{K.S} \quad , \text{ d'après la formule de Darcy déjà citée (§ 222 a).}$$

En effet, on a vu précédemment (1ère partie, ch. 4) que l'aval du cône présente une résistivité plus faible, indice d'alluvions plus argileuses, ce qui est confirmé par les sondages.

. nappe basse du 25 août 1982 : l'ensemble de l'écoulement reste semblable avec une baisse généralisée des niveaux piézométriques, moins marquée toutefois pour la nappe du Grand-Marais (moins de 1m) que pour celle du cône (1,5 à 2 m).

Le gradient hydraulique de la nappe du couloir s'élève à 0,5 ‰, alors que celui du cône reste stable au centre (4 ‰) et s'abaisse sur les bords (environ 10 ‰). L'affaiblissement des apports issus du cône de Veyrins entraîne un abaissement du niveau de la nappe en aval du cône qui favorise la vidange de la nappe du couloir.

A la station de l'Etang de la Corneille, l'arrêt ou la baisse du pompage (période de fermeture annuelle de la société Stevens-Genin?) provoque une hausse du niveau de la nappe à la cote 209,14 m au point R 185 (décembre : 209,04 m), alors qu'en juillet le niveau était descendu à 208,63 m sous l'influence du pompage. Etant donné les faibles possibilités d'alimentation de cette zone, le débit soutiré pendant l'année doit être minime.

b/ Evolution des niveaux piézométriques en cours d'année : les graphiques réalisés à partir de certains relevés piézométriques hebdomadaires de la CNR nous ont permis d'apprécier le comportement des nappes en cours d'année, et de les différencier les unes des autres (fig. 84a).

. L'indépendance entre la nappe de la plaine d'Aoste en rive droite de la Bièvre et celle du couloir des Avenières apparaît bien si on suit leur comportement en cours d'année. Pour cela, nous avons utilisé les relevés effectués aux points R 189 et R 191 distants de 1350 m, au Nord et au Nord-Est de Granieu (fig. 77). Le graphique montre des variations indépendantes de ces deux nappes :

- en 1981, à certaines époques, le niveau dans le couloir est supérieur à celui mesuré dans la plaine d'Aoste ;

- les variations de niveau, dues aux recharges des nappes sous l'influence des précipitations ne sont pas nécessairement du même ordre de grandeur, notamment en 1981 ;

- la vidange de la nappe du couloir (point R 189) est très nette en 1982, alors que le niveau de celle de la plaine d'Aoste (point R 191) reste pratiquement constant ;

- le point R 189 est très influencé par l'alimentation issue du plateau. Le 22 juin, il tombe 21 mm de pluies à Faverges de la Tour, alors qu'à Granieu on n'enregistre que 3,5 mm : le jour même le niveau de la nappe remonte au point R 189 alors qu'elle est en baisse sur tous les autres points.

La différence de comportement résulte du soutien de la nappe de la plaine d'Aoste par le canal de la Bièvre, alors qu'en rive gauche, l'alimentation de la nappe faiblit de janvier à août. Cela induit une vidange de la nappe au Nord de Granieu : en ce cas, l'écoulement tendra beaucoup plus à prendre une direction nord que nord-est du fait d'un gradient hydraulique plus important en direction de Saint-Didier. Il est possible cependant que les grandes crues du Rhône perturbent l'écoulement vers l'aval et que sa direction soit alors détournée temporairement vers le couloir des Avenières : ceci reste toutefois à vérifier.

. Le point R 183 est représentatif des variations de niveau de la nappe en amont du resserrement dû au cône de Veyrins (fig.76). Les variations du niveau sont atténuées par rapport au secteur amont (R 189).

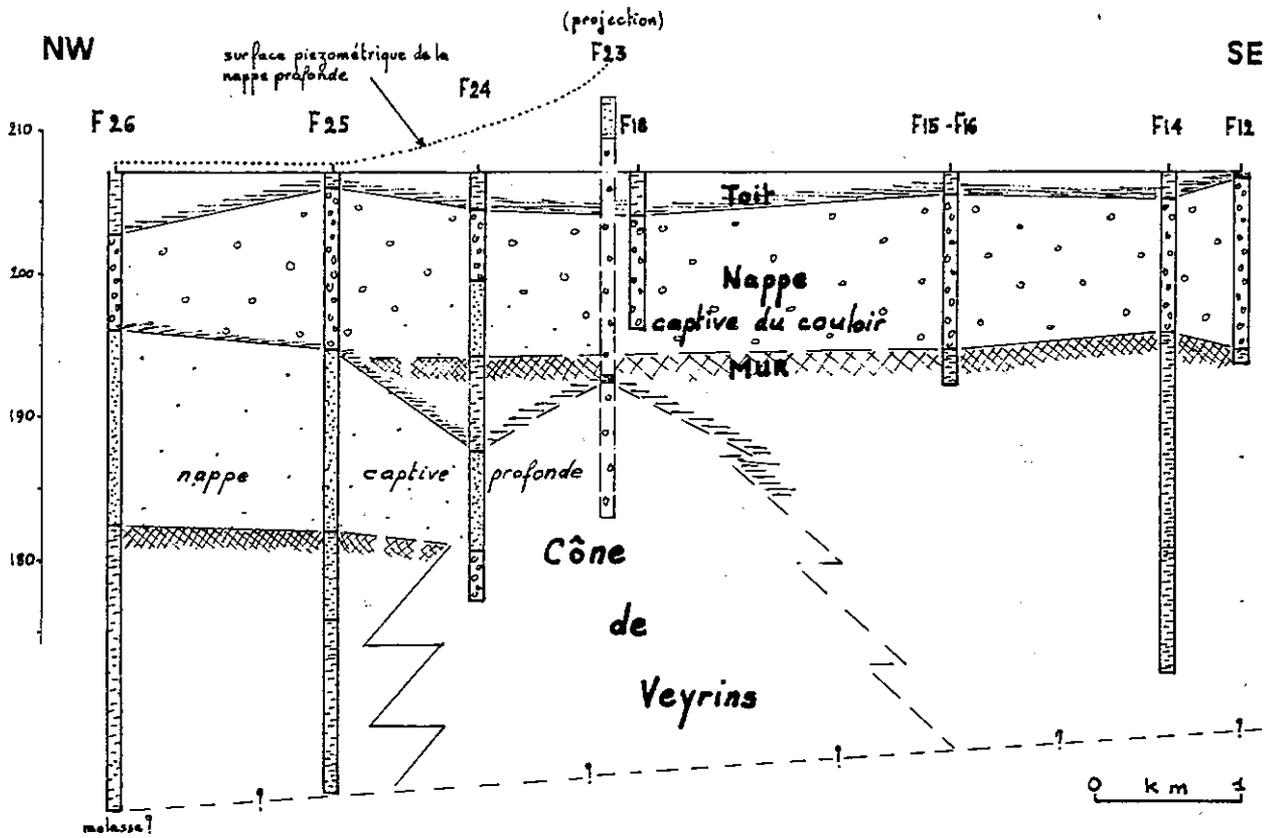


Figure 91 - Nappe du couloir des Avenièrès et nappe captive en charge du cône de Veyrins, positionnées sur un profil de corrélations entre sondages.

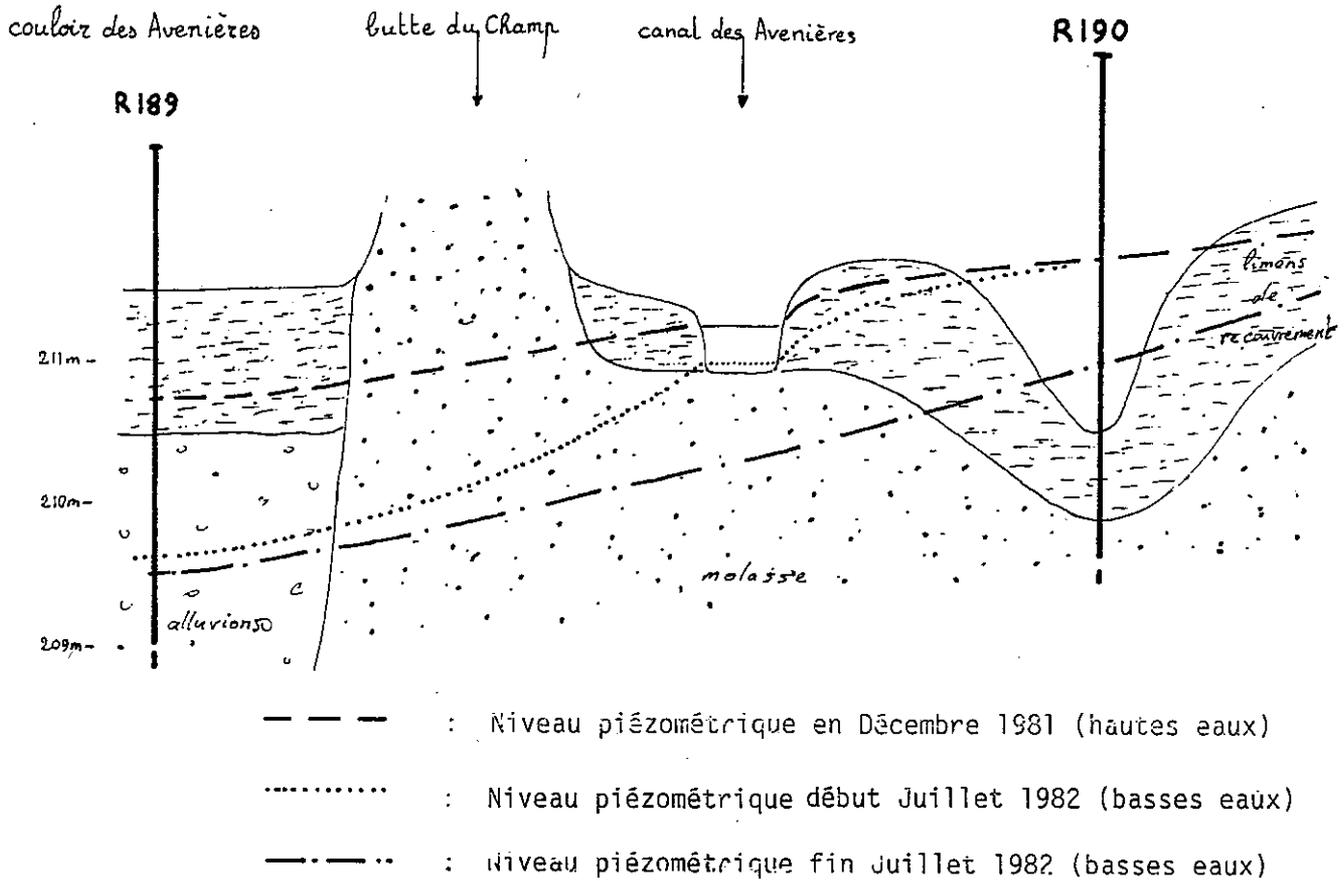


Figure 92 - Influence d'un canal de drainage sur le soutien d'une nappe captive adjacente à la nappe du couloir des Avenièrès.

. Le piézomètre R 190, situé au Sud-Ouest de Saint-Didier (fig.77), rejoint une nappe captive sous les limons de surface. Du fait de la position du piézomètre dans une zone en contrebas, la nappe est localement en charge avec une surface piézométrique de 1 à 2 m au-dessus du sol.

Les mesures effectuées par la CNR depuis 1979 montrent que les niveaux sont stables jusqu'au début de juillet 1982, les fluctuations restant très faibles. A partir de la mi-juillet, le niveau s'effondre de plus de 50 cm et suit alors les mêmes fluctuations que la nappe du couloir (point R 189) jusqu'en octobre où il retrouve son ancienne cote. Ce comportement de la nappe correspond au schéma d'une nappe captive soutenue en aval par un barrage hydraulique constitué par le canal des Avenières (fig. 92). Tant que la nappe captive est capable d'alimenter le canal, la surface piézométrique est soutenue vers l'amont (contrôle amont). Par contre, la baisse du niveau de la nappe du couloir finit par provoquer l'effondrement du niveau en amont et l'arrêt de l'alimentation du canal. La nappe captive adjacente est alors soumise aux fluctuations de celle du couloir (point 189) (contrôle aval), ce que l'on observe sur le graphique de la figure 84 entre juillet et début octobre.

On voit donc que le niveau piézométrique, au point R 190, est en relation avec celui du couloir des Avenières et non pas avec celui de la plaine d'Aoste (fluctuations différentes). Des alluvions argileuses coiffent les sables molassiques (cf. ch. 4) entre le flanc sud de l'île des Avenières et la rive gauche de la Bièvre : elles peuvent donc jouer un rôle de mur latéral entre les deux nappes, mur relayé en profondeur par les argiles lacustres de la plaine d'Aoste.

. Le graphique obtenu à partir des relevés effectués au point R 182 situé en bordure du cône de Veyrins (route D 40, fig. 76) montre l'ampleur de la baisse du niveau de la nappe de janvier à septembre 1982 : seules les pluies de mars rechargent la nappe (ce qui apparaît bien dans le bilan d'eau de THORNTHWAITE, ch. 1, 2ème partie), et perturbent la régularité de la vidange. La dénivellation est de près de 1,50 m. Lors des épisodes de recharge, le niveau de la nappe tarde à remonter : les pics de recharge, enregistrés au point R 189, très sensible à l'alimentation, ne se retrouvent que 3 à 4 semaines plus

tard sur le graphique du point R 182. Ceci peut être expliqué par le fait d'une recharge de la nappe du bassin-versant du Pissoud (18,9km² répartis entre 210 et 450 m) qui retarde la remontée du niveau piézométrique à l'exutoire du bassin.

. Le piézomètre R 180 est placé au Nord du cône de Veyrins, en bordure du couloir des Avenières (fig.76). Les fluctuations du niveau piézométrique en cet endroit, sont influencées par celles de la nappe du cône et celles de la nappe du couloir. Lors des phases de vidange, les fluctuations sont similaires à celles du point R 189 (couloir) alors qu'en période de recharge elles suivent davantage celles du point R 182 (cône de Veyrins) (fig.84a)

Ainsi le comportement de la nappe du couloir des Avenières est différent de celui de la plaine d'Aoste (rive droite de la Bièvre) au cours de l'année. Ses fluctuations, prononcées en amont (R 184) et plus faibles en aval (R 183) , se répercutent sur celles des nappes latérales en période de vidange (R 180, R 190): il y a contrôle du niveau des nappes latérales par l'aval. Par contre, lors des phases de recharge, les alimentations des nappes latérales sont plus importantes que le drainage par la nappe du couloir. Ce sont elles qui régissent les variations du niveau piézométrique: il y a contrôle du niveau des nappes latérales par l'amont.

Le débit Q transité immédiatement en amont du cône de Veyrins a été calculé à partir de la formule de Darcy: $Q = K.s.i$,

avec $K = 10^{-3}$ m/s (résultats obtenus sur les forages

F15 et F16, cf. tab.8 p. 221);

$s = 1,5 \cdot 10^4$ m² (d'après le profil PF p.117);

$i = 0,5$ ‰ (mesuré sur la carte , fig.81);

on obtient : $Q = 7,5$ l/s.

Ainsi le débit de la nappe est inférieur à 10 l/s en amont du cône (si l'on ne tient pas compte des apports latéraux), ce qui est très faible. L'essentiel de l'écoulement est donc évacué par les eaux de surface (canaux de drainage).

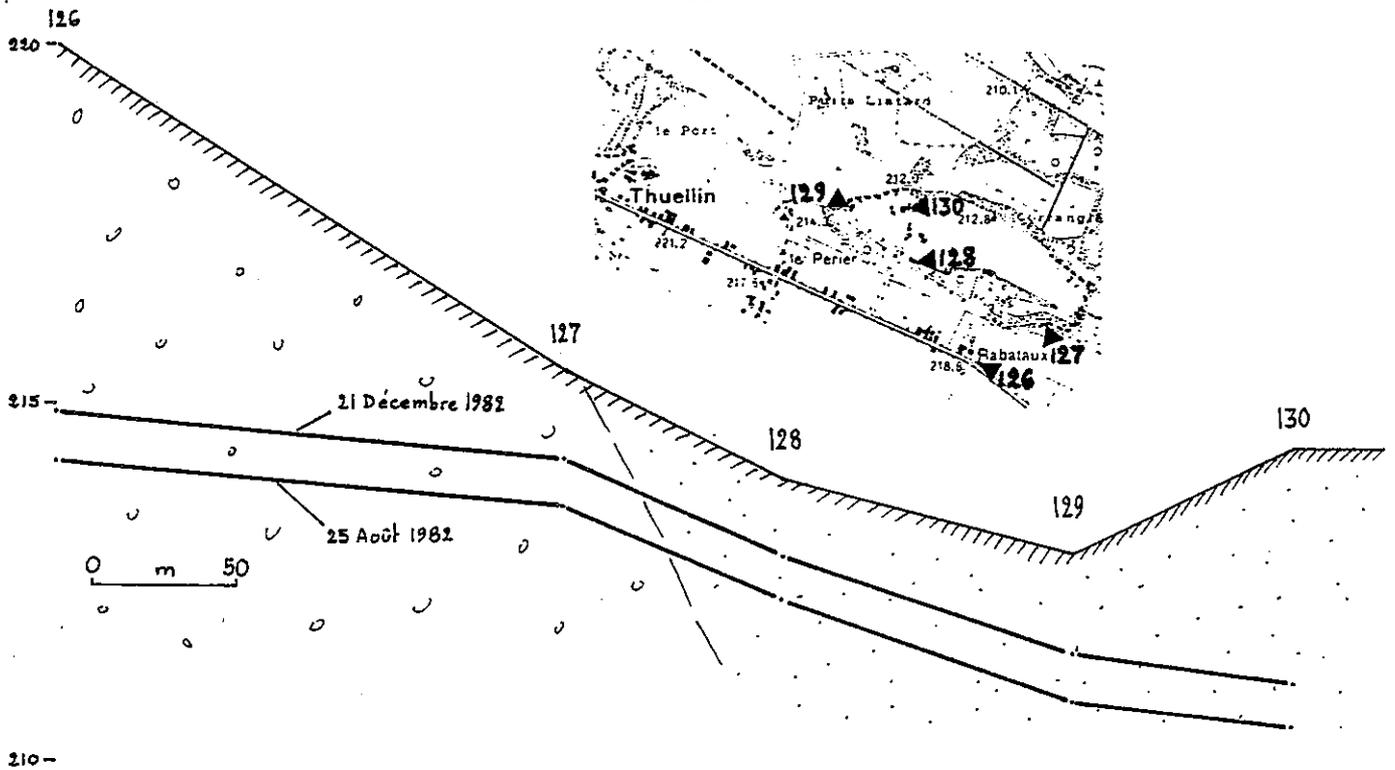
c/ Battement des nappes dans le couloir des Avenières: comme pour la nappe de la plaine d'Aoste (§ 2.2.2c), nous avons réalisé une carte des battements à partir des points mesurés mensuellement (fig.95).

Un seul secteur à fort battement apparaît: il est centré sur la station de pompage du Syndicat des Eaux des Abrets. Les points à battement supérieur à 2,40m se situent dans la zone d'appel du puits de pompage (forage F 23, fig. 49 et annexes). Sur le reste du cône de Veyrins, les battements sont supérieurs à 1,20m.

Dans la partie amont du couloir, les battements sont au contraire faibles: si l'on excepte les deux points placés dans l'axe et aux deux extrémités de ce secteur (battements de l'ordre de 1 mètre), l'ensemble de la nappe n'accuse que de faibles variations (autour de 0,5m) qui montrent le caractère confiné de cette zone marécageuse. Le profil en long réalisé dans l'axe du couloir (fig.88) montre la diminution de l'amplitude des variations de la nappe au centre du Grand Marais.

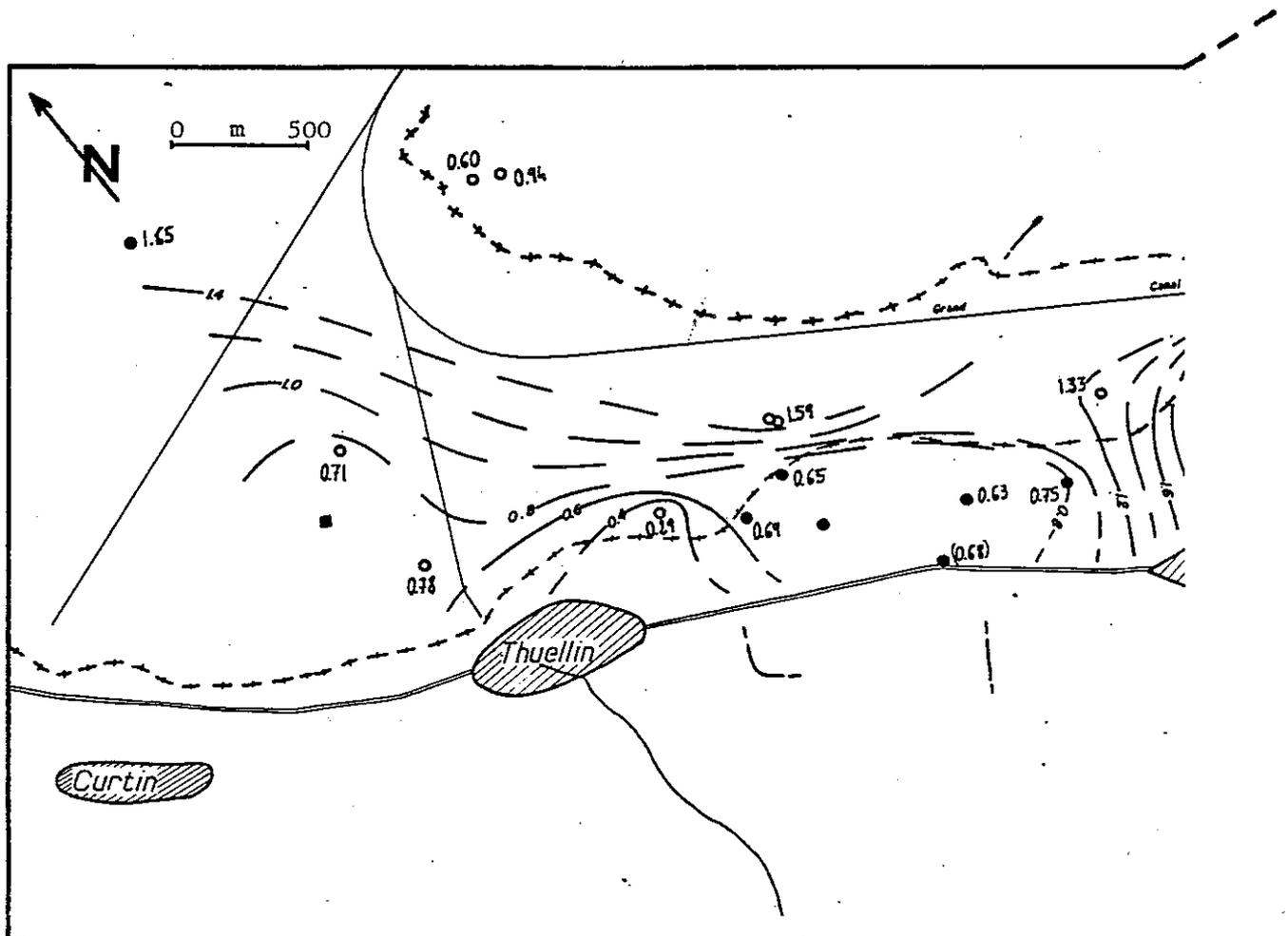
En aval du cône, les points de mesure font défaut pour apprécier les variations de la nappe du couloir: aux points 406b et 150 (cf. fig.76) placés dans l'axe du couloir, les battements importants (plus de 1,5 m) résultent de l'influence des crues de Rhône qui inondent la plaine du Bouchage jusqu'au point 150. Ces crues jouent un rôle de barrière hydraulique contre laquelle les eaux de la nappe s'accumulent à des niveaux anormaux qui n'ont rien à voir avec des niveaux de recharge de nappe par l'amont. Les points 408 et 409, bien que plus en aval que le point 406b, ne présentent pas de telles variations de nappe: le point 409 (forage F26) est artésien, les battements mesurés concernent donc la 2ème nappe, captive sous le conglomérat de base des alluvions grossières (cf. § 2.3.1.). Il en est peut-être de même pour le piézomètre 408 dont nous ignorons la profondeur de pénétration et la nature des terrains traversés. Le piézomètre 407, dont les battements sont très faibles (0,29m), pourrait être colmaté.

Les autres points entre Veyrins et Thuellin présentent des battements de nappe très semblables à ceux des points 408 et 409: les puits mesurés sont situés entre la terrasse fluvioglacière et l'ancien chenal fluviatile du couloir, en un secteur que l'étude géophysique (cf. 1ère partie, chapitre 4) nous a permis d'interpréter comme un



210-

Figure 93 - Battement de la nappe contigüe à celle du couloir des Avenières, en bordure de la terrasse fluvio-glaciaire, entre Veyrins et Thuellin.



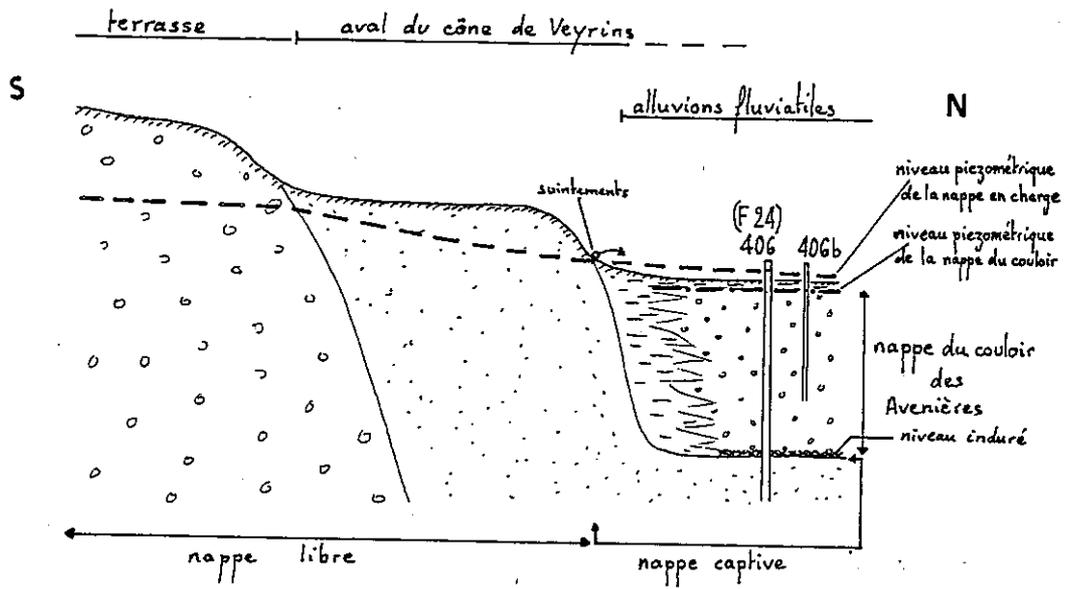


Figure 94 - Relations entre nappe adjacente et nappe du couloir en aval de Veyrins.

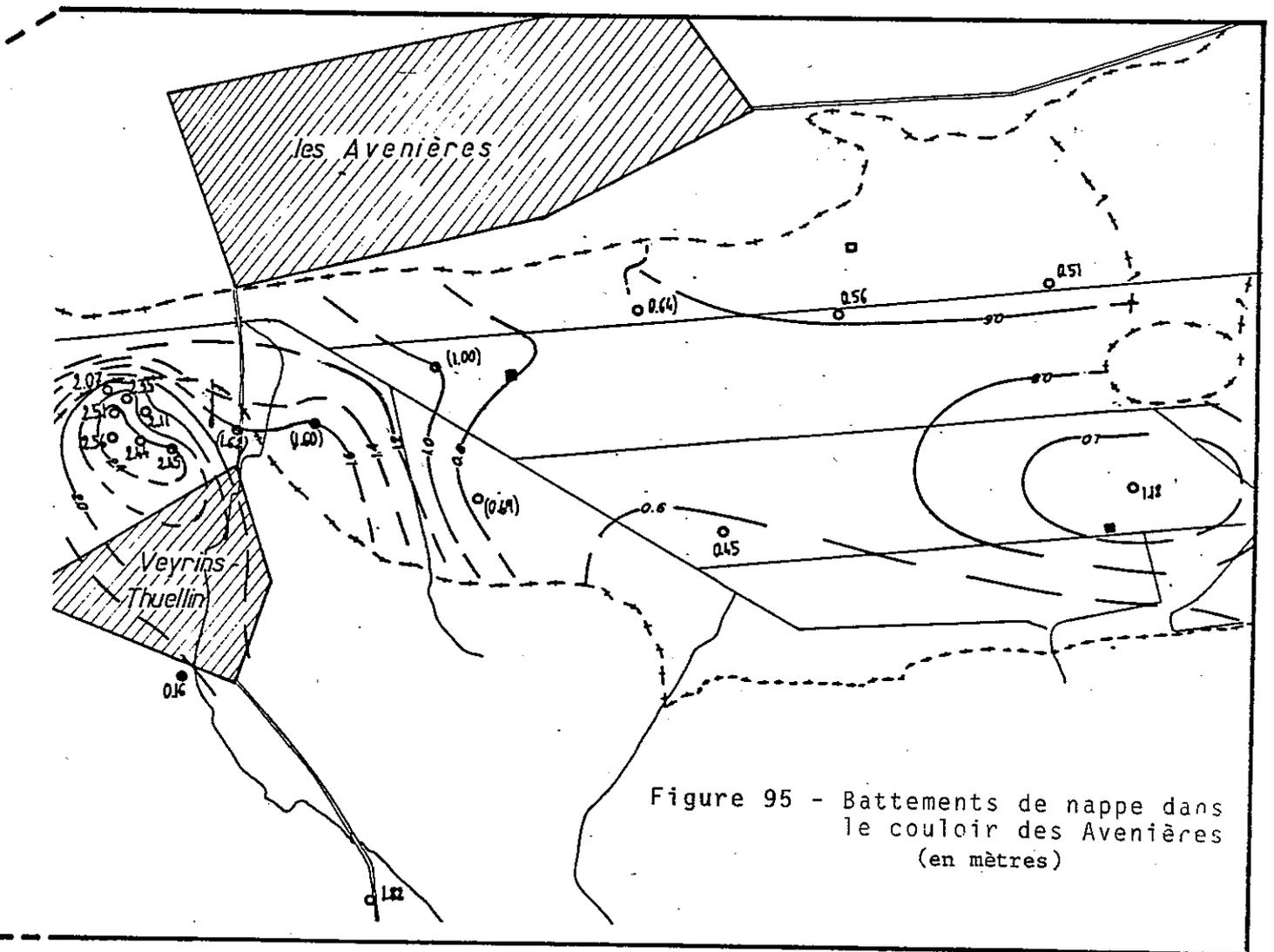


Figure 95 - Battements de nappe dans le couloir des Avenières (en mètres)

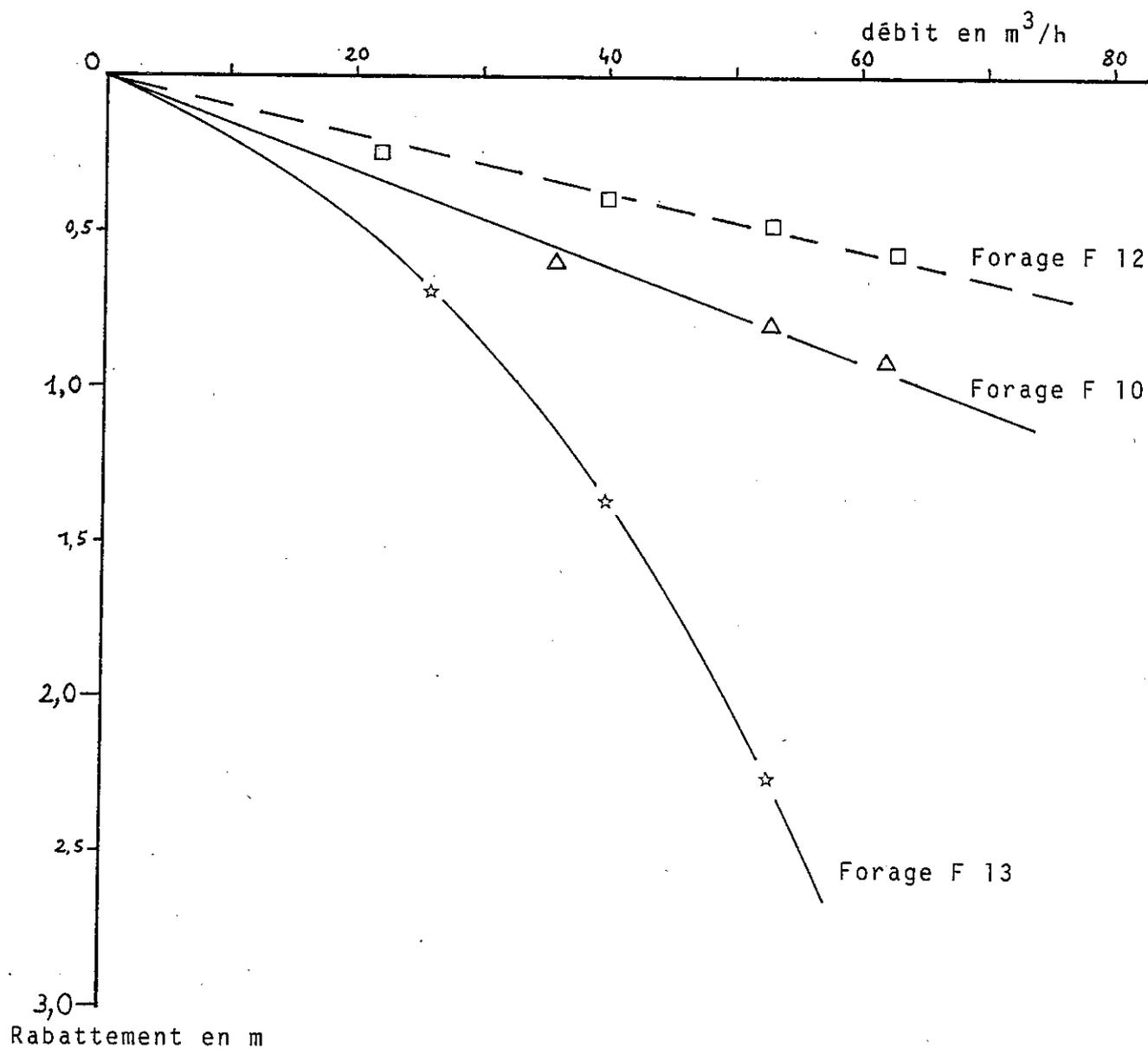


Figure 96 - Courbes caractéristiques des forages effectués entre Granieu et la Butte du Champ.

prolongement aval sableux du cône de Veyrins. Ces faibles battements (fig. 93), indiquent des variations minimales entre les alimentations d'entrée et de sortie: il se peut que la nappe de ce secteur soit en relation avec la nappe artésienne située sous la nappe alluviale du couloir (fig.94).

3 - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES RESERVOIRS AQUIFERES

Certains secteurs des réservoirs aquifères précédemment étudiés ont fait l'objet d'essais de pompage afin d'apprécier leur comportement hydrodynamique. La variété des caractéristiques des ouvrages testés (forages de différents diamètres) et des méthodes employées (essais de pompage par paliers enchaînés, ou essais de longue durée, essais de perméabilité Lefranc) ne permettent pas de comparaisons précises entre les valeurs obtenues sur les sondages testés: on retiendra seulement les ordres de grandeur de ces valeurs.

3.1 - Les essais de pompage au Nord de Granieu

A la suite de notre campagne de géophysique électrique (en 1983), nous émettions l'hypothèse de l'existence d'un chenal d'alimentation en eau au Nord de Granieu. La D.D.A. a donc fait réaliser des forages de reconnaissance entre le pied de Granieu et la butte du Champ (forages F 10 à F 13, cf. annexes) (fig.59) qui ont vérifié la profondeur du substratum argileux. Ces sondages ont été réalisés en petit diamètre (108mm) par roto-percussion.

Consécutivement, trois d'entre eux (F 10, F 12 et F 13) ont fait l'objet d'essais de pompage par paliers enchaînés, ce qui a permis de définir leur courbe caractéristique (fig.96). Il apparaît ainsi que le niveau de l'aquifère au point F 12 est peu perturbé par le débit pompé (rabattement $s = 0.57\text{m}$, pour un débit $Q=63 \text{ m}^3/\text{h}$), de même qu'au point F 10 (effet dû au pompage un peu plus sensible: $s = 0,93 \text{ m}$ pour $Q = 59 \text{ m}^3/\text{h}$). L'alimentation de la nappe compense donc assez bien les effets du pompage. Ces faibles rabattements laissent prévoir une bonne perméabilité et de faibles pertes de charge en cours de pompage, ce qui n'est pas le cas au point F13. En ce point en effet le rabattement s est de $2,25\text{m}$ pour un débit Q de $53\text{m}^3/\text{h}$, débit supérieur au débit critique possible.

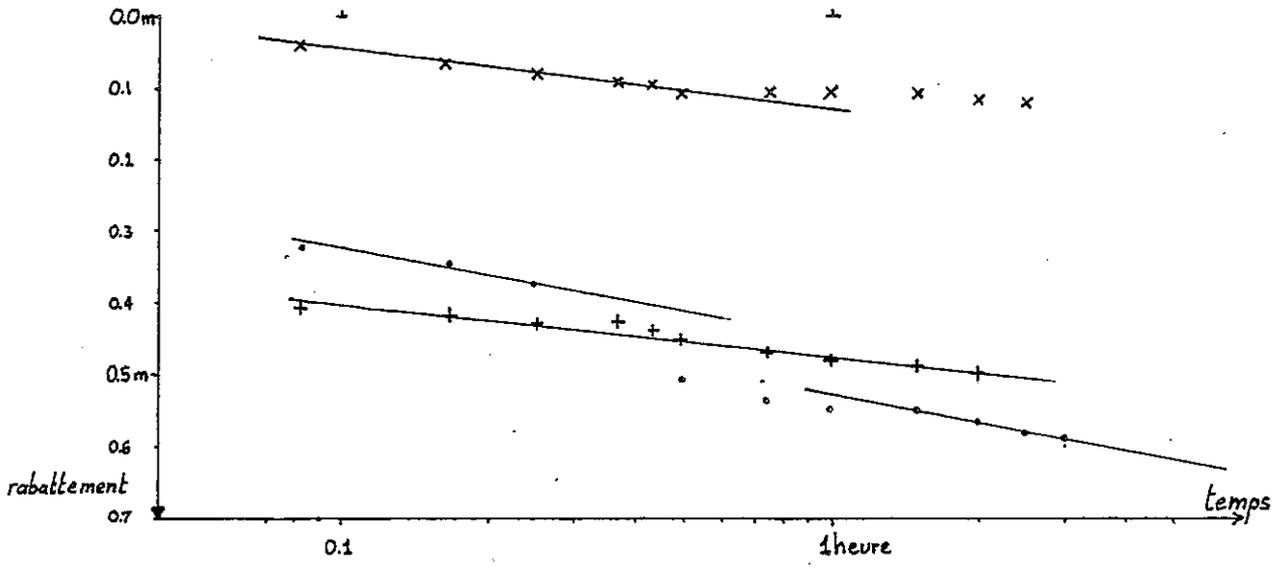


Fig.97 - Courbes rabattements/temps de descente pour le premier palier de débit

- Légende commune aux
Fig. 97 et 98
- F10:Δ (1er essai)
 - F10:+ (2em essai)
 - F12:×
 - F13:•

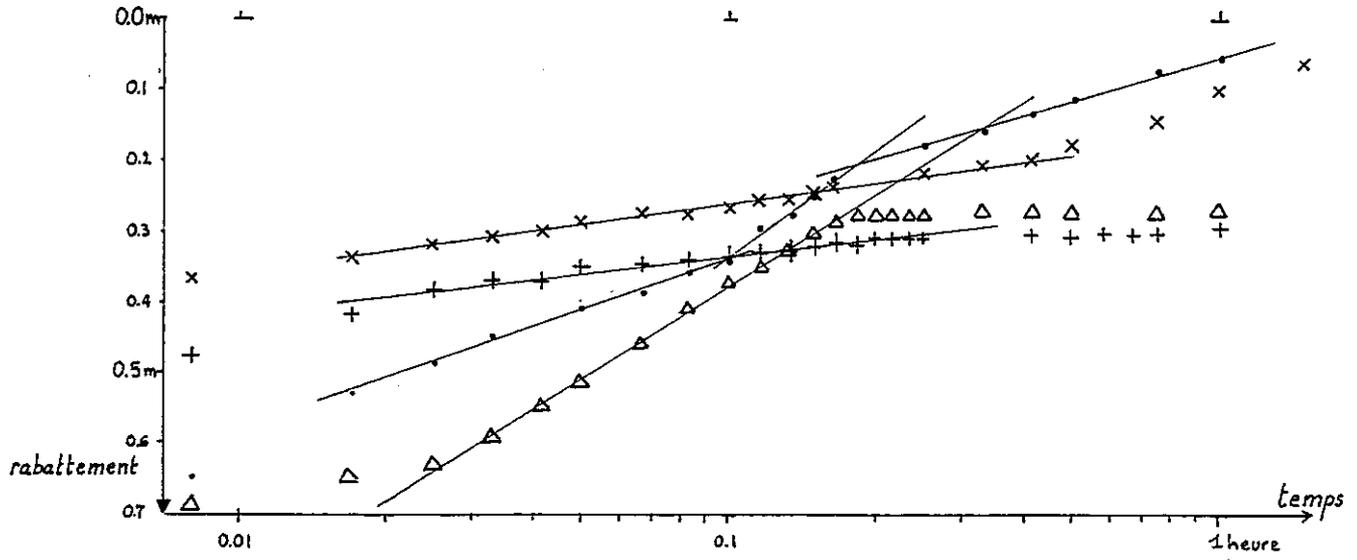


Figure 98 - Courbes rabattements/temps de remontée en fin de pompage.

Si les points F10 et F12 semblent bien alimentés, il n'en est donc pas de même du point F13: celui-ci est apparemment mal alimenté et sans doute hors des axes d'écoulement de la nappe. Or les essais de pompage réalisés en F14 (cf. § 3.4) montrent également un rabattement important ($S = 0,74$ m pour un débit faible de $9,75$ m³/h): un hypothétique axe d'alimentation issu de la plaine d'Aoste serait donc très localisé, l'écart entre les deux points n'étant que de 500 m.

D'autre part, l'étude du comportement des nappes, quoique peu précise en ce secteur, nous porte à envisager un axe d'écoulement non pas vers le Nord-Ouest, mais plutôt vers le Nord, en raison d'un gradient hydraulique i plus important en direction de Saint-Didier (§ 2.3.2b). Cette bonne alimentation au point F 12, distant de 300 m seulement du point F 14, est un fait important qui étaiè l'hypothèse précédemment avancée d'une limite latérale barrant le couloir entre les deux nappes de la plaine d'Aoste et du couloir des Avenières.

Pour ces trois points de pompage, nous avons calculé graphiquement les transmissivités des terrains à partir des courbes de pompage tracées sur papier semi-logarithmique. Les valeurs de transmissivité trouvées sont sensiblement semblables ($T_D \neq T_R$) en utilisant les courbes de descente du premier palier de débit ou de remontée (Fig.97 et 98) Partant de l'expression d'approximation logarithmique donnée par C.E. JACOB (1950):

$$s = \frac{Q}{4T} \left(\text{Log} \frac{4 Tt}{x^2 S} - 0,577216 \right)$$

avec

- s = rabattement (m);
- Q = débit pompé (m³/s);
- T = Transmissivité du terrain (m²/s);
- t = temps écoulé depuis le début du pompage (s) ;
- x = distance du piézomètre à l'axe du puits (m);
- S = coefficient d'emmagasinement (sans dimension)

on peut déduire la transmissivité à l'aide de la courbe de pompage

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

(fn G. CASTANY, 1982)

(C: différence de rabattement lue sur le graphique entre deux temps espacés d'un module logarithmique)

- Sur le forage F10, deux essais de pompage ont été réalisés à six jours d'intervalle:

.1er essai

:TD = incalculable (Q = 32,5 m³/h)

: TR = $4,8 \times 10^{-3}$ m²/s (Q = 41 m³/h)

. 2ème essai:

TD = 3×10^{-2} m²/s (Q = 36 m³/h)

TR = $3,7 \times 10^{-2}$ m²/s (Q = 59 m³/h)

La transmissivité est multipliée par 10 lors du deuxième essai, ce qui démontre la mauvaise réalisation du 1er essai de pompage qui nécessita sa reprise.

Les courbes rabattement/temps du forage F12 permettent le calcul des transmissivités:

TD = $3,8 \times 10^{-2}$ m²/s (Q = 22 m³/h)

TR = $3,4 \times 10^{-2}$ m²/s (Q = 63 m³/h)

D'après la courbe de remontée, il semble que la transmissivité faiblisse en fin de remontée.

Les essais réalisés sur le forage F13 donnent des transmissivités variant entre 5×10^{-3} et 1×10^{-2} m²/s

TD = 1×10^{-2} m²/s (Q = 26 m³/h)

TR = $1,1 \times 10^{-2}$ m²/s, puis $5,4 \times 10^{-3}$ m²/s, et finalement $9,6 \times 10^{-3}$ m²/s (Q = 53 m³/h).

Les variations calculées lors de la remontée peuvent indiquer l'existence d'une zone moins transmissive assez proche du puits (moindre perméabilité locale ?).

En conclusion, les transmissivités sont supérieures à 10^{-2} m²/s, ce qui compte-tenu de l'épaisseur e de l'aquifère (en mètres) permet d'apprécier les perméabilités K (en m/s), selon l'équation: $K = T/e$

- Pour F10, e = 13 m, K = $2,8 \times 10^{-3}$ m/s

- Pour F12, e = 11,5 m, K = 3×10^{-3} m/s

- Pour F13, e = 12 m, K = 8×10^{-4} m/s

Les perméabilités sont donc intéressantes au niveau des deux premiers forages, alors qu'en F13, le réservoir est nettement moins perméable.

3.2 - Les paramètres hydrodynamiques du réservoir du cône de Veyrins

Plusieurs forages ont été réalisés sur l'emplacement de la station de pompage du syndicat des Eaux des Abrets, au Nord de Veyrins (F 19 à F 23, fig. et annexes).

- En janvier 1981, deux essais de pompage de longue durée ont été effectués conjointement sur les forages F19 (puits de pompage) et F 21, qui traversent la première nappe captive. Le rapport de la D.D.A. donne les résultats suivants :

. Transmissivité

F 19 : $3,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (proche) et $7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (éloignée)

F 21 : $1,9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (proche) et $6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (éloignée)

405 b : $10,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

405 c : $5,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

405 d : $6,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$,

ce qui semble indiquer une meilleure transmissivité à quelque distance des deux forages, en se dirigeant vers le Sud (point 405 b).

. Perméabilité (déduite de la transmissivité)

F 19 : $2,8 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

F 21 : $1,8 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

valeurs faibles ne permettant pas de gros débits de pompage.

. Rayons d'influence théorique : environ 130 m.

. Coefficient d'emménagement : de l'ordre de 1,2 %, ce qui est faible mais correspond au caractère sableux des alluvions concernées

- En février 1981, compte-tenu des résultats précédents et d'un complément d'étude géophysique, le forage F 22 était réalisé à 70m au Sud du forage F 21. Le rapport de la D.D.A. donne :

. Transmissivité

F 22 : $3,3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (proche) et $1,9 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (éloignée)

sur l'ensemble de la zone : de 1,3 à $1,6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (d'après le comportement des niveaux aux points 405 a, 405 b, 405 e et F 22).

Ces valeurs correspondent bien à celles déduites des essais de Janvier.

. Perméabilité (déduite de la transmissivité avec une épaisseur d'aquifère de 16 m) :

F 22 : $2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

405 a : $2,4 \times 10^{-2} \text{ m/s}$

405 b

ce qui est très satisfaisant pour réaliser un puits d'exploitation

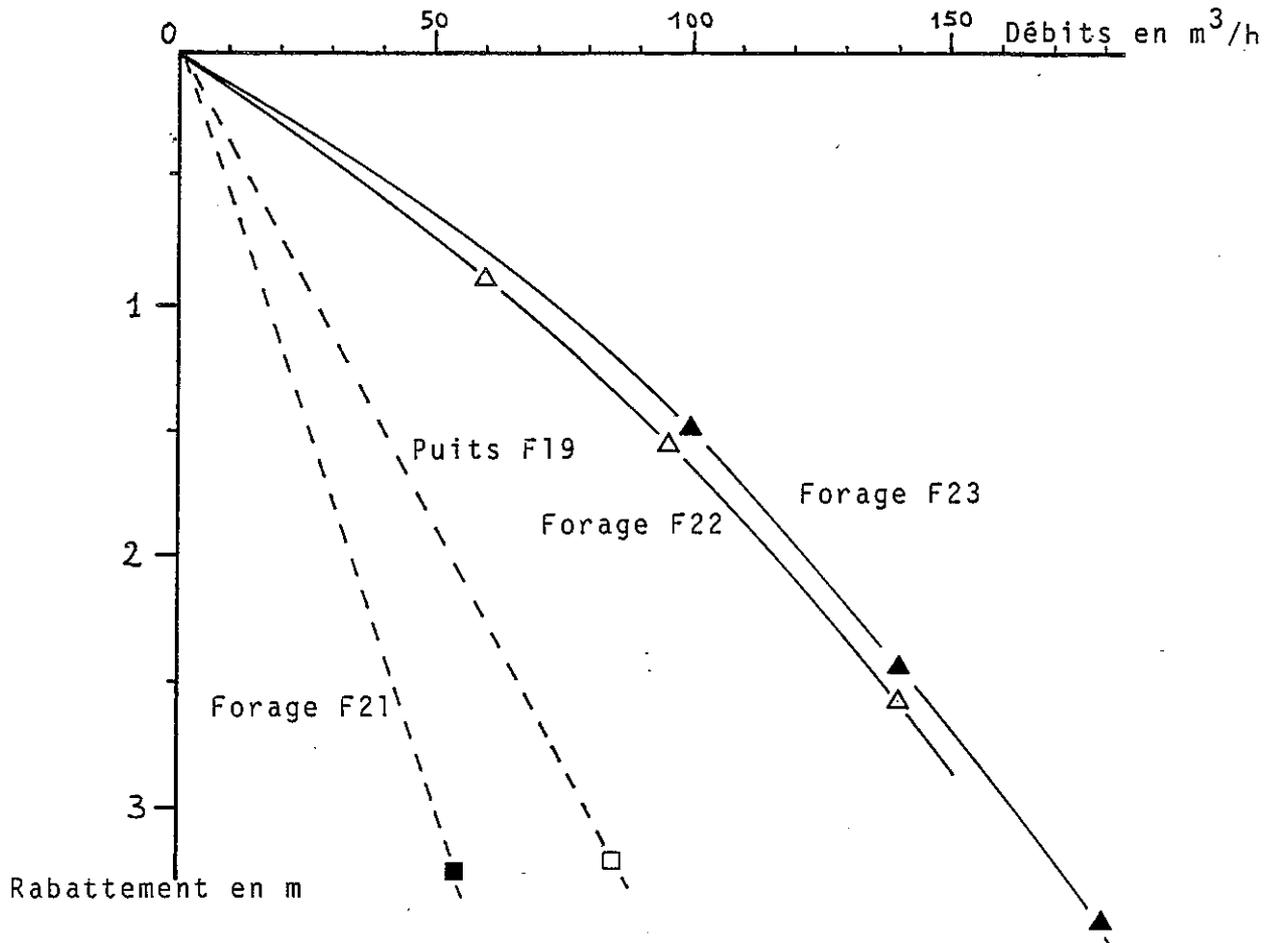


Figure 99 - Courbes caractéristiques des forages de la station de pompage de Veyrins. (d'après le rapport du 07/04/84 de la D.D.A. et l'hydrogramme de l'essai de pompage réalisé du 29/04 au 04/05/81 sur le forage F23)

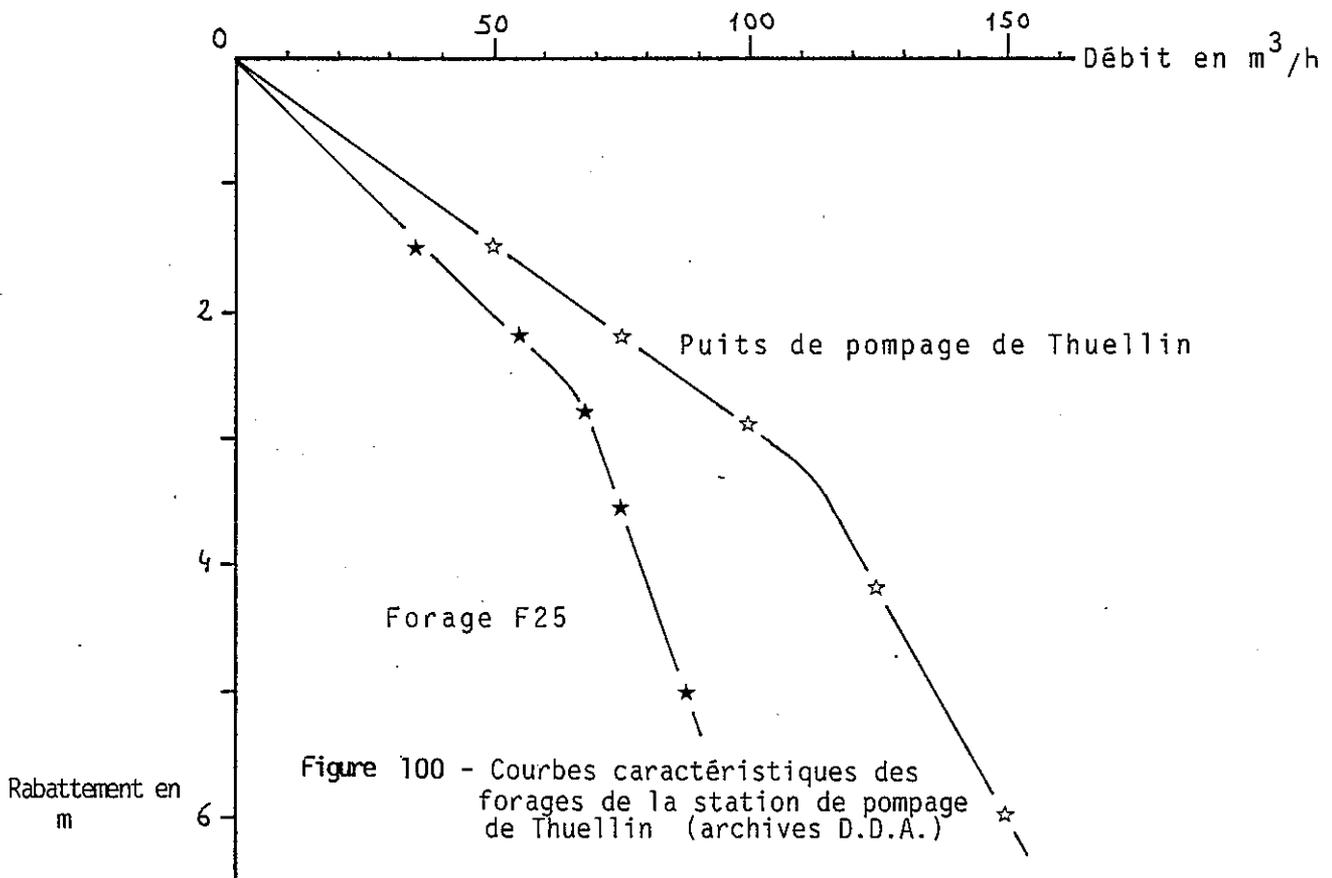


Figure 100 - Courbes caractéristiques des forages de la station de pompage de Thuellin (archives D.D.A.)

| Nappe concernée | Forage | Perméabilité K (m/s) | Transmissivité T (m ² /s) | Rabatement s(m) | Débit Q(m ³ /h) | Essai | Remarques |
|-------------------------------|--------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------|-------------------------------|
| Plaine d'Aoste | F 6 | | | 2 | 60 | Pompage | 500 m ³ /j en 1982 |
| | F 8 | 4.5×10^{-3} | | | | Lefranc | à 8.5 m |
| | F 9 | 5×10^{-4} | | | | Injection et pompage | |
| | F 10 | 2.8×10^{-3} | 3.7×10^{-2} | | | Pompage | Paliers enchaînés |
| | F 12 | 3×10^{-3} | 3.4×10^{-2} | | | Pompage | Paliers enchaînés |
| Couloir des Avenières (amont) | F 13 | 8×10^{-4} | 1×10^{-2} | | | Pompage | Paliers enchaînés |
| | F 14 | 1.3×10^{-2} | | | | Lefranc | à 7,5 m |
| | | 1.4×10^{-3} | | 0.74 | 9.75 | Pompage | |
| | F 15 | $\pm 10^{-3}$ | | 1.05 | 21 | Porchet | Entraînement de sable |
| | F 16 | $\pm 10^{-3}$ | | 1.68 | 36 | | |
| | | | | 2.07 | 82 | Porchet | |
| | | | | 2.34 | 117.2 | | |
| Cône de Veyrins | F 17 | 7×10^{-4} | | | | Lefranc | à 7.5 m |
| | F 19 | 2.8×10^{-4} | 3.1×10^{-3} puis | | | Pompage | de longue durée |
| | | | 7.0×10^{-3} | | | | |
| | F 21 | 1.8×10^{-4} | 1.9×10^{-3} puis | | | Pompage | de longue durée |
| | | | 6×10^{-3} | | | | |
| | F 22 | 2×10^{-3} | 3.3×10^{-2} puis | | | Pompage | Paliers enchaînés |
| | | | 1.9×10^{-2} | | | | |
| | 405a | | 2.4×10^{-2} | | | Pompage | Paliers enchaînés sur F22 |
| | 405b | | 1.0×10^{-2} | | | Pompage | longue durée sur F21 |
| 405c | | $5,6 \times 10^{-3}$ | | | Pompage | longue durée sur F21 | |
| 405d | | $6,2 \times 10^{-3}$ | | | Pompage | longue durée sur F21 | |
| Couloir des Avenières (aval) | F 24 | 4×10^{-4} | | | | Lefranc | Sur nappe inférieure |
| | F 25 | $2,75 \times 10^{-3}$ | | | | Pompage | Paliers enchaînés |

Tableau 8 - Paramètres hydrodynamiques des nappes étudiées.

. Rayon d'influence théorique : environ 250 m, mais le cône de rabattement est certainement déformé par la baisse progressive de perméabilité en direction de la bordure septentrionale du réservoir.

Ces essais de pompage montrent bien l'évolution de la courbe caractéristique des puits en fonction de l'emplacement des forages (fig. 97) et l'augmentation des valeurs des paramètres hydrodynamiques lorsque l'on s'éloigne de l'extrémité aval du cône. Il serait intéressant de suivre les effets de pompages sur des piézomètres placés au Sud et à l'Ouest du point 405 a, afin de vérifier ces variations latéralement à la station de pompage, ceci après avoir complété l'étude géophysique comme nous l'avons précédemment indiqué (1ère partie, ch. 4, § 4.2.3. D).

3.3. Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère dans le couloir des Avenières, en aval du cône de Veyrins

La station de pompage du Syndicat des Eaux de Dolomieu-Montcarra se situe dans l'axe du couloir, 1500 m à l'Est de Thuellin. Les essais de pompage, réalisés sur le forage d'essai F 25 en 1976, ont donné une perméabilité K d'environ $2,75 \times 10^{-3}$ m/s pour les alluvions graveleuses concernées (archives D.D.A.).

Le puits de pompage, testé en 1980, montre une bonne amélioration de la courbe caractéristique du puits (fig.100), le débit critique se situant vers 110 m³/h au lieu des 70 m³/h précédemment trouvés sur le forage de reconnaissance F 25.

3.4. Synthèse générale des valeurs des différents paramètres hydrodynamiques mesurés sur les nappes aquifères de la plaine d'Aoste et du couloir des Avenières

Le tableau 8 permet de visualiser les valeurs trouvées lors des travaux réalisés antérieurement ou au cours de notre étude.

Les perméabilités sont obtenues :

- à la suite d'essais de pompage :

. soit à partir des valeurs de transmissivité, connaissant l'épaisseur de l'aquifère : $K = T/e$;

. soit à partir d'une simplification de la formule de Dupuit, établie empiriquement par Porchet.

$$K = \frac{3 Q}{2(H^2 - h^2)}$$

H : hauteur d'eau avant pompage,

h : hauteur d'eau stabilisée pour un débit Q.

- à la suite d'essais Lefranc : en ce cas, les perméabilités obtenues ne concernent qu'un horizon donné du réservoir aquifère.

4 - CONCLUSIONS

Nous nous proposons, au cours de ce chapitre, de mieux cerner les caractéristiques des réservoirs aquifères repérés par les méthodes de prospection géophysique.

Les connaissances acquises concernent les deux nappes alluviales d'Aoste et du couloir des Avenières. On a mis en évidence leur indépendance de comportement et d'alimentation, les écoulements s'effectuant respectivement vers le Nord pour la première et vers la plaine du Bouchage, au Nord-Ouest, pour la seconde.

Les relations entre cette dernière et la nappe du cône de Veyrins sont semi-dépendantes, l'aval du cône étant d'une nature granulométrique beaucoup plus fine et argileuse. Une partie de l'eau de la nappe du cône pourrait ainsi alimenter la nappe captive en charge repérée sous celle du couloir des Avenières en aval du cône.

D'une manière générale, les perméabilités sont moyennes (10^{-3} m/s), en raison de la nature assez sableuse des alluvions. D'après les résultats d'essais de pompage à la station du Syndicat des Eaux des Abrets, au Nord de Veyrins, les perméabilités semblent plus faibles en bordure du cône (où le coefficient d'emménagement n'est que de 1 %) qu'en retrait, ce qui confirme les réflexions proposées à la suite de l'étude des coupes de forages et des profils géophysiques (1ère partie, ch. 4).

Ainsi, du point de vue hydrodynamique, certains sites présenteraient des caractéristiques intéressantes en vue d'une exploitation de l'aquifère :

- au pied de Granieu, comme nous l'avons vu (forages F 10 et F 12), où l'alimentation de la nappe semble satisfaisante ;

- en rive droite de la Bièvre : alimentation issue du thalweg de ce ruisseau, faibles battements de la nappe ;
- au Sud de Saint-Didier : alimentation issue de la plaine de Champagne, niveau de nappe maintenu par le barrage hydraulique du Rhône (situation susceptible d'évoluer défavorablement à la suite des aménagements de la C.N.R.) ;
- à l'Ouest de l'actuelle station de pompage de Veyrins : alimentation issue de la gouttière de Corbelin et amélioration probable des caractéristiques hydrodynamiques.

Tout ceci doit être vérifié par des études complémentaires approfondies, en tenant compte du fait que les qualités hydrodynamiques ne suffisent pas pour l'obtention de sites exploitables par les Syndicats des Eaux : les qualités physico-chimiques et bactériologiques des eaux susceptibles d'intérêt seront déterminantes pour l'exploitation d'eau potable.

CHAPITRE 3
CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX
DE LA REGION D'AOSTE

1 - INTRODUCTION

1.1. LES PRELEVEMENTS

Les échantillons ont été prélevés aux emplacements de relevés de niveaux de nappe et cours d'eau (fig.). Leur répartition est la suivante :

- cours d'eau, canaux : 26 échantillons
- sources : 6 échantillons
- marais, étangs, gravières : 7 échantillons
- nappes (puits, piézomètres, forages) : 65 échantillons.

Une première campagne de prospection a été réalisée les 29 et 30 décembre 1982 sur l'ensemble de notre secteur d'étude (plaine d'Aoste, couloir des Avenières et bordures molassiques latérales), en période de hautes eaux des nappes.

Une seconde, effectuée le 26 août 1983 en période de basses eaux des nappes, concerne seulement la plaine d'Aoste : elle a permis de vérifier l'évolution physico-chimique des eaux entre hiver et été.

En dehors des données de forages, il n'a pas été possible de connaître les caractéristiques techniques des piézomètres trouvés sur le terrain. Ceux de la C.N.R. ne sont pas crépinés : l'eau de la nappe n'entre que par la base et se renouvelle donc difficilement vers le haut du tube. On observe alors une nette augmentation de la résistivité de l'eau contenue dans le piézomètre entre la base et le sommet ; elle traduit une perte de minéralisation due probablement à l'activité biologique à proximité de la surface.

Les tubes piézométriques relevés descendent rarement en-dessous de 8 mètres de profondeur : ils ne traversent que les alluvions de la plaine et du couloir. Certains forages, par contre, dépassent les 30 mètres de profondeur (cf. annexes) et peuvent donc rencontrer des eaux captives à composition chimique différente.

1.2. MESURES ET ANALYSES

1.2.1. Mesures physico-chimiques

Elles sont effectuées sur le terrain et concernent :

- les températures mesurées à l'aide d'un thermomètre à mercure (précision 1/10°C) ;
- les résistivités, mesurées avec un résistivimètre de terrain, dont les valeurs γ ont été corrélées avec celles obtenues sur un conductivimètre METROHM E 587 au laboratoire d'hydrogéologie de l'Institut Dolomieu ($R = 1,00$; $y = 0,96 x + 13,99$). Les valeurs de résistivité obtenues sont ramenées à la température standard de 18°C ;
- le pH, mesuré au moyen d'un pH-mètre METROHM E 588 à électrode de verre combinée KCl. Le pH représente le cologarithme de la concentration en ions H⁺ ; il indique donc l'acidité du milieu testé.

1.2.2. Analyses chimiques

La chimie de l'eau en un point est assez variable dans le temps. Il est impossible de déduire, à partir d'une seule analyse, la qualité réelle de l'eau en ce point. Seules des analyses répétées permettront de confirmer sa tendance chimique. Par contre, si l'on considère non pas un point, mais un ensemble de points, on pourra apprécier l'évolution spatiale des différentes concentrations en ions.

Les moyens mis en oeuvre au cours de notre étude n'ont pas permis de garantir une bonne conservation des échantillons entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse, ceux-ci ayant été stockés à la température ambiante du laboratoire. Nous avons donc réalisé rapidement les analyses en fer total (3 jours après prélèvement) et des sulfates (6 jours après prélèvement). Les autres analyses ont été effectuées au cours des semaines suivantes.

a) Les dosages titrimétriques ont été utilisés pour :

- les mesures de THT (titre hydrotimétrique total ou dureté de l'eau), de calcium Ca⁺⁺ et de magnésium Mg⁺⁺ (formation d'un complexe entre ions alcalino-terreux et l'acide éthylène diamine tétracétique - EDTA - détecté par le noir d'ériochrome) ;
- l'analyse des bicarbonates HCO₃⁻ (dosage acidimétrique, indicateur : méthylorange) ;

- l'analyse des chlorures Cl^- (méthode au nitrate mercurique, indicateur : diphényl carbazone + bleu de bromophénol).

b : Les dosages colorimétriques ont été utilisés pour :

- l'analyse des sulfates SO_4^{--} (méthode néphélométrique : précipité obtenu avec le chlorure de baryum, stabilisé par de la polyvinyl-pyrrolidone ; la densité optique de la suspension obtenue est mesurée avec un photomètre SP 320 Jouan) ;

- l'analyse des nitrates NO_3^- (réactif Nitruver V) et du fer total Fe (réactif Ferrover), dont les suspensions sont mesurées à l'aide d'un photomètre HACH DC.DR).

c) Les dosages par spectrophotométrie de flamme ont été effectués sur un appareil UNICAM SP 90 A du laboratoire d'analyses des eaux de la Faculté de Pharmacie de Grenoble :

- la spectrophotométrie par absorption a été utilisée pour les mesures de concentration en potassium K ;

- la spectrophotométrie par émission a été utilisée pour les mesures de concentration en sodium Na.

d) Problèmes apparus en cours d'analyse :

- le dosage du sodium a nécessité la prise en compte de l'influence exercée par le calcium sur les valeurs de densité optique D.O. Nous avons donc établi une courbe étalon D.O./concentration en Ca^{++} (fig.101) qui nous a permis de connaître la part de D.O. attribuable au Ca^{++} contenu dans nos eaux : celle-ci a été soustraite de la D.O. donnée à l'analyse des échantillons, afin de tenir compte de la seule influence du sodium.

Exemple : eau à 100 mg/l de calcium (fig.101) :

D.O. obtenue = 85 dont 42 attribuables à l'influence du Ca^{++} et donc 53 résultant de celle de Na^+ , soit une concentration de 5 mg/l de Na^+ .

- l'analyse des bicarbonates : lors de l'établissement de la balance ionique sur des eaux prélevées en décembre, il est apparu des erreurs importantes sur les deux premiers tiers analysés (défaut en anions). Ceci provenait de l'analyse des bicarbonates dont les valeurs, sensiblement trop basses, résultaient de la défektivité de la solution d'acide sulfurique présente au laboratoire.

Nous avons renouvelé nous-même le produit en cours d'analyse, ce qui explique les erreurs acceptables des autres analyses (sur les 34 analyses restantes l'erreur moyenne e est de + 1,77, avec un écart de 3,82).

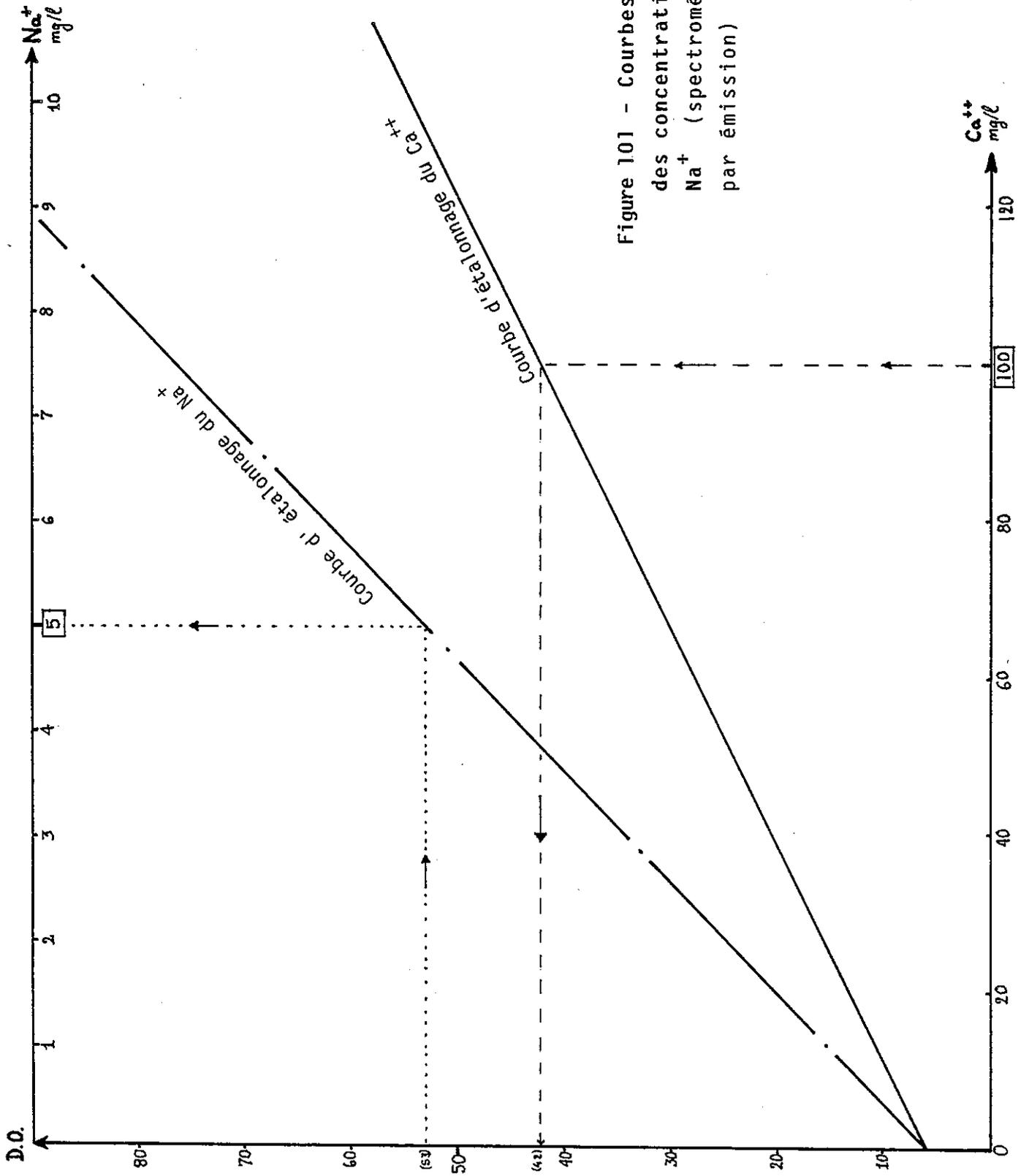


Figure 101 - Courbes d'étalonnage des concentrations en Ca^{++} et Na^+ (spectrométrie de flamme par émission)

Lors de l'établissement de la balance ionique, il n'était plus possible de reprendre ces analyses défectueuses. Plutôt que d'ignorer ces concentrations en ions HCO_3^- , nous avons utilisé la valeur moyenne de l'erreur faite sur les autres analyses ($e = + 1,77$), qui nous a permis d'avoir une indication sur la concentration en HCO_3^- pour les eaux des échantillons incriminés.

En partant du calcul de l'erreur d'analyse :

$$e = 100 \frac{rc - ra}{rc + ra} \quad \text{avec } e = \text{erreur,}$$

rc et ra = concentrations en cations et en anions, exprimées en milli-équivalents,

$$\text{on obtient : } r^- = \left(\frac{100}{e} - 1 \right) r^+ / \left(\frac{100}{e} + 1 \right)$$

$$\text{soit, avec } e = + 1,77, \quad r^- = 0,965 r^+$$

$$\text{d'où } r\text{HCO}_3^- = 0,965 r^+ - (r\text{Cl}^- + r\text{SO}_4^{--} + r\text{NO}_3^-)$$

$$\text{et, en mg/l : } \text{HCO}_3^- = 61,01 (0,965 r^+ - (r\text{Cl}^- + r\text{SO}_4^{--} + r\text{NO}_3^-))$$

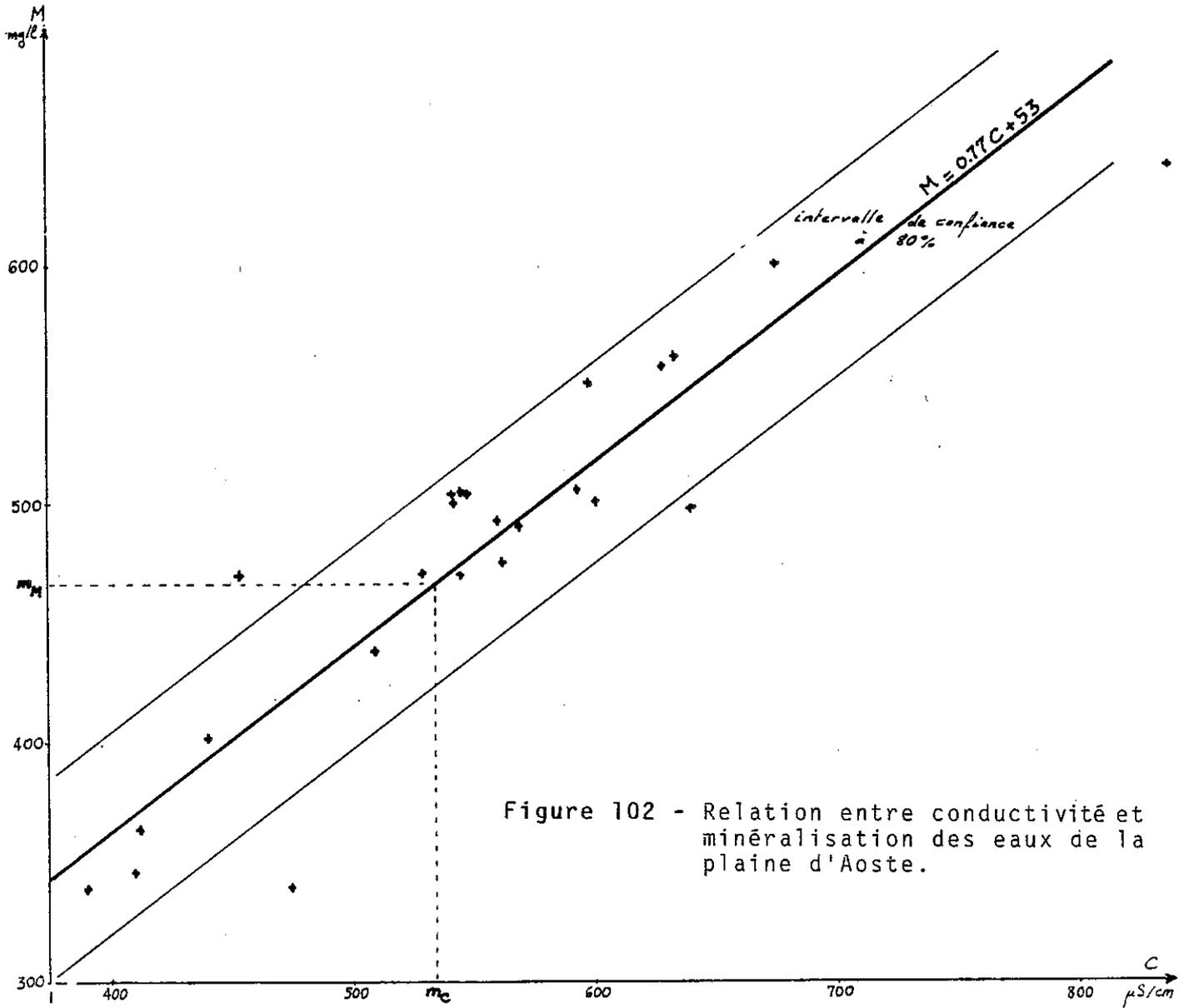
Ces concentrations en bicarbonates, notées entre parenthèses dans les tableaux de l'annexe IV, sont une simple indication de la concentration possible de ces eaux en HCO_3^- , en supposant une erreur d'analyse de + 1,77 imputée uniquement aux mesures faites sur les concentrations en bicarbonates et en cations.

2 - PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX ÉTUDIÉES (Annexe IV)

2.1. TEMPERATURES

- En décembre, la température moyenne des cours d'eau se tient entre 6 et 9°C. Les ruisseaux issus du plateau molassique ont des eaux à 6°C en moyenne, alors que celles des canaux du couloir des Avenières sont plus élevées (entre 7 et 9°C) du fait du drainage des eaux de la nappe, tout comme celles des cours d'eau de la plaine d'Aoste (7 à 8°C).

Les températures des nappes restent autour de 12,5°C quel que soit le type de nappe : ces températures, légèrement supérieures à la température moyenne de l'année 1982 (12°1 à Granieu), résultent de l'effet de réchauffement des aquifères pendant l'été, qui ne s'est



pas totalement dissipé en décembre (décalage du maximum thermique dans la zone d'hétérothermie annuelle, par rapport à celui de l'air ambiant).

Les températures des sources se situent autour de 10°C (sauf S 1), valeur intermédiaire entre celles des nappes et celles des cours d'eau.

- En août, sur la plaine d'Aoste, les températures des cours d'eau suivent les températures journalières et sont de 7 à 12°C plus élevées qu'en décembre ; celles des gravières et marais (eaux stagnantes) sont de 15 à 20° plus élevées.

La température des nappes, vers 5 m de profondeur, oscille autour de 15°C, soit 2 à 3° seulement au-dessus des températures de décembre. A cette profondeur, les amplitudes thermiques sont faibles.

2.2. RESISTIVITES

Elles permettent d'apprécier la minéralisation d'une eau, sachant que le passage du courant est facilité par la présence d'ions. La conductivité, inverse de la résistivité, variera dans le même sens que la minéralisation.

A partir des analyses du mois d'août sur des échantillons d'eau prélevés sur la plaine d'Aoste, nous avons déterminé l'équation de la droite de régression linéaire entre la minéralisation M et la conductivité C (Fig.102):

$$M = 0,77 \cdot C + 53 \quad (\text{coefficient de corrélation : } R = 0,95)$$

que l'on peut rapprocher de la formule empirique de H. Dehays (1980):

$$M = 0,99 \cdot C - 30 \quad \text{établie à partir d'analyses des eaux de}$$

la molasse et du Quaternaire dans la région de Paladru (Isère),

et de celle de F. Baudoin (1984) :

$M = 0,85 \cdot C + 33$ obtenue à partir d'analyses d'eaux de nappe alluviale et d'émergences karstiques dans l'avant-pays de Chartreuse (Isère).

Dans les tubes piézométriques non crépinés, les résistivités varient souvent : on a une augmentation de résistivité -donc une baisse de minéralisation- de la base au sommet, due vraisemblablement au manque de renouvellement de l'eau de surface sans relation directe avec celle de la nappe et dont la minéralisation de départ a été utilisée par les micro-organismes.

Exemple :

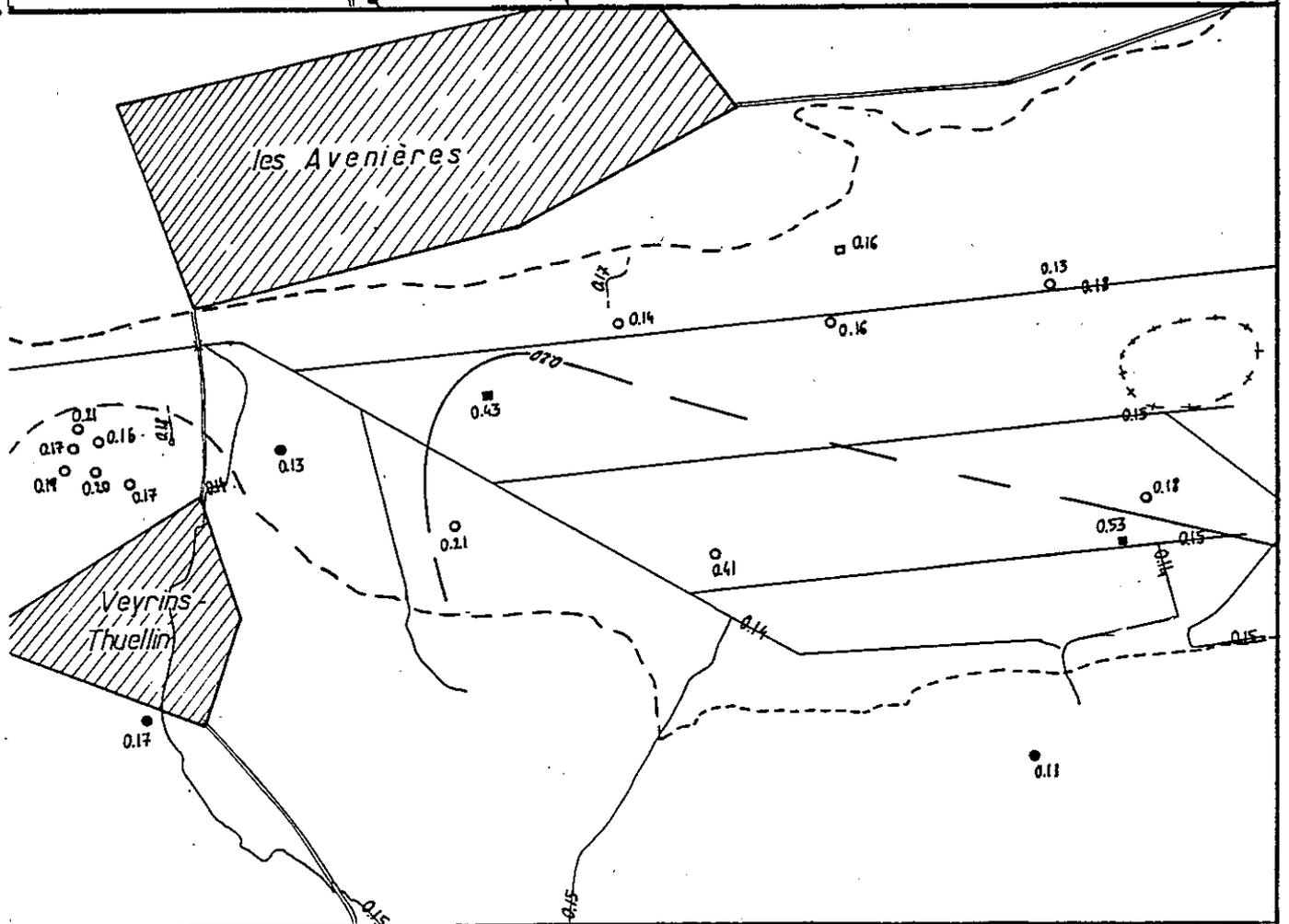
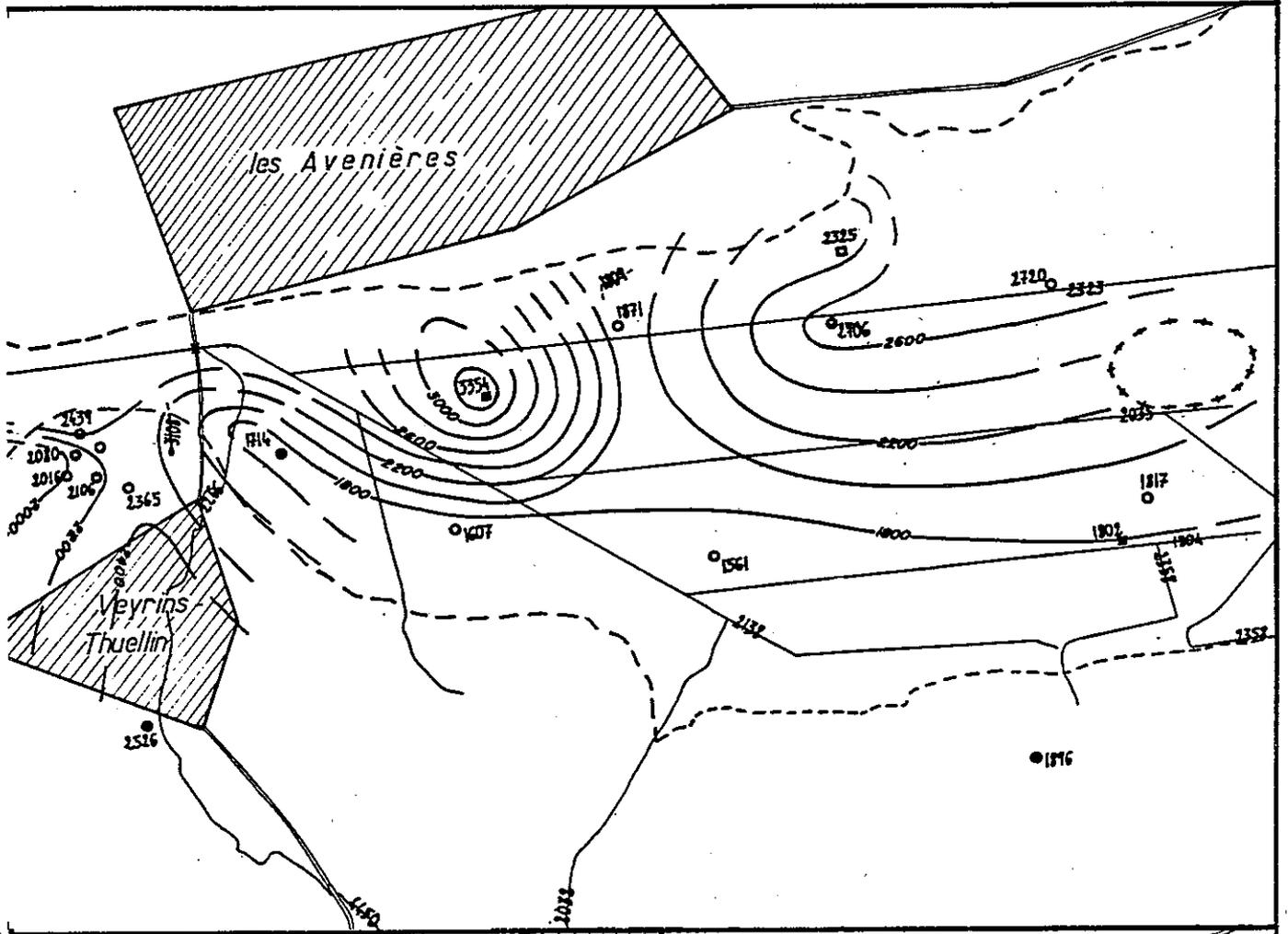
| Piézomètre | Profondeur sous la surface | Température (degrés Celsius) | Résistivité (à 18°C) |
|------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| R 184 | 1 m | 11,1 | 1880 |
| | 4 m | 9,5 | 1860 |
| R 185 | 1 m | 13,3 | 2990 |
| | 5 m | 11,3 | 1800 |
| R 186 | 1 m | 13,7 | 2700 |
| | 4 m | 11,7 | 2560 |
| R 187 | 1 m | 11,6 | 1480 |
| | 5 m | 10,6 | 1530 |
| R 188 | 1 m | 12,8 | 3220 |
| | 4 m | 10,6 | 1610 |
| R 189 | 1 m | 15,2 | 2870 |
| | 4 m | 14,5 | 1870 |

(pour chaque piézomètre, la 2ème profondeur correspond à la base du tube).

Malgré ces problèmes de représentativité de la chimie des eaux de la nappe à partir d'échantillons d'eau prélevés sur des points différents (puits, tubes piézométriques, forages), nous avons tracé une carte d'équi-résistivité des nappes étudiées afin de visualiser dans le plan l'ensemble de nos mesures (fig.103).

- Dans la plaine d'Aoste, les résistivités diminuent d'Est en Ouest en s'éloignant du Guiers. Si l'on envisage une alimentation de la nappe par cette rivière au niveau d'Aoste - Gare de l'Est (cf. 2ème partie, chapitre 2), on voit que les eaux peu minéralisées (environ 360 mg/l) issues du Guiers acquièrent peu à peu cette minéralisation au sein de la nappe, en se déplaçant vers le Nord-Ouest et le Nord. Les résistivités plus fortes près de Saint-Didier résultent peut-être d'un mélange avec des eaux issues du Rhône lors de la crue importante de la semaine précédente (1400 m³/s).

Ainsi, une bonne partie des eaux de la nappe présente une résistivité inférieure à 1800 ohms-cm, qui semble, par ailleurs, plus faible selon l'axe de la Bièvre. Ceci est-il à mettre en relation avec une alimentation issue de la gouttière de la Bièvre ? Cette rivière présente des eaux à forte résistivité (4067 ohms-cm), mais il est probable que les eaux de la nappe qui l'accompagne sont beaucoup



plus minéralisées du fait de l'importance de la distance parcourue dans les alluvions (plus de 7km depuis le cône de Fallamieux). On aurait là une indication possible d'un apport en eau selon un axe précédemment pressenti (cf. 1ère partie, chapitre 4).

On peut également considérer que cette minéralisation plus importante résulte d'un temps de transit des eaux plus long au sein du réservoir aquifère, en raison d'une granulométrie plus fine (argiles, sables fins). Cette hypothèse est vraisemblable au centre de la plaine, d'après les résultats de l'étude géo-électrique (1ère partie, ch.4), mais moins probable près d'Aoste (résistivités des terrains plus importantes).

Les résistivités des eaux mesurées en Août sont en baisse, ce qui traduit une augmentation de la minéralisation qui résulte de dissolutions plus importantes au sein de la zone non saturée, sans dilutions importantes par les précipitations en cette saison.

Dans le couloir des Avenières, les eaux des deux secteurs d'apports latéraux (cône de Veyrins, et Nord-Est du Grand-Marais, fig.104) présentent des résistivités supérieures à 2000 ohms-cm. Celles des eaux du couloir restent généralement en-dessous des 1800 ohms-cm, les plus basses se trouvant plutôt en bordure du plateau molassique.

Quelques points à résistivités supérieures à 3000 ohms-cm apparaissent, d'une part en amont du cône (secteur marécageux dont les eaux superficielles ne sont pas très représentatives de la nappe), et d'autre part autour de Thuellin (eaux appartenant à une nappe adjacente à celle du couloir). Le point le plus en aval (Ferme de la Forêt, référence: 150) pourrait représenter un secteur de la nappe à forte circulation et à granulométrie importante (faibles possibilités d'acquisition de la minéralisation), ou plus vraisemblablement un reliquat des eaux d'inondation du Rhône dans le secteur la semaine précédente.

2.3 - pH

Les pH caractérisent l'acidité des eaux; dans notre étude, les échantillons prélevés ont des valeurs comprises entre 7.1 et 8.4 (excepté quelques cas anormaux).

Les cours d'eau ont un pH moyen de 8.1 ± 0.2 avec des extrêmes de 7.8 et 8.4 en Décembre, et de 7.8 avec des extrêmes de 7.5 et 8.0 en Août. On note donc une légère augmentation de l'acidité des eaux pendant l'été du fait des températures plus élevées.

Les pH des sources et plans d'eau présentent des valeurs semblables, autour de 7.9, légèrement plus faibles en été.

Les pH des eaux de la nappe de la plaine d'Aoste sont moins basiques en Décembre qu'en Août, contrairement aux pH des eaux de surface. Les valeurs passent de 7.5 à 7.7 en moyenne, sauf celles qui concernent les eaux de la nappe située dans la terrasse fluvio-glaciaire de Granieu qui restent assez stables.

Les valeurs obtenues dans le couloir des Avenières montrent un caractère plus acide des eaux en amont du cône (pH 7.7) qu'en aval (bordure sud-ouest: pH= 8.0). Ceci peut résulter du caractère marécageux du couloir des Avenières qui favorise le développement des tourbes, et donc la décomposition de matières organiques avec production d'acides organiques par les micro-organismes (phénomènes de réduction).

3 - CARACTÉRISTIQUES GÉOCHIMIQUES DES EAUX ÉTUDIÉES (Annexe IV)

3.1 - DURETE DES EAUX (THT, exprimé en degrés français: d°f)

Elle exprime la teneur en sels de calcium et de magnésium de l'eau. Les normes françaises de potabilité conseillent une valeur maximale de 30°f, c'est à dire des eaux douces à moyennement dure.

Sur l'ensemble de la plaine d'Aoste, les cours d'eau ont des valeurs de THT comprises entre 20 et 30°f, généralement plus fortes en Août qu'en Décembre. Entre Granieu et Veyrins les eaux issues du plateau ou du couloir sont plus dures avec une moyenne de 30°f, alors qu'à partir du cône de Veyrins la dureté descend à 16°f.

Sur l'ensemble de la plaine d'Aoste, la nappe a un THT moyen de 30°5f en Décembre, valeur plus élevée que celles des cours d'eau qui se tiennent entre 20 et 30°f. Ce THT de la nappe descend légèrement en Août: 28°7f, en raison de la baisse de teneur en calcium à cette époque de l'année.

Les THT mesurés en Décembre sur la nappe du couloir, en amont de Veyrins sont plus forts: 34 à 40°f, sauf en bordure Nord-Est du Grand-Marais (22°f). Ceci est à rapprocher de l'augmentation des THT des cours d'eau issus du plateau et des canaux de ce secteur, dont le THT s'élève à 30°f.

A partir du cône de Veyrins, les THT des eaux de la nappe du cône et de la partie aval de la nappe du couloir dépassent rarement les 20°f. Dans ce secteur, les eaux des cours d'eau issus du plateau ont une dureté moyenne de 16°f.

On voit donc que, sur trois zones différentes, les THT des eaux des nappes sont légèrement supérieures à ceux des cours d'eau qui les alimentent. Ceci se conçoit bien car les eaux des ruisseaux, en s'infiltrant dans les alluvions, acquièrent une plus grande minéralisation, et se chargent notamment en calcium et magnésium.

La forte teneur en ces ions remarquée en amont de Veyrins n'est plus apparente en aval, que ce soit dans les eaux du grand canal (réf. 239) ou dans celles de la nappe (réf. 406 à 409, annexes), ce qui montre la faiblesse des apports en eaux dures au niveau de Veyrins par rapport aux venues d'eau douces issues du versant Sud-Ouest à partir du cône.

3.2 - LES DIFFERENTS IONS ANALYSES (Annexe IV)

3.2.1 - Le fer total

D'après les normes françaises de potabilité, la valeur maximale souhaitable est de 0.20 mg/l. Nous avons visualisé sur une carte les analyses du fer total réalisées sur les eaux collectées en Décembre 1982.

Sur la plaine d'Aoste, les concentrations en Fe sont faibles (inférieures à 0.10 mg/l) sauf en certains points dispersées (fig. 106):

- au Nord-Est de Romagnieu (bord du Guiers, 1,51 mg/l);
- au Nord-Ouest d'Aoste - Gare de l'Est (3 points entre 0.49 et 1.68 mg/l) et à l'Est de Saint-Didier (9.0 mg/l): soit quatre échantillons prélevés dans des tubes piézométriques de la C.N.R., ouverts uniquement à la base, dont les teneurs en fer sont peu représentatives de celles de la nappe.

Nous pensons que ces différents tubes piézométriques traversent ou atteignent, en profondeur, des zones argileuses susceptibles de céder du fer.

Un autre point, situé à l'Est de Granieu, présente une concentration élevée (0.53 mg/l) très certainement liée à la présence de bois fossile dans la nappe, à deux mètres de profondeur sous une couverture argileuse. Le développement de micro-organismes en milieu anaérobie provoque, en effet, l'altération des minéraux ferro-magnésiens ou ferrifères du sol, et leur mise en solution.

C'est la raison principale pour laquelle les concentrations en fer sont plus élevées dans le couloir des Avenières (fig.105), car la tourbe qui s'est développée dans ce milieu marécageux est un excellent support des micro-organismes. Les valeurs de Fe dépassent les 0.20 mg/l dans les secteurs les plus tourbeux de l'amont du couloir. Dans la partie aval, les valeurs obtenues sur le cône de Veyrins et le long de la terrasse, en direction de Thuellin, se maintiennent entre 0.15 et 0.20 mg/l quels que soient les secteurs. Les apports issus du versant sud-ouest en sont responsables: les ruisseaux qui descendent du plateau molassique ont des concentrations assez constantes (0.15 mg/l) héritées probablement du lessivage des niveaux ferrugineux de la molasse par les eaux infiltrées.

Ainsi les nappes du couloir et de ce versant sont assez chargées en fer total (souvent à la limite des normes admises de potabilité), alors que ce problème n'apparaît pas pour la nappe d'Aoste.

Les différentes analyses effectuées pour les syndicats des eaux de la région montrent bien les variations possibles des concentrations en fer et en manganèse dans l'espace et dans le temps (tableau ci-contre).

| Référence | Lieu | Date | Fe(mg/l) | Mn(mg/l) |
|-----------|--------------------|----------|----------|----------|
| F6 | Aoste (station) | 21/03/83 | Traces | |
| F10 | Granieu | 05/07/83 | 0.05 | |
| | (plaine) | 11/07/83 | 0.05 | 0.175 |
| F 12 | essais de | 05/07/83 | 0.362 | 0.370 |
| | pompages | 07/07/83 | 2.56 | 0.360 |
| F 13 | | 11/07/83 | 0.26 | 0.25 |
| F 22 | Veyrins (pompage) | 09/03/81 | 0.10 | 0.05 |
| 405 a | | | 1.9 | 0.19 |
| 405b | Veyrins | | 1.6 | 0.10 |
| 405c | avant | | 1.4 | 0.15 |
| 405d | | | 2.9 | 0.31 |
| 405e | pompage | | 2.8 | 0.30 |
| 405f | | | 0.76 | 0.07 |
| 406' | Thuellin (station) | 12/02/80 | 0.09 | 0.06 |

Tableau 9 : Teneurs en fer et en manganèse de quelques points d'eau de la région d'Aoste

3.2.2 - Les cations

. Le calcium: sa présence dans les eaux résulte de sa dissolution sous l'attaque du gaz carbonique et des autres acides contenus dans l'eau. En Décembre, les concentrations moyennes sont de 80 mg/l dans la plaine d'Aoste, mais plus faibles dans le couloir et sur sa bordure sud-ouest (60 mg/l). En Août, elles baissent légèrement sur la plaine d'Aoste (60 mg/l).

. Le magnésium: comme pour le calcium, sa dissolution provient de l'interaction entre l'eau et les terrains en cours d'altération. Les concentrations en Mg⁺⁺ sont inférieures à celles en Ca⁺⁺, ce dernier étant plus abondant au sein des roches.

Les valeurs moyennes en magnésium sont d'environ 20 mg/l, aussi bien pour les eaux de la nappe d'Aoste que celles du couloir des Avenières. En Août les eaux de la nappe d'Aoste ont des concentrations plus faibles en Ca⁺⁺ (60 mg/l) alors que celles en Mg⁺⁺ augmentent (30 mg/l).

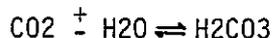
. Le sodium et le potassium sont également issues des processus d'altération des terrains. Dans les eaux analysées, les teneurs en ions Na^+ sont en général plus importantes que celles en ions K^+ , plus facilement fixés par les colloïdes et les argiles. Les concentrations restent, globalement inférieures à 10 mg/l.

Les valeurs moyennes en Na^+ sont de 4,5 mg/l sur l'ensemble des nappes en Décembre, alors que celles en K^+ sont de 4 mg/l sur la plaine d'Aoste, et de 3 mg/l dans le couloir des Avenières. Il est à noter cependant que les concentrations en K^+ sont plus fortes sur les bordures des nappes, que ce soit pour des eaux issues des alluvions fluvio-glaciaires (entre Veyrins et Thuellin), ou des eaux de la molasse: les valeurs de K^+ peuvent alors dépasser 10 mg/l et sont supérieures à celles de Na^+ .

En Août, pour la nappe d'Aoste, les concentrations en Na^+ sont stables (5 mg/l) alors que celles en K^+ semblent un peu plus faibles (3 mg/l).

3.2.3 - Les anions

. Les bicarbonates (HCO_3^-) découlent directement des apports en CO_2 atmosphérique dans les sols, selon l'équation:



H_2CO_3 est l'acide carbonique, qui se dissocie en ion H^+ et ion bicarbonate HCO_3^- , lui-même dissocié en H^+ et CO_3^{--} .

Nos valeurs de pH sont en général inférieures à 8,3, valeur en dessous de laquelle seuls les ions bicarbonates HCO_3^- se retrouvent dans les eaux. Les concentrations moyennes en HCO_3^- , mesurées en Décembre sur les eaux du cône, des bordures, et du couloir, en aval de Veyrins, sont d'environ 190 mg/l. Celles de la nappe d'Aoste, à la même époque sont probablement plus élevées, estimées à 310 mg/l (cf. § 1.2.2.d), alors qu'en Août elles sont de 360 mg/l.

. L'ion chlore (Cl^-) est essentiellement d'origine météorique (apport par les précipitations), les roches en renferment très peu, sinon les argiles qui les piègent. Les teneurs moyennes restent faibles, autour de 10 mg/l pour les eaux de la nappe d'Aoste, que ce soit en Décembre ou en Août, et de 8 mg/l pour celles des Avenières.

Cet ion est intéressant, car il diffuse assez facilement à travers la nappe et tend à se concentrer de l'amont vers l'aval. Nous avons donc établi une carte des iso-teneurs en chlore (fig.107 et fig.109)

Sur la plaine d'Aoste, les concentrations sont assez uniformes (entre 10 et 15 mg/l). Il est difficile de reconnaître une évolution de la teneur en Cl⁻, sauf peut-être entre Romagnieu et Aoste - Gare de l'Est (en relation avec l'augmentation de sodium, cf § 3.3). Le secteur à teneurs inférieures à 10 mg/l en bordure du Guiers, près d'Aoste - Gare de l'Est, marque la zone d'alimentation de la nappe par la rivière (cf. 2ème partie, chapitre 2).

Dans le couloir des Avenières, les relations ne sont pas très claires entre les différents points. On distingue toutefois une baisse de teneur en chlore en bordure de la partie aval du couloir, entre Veyrins et Thuellin.

Certains points, à concentrations nettement supérieures, ont été signalés par une étoile sur la carte: il s'agit probablement de points pollués, notamment celui situé en bordure de l'autoroute A 43, dont la forte concentration également en sodium (18.3 mg/l) renforce l'idée d'une pollution issues des surfaces de la chaussée (cf. § 3.3).

. Les sulfates (SO₄--) résultent également en grande partie des apports par les eaux météoriques, mais peuvent également provenir de l'oxydation des pyrites. Leurs teneurs seront assez faibles.

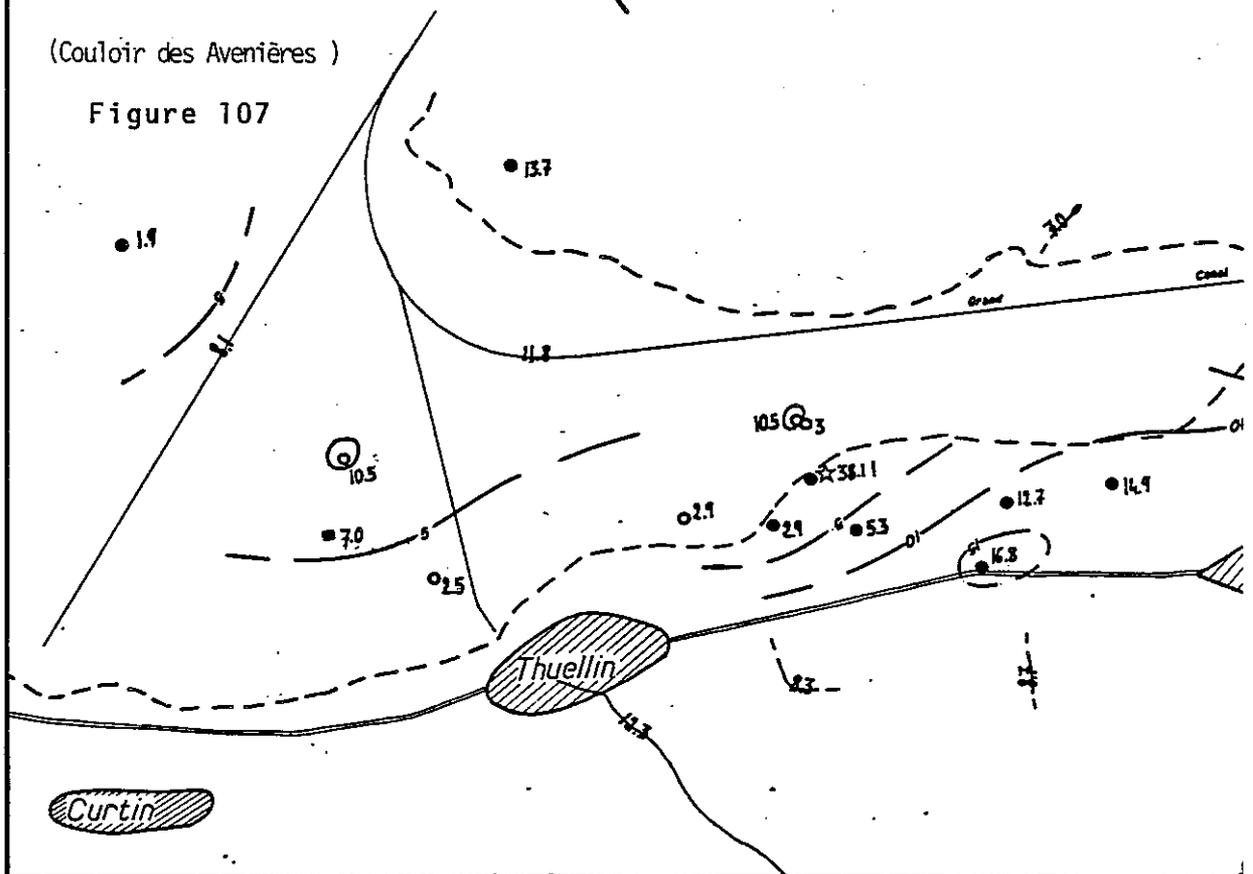
Celles obtenues sur la plaine d'Aoste sont de l'ordre de 16 mg/l en Décembre et de 24 mg/l en Août. En Décembre, elles sont plus élevées dans le couloir des Avenières, avec des valeurs fréquemment supérieures à 30 mg/l.

Sur la carte que nous avons tracée (fig.108 et fig.110), une zonation est-ouest apparaît entre le Guiers et la Bièvre: les teneurs évoluent de 5 mg/l à 40 mg/l. Ces concentrations en sulfates augmentent encore dans la partie amont du couloir des Avenières, alors que les teneurs observées sur le cône de Veyrins et en aval sont en-dessous des 20 mg/l (sauf en deux points, peut-être pollués, entre Thuellin et Veyrins).

CARTE DES TENEURS EN CHLORURES (mg/l)

(Couloir des Avenières)

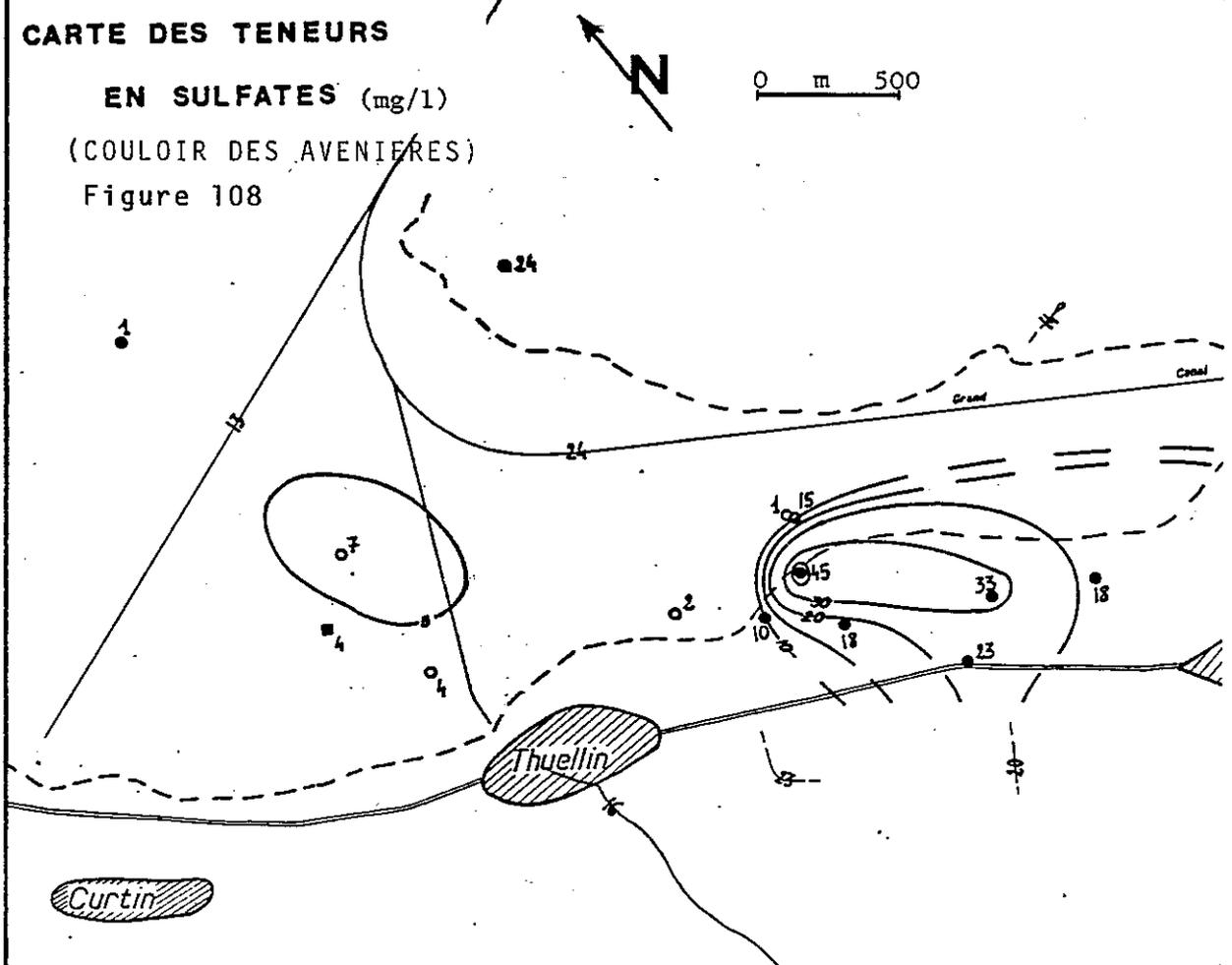
Figure 107



CARTE DES TENEURS EN SULFATES (mg/l)

(COULOIR DES AVENIERES)

Figure 108

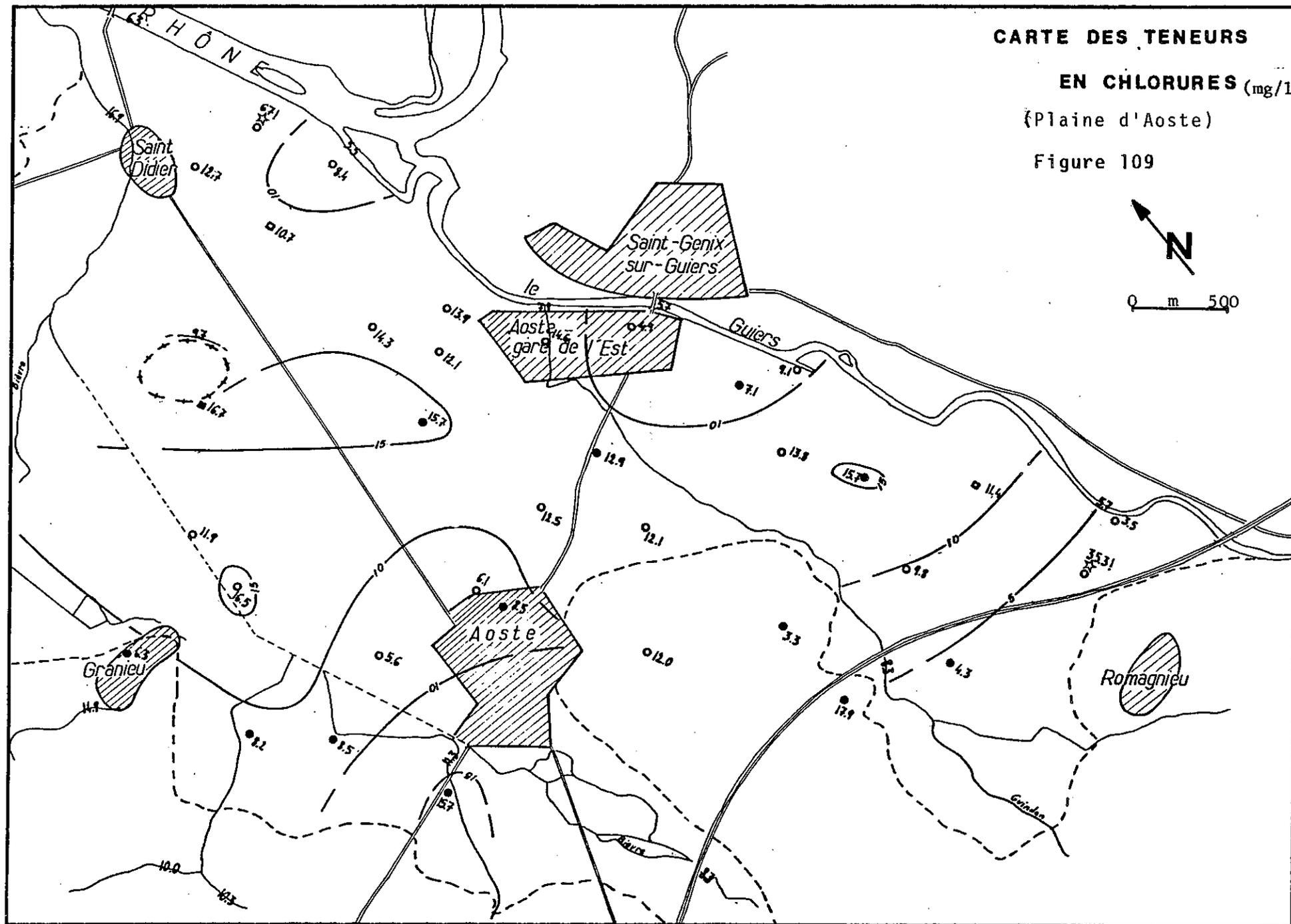


CARTE DES TENEURS

EN CHLORURES (mg/l)

(Plaine d'Aoste)

Figure 109



CARTE DES TENEURS

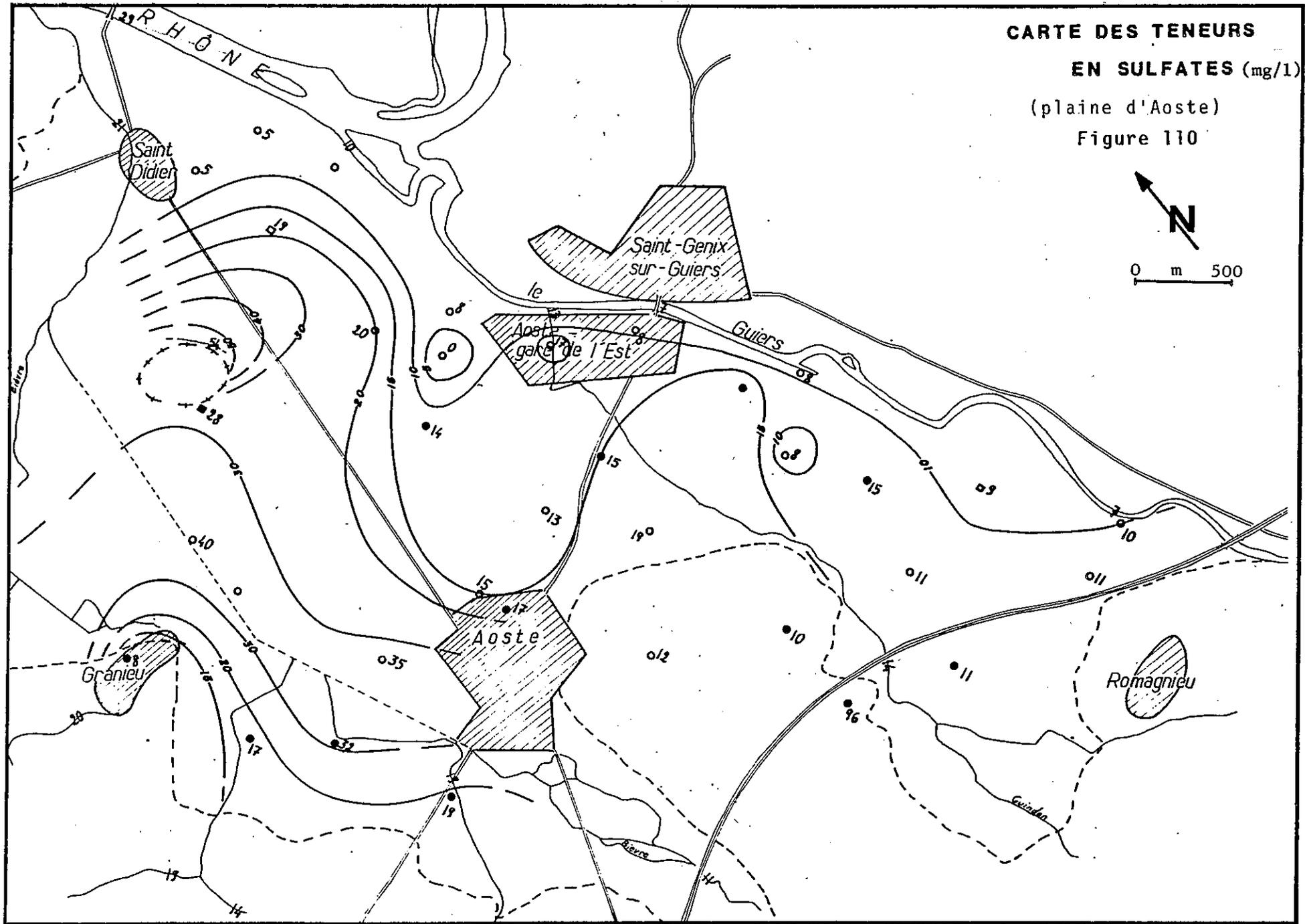
EN SULFATES (mg/l)

(plaine d'Aoste)

Figure 110



0 m 500



L'aspect confiné de la nappe en amont du cône apparaît assez bien, de même que la zone d'apport latéral nord-est, à faible teneur en SO_4^{--} .

Cette gradation est-ouest de la concentration en sulfates pourrait être liée à la teneur en argiles des terrains, celles-ci adsorbant facilement les ions SO_4^{--} .

Les nitrates (NO_3^-) sont issus de l'activité biologique du sol (production d'acide nitrique par les micro-organismes). Ils constituent un des aliments minéraux des végétaux, ce qui explique sans doute les faibles concentrations que l'on trouve dans les nappes.

Une autre source actuelle de nitrates découle de l'utilisation des engrais azotés par l'agriculture.

Pour notre part, nous avons relevé des teneurs faibles en ces ions au mois de Décembre: 6 à 7 mg/l pour les nappes du couloir et d'Aoste (mêmes valeurs en Août), plus prononcées sur le cône de Veyrins et en aval (12 mg/l).

3.3 - LES RAPPORTS CARACTERISTIQUES ENTRE CERTAINS IONS (Annexe IV)

Au sein d'une même nappe, la composition chimique va varier de l'amont vers l'aval. Les rapports ioniques vont donc évoluer en fonction des apports extérieurs (infiltrations), mais également en fonction des terrains traversés: en effet, les argiles constituent des pièges par adsorption de certains ions et désorption d'ions nouveaux. Les échanges en cations (bases) sont favorisés à leur contact de même qu'au contact des matières organiques. Les phénomènes de dilution et de concentration interviendront également sur l'équilibre ionique.

Nous avons réalisé des corrélations multiples sur les eaux prélevées en Août sur la plaine d'Aoste, ceci afin de déterminer les tendances d'affinité des ions entre eux. Les résultats obtenus (tableau 10) montrent peu de bonnes corrélations, eu égard à la variété des eaux analysées (les écarts sont souvent importants par rapport à la valeur moyenne d'un ion considéré).

Tableau 10 : Corrélations multiples entre les eaux prélevées sur la nappe de la plaine d'Aoste (Août 1983)

| | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻⁻ |
|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Mg ⁺⁺ | -0.82 | | | | | | |
| Na ⁺ | -0.69 | 0.87 | | | | | |
| K ⁺ | 0.10 | -0.08 | 0.19 | | | | |
| HCO ₃ ⁻ | 0.14 | 0.13 | 0.16 | 0.24 | | | |
| Cl ⁻ | 0.28 | 0.02 | 0.19 | 0.01 | 0.39 | | |
| SO ₄ ⁻⁻ | -0.29 | 0.24 | -0.01 | -0.056 | -0.03 | -0.25 | |
| NO ₃ ⁻ | 0.12 | -0.16 | -0.31 | 0.16 | 0.25 | 0.07 | 0.09 |

Cependant on remarque la bonne corrélation entre Na⁺ et Mg⁺⁺, qui ont tous deux une forte corrélation négative avec le Ca⁺⁺. Il nous a donc paru intéressant de calculer pour chaque eau, les rapports $\frac{r_{Na}}{r_{Ca}}$ et $\frac{r_{Mg}}{r_{Ca}}$. Le rapport $\frac{r_{SO4}}{r_{Cl}}$ malgré la faible corrélation apparente entre ces ions a également été calculé.

- Le rapport $\frac{r_{Na}}{r_{Ca}}$ est toujours inférieur à 1, ce qui est normal pour des eaux de nappes alluviales en région à dominante calcaire. Cependant, ce rapport atteint ou dépasse 0.1 en certains points.

C'est le cas pour une zone située entre le Nord de l'autoroute A43 (Nord de Romagnieu) et Aoste - Gare de l'Est, où systématiquement, en Décembre comme en Août, les échantillons prélevés ont des rapports $\frac{r_{Na}}{r_{Ca}}$ nettement supérieurs à 0.1 (jusqu'à 0.80 pour le point 104-),

alors qu'au point 101b, placé au Sud de l'autoroute, mais à l'amont courant de l'écoulement de la nappe, le rapport est inférieur à 0.1.

Nous pensons donc que nous avons là un exemple typique d'une faible pollution de la nappe par les sels utilisés dans l'entretien de l'autoroute pendant l'hiver. L'apport de sodium entraîne une baisse de concentration en Ca⁺⁺ (précipitation de carbonate de calcium?), qui s'accompagne d'une augmentation de celle de Mg⁺⁺.

Cette pollution était déjà avancée fin Décembre, puisque les points de concentrations maximales en Na⁺ des échantillons de cette époque se situent au point A4 (10.8 mg/l), à 350m de la chaussée, et au point A2 (9.8 mg/l), à plus de 1000m. En Août, soit 8 mois plus tard, les concentrations en Na⁺ ont un peu diminué au point A4 (10 mg/l), mais se sont renforcées au point A2 (10.0 mg/l) et au point 105 (concentration doublée: 13.2 mg/l). Le nuage polluant atteint le point 107 (7.4 mg/l), mais non les points 106 et A1 dont les eaux résultent

donc bien d'une alimentation locale de la nappe par le Guiers.

L'augmentation de concentration en Na^+ des eaux du Guindan, entre les points 212 (amont de l'autoroute) et 214 (Aoste - Gare de l'Est) semble donc indiquer que ce ruisseau draine les eaux de la nappe dans ce secteur pollué.

Il serait intéressant d'établir l'origine de cette pollution (stockage des sels?) et de suivre les variations de concentration en Na^+ en cours d'année afin de connaître la vitesse de déplacement du nuage polluant, vitesse proportionnelle à celle des écoulements de la nappe.

. D'autres points isolés ont des $\frac{r_{\text{Na}}}{r_{\text{Ca}}}$ supérieurs à 0.1: ce sont principalement des eaux de puits particuliers, dont les teneurs en Na^+ , supérieures à moyenne, peuvent résulter de pollutions privées.

On remarque toutefois des rapports supérieurs à 0.1 en bordure nord-est du secteur amont du couloir des Avenières (piézomètres R 185, R 187, R 188, et canal des Avenières au point 233). Cette zone plus argileuse (cf. Etude géophysique électrique, 1ère partie, Ch.4), pourrait être un secteur d'échanges de bases entre les ions Na^+ des argiles et les ions Ca^{++} de l'eau, car les concentrations en Na^+ de plus de 5mg/l trouvées ici ne semblent pas caractéristiques des eaux analysées sur ce versant de l'île des Avenières (points 140, 145 et S5), bien que l'alimentation de la nappe en provienne (cf. Chapitre précédent).

. Le rapport $\frac{r_{\text{Mg}}}{r_{\text{Ca}}}$ devrait, en principe, être inférieur à 1 (cf. §3.2). Cependant, en fonction des rééquilibres ioniques entre Ca^{++} et Na^+ , ou des précipitations de carbonates de calcium (sous l'effet des variations de concentrations en CO_2 libre dans l'eau), l'ion Mg^{++} peut être dominant (fig.111).

C'est le cas sur la plaine d'Aoste, dans le secteur précédemment étudié compris entre l'autoroute A43 et Aoste - Gare de l'Est, en raison des apports en Na^+ .

On l'observe également de part et d'autre du canal de la Bièvre, entre Aoste et Granieu (point 113 et 402), alors que l'ion Na^+ n'est pas en cause. En rive droite, le point 402 présente de fortes concentrations en SO_4^{--} (35 mg/l) peut-être d'origine agricole, ce qui expliquerait l'origine des ions Mg^{++} excédentaires par rapport à la moyenne.

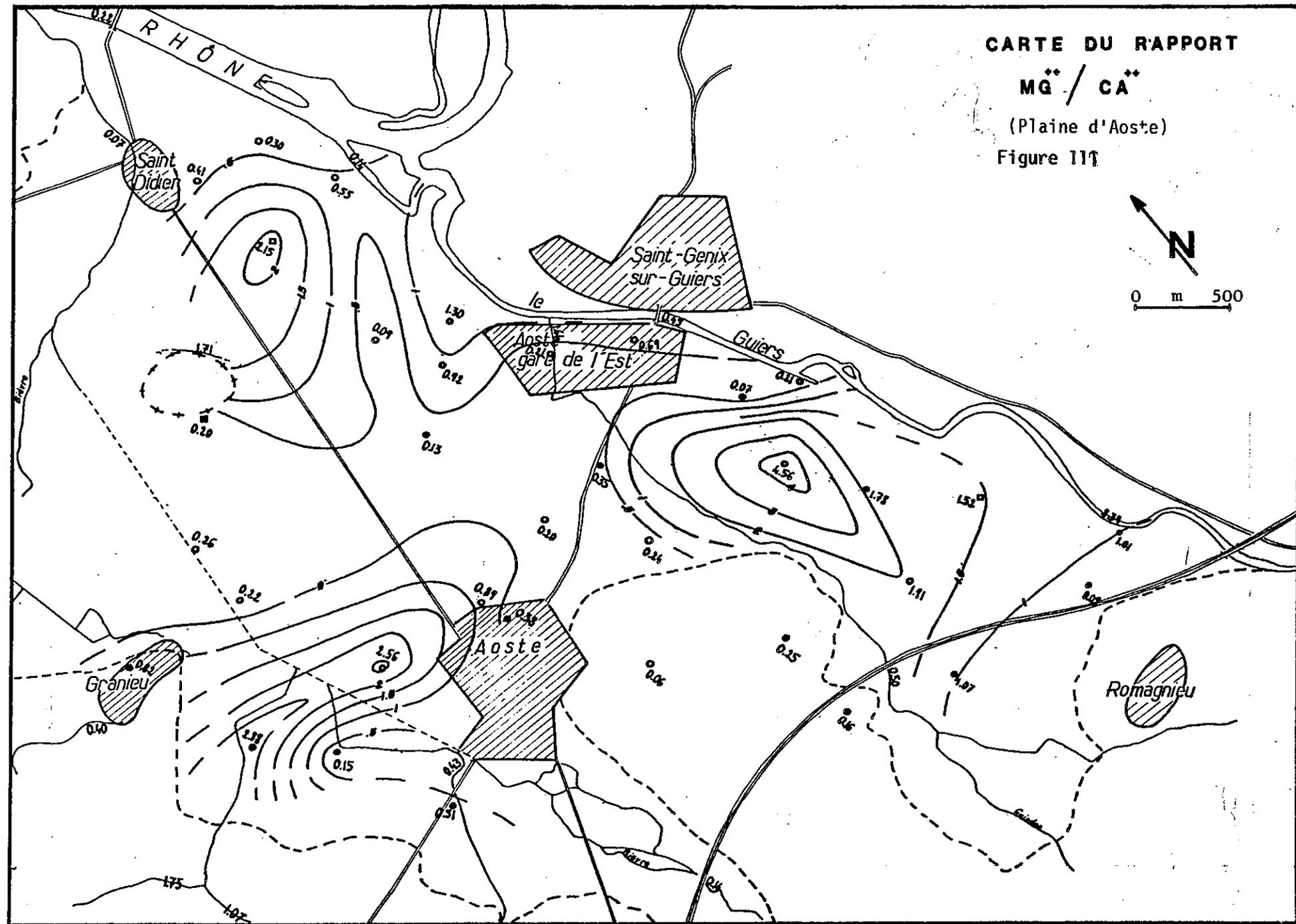
Cependant, on peut encore envisager une origine plus lointaine: les eaux issues du versant molassique, à l'Est de Granieu sont chargées en Mg^{++} (points 226, S1. et S2.) du fait de leur traversée de formations conglomératiques et caillouteuses altérées. Ces concentrations s'accroissent lors de l'infiltration au travers des alluvions de la terrasse fluvio-glaciaire. On aurait donc un axe latéral d'alimentation de la nappe, perpendiculairement au canal de la Bièvre, ce que l'analyse chimique semble confirmer, les deux points d'eau ayant des minéralisations très voisines (fig.109) en Décembre comme en Août, un peu plus fortes au point 402 situé en aval.

Dans le couloir des Avenières, seul le point R 185, situé près de la station de pompage de la Société Stevens-Genin présente un rapport $\frac{rMg}{rCa}$ élevé: les teneurs faibles en Ca^{++} (34.1 mg/l) pourraient résulter d'échanges de base avec l'ion Na^+ des argiles, comme nous venons de l'envisager précédemment. Cependant, la teneur en Mg^{++} est deux fois plus forte (62.2 mg/l) que celle des points voisins, ce qui reste difficilement explicable.

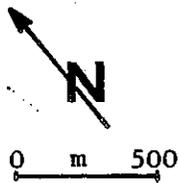
Afin de vérifier l'évolution de ce rapport $\frac{rMg}{rCa}$, nous avons tracé une carte des variations des rapports d'Août par rapport à ceux de Décembre pour la plaine d'Aoste (fig.112): seul le secteur pollué, entre Romagnieu et Aoste - Gare de l'Est, affiche un déséquilibre encore plus prononcé en faveur des ions Mg^{++} , le nuage de pollution a sensiblement progressé vers l'aval.

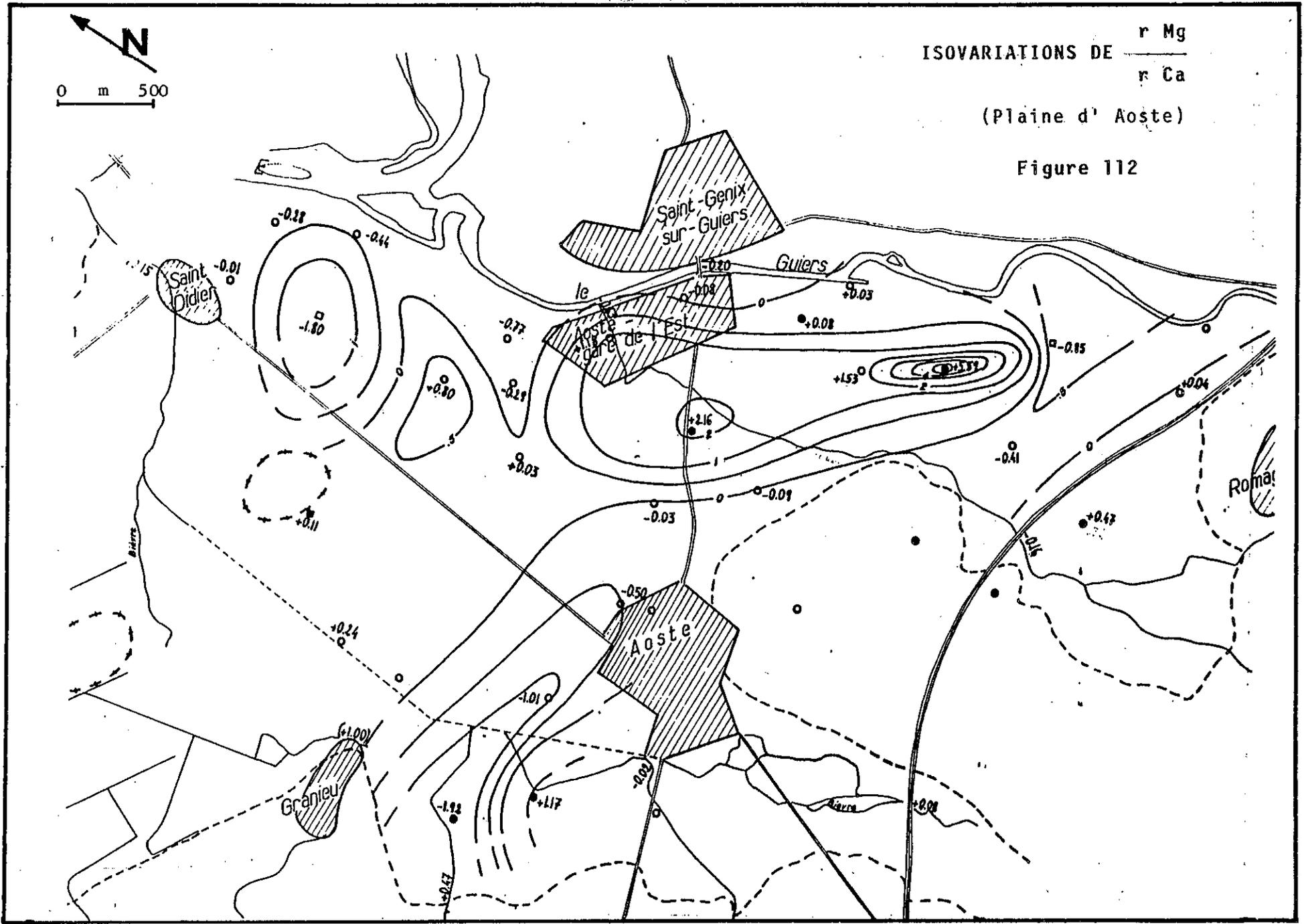
A l'Ouest d'Aoste, le point 113b, placé en bordure de la Bièvre, affiche une sensible augmentation: peut-être est-il alternativement alimenté par les eaux issues de la Bièvre en période de hautes-eaux (Décembre) et par celles du versant en période de basses-eaux (Août)

- Les valeurs du rapport $\frac{rSO_4}{rCl}$ n'ont pas fait l'objet d'un report sur carte, les teneurs en ions SO_4^{--} étant généralement supérieures à celles en Cl^- (cf. fig.107 à 110). Le chlore est en excès dans la zone polluée précédemment décrite. Etant donné l'augmentation de concentration en SO_4^{--} en Août, le rapport $\frac{rSO_4}{rCl}$ est constamment supérieur à 1.



CARTE DU RAPPORT
 $M\bar{G}^{**} / CA^{**}$
 (Plaine d'Aoste)
 Figure III



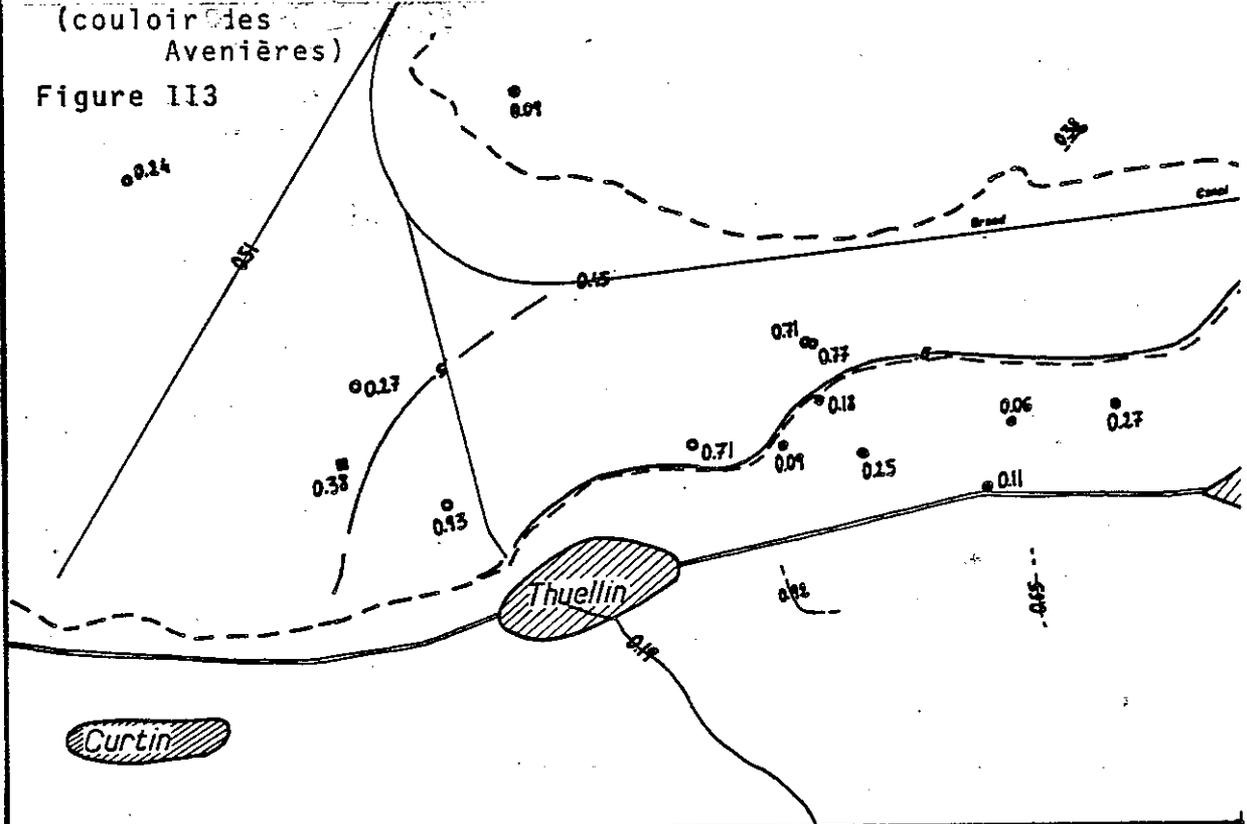


CARTE DU RAPPORT

M \ddot{G} / CA \ddot{A}

(couloir des Avenières)

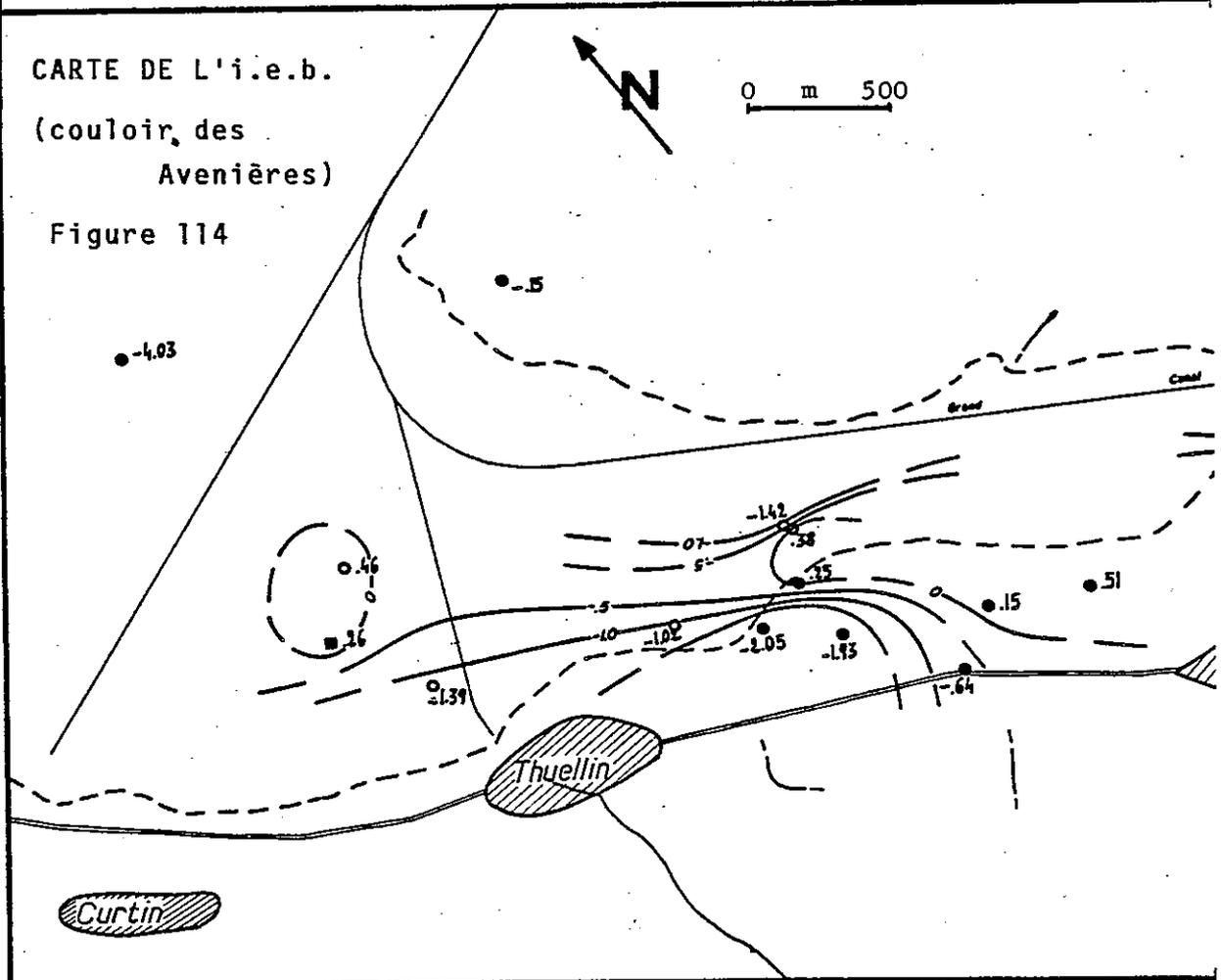
Figure 113



CARTE DE L'i.e.b.

(couloir des Avenières)

Figure 114



- L'indice d'échanges de base : i.e.b. (H. SCHOELLER, 1934) caractérise les rapports existant entre le chlore et les alcalins Na⁺ et K⁺, selon la formule:

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

H. SCHOELLER considère en effet qu'il y a équilibre entre les ions Cl⁻ et (Na⁺ + K⁺) à l'origine (sels NaCl et KCl). Ceci ne peut donc être envisageable que pour un système clos, sans apports extérieurs. Lorsque les eaux vont traverser les argiles échangeuses d'ions (permutolites):

- certaines argiles vont adsorber les ions Na⁺ et K⁺ de l'eau, libérant en retour des ions Ca⁺⁺ qui passeront dans l'eau (i.e.b. alors positif);
- d'autres vont adsorber les ions Ca⁺⁺ de l'eau, libérant des ions Na⁺ et K⁺ dans l'eau (i.e.b. négatif).

Nous avons donc représenté les valeurs d'i.e.b. obtenues sur 2 cartes (Fig. 114 et 115) ce qui permet de repérer les zones où d'éventuels échanges de bases peuvent se produire.

Sur la plaine d'Aoste, les i.e.b., calculés pour la zone polluée vue précédemment sont, nécessairement, fortement négatifs en raison des apports extérieurs en Na⁺. Par contre, on repère un secteur à i.e.b. négatif centré sur Aoste: la pauvreté en chlorures caractérise ce secteur, alors qu'en rive gauche de la Bièvre, l'excès de potassium semble induire un i.e.b. négatif. Au vu des concentrations en Ca⁺⁺, il serait difficile de dire qu'il y a perte de Ca⁺⁺, par rapport à la moyenne. Cependant, on constate que les teneurs en Na⁺, et surtout en K⁺, sont supérieures à la moyenne. Dans la mesure où cela ne correspond pas à une pollution autour d'Aoste, on peut considérer un possible échange de bases entre Ca⁺⁺ et les ions alcalins.

Sur le reste de la plaine, les échanges se font surtout dans le sens d'un enrichissement des eaux en Ca⁺⁺.

Dans le couloir des Avenières, par contre, il existe deux secteurs à i.e.b. négatifs:

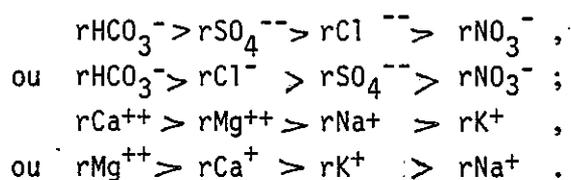
- d'une part, la bordure Nord-Est du Grand Marais décrite précédemment, où les valeurs sont fortement négatives. Les teneurs en Ca⁺⁺ sont trois fois plus faibles qu'ailleurs, alors que celles en Na⁺ sont supérieures à la moyenne. Il y a donc probablement échange du Ca⁺⁺ de l'eau contre le Na⁺ des argiles;

- d'autre part, la terrasse de Thuellin, ou toutes les eaux ont des concentrations anormalement fortes en ions K^+ échangés contre des ions Ca^{++} de la nappe.

Les eaux du cône de Veyrins, quant à elles, tendent plutôt à acquérir des ions Ca^{++} , excepté celles situées selon un axe latéral à la station de pompage.

3.4 - LES FACIES CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTES NAPPES

Sur l'ensemble de notre secteur étudié, nous avons les rapports suivants entre les ions:



Nous avons donc, globalement, des eaux bicarbonatées calciques magnésiennes. Le tableau suivant donne les principales relations entre les ions des différentes nappes:

| Aquifère | r anions | r cations |
|-----------------------|--|----------------------------------|
| Molasse sableuse | $HCO_3^- > SO_4^{--} > Cl^-$ | $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$ |
| Terrasse de Granieu | $HCO_3^- > SO_4^{--} > Cl^-$ | $Mg^{++} > Ca^{++} > Na^+ + K^+$ |
| Nord de Romagnieu | $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{--}$ | $Mg^{++} > Ca^{++} > Na^+ + K^+$ |
| Plaine d'Aoste | $HCO_3^- > SO_4^{--} > Cl^-$ en amont | $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$ |
| | $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{--}$ en aval | |
| Couloir des Avenières | $HCO_3^- > SO_4^{--} > Cl^-$ | $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$ |
| Cône de Veyrins | $HCO_3^- > SO_4^{--} > Cl^-$ | $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ + K^+$ |

Tableau 11 : Faciès chimiques des nappes de la région d'Aoste

3.5 - CHIMIE DES EAUX DES STATIONS DE POMPAGE ET DE DIFFERENTS FORAGES ANTERIEURS

Nous présentons dans le tableau 12 , quelques analyses d'eau prélevées dans un puits particulier (101b, fig. 77), dans les stations de pompage d'Aoste (F6), de la Société Industrielle Stevens - Genin (R 185'), et de Thuellin (406', fig. 76 et 77), et dans les forages en cours de pompage. Ces analyses, effectuées sur des eaux d'époques différentes, donnent cependant une indication des caractéristiques chimiques en différents points de la région.

Nous relevons toutefois des variations des teneurs en certains ions lors des essais de pompage. En effet, au pied de Granieu, en Juillet 1983, les essais de pompage sur le forage F10 mobilisent des eaux plus chlorurées et moins sulfatées à six jours d'intervalle, le fer conservant une teneur semblable. Au forage F12, les teneurs en ions principaux sont inchangées, mais les concentrations en fer sont multipliées par sept, alors que celles en manganèse sont stables.

On voit donc l'importance d'une bonne définition de la chimie des eaux de la zone d'appel lors d'un essai de pompage car, avec le développement du cône de dépression, la minéralisation de l'eau évolue en fonction de la chimie des nouvelles tranches d'eau drainées vers le pompage.

C'est sans doute, ce qui se produit actuellement à la station de pompage du cône de Veyrins: lors de l'essai de pompage sur le forage de reconnaissance F22 (Mars 1981), la teneur en fer mesurée était inférieure à 0.10 mg/l. Or les analyses de Juillet 1984 ont révélé une augmentation inquiétante de cette teneur: l'inspection de l'intérieur de l'ouvrage a révélé que les crépines étaient partiellement colmatées par des concrétions ferrugineuses, ce qui n'était guère prévisible au vu des premières analyses chimiques.

Les prévisions à long terme concernant l'évolution des qualités chimiques des eaux d'un aquifère sont délicates à réaliser . En effet, l'étude géochimique d'une nappe donnée s'appuyera sur des teneurs moyennes en ions. Or, dans la réalité, au sein même d'un réservoir aquifère, des écoulements peuvent s'individualiser et acquérir des minéralisations différentes selon la nature des terrains traversés.

| Réf | Année | Laboratoire | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻ | NO ₃ ⁻ | Fe ⁺⁺ | Mn |
|---------|----------|-------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------|-------|
| 101b | 06/74 | La Tronche | 86 | 21 | 5.15 | 1.8 | 372 | 3.5 | 4 | 1 | 1.14 | |
| F6 | 03/83 | La Tronche | 29.6°f | | | | (26.9°) | 7 | 20 | 9.8 | traces | |
| F10 | 05/07/83 | Chambéry | 88.2 | 10.9 | 5.3 | 0.9 | 298.6 | 2.4 | 31.3 | 1.6 | 0.05 | |
| F10 | 11/07/83 | La Tronche | 77 | 16.1 | 5.7 | 0.98 | 310 | 12 | 15 | -0.015 | 0.05 | 0.175 |
| F12 | 05/07/83 | La Tronche | 161 | 12.2 | 3.8 | 0.61 | 419 | 34 | 74 | -0.015 | 0.362 | 0.370 |
| F12 | 07/07/83 | La Tronche | 164 | 10.2 | 3.2 | 0.56 | 424 | 34 | 86 | -0.015 | 2.56 | 0.360 |
| F13 | 11/07/83 | La Tronche | 113 | 22.9 | 5.1 | 1.2 | 423 | 16 | 20 | -0.015 | 0.26 | 0.25 |
| F22 | 09/03/81 | Lyon | 91 | 12.0 | 3.9 | 1.5 | 311 | 4 | 14 | 10.5 | -0.10 | -0.05 |
| (R185') | 14/01/65 | ? | 126 | 21.4 | 4.9 | 0.7 | 503.4 | 1.7 | 6.9 | | 0.20 | |
| (406') | 12/02/80 | Lyon | 91 | 13.6 | 3.7 | 2.4 | 317 | 7 | 17 | 3 | 0.09 | |

Tableau 12- Analyses chimiques des eaux des différents points de notre secteur, effectuées par des Laboratoires régionaux agréés par le contrôle des eaux (unités en mg/l)

Le problème géochimique de l'exploitation d'un pompage en plaine alluviale, telle celle d'Aoste, est de définir la chimie des eaux d'alimentation du secteur de la nappe que l'on va mobiliser, à savoir, non seulement la qualité des eaux qui s'infiltrent, mais également la qualité des terrains qu'elles vont traverser, leurs caractéristiques physico-chimiques pouvant fort bien évoluer. Ainsi, l'étude des teneurs en fer au niveau de Granieu (fig.106) ne montre pas de concentrations supérieures aux normes de potabilité: cependant, les eaux du forage F12, d'abord exemptes de fer, s'en chargent par la suite par mobilisation d'eaux peut-être originaires du versant molassique de bordure.

Par contre, les analyses chimiques effectuées en Décembre 1980 (tableau 12) et 1982 (fig.105) sur le cône de Veyrins, montraient une concentration en fer des eaux prélevées supérieures où à la limite des normes admises.

Remarquons également que cette limite semble atteinte pour les eaux de la nappe du couloir, près de la station de pompage de Thuellin (points 406 et 406b), ce qui pourrait laisser présager une augmentation graduelle de la teneur en fer au niveau du puits de pompage.

4 - CONCLUSION DE L'ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE DE NOTRE SECTEUR D'ÉTUDE

Précédemment, nous avons défini des secteurs aquifères susceptibles de livrer de bons débits de pompage, en plaine d'Aoste, et sur le cône de Veyrins (Ch.2, 2ème partie). Cette étude du comportement hydrodynamique des nappes est complétée ici par celle de leurs caractéristiques physico-chimiques.

Les eaux des nappes de notre secteur ont un faciès bicarbonaté marqué, généralement calcique mais localement magnésien. Les différences entre elles porteront également sur les teneurs en cations Na et K et en anions Cl et SO₄.

Les ions Fe et Mn, éventuellement présents, caractérisent des secteurs de nappe à faible écoulement vers l'aval et à fortes teneurs en matières organiques productrices de CO₂ agressif, cas typique des zones tourbeuses du Grand Marais en amont du couloir des Avenières.

Dans cette partie du couloir, de Veyrins jusqu'à Granieu, les conditions chimiques (présence de Fe et de Mn) semblent exclure toute possibilité d'installer une station de pompage d'eaux potables. Cependant, au pied de Granieu (forage F10), il serait bon de vérifier, à la suite de pompages prolongés, la présence de l'ion Mn. Il se pourrait, en effet, que des eaux moins chargées en manganèse viennent diluer celles à concentration élevée en cet ion. L'origine du Mn ne semble pas se situer au niveau du couloir où les eaux sont chargées en fer (cf. analyse chimique au point F12, tableau 12 et fig.105) contrairement à celles du point F10 à teneur en fer modérée (0.05mg/l) sans évolution en cours de pompage.

Sur le reste du couloir des Avenières et de ses bordures, ce problème du fer est préoccupant, car on le retrouve partout, dans les cours d'eau issus des reliefs molassiques comme dans les nappes où il tend à se concentrer.

Les eaux de la plaine d'Aoste sont, par ce côté, beaucoup plus intéressantes, les concentrations dépassant rarement les 0.10 mg/l (excepté en certains points piézométriques de la CNR, à minéralisation aberrante, facilement représentés en raison de leurs résistivités anormales supérieures à 4000 ohms/cm).

Au point de vue chimique, les eaux de la nappe de cette plaine en aval d'Aoste, semblent satisfaire aux normes de potabilité exigées. Il reste toutefois à s'assurer de l'inexistence de pollutions locales en aval de Granieu et d'Aoste (études bactériologiques), et en aval de la société de salaisons "Les jambons crus d'Aoste", située en bordure de la R.N.92, 1500 m au Nord d'Aoste (présence possible de phosphates en aval). On se gardera aussi de la zone de l'ancienne Bièvre et de son canal, entre les buttes du Champ et de Brangues-Masset (présence de sols tourbeux susceptibles de contenir du fer et du manganèse).

CONCLUSIONS GENERALES

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Cette étude, primitivement motivée par le besoin de connaître les ressources en eau de la région d'Aoste, apporte également des précisions sur le contexte géologique et morphologique.

Les formations molassiques marines (sables de Pont-de-Beauvoisin de l'Helvétien et sables de Chimilin du Tortonien basal) présentent des stratifications entrecroisées, des litages obliques et des faunes littorales. Vers le haut, les sables de Chimilin contiennent des coquilles de Nassa michaudi caractéristiques de milieux saumâtres et d'Helix ramondi propres aux milieux continentaux. Le caractère supra-littoral est confirmé au Nord de la plaine d'Aoste par la découverte d'une paléodune éolienne qui présente un litage uniforme incliné à 30° vers le Sud-Ouest. Les caractéristiques granulométriques de ce dépôt comparées à celles des sables plus proprement marins ont confirmé cette observation.

L'émersion des dépôts résulte du comblement progressif du bassin bas-dauphinois par des apports grossiers issus de Voreppe au Sud-Est et de Pierre Chatel au Nord-Est qui coiffent les sables de Chimilin. Ces dépôts conglomératiques d'abord deltaïques (intercalations de sables marins dans ces formations) puis fluviatiles (G. Demarcq, 1965) réhaussent le piedmont.

La morphologie actuelle est héritée des conséquences des poussées glaciaires sur le piedmont. Les phases de retrait ont conditionné l'établissement de réseaux hydrographiques temporaires dont témoignent certains thalwegs. L'étude stéréoscopique de photographies aériennes associée à celle de cartes topographiques révèle l'orientation SE-NW des écoulements qui entaillaient le plateau molassique latéralement aux glaces lors des phases de retrait glaciaire. L'étude sédimentologique des galets déposés par ces cours d'eau périglaciaires a démontré la double origine de ces alluvions qui proviennent d'une part de la remobilisation des éléments conglomératiques molassiques et d'autre part des placages morainiques. Ces dépôts fluvioglaciers comblent les chenaux sur des épaisseurs pouvant être supérieures à 10m (Bois de Nétrin, au Nord-Est des Abrets). Ces écoulements latéraux ont suivi l'abaissement du niveau de base local constitué par la surface des glaces cantonnées dans les cuvettes. L'érosion de certains niveaux du plateau des Terres Froides par les eaux de fonte a été d'autant plus intense que le glacier se maintenait plus longtemps à un niveau donné: les stades de retrait de Lancin puis de Morestel (R. Enay, 1981) ont permis, l'un l'aplanissement du seuil de Fitolieu, l'autre la formation du chenal de Saint-Sorlin de Morestel.

Le culot de glace s'étant décollé du versant molassique, les écoulements locaux ont pris ou repris une direction Nord et ont recoupé le réseau hydrographique précédent. Les terrasses de bordure de la plaine d'Aoste et du couloir des Avenières résultent de leur alluvionnement entre la glace morte et le versant du plateau, alluvionnement qui a localement recoupé des dépôts glacio-lacustres sablo-argileux (Nord-Est de Corbelin).

Une sédimentation argileuse lacustre s'est établie dans les cuvettes après la fonte des glaces (dépôts argileux repérés par différents sondages mécaniques, pénétrométriques et électriques). Les épaisseurs sont généralement supérieures à 50m et même à 100m à l'Ouest de Brégnier-Cordon (forage de la C.N.R.). Des apports fluviatiles issus du Nord-Est (Rhône) et du Sud-Est (Guiers) coiffent ces alluvions lacustres, recouvrant

la plaine d'Aoste et le couloir des Avenières sous une dizaine de mètres d'alluvions caillouteuses. Localement des sillons plus profonds (entre Aoste et Granieu notamment) peuvent atteindre 20m de profondeur. En surface l'origine de ces dépôts alluviaux peut être définie à partir de leur nature pétrographique, les galets transportés par le Guiers étant à 92% d'origine calcaire, alors que ceux transportés par le Rhône ne le sont qu'à 70%, le reste se répartissant surtout entre galets cristallins, cristallophylliens et quartzitiques.

Le cône de Veyrins, déjà existant lors de la progradation des alluvions rhodaniennes par le couloir (absence de sédiments argileux en profondeur; d'après les forages) a été entaillé vers l'aval par les eaux du Rhône au pied de la butte des Avenières. Une étude stéréoscopique a permis de localiser les anciens méandres rhodaniens dans la traversée du couloir, méandres abandonnés lors du déversement du cours du fleuve au Nord de la butte des Avenières (J.P. Bravard, 1983). En amont du cône ces méandres sont enfouis sous 4 à 5m d'argiles et de tourbes en raison du développement du cône en travers du couloir qui a confiné ce secteur.

Certains points restent encore à vérifier: c'est le cas notamment de l'importance du creusement des chenaux fluvioglaciers. Les surcreusements glaciaires de la cuvette d'Aoste et du couloir des Avenières semblent supérieurs à 50m d'après les interprétations géophysiques. Mais seuls des forages s'enfonçant sur quelques mètres au moins dans les formations molassiques permettraient de vérifier la cote de leur contact avec les alluvions argileuses supérieures.

Du point de vue hydrogéologique, les terrains concernés par notre étude présentent différents types de nappes:

- en bordure du secteur de plaine, les nappes des collines molassiques dont l'alimentation est liée aux précipitations;
- les nappes des chenaux fluvioglaciers, directement alimentées par les écoulements issus du plateau molassique;
- la nappe alluviale de la plaine d'Aoste dont l'alimentation se fait surtout à partir des infiltrations du Guiers et du thalweg de la Bièvre en amont;
- la nappe alluviale du couloir des Avenières alimentée en amont par de faibles apports latéraux, dont l'écoulement se fait surtout à la faveur des canaux de drainage; la partie aval, quant à elle, recevant partiellement les eaux de la nappe du cône de Veyrins;
- la nappe du cône de Veyrins, alimentée par la gouttière de Corbelin qui draine les eaux d'une partie du plateau de Faverges-de-la Tour, qui est en semi-relation avec la nappe du couloir des Avenières en raison de la nature assez argileuse de la bordure du cône. Cette nappe se prolonge vers l'aval, au NW, sous la nappe du couloir des Avenières; son niveau piézométrique est au-dessus de la surface topographique, le contact entre ces deux réservoirs étant souligné par un niveau induré (forage F25) ou des niveaux argileux.

L'étude hydrogéologique a porté sur ces trois dernières nappes en raison des potentialités aquifères inhérentes à de telles formations.

La reconnaissance du chenal entre Granieu et Aoste par étude géophysique a été suivie d'essais de pompage qui ont montré des débits possibles d'exploitation supérieurs à 60m³/h. Dans ce secteur l'alimentation est issue de la terrasse de Granieu pour une part et des eaux provenant du thalweg de la Bièvre pour une autre part.

En rive droite du canal de la Bièvre, la régularité de l'alimentation provient des sous-écoulements issus du thalweg de la Bièvre, mais également d'infiltrations issues du Guiers au niveau d'Aoste-Gare de l'Est. Les caractéristiques physico-chimiques et hydrodynamiques restent cependant à préciser lors d'essais de pompage permettant de préciser les conditions aux limites et les relations avec le canal.

Au Nord de Romagnieu, la nappe est alimentée par les eaux issues de la molasse. On a pu visualiser l'influence des sels utilisés l'hiver sur l'autoroute A 43 sur les teneurs en ions sodium et chlore. On ne saurait donc conseiller des pompages en aval de cette zone susceptible de pollutions accidentelles.

Dans le couloir des Avenières, le recouvrement des alluvions perméables par des argiles et des tourbes (marécages) influe sur les qualités physico-chimiques des eaux de la nappe (teneurs en fer et en manganèse souvent supérieures aux normes de potabilité admises). Les zones susceptibles d'exploitation se situent plutôt sur la terrasse bordant le versant molassique, au niveau de Veyrins ou au Nord-Ouest.

Les perméabilités mesurées à la station de pompage placée sur le cône démontrent la nécessité de rester en amont de sa limite avec la nappe du couloir, plus argileuse. Le bilan d'eau calculé à l'exutoire du bassin-versant du Pissoud donne un débit moyen d'écoulement (ruissellement et infiltration) de 250 l/s sur l'ensemble de l'année, soit un renouvellement assez lent des eaux de la nappe du cône à partir des infiltrations. Ceci influe sur les teneurs en fer qui sont assez préoccupantes dans ce secteur. Un éventuel nouveau site d'exploitation devra donc intercepter les eaux les plus mobiles possibles au sein du réservoir.

D'une manière générale, les eaux de notre secteur présentent un faciès bicarbonaté calcique, parfois assez magnésien. La dureté des eaux se situe entre 25 et 30°F en moyenne. Les teneurs en ions sont acceptables, seules les concentrations en ions Fe et Mn sont localement dépassées (couloir des Avenières).

De ces trois nappes, celles d'Aoste et de Veyrins sont d'un réel intérêt pour la région et peuvent être plus largement exploitées, la nappe d'Aoste notamment n'est actuellement que fort peu sollicitée (station de pompage d'Aoste) : nous préconisons donc un complément d'étude en rive droite du canal de la Bièvre, dans le secteur où le chenal diffluent depuis le Guiers rejoint le chenal profond issu du thalweg de la Bièvre (cf. fig. 66). De même, le secteur situé entre la butte de Brangues-Masset et le Guiers semble intéressant en raison de l'écoulement de la nappe par ce passage et d'éventuels apports issus du Rhône ou du Guiers. Le cône de Veyrins, quant à lui, possède des qualités hydrodynamiques intéressantes, susceptibles d'amélioration en tenant compte de la granulométrie de l'ensemble de la formation.

BIBLIOGRAPHIE

- Abaques de sondages électriques (1963).- Published by European Association of Exploration geophysicists.
- ARMAND C. (1978).- Détermination par géophysique électrique de la forme d'un substratum molassique. CRAS
- ASTIER J.L. (1971).- Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Editions Masson.
- BABOT Y., BARIDI B. (1982).- Premières mesures géophysiques électriques dans le bassin expérimental du Ringelbach à Soultzeren (68). Recherches géographiques à Strasbourg, n° 19-21, p. 175 à 178.
- BALLESIO R. (1972).- Etude stratigraphique du Pliocène Rhodanien. Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon, n° 53.
- BAUDOIN F. (1984).- Hydrogéologie de l'avant-pays de Chartreuse (Isère). Hydrodynamique karstique et alluviale. Thèse 3e cycle - Grenoble.
- BHATTACHARYA P.K., PATRA H.P. (1968).- Direct current geoelectric sounding. Elsevier Publishing Company. Amsterdam. tome 9.
- BOURDIER F. (1939).- la cluse de Chambéry pendant le Quaternaire. Les études rhodaniennes, revue de Géographie régionale, V.15, n°1, 2, 3 - p. 101-118.
- BOURDIER F. (1946).- Les caractéristiques de chaque glaciation alpine d'après les couvertures de loess et les sols d'altération. Session extraordinaire des soc. belges de Géol. Sept. 1946, Bruxelles, 1947, p. 332-347.
- BOURDIER F. (1950).- Essai sur l'évolution climatique du Bassin du Rhône pendant le Quaternaire. C.R. sommaire Séances Soc. Biogéog., n°237, 1950.
- BOURDIER F. (1961).- Le Bassin du Rhône au Quaternaire. Géologie et préhistoire. Paris, Edit. C.N.R.S. I, 364 p., II, 295 p.
- BRAVARD J.P. (1982).- A propos de quelques formes fluviales de la vallée du Haut Rhône français. Rev. Géogr. Lyon, v. 57, n°1, p. 39-40.
- BRAVARD J.P. (1983).- Une auto-capture du Rhône par déversement dans les Basses Terres du Bas-Dauphiné (Isère, Ain). Rev. Géogr. Lyon, v.58, n°4.
- BRAVARD Y. (1958).- Quelques remarques sur l'action des glaciers quaternaires dans le massif de la Grande Chartreuse. Rev. Géogr. alp., t.46, p. 47-64.
- BRAVARD Y. (1959).- La vallée supérieure de la Bourbre (Bas-Dauphiné). Contribution à l'étude des vallées de piedmont. Rev. Géogr. alp., t.47, p.225-242.
- BRAVARD Y. (1963).- Le Bas-Dauphiné. Recherches morphologiques sur un piedmont alpin. Grenoble Allier, 1963, 504 p.
- CASSAN M. (1978).- Les essais in situ en Mécanique des sols. 1/ Réalisation et interprétation Editions Eyrolles.
- CASTANY G. (1967).- Traité pratique des eaux souterraines. Editions Dunod, Paris.
- Centres d'Etudes Techniques de l'Équipement
 (1965).- Autoroute A 43 - Lyon Chambéry. Dossier P/2660
 (1966).- " " " " Dossier PS/2991
 (1966).- Autoroute A 43 - Lyon Chambéry. Dossier P/3355
 (1979).- Déviation du Pont de Beauvoisin. Dossier F/MP 11692

- CHAMARRIER J. (1954).- La basse vallée du Guiers.
D.E.S. Géographie alpine. Grenoble. 2e édition révisée.
- CHAMPIER L. (1953).- Fossé bressan et bas-dauphinois. Les études rhodaniennes. V.28, n°28, p. 101-112.
- CHAPELLIER. D. (1981).- De l'importance des cartes de résistivités. Eclogae Geological Helvetiae. V.74/3, p. 651-660
- CHARAMEL G. (1984). Morphologie et stratigraphie du Quaternaire de Belley à Brégnier-Cordon. D.E.A. de Géologie Appliquée, Grenoble, inédit.
- COMBAZ P. (1918).- Sur la fin de la période glaciaire dans la vallée du Guiers. C.R.A.S., t. 167, p. 685.
- Compagnie Nationale du Rhône (1979).- Chute de Brégnier-Cordon. Impact sur l'environnement. Inédit.
- Compagnie Nationale du Rhône.- Documents d'archives concernant les aménagements des barrages de Brégnier-Cordon et de Sault-Brénaz.
- Compagnie de Prospection Géophysique Française (1965).- Etude hydrogéologique et géophysique de la vallée de Veyrins-Thuellin et de la plaine d'Aoste. Inédit. Archives D.D.A.
- DEBELMAS J. (1963).- Plissements paroxysmal et surrection des Alpes franco-italiennes. Trav. Lab. Géol. Univ. Grenoble., t.39, p.125-171.
- DEBELMAS J. (1980).- Le bassin rhodanien. Géologie alpine, t.56, p.59-62.
- DEHAYS H. (1980).- Paléomorphologie et circulations des eaux souterraines. Etude hydrogéologique des ressources en eau de la haute vallée de La Fure et de ses relations avec les bassins de Paladru et de l'Ainan. Thèse 3e cycle, Grenoble.
- DEMARCO G. (1970).- Etude géologique du Miocène rhodanien. Mem. Bull. Rech. Géol. Min., Paris n°61, 257 p.
- Direction Départementale de l'Agriculture de l'Isère .- Rapports géologiques et archives
- DUBOIS M. (1959).- Le Jura méridional. Etude morphologique. Sides Edit., Paris, 642 p.
- DUBREUIL P. (1974).- Initiation à l'analyse hydrologique. Masson et Cie, Edit.
- DUBUS J. (1969).- Le Quaternaire en tant qu'aquifère. I.57, fasc.1, p.465-470. Revue de géog. alpine, LVII, 1, p. 465-470, Grenoble.
- ENAY R. (1981).- Les formations glaciaires et les stades de retrait du glacier würmien dans l'île Crémieu. Bulletin de la Soc. Linnéenne de Lyon, 50e année n°1, p. 5.27.
- FLINT R.F. (1971).- Glacial and quaternary geology. Editions John Wiley and sons, Inc. New-York - London - Sydney - Toronto.
- FORAT R. (1954).- Aux confins septentrionaux du Bas-Dauphiné : Les Basses Terres. Etude Morphologique. Revue. de géogr. alpine, T.47, fasc.4, p. 675-712.
- FOURNEAUX J.C. (1975).- Etude des échange nappes/rivière. Nappe de l'Isère dans l'Ombilic de Grenoble. Thèse Doctorat d'Etat, Grenoble, 325 p.
- FOURNEAUX J.C., SARROT-REYNAULD J. (1977).- Déficit d'écoulement et évapotranspiration dans les Alpes du Nord. Comptes-rendus du 102e Congrès National des Sociétés Savantes, Limoges, fesc.2.

- GENTIL S. et al. (1983).- Classification statistique et modelisation des niveaux de la nappe phréatique, près de Brégnier Cordon en relation avec les apports en eau et la température.
Rev. Geog. Alpine, t.71, fasc.4, p.353-362.
- GERMAIN Cl., DEMAISON G. (1958).- Contribution à l'histoire géologique du Bassin de Valence. Trav. Lab. Geol. Univ. Grenoble. T.34., p. 49-92.
- GIDON M., MONJUVENT G., STEINFATT E. (1968).- Sur la morphologie fluvio-glaciaire aux marges des glaciers wurmiens alpins; le dispositif moraine-chenal marginal
Bull. A.F.E.Q., n°15, 1968, p.125-145
- GIDON M., MONJUVENT G., STEINFATT E. (1969).- Sur la coordination des dépôts glaciaires de la Basse Isère, de la Bièvre et du Rhône (environs de Voiron-Isère).
C.R.A.S., 268, p. 1464-1467
- GIGNOUX M., MORET L. (1952).- Passage du Jura aux chaînes subalpines. Géologie dauphinoise, 2e édit. Masson Paris.
- GIGNOUX M., PIERRE G., RAMPNOUX J.P. (1975).- Sur la géologie des confins de la Savoie et du Bas-Bugey. Annales du Centre Universitaire de Savoie; t.II, Sciences Naturelles, p. 131-146.
- GIREL J. (1982).- Les apports en eau dans la vallée du Haut-Rhône français. Synthèse des précipitations et températures. Revue de géographie de Lyon; V.57, n°1, p.7-23.
- GOGUEL J. (1948).- Essai d'interprétation de la prospection géophysique de la Bresse et du Bas-Dauphiné. Pub. Bur. Rech. Geol. et géophys., n°6, 78p.
- HAMELIN L.E. (1952).- La position structurale du Bas-Dauphiné. Rev. Geog. Alpine, t.40, p. 562-581.
- HAMELIN L.E. (1952).- La morphologie du massif des Terres Froides et du Bassin de la Bourbre moyenne en Bas-Dauphiné. Thèse Univ. Grenoble, 137 p.
- HANNSS Chr. (1973).- Conséquences morphologiques de nouvelles datations au C.14 dans le sillon alpin près de Grenoble. Rev. Geog. Alp., t.61, fasc.2, p.179-201.
- JAIL M. et col. (1981- 1982-1983).- Chroniques météorologiques du département de l'Isère.
- LAMIRAUX Ch. (1977).- Géologie du Miocène des chaînons jurassiens méridionaux et du Bas-Dauphiné Nord oriental entre Chambéry et La Tour du Pin. Thèse 3e cycle, Grenoble.
- LEBAU (1954).- Les formes mineures du relief sous-glaciaires. Essai de mise au point.
Revue géographique Lyon, t.29, p.317-334
- LEFAVRAIS-RAYMOND A. (1961).- La Bresse et le Bas-Dauphiné au Tertiaire. B.S.G.F., série 7, t.3, p.82-89.
- LE PRIOL J. (1974).- Etude hydrogéologique du bassin versant de la Bourbre. Application à l'étude d'une ville nouvelle: l'Isle d'Abeau. Thèse 3ème cycle Grenoble.
- LLIBOUTRY L. (1964).- Traité de glaciologie. 2 tomes, Editions Masson.
- HAZARD J. (1961).- La rive gauche de la basse vallée du Guiers (Etude de morphologie glaciaire). D.E.S. géographie, 21 p. Grenoble.
- MERIAUDEAU R. (1962).- Le Rhône en bordure du Jura. Etude morphologique. D.E.S. Inst. Geog. Alpine, Grenoble, 57 p.
- MEYER de STADELHOFEN G. (sans date).- L'interprétation graphique des sondages électriques.
Publication BEVAC, Marcel Grangier.
- MICHEL R. (1961).- Aperçu d'ensemble sur la structure géologique du département de l'Isère.
Géog. Alpine, t. 49, p. 129-142.
- MONJUVENT G. (1969, I et II).- Essais morphologiques sur un piedmont alpin. Revue de géogr. alpine, t. 57, n°2.

- NICOLET C. (1979).- Le Bas-Dauphiné septentrional. Etude stratigraphique et sédimentologique
Thèse IIIe cycle Grenoble
- PAUTOU G., GIREL J., AIN G. (1979).- Recherches géologiques dans la vallée du Haut-Rhône
français. Document de cartographie écologique. T.22, 1979, p.5-63.
- PELLETIER J. (1982).- Types et zones d'écoulement des eaux dans les plaines et collines de
la région de Morestel, Brégnier-Cordon. Revue géogr. Lyon, v.57, n°1,
p.25-38.
- PENCK Al., BRUCKNER Ed. (1905).- Les Alpes françaises à l'époque glaciaire. Traduit par
Schaudel L. Travaux de Laboratoire, Geol. Univ. Grenoble, t.8, 1907, p.
111-257.
- PETTIJOHN F.J., POTTER P.E., SIEVER R. (1972).- Sand and sandstone. Ed. Springer-Verlag. New-
York - Heidelberg - Berlin.
- ROUSSELOT D. (1978).- Etude hydrogéologique de la molasse du Bas-Dauphiné entre Rhône et
Isère. Rapport préliminaire. Lyon SGN - BRGM, 1978, 44 p.
- SCHOELLER H. (1952).- Les eaux souterraines - Hydrologie dynamique et chimique, Masson-Edit.
- SIMMLER L., CARNEIRO-FEITOSA E. (1968).- Prospection électrique. Application de la méthode
et notions pratiques d'exploitation des résultats. Bull. B.R.G.M., 2e
série, sect.III, n°4, 45-50.
- STEINFATT E. (1975).- Géologie de la feuille de Voiron au 1/50.000e. Etude sur le Miocène
et le Quaternaire de l'avant-pays alpin. Thèse IIIe cycle Grenoble.
- TETART J. (1973).- Les mortes et les milieux temporaires. Caractères physico-chimiques de
l'eau. Etude écologique des anciens lits du Rhône. Lab. Biol. Veg. 34-
58.
- TRICART J. (1950).- Le modelé des pays froids. C.D.U.
- TRICART J. (1954).- Le modelé glaciaire et nival. C.D.U.
- VEYRET P. (1945).- Le Val du Bourget. T.33, fasc.1, p.1-38. Rev. Geog. Alpine
- VIVIAN M. (1983).- Les fluctuations de l'abondance annuelle, mensuelle et rythmes journa-
liers du Rhône supérieur à Sault-Brénaz. Rev. Géog. Alp. t.71, p.311-329.

ANNEXES

I - SONDAGES ÉLECTRIQUES

II - SONDAGES DE RECONNAISSANCE DU SOUS-SOL

III - RELEVÉS PIÉZOMÉTRIQUES DE NAPPES ET DU FIL DE L'EAU
DE COURS D'EAU

IV - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

TABLEAU D

| AB/2 | S 7.3 | S 7.4 | S 8.0 | S 8.1 | S 8.2 | S 8.3 | S 8.5 | S 9.1 | S 9.2 | S 9.3 | S 10.0 | S 10.1 | S 10.2 | S10.21 | S10.3 | S10.4 |
|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 1 | 41 | 67 | 53 | 246 | 51 | 482 | 197 | 60 | 102 | 36 | 108 | 109 | 654 | 42 | 21 | 250 |
| 1,5 | 41 | 62 | 50 | 238 | 51 | 457 | 186 | 61 | 86 | 42 | 124 | 68 | 644 | 55 | 23 | 213 |
| 2 | 47 | 59 | 49 | 221 | 59 | 357 | 155 | 62 | 70 | 49 | 148 | 48 | 656 | 65 | 27 | 253 |
| 3 | 56 | 53 | 51 | 202 | 66 | 215 | 121 | 68 | 68 | 65 | 178 | 35 | 377 | 86 | 35 | 305 |
| 3 | 55 | 52 | 50 | 202 | 63 | 204 | 122 | 65 | 72 | 61 | 165 | 35 | 352 | 83 | 34 | 282 |
| 4 | 67 | 50 | 51 | 186 | 67 | 133 | 94 | 75 | 79 | 75 | 175 | 37 | 185 | 97 | 44 | 222 |
| 5 | 77 | 52 | 52 | 170 | 65 | 100 | 78 | 85 | 89 | 88 | 179 | 48 | 120 | 104 | 53 | 231 |
| 7 | 89 | 61 | 63 | 143 | 68 | 74 | 67 | 101 | 109 | 107 | 165 | 50 | 70 | 115 | 63 | 288 |
| 10 | 108 | 76 | 77 | 112 | 69 | 62 | 63 | 121 | 122 | 126 | 179 | 66 | 51 | 118 | 72 | 260 |
| 10 | 102 | 73 | 81 | 110 | 66 | 60 | 65 | 125 | 126 | 121 | 193 | 62 | 45 | 117 | 72 | 256 |
| 15 | 113 | 90 | 105 | 92 | 66 | 55 | 63 | 143 | 135 | 137 | 202 | 91 | 63 | 107 | 84 | 181 |
| 20 | 114 | 100 | 123 | 100 | 65 | 61 | 62 | 196 | 133 | 136 | 177 | 120 | 71 | 115 | 84 | 132 |
| 30 | 95 | 103 | 131 | 94 | 62 | 64 | 52 | 117 | 111 | 115 | 148 | 150 | 68 | 126 | 67 | 71 |
| 30 | 103 | 100 | 127 | 81 | 63 | 56 | 57 | 133 | 109 | 118 | 144 | 128 | 67 | 130 | 78 | 78 |
| 40 | 87 | 95 | 87 | 80 | 59 | 60 | 55 | 114 | 96 | 100 | 116 | 130 | 98 | 122 | 73 | 61 |
| 40 | | | | | | | | | | | | | | 127 | | |
| 50 | 76 | 90 | 73 | 78 | 60 | 63 | 52 | 100 | 85 | 91 | 106 | 120 | 117 | 119 | 73 | 80 |
| 70 | 63 | 77 | 77 | 83 | 66 | 75 | 55 | 79 | 73 | 79 | 94 | 123 | 148 | 107 | 62 | 63 |
| 100 | 54 | 73 | 121 | 78 | 67 | 94 | 54 | 73 | 70 | 73 | 94 | 100 | 129 | 100 | 62 | 42 |
| 100 | 60 | | 88 | 70 | 64 | 69 | 56 | 73 | 73 | 79 | | 88 | 99 | 99 | 74 | 45 |
| 150 | 58 | | 77 | 78 | 66 | 136 | 48 | 74 | 65 | 76 | | 81 | 122 | 103 | 71 | 80 |
| 200 | | | | 105* | 67 | 72 | 61 | 72 | 59 | | | 106 | 136 | 94 | 69 | 99 |
| * | 195/200 | | | | | | | | | | | | | | | |

TABLEAU E

| AB/2 | S 10.5 | S 12.1 | S 12.3 | S 12.4 | S 13.4 | S 14.1 | S 14.2 | S 14.3 | S 14.4 | S 15.1 | S 15.2 | S 15.3 | S 16.1 | S 16.2 | S 16.3 | S 16.4 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 155 | 30 | 25 | 34 | 42 | 27 | 64 | 193 | 118 | 44 | 24 | 35 | 89 | 35 | 29 | 29 |
| 1,5 | 195 | 48 | 24 | 33 | 43 | 32 | 52 | 191 | 139 | 71 | 28 | 34 | 115 | 42 | 36 | 35 |
| 2 | 226 | 51 | 25 | 32 | 45 | 38 | 39 | 176 | 154 | 86 | 32 | 34 | 141 | 48 | 42 | 40 |
| 3 | 260 | 67 | 26 | 34 | 49 | 50 | 40 | 190 | 171 | 111 | 41 | 34 | 203 | 63 | 53 | 49 |
| 3 | 267 | 66 | 28 | 34 | 46 | 43 | 44 | 185 | 174 | 98 | 39 | 36 | 185 | 60 | 52 | 46 |
| 4 | 293 | 82 | 31 | 37 | 50 | 53 | 48 | 225 | 198 | 113 | 48 | 39 | 225 | 76 | 62 | 55 |
| 5 | 320 | 94 | 35 | 42 | 54 | 62 | 55 | 264 | 188 | 119 | 58 | 43 | 258 | 91 | 71 | 62 |
| 7 | 362 | 105 | 44 | 54 | 61 | 79 | 64 | 320 | 194 | 131 | 73 | 49 | 301 | 111 | 83 | 78 |
| 10 | 335 | 117 | 57 | 69 | 71 | 98 | 73 | 354 | 159 | 133 | 91 | 56 | 314 | 131 | 94 | 92 |
| 10 | 336 | 115 | 56 | 67 | 65 | 92 | 66 | 339 | 154 | 132 | 87 | 52 | 325 | 132 | 92 | 92 |
| 15 | 297 | 134 | 72 | 87 | 66 | 104 | 78 | 311 | 107 | 122 | 109 | 60 | 297 | 132 | 95 | 109 |
| 20 | 242 | 139 | 80 | 100 | 74 | 101 | 83 | 244 | 104 | 107 | 123 | 66 | 244 | 116 | 89 | 111 |
| 30 | 168 | 156 | 90 | 108 | 75 | 93 | 76 | 133 | 90 | 84 | 129 | 72 | 162 | 90 | 89* | 107 |
| 30 | 124 | 161 | 90 | 107 | 72 | 91 | 70 | 157 | 109 | 87 | 129 | 69 | 171 | 98 | 84 | 110 |
| 40 | 126 | 151 | 89 | 103 | 72 | 82 | 74 | 107 | 104 | 74 | 124 | 72 | 120 | 81 | 72 | 103 |
| 50 | 235 | 138 | 86 | 93 | 70 | 70 | 70 | 86 | 90 | 73 | 120 | 72 | 92 | 71 | 64 | 92 |
| 70 | 385 | 120 | 71 | 76 | 63 | 64 | 61 | 84* | 92 | 59 | 116 | 79 | 58 | 51 | 49 | 82 |
| 100 | 1062 | 104 | 58 | 67 | 61* | 65 | 37 | | 79 | 50 | 121 | 77 | 73 | 46 | 40 | 78* |
| 100 | 50 | | 60 | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | 73 | | 58 | | | | | | | | | | | | | |
| 200 | 210 | | | | | | | | | | | | | | | |
| * | | | | 90/100 | | | | 80/70 | | | | 27/30 | | 80/100 | | |

2/ GEOPHYSIQUE : SONDAGES ELECTRIQUES D.D.A (FIG.49)

Etude des secteurs Nord et Nord-Est de Thuellin (par J. BIJU-DUVAL, rapport DDA)

D'une manière générale, résistivités:

en surface: entre 30 et 50 Ω m, sur une épaisseur toujours supérieure à 1m.
 en dessous: 300 Ω m de graviers
 en fond: 60 et 80 Ω m d'alluvions sablo-argileuses

1/ Sondages au Nord de Thuellin: SEa à SEg

. SEd semble plus colmaté que les autres (on dépasse à peine les 100 Ω m).

. SEb: le plus intéressant: 2.6 m à 50 Ω m
 9.0 m à 250 Ω m
 4.0 m à 150 Ω m
 substratum à 70 Ω m

2/ Sondages au Nord-Est de Thuellin: SEp à SEs

Entre 1 et 4.20 m d'argile en surface

En dessous: $\rho < 200 \Omega$ m

SEp et SEq sont les plus intéressants: 1.5 à 2 m à 40 Ω m
 12 à 13 m à 200 Ω m
 substratum à 80-90 Ω m

SEr et SEs: épaisseurs semblables, mais chute de la résistivité (160 Ω m pour SEs)

3/ Sondages au Nord de Rabataux: précisent la coupe de la C.P.G.F. (1965, profil B)

SEt: 1.4 m à 50 Ω m
 2.1 m à 30 Ω m
 9.0 m à 300 Ω m
 Subs. à 65 Ω m

SEu: 1.4 m à 40 Ω m
 11.50m à 280 Ω m
 Subs. à 65 Ω m

SEv: 4 m d'argiles en surfac (45 à 50 Ω m)
 en dessous: alluvions colmatées, à 70 Ω m.

ANNEXE II

SONDAGES DE RECONNAISSANCE DU SOUS-SOL
 DANS LA RÉGION D'AOSTE
 ISÈRE

1 - SONDAGES PÉNÉTROMÉTRIQUES

2 - SONDAGES MÉCANIQUES

PLAN DE SITUATION: CF. FIG. 49 ET 59

Légende des :

- logs d'essais pénétrométriques
- logs de sondages.



Terre végétale T. Vg



Argile Arg.



Silt, limon



sable s.



gravier gr.



cailloux, conglomérat G., Cgt
galets



tourbe



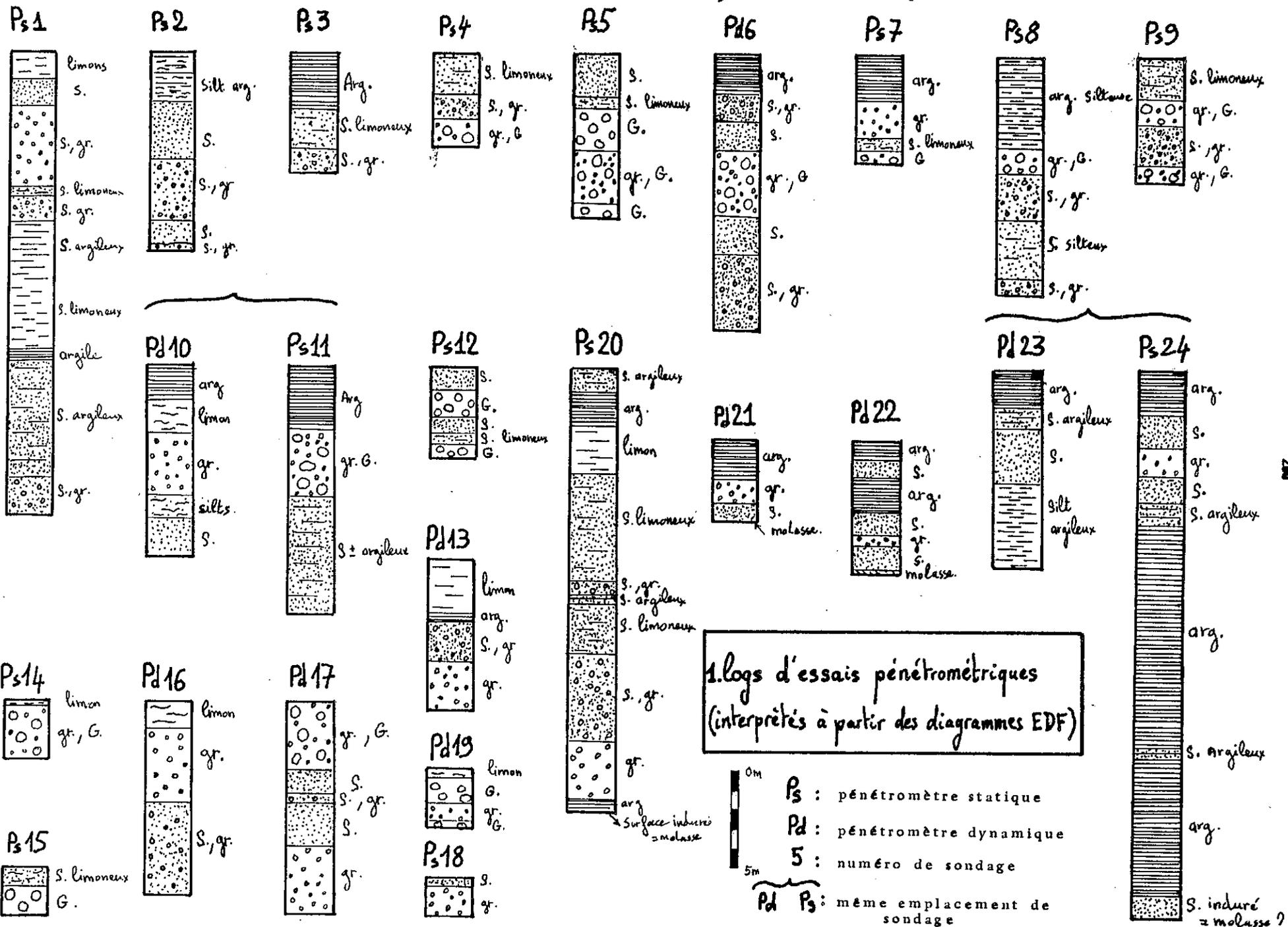
débris végétaux, bois fossile



remblai



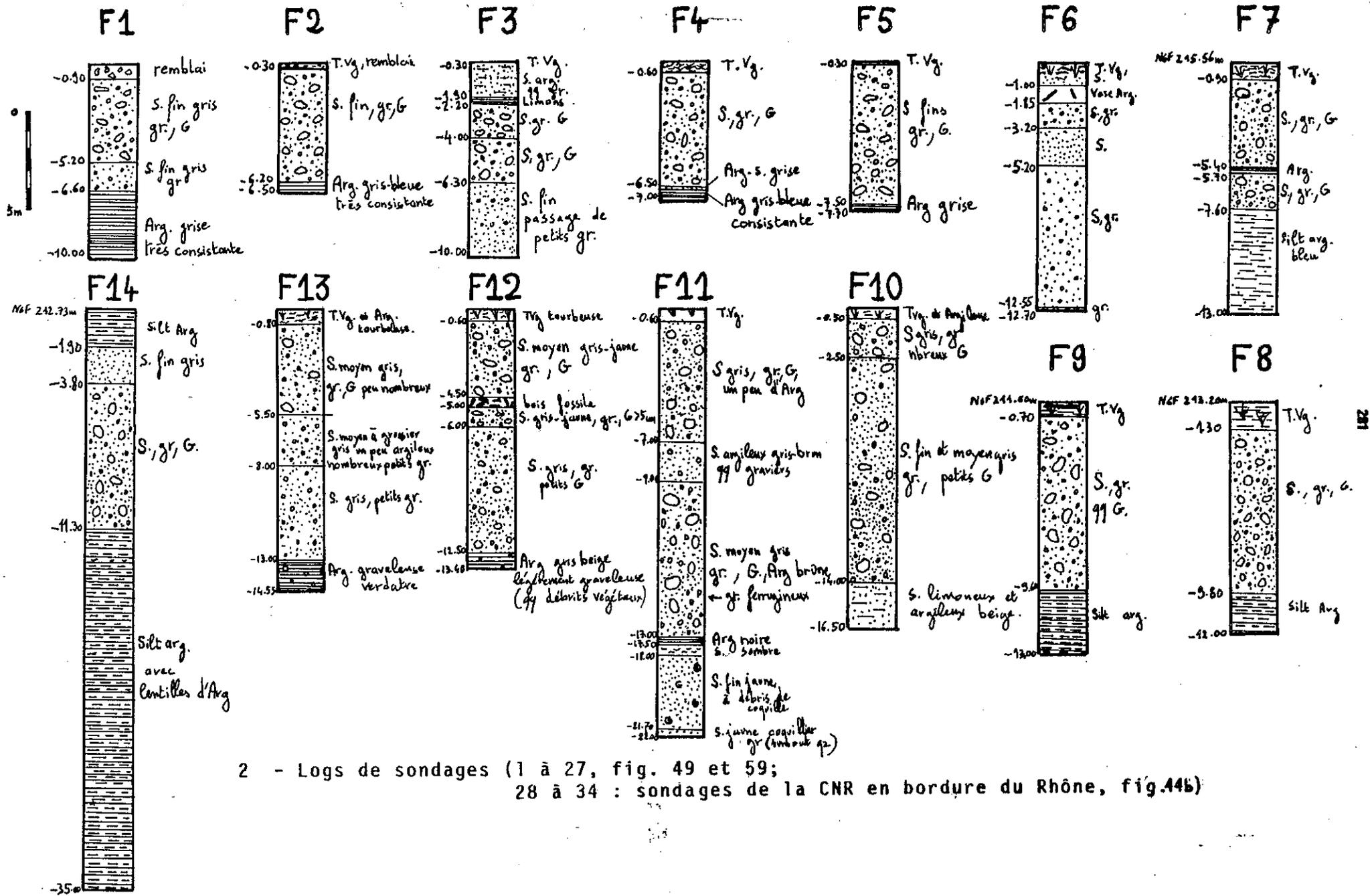
débris de coquilles



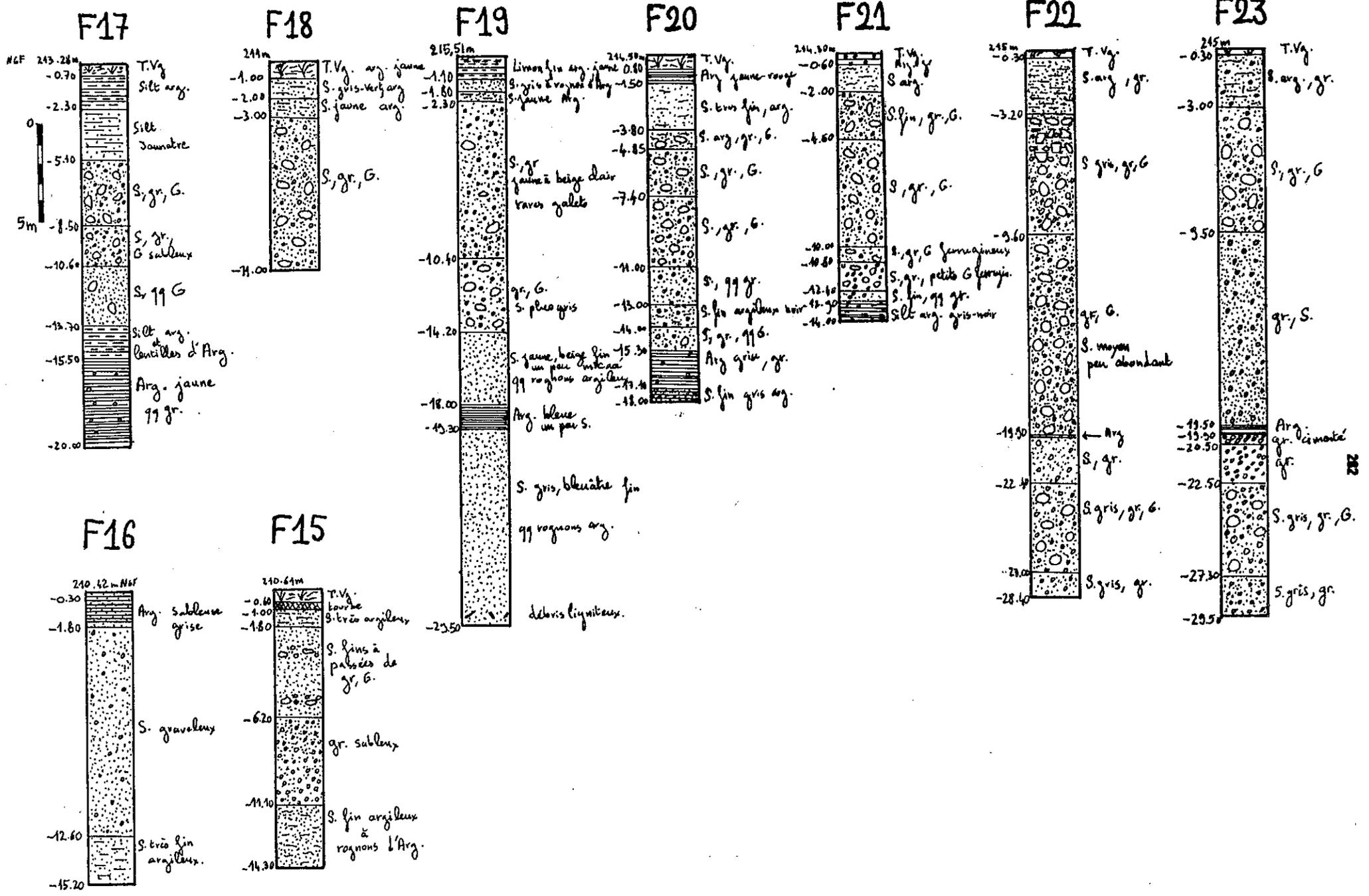
1. logs d'essais pénétrométriques
(interprétés à partir des diagrammes EDF)

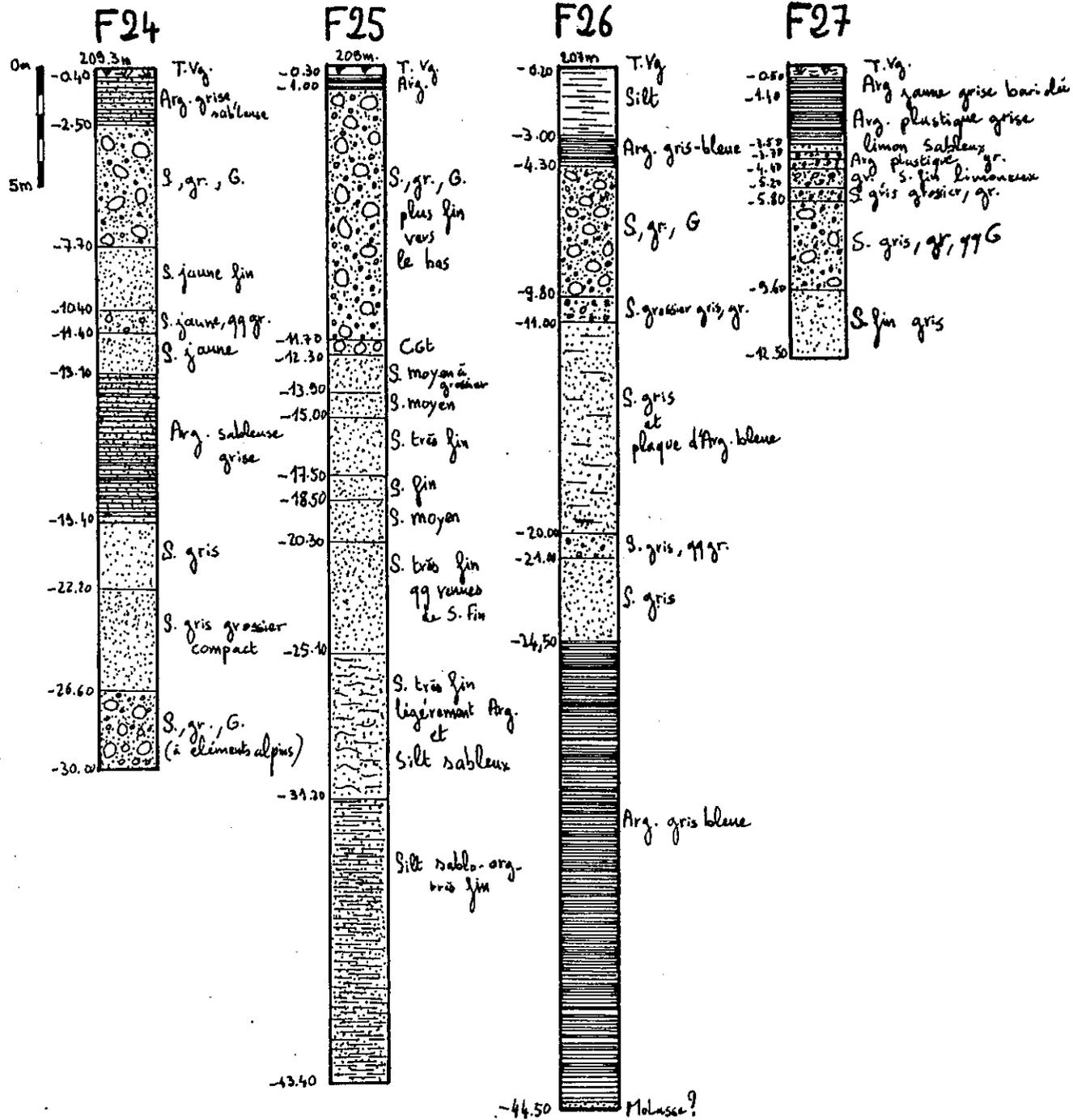


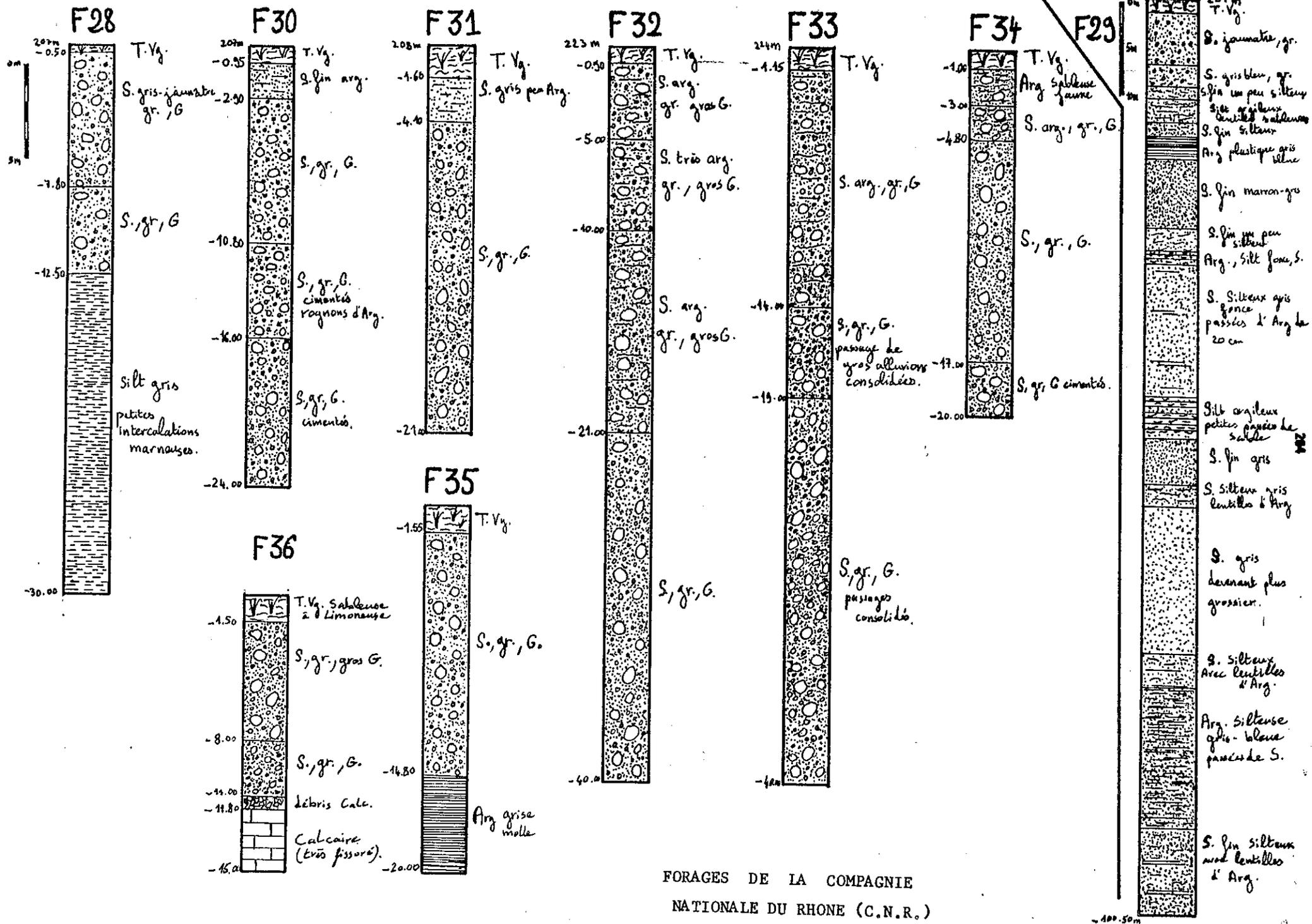
Ps : pénétromètre statique
Pd : pénétromètre dynamique
5 : numéro de sondage
Pd Ps : même emplacement de sondage



2 - Logs de sondages (1 à 27, fig. 49 et 59;
 28 à 34 : sondages de la CNR en bordure du Rhône, fig. 44b)







FORAGES DE LA COMPAGNIE
 NATIONALE DU RHONE (C.N.R.)

ANNEXE III

RELEVÉS PIÉZOMÉTRIQUES DE NAPPES
ET DU FIL DE L'EAU DE COURS D'EAU
ENTRE LE 18 NOVEMBRE 1981 ET LE 21 DÉCEMBRE 1982
(RELEVÉS MENSUELS)

1.1 : Puits particuliers

| Réf. | 1981 | | | | | | | 1982 | | | | | | | Battement |
|-------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|-------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|-----------|
| | CoteNGF | 18nov. | 17déc. | 12janv. | 16fév. | 18mars | 20av. | 18mai | 22juil. | 25juil. | 25août | 30sept. | 27oct. | 24nov. | |
| 101 | 3.78 | 3.32 | 3.06 | 3.72 | 3.78 | 3.75 | sec. | - | - | (4.30) | - | - | - | 2.83 | (1.47) |
| 101b. | (4.61) | (4.15) | (3.89) | (4.55) | (4.51) | 4.58 | 4.64 | 4.78 | 5.00 | 5.10 | 4.96 | 4.16 | 4.25 | 3.60 | 1.60 |
| 102 | 5.48 | 5.33 | 4.52 | 4.77 | 5.08 | 5.04 | 5.28 | 5.77 | 5.72 | 5.84 | 5.86 | 5.42 | 5.13 | 4.38 | 1.48 |
| 104 | 7.66 | 7.63 | 6.76 | 6.70 | 6.88 | 6.86 | 7.08 | 7.41 | 7.80 | 7.93 | 8.19 | 8.17 | 7.74 | 6.72 | 1.49 |
| 105 | 3.61 | 2.97 | 2.75 | 3.49 | 3.55 | 3.38 | 3.46 | 3.47 | sec | (3,74) | - | 2.91 | 3.08 | 2.58 | (1.16) |
| 106 | 1.63 | 1.19 | 1.27 | 1.64 | 1.55 | 1.52 | 1.55 | 1.68 | 1.98 | 1.97 | 1.83 | 1.30 | 1.34 | 1.02 | 0.96 |
| 107 | 2.03 | 1.45 | 1.23 | 1.91 | 1.97 | 1.96 | 2.14 | 2.14 | 2.34 | 2.38 | 2.29 | 1.57 | 1.53 | 0.93 | 1.45 |
| 108 | 3.31 | 2.95 | 2.66 | 3.22 | 3.35 | 3.26 | 3.41 | 3.55 | 3.66 | 3.80 | 3.68 | 3.03 | 2.90 | 2.27 | 1.53 |
| 110 | | | | | | 2.70 | 2.86 | 2.87 | 3.07 | 3.13 | 3.03 | 2.32 | 2.30 | 1.72 | 1.41 |
| 111 | 0.94 | 0.27 | 0.36 | 0.83 | 0.90 | 0.96 | | | | | | | | | |
| 112 | 6.11 | 5.90 | 5.30 | 5.44 | 5.61 | 5.55 | 5.66 | 5.69 | 5.92 | 6.13 | 6.18 | 5.88 | 5.62 | 5.00 | 1.18 |
| 113 | 4.33 | 3.95 | 3.41 | 3.86 | 3.85 | 4.03 | 4.28 | 4.38 | sec | (4.58) | - | 4.22 | 3.89 | 2.95 | (1.63) |
| 114 | 14.60 | 14.74 | 14.38 | 14.50 | 14.57 | 14.53 | 14.60 | 14.63 | 14.68 | 14.67 | 14.63 | 14.48 | 14.46 | 14.16 | 0.58 |
| 120 | | 3.75 | 3.63 | 3.82 | | 4.23 | 4.79 | 4.55 | 5.15 | 5.28 | 5.40 | 3.87 | 3.85 | 3.58 | 1.82 |
| 122 | 0.93 | 0.84 | 0.88 | 0.87 | | | 1.15 | 0.98 | 0.94 | 0.96 | | 0.93 | 0.87 | | |
| 123 | 2.30 | 2.23 | 2.28 | 2.36 | | | 2.26 | 2.28 | | 2.28 | 2.22 | 2.26 | 2.20 | 2.23 | 0.16 |
| 125 | 220.91 | 6.78 | 6.54 | | | 6.77 | 6.91 | 7.00 | 7.08 | 7.13 | 7.16 | 6.97 | 6.81 | 6.41 | 0.75 |
| 126 | 220.46 | 6.30 | 6.03 | 5.70 | 5.70 | 5.88 | 5.82 | 6.14 | sec | (6.25) | - | - | 6.03 | 5.57 | (0.68) |
| 127 | 215.64 | 1.80 | 1.61 | 1.44 | 1.54 | 1.67 | 1.75 | 1.84 | 1.93 | 1.99 | 2.00 | 1.79 | 1.70 | 1.37 | 0.63 |
| 128 | 214.71 | | 2.11 | 2.02 | 2.09 | | | | | | | | 2.29 | 1.82 | |
| 129 | 213.71 | | 2.21 | 2.30 | 2.41 | 2.52 | 2.62 | 2.72 | 2.81 | 2.81 | 2.74 | 2.44 | 2.40 | 2.12 | 0.69 |
| 130 | 215.35 | | | | | 4.51 | 4.58 | 4.68 | 4.73 | 4.79 | 4.75 | 4.50 | 4.41 | 4.14 | 0.65 |
| 140 | | 7.58 | 7.52 | 7.33 | | | 7.63 | 7.88 | 8.02 | 8.14 | 8.27 | 8.22 | 8.12 | 7.65 | 0.94 |
| 140b | | | | | | | 2.09 | 2.15 | 2.11 | 2.20 | 2.09 | 1.98 | 1.92 | (1.60) | (0.60) |
| 150 | | 0.15 | 0.27 | 0.75 | | 1.24 | 1.53 | 1.80 | 1.79 | 1.80 | 1.71 | | | 0.16 | 1.65 |
| 180 | | | | | | 1.17 | 1.40 | 1.64 | sec | (1.93) | 1.84 | 1.05 | 0.79 | 0.33 | (1.60) |

1.2 : Piezomètres de la D.D.E.:

| Réf. | 1981 | | | | | | | 1982 | | | | | | | Battement |
|------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|-------|-------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|-----------|
| | CoteNGF | 18nov. | 17déc. | 12janv. | 16fév. | 18mars | 20av. | 18mai | 22juil. | 25juil. | 25août | 30sept. | 27oct. | 24nov. | |
| A1 | 1.88 | 1.35 | 1.72 | 2.01 | 1.75 | 1.74 | 1.66 | 1.95 | 2.26 | 2.26 | 2.12 | 1.66 | 1.67 | 1.32 | 0.94 |
| A2 | 3.36 | 2.83 | 2.74 | 3.34 | 3.38 | 3.25 | 3.31 | 3.46 | 3.61 | 3.62 | 3.51 | 2.86 | 2.97 | 2.50 | 1.12 |
| A4 | 4.07 | 3.59 | 3.32 | 4.00 | 4.19 | 4.00 | 4.14 | 4.15 | 4.41 | 4.47 | 4.32 | 3.55 | 3.65 | 3.10 | 1.37 |
| A6 | 4.09 | 3.63 | 3.33 | 4.07 | 4.14 | 4.05 | 4.17 | 4.22 | 4.48 | 4.50 | 4.41 | 3.63 | 3.62 | 3.07 | 1.43 |
| A7 | 5.40 | 5.35 | 3.44 | 4.73 | 4.94 | 4.98 | 5.23 | 5.52 | 5.79 | 6.01 | 6.26 | 6.27 | 6.19 | 3.93 | 2.83 |
| A8 | 3.99 | 3.50 | 3.12 | 3.89 | 4.03 | 3.94 | 4.09 | 4.14 | 4.30 | 4.42 | 4.36 | 3.58 | 3.48 | 2.81 | 1.61 |
| A9 | 3.71 | 3.24 | 2.92 | 3.60 | 3.73 | 3.68 | 3.82 | 3.89 | 4.07 | 4.14 | 4.09 | 3.37 | 3.25 | 2.60 | 1.54 |

1.3 : Autres piezomètres ou forages

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|
| 400 | | | | | | | | | | 6.06 | 5.91 | 5.08 | 5.25 | 4.67 | 1.39 | |
| 401 | 6.37 | 5.65 | 5.76 | 6.29 | 5.81 | 6.26 | 6.62 | 6.30 | 6.55 | 6.55 | 6.43 | 5.68 | 5.89 | 5.45 | 1.17 | |
| 402 | 216.41 | 3.33 | 2.73 | 2.75 | 3.22 | 3.25 | 3.28 | 3.39 | 3.44 | 3.57 | 3.62 | 3.55 | 3.04 | 2.95 | 2.50 | 1.12 |
| 403 | 213.08 | 1.58 | 0.98 | 1.25 | 1.50 | 1.27 | 1.54 | 1.58 | 1.58 | 1.66 | 1.63 | 1.54 | 1.21 | 1.23 | 1.07 | 0.68 |
| 405a | 217.74 | 5.63 | 4.80 | 4.57 | 5.24 | 5.37 | 5.70 | 6.24 | 6.72 | 6.97 | 7.01 | 6.82 | 6.00 | 5.40 | 4.45 | 2.56 |
| 405b | 216.18 | | 2.52 | 3.50 | 4.18 | | 4.63 | 5.20 | 5.68 | 5.93 | 5.89 | 5.76 | 4.94 | 4.35 | 3.42 | 2.51 |
| 405c | 214.76 | 3.38 | 2.81 | 2.57 | 3.09 | 3.23 | 3.45 | 3.90 | 4.31 | 4.57 | 4.51 | 4.40 | 3.70 | 3.20 | (2.50) | (2.07) |
| 405d | 215.44 | 3.62 | 3.05 | 2.77 | 3.35 | 3.53 | 3.75 | 4.30 | 4.73 | 5.00 | 4.92 | 4.82 | 4.07 | 3.53 | 2.65 | 2.35 |
| 405e | 218.21 | | 5.27 | 4.78 | 5.43 | 5.68 | 5.85 | 6.37 | 6.77 | 7.05 | 7.01 | 6.93 | 6.18 | 5.58 | 4.61 | 2.44 |
| 405f | 219.02 | | 5.78 | 5.13 | 5.74 | 6.04 | 6.15 | 6.54 | 6.87 | 7.19 | 7.09 | 7.14 | 6.44 | 5.82 | 4.74 | 2.45 |
| 406b | | 0.71 | 1.54 | 1.54 | 1.44 | 1.73 | 1.70 | 1.72 | 1.72 | 2.30 | 1.56 | 1.56 | 1.45 | 1.42 | 1.59 | |
| 407 | | | 0.89 | 0.87 | 0.79 | 1.03 | 1.08 | 1.07 | 1.04 | 1.07 | 0.94 | 0.93 | 0.88 | 0.82 | 0.29 | |
| 408 | 1.57 | 1.09 | 1.43 | 1.47 | 1.21 | 1.59 | 1.73 | 1.77 | | 1.87 | 1.49 | 1.44 | 1.33 | 1.28 | 0.78 | |
| 409 | 2.43 | 1.98 | 2.15 | 2.30 | 2.06 | 2.48 | 2.60 | 2.69 | 2.68 | | 2.49 | 2.21 | 2.15 | 1.98 | 0.71 | |

1.4 : Piezomètres de la C.N.R. 287

| Réf. | Cote NGF | 1981 | | | | | | | 1982 | | | | | | | Battement |
|------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|-----------|
| | | 18nov. | 17déc. | 12janv. | 16fév. | 18mars | 20 av. | 18mai | 22juil. | 25juil. | 25août | 30sept. | 27oct. | 24nov. | 21déc. | |
| R63 | 210.70 | 2.20 | 0.85 | 1.40 | 1.81 | 2.36 | 1.79 | 1.43 | | 1.50 | 1.67 | | 1.42 | | (0.31) | (2.05) |
| R64 | 211.59 | 2.56 | 1.53 | 2.02 | 2.35 | 2.02 | 2.30 | 2.10 | | 2.10 | 2.24 | | 1.97 | | (0.99) | (1.36) |
| R65 | 217.65 | (4.60) | 4.20 | (4.26) | 4.56 | 4.48 | 4.53 | 4.55 | 4.60 | 4.71 | 4.71 | 4.64 | 4.35 | 4.42 | 4.02 | 0.69 |
| R67 | 215.72 | (3.85) | 3.26 | 3.39 | 3.81 | 3.94 | 3.82 | 3.88 | 3.92 | 3.93 | 4.01 | 3.93 | 3.48 | 3.56 | 2.94 | 1.07 |
| R68 | 215.42 | (3.41) | 2.79 | (2.74) | 3.33 | 3.30 | 3.40 | 3.51 | (3.40) | 3.71 | 3.73 | (3.56) | 2.97 | (2.92) | 2.49 | 1.24 |
| R71 | 213.16 | 2.25 | 1.89 | 2.03 | 2.18 | 2.00 | 2.24 | 2.26 | détruit | - | (2.40) | | | | (1.50) | (0.90) |
| R72 | 214.00 | (2.56) | (1.91) | (2.02) | 2.45 | 2.34 | (2.47) | (2.30) | (2.04) | 2.80 | 2.81 | (2.58) | 2.16 | (2.10) | 1.77 | 1.04 |
| R73 | 215.30 | (4.10) | 3.48 | (3.48) | 4.00 | 3.92 | 4.09 | 4.12 | (4.03) | 4.35 | 4.33 | (4.09) | 3.62 | (3.57) | 3.26 | 1.09 |
| R80 | 212.42 | 3.14 | 2.66 | 2.49 | 3.06 | 3.16 | 3.20 | 3.23 | (3.10) | 3.17 | 3.26 | (3.20) | 2.79 | (2.70) | 2.12 | 1.14 |
| R180 | 212.94 | (2.68) | 1.96 | 2.26 | (2.48) | 2.25 | 2.66 | 2.82 | (2.93) | 3.06 | 3.19 | (3.01) | 2.44 | 2.28 | détruit | (1/33) |
| R181 | 215.74 | 3.45 | 3.13 | 2.68 | 3.21 | 3.43 | 3.59 | 4.09 | 4.45 | 4.79 | 4.72 | 4.63 | 3.91 | 3.37 | 2.47 | 2.32 |
| R182 | 214.44 | 2.88 | 2.15 | (2.23) | (2.54) | (2.74) | (2.99) | (3.19) | (3.46) | (3.70) | (3.65) | (3.65) | (2.80) | (2.40) | 2.08 | (1.62) |
| R183 | 210.87 | 2.18 | (1.71) | (2.02) | 2.03 | 1.53 | 2.17 | (2.29) | (2.29) | (2.50) | (2.40) | (1.85) | (1.75) | (1.65) | (1.50) | (1.00) |
| R184 | 210.81 | (1.68) | (1.48) | (1.49) | (1.51) | (1.31) | (1.61) | (1.72) | (1.77) | 1.95 | 1.99 | (1.70) | (1.46) | (1.47) | (1.30) | (0.69) |
| R185 | 210.73 | (1.88) | (1.69) | (1.68) | 1.64 | 1.41 | 1.66 | 1.65 | (1.50) | 2.10 | (1.56) | (1.82) | (1.60) | (1.54) | 1.46 | 0.64 |
| R186 | 212.31 | 3.14 | 2.83 | 3.00 | 3.06 | 2.87 | 3.13 | 3.17 | 3.17 | 3.21 | 3.24 | 2.91 | 2.91 | (2.91) | 2.79 | 0.45 |
| R187 | 212.30 | 1.97 | 1.74 | 1.85 | 1.90 | 1.70 | 2.02 | 2.11 | (2.09) | 2.23 | 2.23 | 1.74 | 1.79 | 1.67 | 1.69 | 0.56 |
| R188 | 211.90 | 1.50 | 1.20 | (1.33) | 1.34 | 1.21 | 1.43 | 1.50 | 1.53 | 1.64 | 1.66 | 1.39 | 1.30 | 1.27 | 1.15 | 0.51 |
| R189 | 212.49 | (2.48) | 1.94 | (2.17) | 2.35 | 1.85 | 2.62 | 2.74 | (2.75) | 3.00 | 2.86 | 2.16 | 2.05 | 1.94 | 1.82 | 1.18 |
| R190 | 213.12 | 1.49 | 1.45 | 1.46 | 1.44 | 2.17 | 1.45 | 1.47 | (1.49) | 2.11 | 2.15 | (2.00) | 1.30 | (1.29) | 0.97 | 1.20 |
| R191 | 213.09 | 2.59 | 2.05 | 2.42 | 2.51 | 2.16 | 2.59 | 2.60 | 2.61 | 2.66 | 2.63 | 2.46 | 2.34 | 2.39 | 2.06 | 0.61 |

1.5 : Gravière (Saint Didier d'Aoste)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| E20 | 1.09 | 0.79 | 0.50 | 0.88 | 1.00 | 1.06 | 1.18 | 1.11 | 1.24 | 1.28 | 1.25 | 0.82 | 0.75 | 0.38 | 0.90 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

2.1 : Ponts sur cours d'eau

| Réf. | Cote NGF | 1981 | | | | | | | 1982 | | | | | | | Battement |
|------|----------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|-------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|-----------|
| | | 18nov. | 17déc. | 12janv. | 16fév. | 18mars | 20av. | 18mai | 22juil. | 25juil. | 25août | 30sept. | 27oct. | 24nov. | 21déc. | |
| 212 | | 1.41 | 1.28 | 1.35 | 1.37 | 1.30 | 1.40 | 1.42 | 1.41 | 1.40 | 1.39 | 1.26 | 1.34 | 1.30 | 1.21 | 0.21 |
| 213 | | 1.03 | 0.87 | 0.94 | 0.97 | 0.90 | 1.01 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 1.01 | 0.88 | 0.93 | 0.92 | 0.83 | 0.23 |
| 214 | | | 1.28 | 1.31 | 1.33 | 1.26 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.32 | 1.35 | 1.25 | 1.32 | 1.32 | 1.28 | 0.10 |
| 221 | | 3.37 | 3.08 | 3.27 | 3.32 | 3.30 | 3.34 | 3.37 | 3.40 | 3.41 | 3.41 | 3.34 | 3.29 | 3.33 | 3.12 | 0.33 |
| 224 | 212.52 | 2.20 | 1.73 | 2.02 | 2.12 | 1.84 | 2.27 | 2.19 | 2.16 | 2.17 | 2.18 | 2.08 | 2.00 | 2.04 | 1.75 | 0.54 |
| 225 | | 3.44 | 3.20 | 3.40 | 3.40 | 3.30 | 3.40 | 3.44 | 3.47 | 3.48 | 3.46 | 3.39 | 3.38 | 3.40 | 2.58 | 0.90 |
| 226b | | | | | | 0.60 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.61 | 0.63 | 0.64 | 0.58 | 0.50 | 0.47 | 0.17 |
| 231 | | 1.47 | 1.47 | 1.50 | 1.51 | 1.46 | 1.51 | 1.52 | 1.51 | 1.53 | 1.53 | 1.50 | 1.50 | 1.49 | 1.49 | 0.07 |
| 231b | | 1.23 | 1.19 | 1.21 | 1.21 | 1.18 | 1.21 | 1.22 | 1.22 | 1.21 | 1.20 | 1.12 | 1.18 | 1.12 | 1.11 | 0.12 |
| 232 | | 1.42 | 1.34 | 1.37 | 1.38 | 1.34 | 1.46 | 1.47 | 1.43 | 1.43 | 1.47 | 1.28 | 1.26 | 1.24 | 1.20 | 0.27 |
| 233 | | 1.14 | 0.98 | 1.13 | 1.16 | 1.05 | 1.14 | 1.10 | 1.07 | 1.07 | 1.11 | 1.04 | 1.10 | 1.04 | 1.01 | 0.18 |
| 234 | | 2.93 | 2.88 | 2.87 | 2.89 | 2.84 | 2.94 | 2.94 | 2.98 | 2.93 | 2.95 | 2.82 | 2.83 | 2.77 | 2.81 | 0.21 |
| 235 | | (3.56) | (3.53) | (3.53) | (3.54) | (3.51) | (3.56) | 3.56 | 3.59 | 3.55 | 3.57 | 3.51 | 3.50 | 3.46 | 3.52 | 0.13 |
| 238 | | 3.88 | 3.87 | 3.79 | 3.81 | 3.74 | 3.83 | 3.89 | 3.88 | 3.91 | 3.90 | 3.84 | 3.88 | 3.79 | 3.70 | 0.21 |
| 239 | | 4.42 | 4.15 | 4.23 | 4.32 | | 4.39 | 4.37 | 4.36 | 4.38 | 4.40 | 4.27 | 4.32 | 4.21 | | 0.27 |
| 241 | | 1.92 | 1.83 | 1.81 | 1.87 | | 1.90 | 1.91 | 1.92 | 1.94 | 1.95 | 1.92 | 1.91 | 1.91 | 1.70 | 0.25 |
| 243 | | 1.73 | 1.54 | 1.51 | 1.60 | 1.53 | 1.58 | 1.61 | 1.62 | 1.62 | 1.64 | 1.62 | 1.63 | 1.57 | 1.46 | 0.27 |
| 244 | | | 1.89 | 1.95 | 1.93 | | | 1.96 | 1.96 | 1.98 | 1.98 | 1.93 | 1.91 | 1.87 | 1.88 | 0.11 |
| 250 | | | | 3.05 | 3.07 | 3.01 | | 3.05 | 3.12 | 3.09 | 3.11 | 3.04 | 3.07 | 2.95 | 3.04 | 0.17 |

2.2 : Echelles limnimétriques

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 301 | 216.14 | +0.77 | +0.99 | +0.66 | +0.55 | +1.01 | +1.03 | +1.03 | +0.77 | +0.29 | +0.28 | +0.58 | +0.93 | +1.00 | +1.02 | 0.75 |
| 303 | (207.5) | +0.77 | +1.97 | +1.30 | +0.90 | +1.22 | +0.80 | +0.82 | +0.86 | +0.84 | +0.86 | +0.97 | +1.13 | +1.07 | +2.79 | 2.02 |
| 304 | | | +0.37 | +0.37 | +0.31 | | -0.10 | -0.11 | -0.09 | -0.2 | -0.2 | +0.7 | +0.15 | +0.28 | +0.57 | 0.68 |
| 305 | | | +1.64 | +0.87 | +0.73 | +0.96 | +0.67 | +0.67 | +0.68 | +0.64 | +0.60 | +0.79 | +0.74 | +0.89 | +2.23 | 1.63 |

ANNEXES IV

- 1 - ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX
- 2 - FACIÈS CHIMIQUES DE DIFFÉRENTES NAPPES DE LA
RÉGION D'AOSTE
(PRÉLÈVEMENTS DE DÉCEMBRE 1982)

1 - ANALYSES PHYSICO-CIMIQUES DES EAUX

ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX

- 1 - Cours d'eau
- 2 - Sources
- 3 - Marais, étangs, gravières
- 4 - Nappes

a - localisation du point soumis à l'analyse et époque de prélèvement

réf: référence, voir plan et p. .L'apostrophe indique que le prélèvement a été effectué à proximité du point référencé.
 site : St D :St Didier ,AGE :Aoste gare de l'Est ,Rom :Romagnieu ,Br-M :Brangues-Masset ,c.Av. :canal des Avenières ,
 c.Chps :canal du champ ,c.Corb :canal du Corbelin ,c.sdl :canal du saut du loup .
 E.:époque du prélèvement : D :Décembre 1962 ,A :Août 1963 .

b - mesures effectuées sur le terrain

t :température en degrés celsius.
 R.18° :résistivité ,en ohms.centimètre ramenée à la température de référence de 18° .
 pH :cologarithme de la concentration en ions H⁺

c - mesures effectuées en laboratoire ; précédées d'un signe négatif ,elles sont inférieures au nombre donné.

THF :titre hydrotimétrique ,en degrés français.
 Ca :concentration en calcium ,en mg/l .
 Mg :concentration en magnésium ,en mg/l .
 Na :concentration en sodium ,en mg/l.
 K :concentration en potassium ,en mg/l.
 HCO₃ :concentration en bicarbonates ,en mg/l (entre parenthèses :valeurs estimées ,voir p.229).
 Cl :concentration en chlorures ,en mg/l;
 SO₄ :concentration en sulfates ,en mg/l.
 NO₃ :concentration en nitrates ,en mg/l.

d - calculs effectués à partir des résultats de l'analyse chimique (convertis en milliéquivalents)

r⁺ :somme des concentrations en cations .
 r⁻ :somme des concentrations en anions (suivi d'une astérisque :valeur sous-estimée ,voir p.229).
 e :erreur
 $\frac{rMg}{rCa} \frac{rNa}{rCl} \frac{rSO_4}{rCl}$:rapports caractéristiques entre certains ions .
 i.e.b :indice d'échange de base de H.Schoeller (1965) : $\frac{rCl - (rNa + rK)}{rCl}$

1 - Cours d'eau et canaux (Bièvre, Guindan, Quiers, et Pissoud sont analysés de l'amont vers l'aval)

| réf. | site | S t | R 15° | pH | THT | Ca | Mg | Na | K | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | NO ₃ | r ⁺ | r ⁻ | e | $\frac{r_{Na}}{r_{Ca}}$ | $\frac{r_{Mg}}{r_{Ca}}$ | $\frac{r_{SO_4}}{r_{Cl}}$ | i.e.b | |
|------------------|-------------|-----|-------|------|-----|------|-------|------|------|------------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|-------|
| 221 | Bièvre | D | 7.8 | 4047 | 8.3 | 24.3 | 85.4 | 7.3 | 2.5 | 1.7 | (246.1) | 8.3 | 11 | 9.2 | 5.01 | 2.53* | 0.14 | 0.03 | 0.98 | 0.35 | |
| | Chimilin | A | 15.0 | 2188 | 7.7 | 28.3 | 92.6 | 12.6 | 1.7 | 1.8 | 334.3 | 9.2 | 11.6 | 5.9 | 5.78 | 6.08 | -2.52 | 0.22 | 0.02 | 0.93 | 0.54 |
| 303 | Bièvre | D | 8.8 | 1978 | 7.9 | 31.1 | 116.6 | 4.9 | -0.1 | 2.1 | 317.2 | 16.9 | 21 | 7.9 | 6.27 | 6.24 | 0.3 | 0.07 | 0.00 | 0.92 | 0.89 |
| | St D | A | 20.4 | 4178 | 8.0 | 11.9 | 38.9 | 5.3 | 2.8 | 3.8 | 114.7 | 5.9 | 45.2 | 0.9 | 2.60 | 3.00 | -7.25 | 0.22 | 0.06 | 5.66 | -0.32 |
| 212 | Guindan | D | 6.9 | 2339 | 7.9 | 23.5 | 62.9 | 19.0 | 2.8 | 1.3 | (232.9) | 8.3 | 14 | 9.7 | 4.86 | 2.98* | 0.50 | 0.04 | 1.25 | 0.34 | |
| | Chenet | A | 16.4 | 2233 | 7.9 | 27.4 | 83.0 | 16.3 | 1.6 | 1.7 | 317.2 | 9.0 | -0.2 | 9.7 | 5.60 | 5.61 | -0.13 | 0.32 | 0.02 | 0.00 | 0.55 |
| 214 | Guindan | D | 7.3 | 2345 | 8.3 | 26.2 | 39.7 | 39.6 | 3.6 | 1.5 | (268.7) | 7.9 | 13 | 8.4 | 5.43 | 2.77* | 1.64 | 0.08 | 1.21 | 0.13 | |
| | AGE | A | 18.1 | 2275 | 7.5 | 21.9 | 42.1 | 27.7 | 3.0 | 1.8 | 246.4 | 8.9 | -0.2 | 9.2 | 4.56 | 4.44 | 1.30 | 1.08 | 0.06 | 0.00 | 0.30 |
| 401' | Quiers Ron | D | 7.5 | 2839 | 8.2 | 21.7 | 25.7 | 37.2 | 3.5 | 1.3 | (235.9) | 5.7 | 7 | 1.3 | 4.53 | 2.86* | 2.39 | 0.12 | 0.91 | -0.15 | |
| 301 | Quiers | D | 7.3 | 2888 | 8.1 | 19.4 | 52.1 | 15.6 | 3.2 | 1.5 | (208.4) | 5.7 | 7 | 2.4 | 4.06 | 2.22* | 0.39 | 0.05 | 0.91 | -0.10 | |
| | AGE | A | 18.4 | 2724 | 7.6 | 19.9 | 61.7 | 10.9 | 2.9 | 2.0 | 231.8 | 6.5 | 27.5 | 2.6 | 4.16 | 4.60 | -4.99 | 0.29 | 0.04 | 3.12 | 0.03 |
| R64' | Quiers STD | D | 6.8 | 2770 | 8.3 | 21.5 | 75.7 | 6.3 | 1.4 | 1.7 | (222.4) | 5.5 | 10 | 4.2 | 4.40 | 2.31* | 0.14 | 0.02 | 1.34 | 0.33 | |
| 111' | Vallière | D | 8.3 | 2120 | 8.1 | 29.4 | 82.2 | 21.6 | 4.3 | 1.9 | (296.6) | 11.3 | 19 | 5.5 | 6.11 | 4.06* | 0.43 | 0.05 | 1.24 | 0.26 | |
| | | A | 15.8 | 3658 | 8.0 | 31.4 | 89.0 | 22.4 | 3.0 | 2.0 | 357.5 | 11.8 | 44.9 | 7.9 | 6.46 | 7.25 | -5.78 | 0.41 | 0.03 | 2.81 | 0.45 |
| 226 | Luyssac | D | 6.0 | 2367 | 8.3 | 22.6 | 32.9 | 35.0 | 4.0 | 2.9 | (218.6) | 10.0 | 19 | 9.7 | 4.77 | 6.68* | 1.75 | 0.11 | 1.40 | 0.12 | |
| | | A | 17.7 | 1956 | 7.8 | 29.7 | 36.9 | 49.8 | 6.5 | 2.6 | 334.3 | 11.7 | 44.7 | 7.0 | 6.29 | 6.85 | -4.32 | 2.22 | 0.15 | 2.32 | -0.06 |
| 303' | Rhône | D | 6.7 | 3049 | 8.2 | 20.5 | 67.3 | 9.0 | 2.7 | 1.8 | (191.7) | 6.3 | 29 | 1.5 | 4.26 | 3.23* | 0.22 | 0.03 | 3.40 | 0.08 | |
| | | A | 17.0 | 1856 | 7.9 | 30.3 | 92.2 | 17.7 | 8.5 | 1.6 | 352.6 | 27.1 | 40.4 | 6.8 | 6.47 | 7.49 | -7.36 | 0.32 | 0.08 | 1.10 | 0.46 |
| 114' | Granieu | D | 5.1 | 2812 | 8.4 | 26.3 | 75.3 | 18.2 | 3.6 | 2.0 | (249.4) | 14.9 | 20 | 8.4 | 5.46 | 3.27* | 0.40 | 0.04 | 0.99 | 0.51 | |
| El' | Br-M | D | 6.5 | 1713 | 7.9 | 31.2 | 46.1 | 47.9 | 5.7 | 1.5 | (278.8) | 9.7 | 54 | 4.8 | 6.53 | 3.60* | 1.71 | 0.11 | 4.11 | -0.05 | |
| 233 | c.Av | D | 9.0 | 2323 | 7.9 | 28.0 | 37.7 | 45.2 | 5.5 | 0.0 | (233.7) | 4.7 | 22 | 11 | 5.85 | 3.73* | 1.98 | 0.13 | 3.46 | -0.32 | |
| 232 | c.Chps | D | 9.2 | 2035 | 8.0 | 29.6 | 65.3 | 32.3 | 2.8 | 1.7 | (295.9) | 8.0 | 24 | 3.5 | 6.08 | 3.14* | 0.82 | 0.04 | 0.25 | 0.27 | |
| 231 | c.Corb | D | 7.6 | 1804 | 7.8 | 35.1 | 121 | 14.3 | 0.1 | 1.0 | (332.2) | 10.2 | 45 | 2.6 | 7.24 | 4.20* | 0.19 | 0.00 | 3.26 | 0.50 | |
| 231 ^b | canal | D | 7.7 | 2358 | 8.1 | 27.4 | 72.5 | 22.6 | 1.7 | 1.2 | (273.0) | 4.4 | 26 | 1.8 | 5.58 | 3.56* | 0.57 | 0.08 | 3.31 | -0.02 | |
| 250 | Corbelin | D | 6.3 | 2032 | 8.3 | 29.7 | 94.6 | 14.8 | 3.9 | 3.3 | (288.3) | 13.7 | 24 | 7.7 | 6.19 | 3.35* | 0.26 | 0.04 | 1.29 | 0.34 | |
| 234 | c.sdl | D | 6.9 | 2138 | 8.2 | 29.8 | 86.2 | 20.2 | 3.7 | 2.0 | (301.6) | 9.7 | 21 | 4.1 | 6.17 | 3.38* | 0.39 | 0.04 | 1.60 | 0.22 | |
| 241 | Le Pissoud | D | | 4450 | | 12.4 | 40.1 | 5.8 | 5.3 | 1.3 | 117.1 | 14.1 | 13 | 10.6 | 2.74 | 2.76 | -0.3 | 0.24 | 0.12 | 0.69 | 0.33 |
| 243 | Le Pissoud | D | 6.6 | 2266 | 8.4 | 16.4 | 52.1 | 8.3 | 5.4 | 1.6 | 135.4 | 14.3 | 14 | 7.0 | 3.56 | 3.03 | 8.1 | 0.26 | 0.09 | 0.72 | 0.32 |
| | Veyrins | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 125' | Rabateau | D | 8.9 | 2054 | 8.3 | 20.5 | 49.7 | 19.7 | 3.4 | 1.3 | 205 | 8.7 | 20 | 6.2 | 4.28 | 4.12 | 1.9 | 0.55 | 0.06 | 1.70 | 0.26 |
| 125' | Le Perier | D | 6.9 | 2064 | 8.4 | 16.3 | 34.1 | 19.0 | 3.7 | 1.5 | 145.2 | 8.3 | 23 | 8.4 | 3.46 | 3.23 | 3.5 | 0.22 | 0.09 | 2.05 | 0.15 |
| 244 | Thuellin | D | 6.2 | 2063 | 8.2 | 19.1 | 64.1 | 7.5 | 5.1 | 2.2 | 185.4 | 12.3 | 16 | 18.9 | 4.09 | 4.02 | 0.9 | 0.13 | 0.07 | 0.96 | 0.20 |
| 304 | canal | D | 8.3 | 2145 | 7.8 | 14.8 | 39.3 | 12.1 | 4.2 | 1.5 | 165.9 | 8.1 | 13 | 7.5 | 3.18 | 3.34 | -2.5 | 0.51 | 0.09 | 1.12 | 0.03 |
| 239 | Grand canal | D | 7.4 | 2064 | 8.1 | 15.2 | 42.1 | 11.4 | 5.0 | 1.6 | 146.4 | 11.8 | 24 | 6.2 | 3.30 | 3.33 | -0.5 | 0.45 | 0.10 | 1.50 | 0.22 |
| 251 | Les Nappes | D | 8.5 | 1757 | 7.8 | 15.2 | 38.9 | 13.4 | 6.0 | 3.2 | 128.1 | 12.1 | 28 | 15.0 | 3.39 | 3.27 | 1.3 | 0.57 | 0.13 | 1.71 | 0.00 |

2 - Sources

| réf | site | E t | R 18° | pH | THT | Ca | Mg | Na | K | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | NO ₃ | r ⁺ | r ⁻ | e | $\frac{rMg}{rCa}$ | $\frac{rNa}{rCa}$ | $\frac{rSO_4}{rCl}$ | i.e.b | |
|-----|-------------|-----|-------|------|-----|------|-------|------|-----|------------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|-------------------|-------------------|---------------------|-------|-------|
| S1 | Le Rivet | D | 5.7 | 2137 | 8.3 | 21.6 | 41.7 | 27.2 | 2.8 | 0.7 | (206.0) | 10.3 | 14 | 10.6 | 4.46 | 2.69* | 1.07 | 0.06 | 1.00 | 0.52 | |
| S2 | la Ville | A | 13.7 | 1957 | 7.8 | 28.9 | 40.9 | 45.5 | 5.5 | 2.1 | 355.0 | 7.2 | 24.0 | 8.8 | 6.08 | 6.66 | -4.61 | 1.83 | 0.12 | 2.46 | -0.44 |
| S3 | Granieu | D | 9.9 | 2222 | 8.2 | 25.6 | 65.3 | 22.6 | 2.6 | 1.1 | (260.6) | 4.9 | 22 | 0.2 | 5.26 | 3.48* | 0.57 | 0.03 | 3.31 | -0.02 | |
| S4 | Gd Marais | D | 8.0 | 1809 | 8.0 | 34.9 | 139.1 | 0.5 | 1.1 | 1.3 | (338.6) | 14.7 | 23 | 6.2 | 7.06 | 3.65* | 0.01 | 0.01 | 1.16 | 0.80 | |
| S5 | Côtes d'Île | D | 11.2 | 1627 | 7.6 | 24.2 | 70.1 | 16.3 | 2.1 | 0.2 | 187.9 | 7.0 | 14 | 13.2 | 4.93 | 3.78 | 13.2 | 0.38 | 0.03 | 1.48 | 0.51 |
| S6 | Veyrins | D | 10.1 | 3108 | 7.7 | 24.4 | 78.6 | 11.7 | 3.6 | 1.2 | 208.6 | 9.3 | 55 | 6.4 | 5.07 | 4.93 | 1.4 | 0.25 | 0.04 | 4.37 | 0.29 |

3 - Marais ,étangs ,gravières

| réf | site | E t | R 18° | pH | THT | Ca | Mg | Na | K | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | NO ₃ | r ⁺ | r ⁻ | e | $\frac{rMg}{rCa}$ | $\frac{rNa}{rCa}$ | $\frac{rSO_4}{rCl}$ | i.e.b | |
|-----|-----------|-----|-------|------|-----|------|-------|------|------|------------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|-------------------|-------------------|---------------------|-------|------|
| E1 | Br-M | D | 5.0 | 1675 | 7.7 | 38.4 | 128.3 | 15.6 | -0.1 | 0.5 | (369.5) | 16.7 | 28 | 1.3 | 7.70 | 4.34* | 0.20 | 0.00 | 1.24 | 0.97 | |
| | | A | 18.1 | 1383 | 7.6 | 44.0 | 134.3 | 25.5 | 3.3 | 1.6 | 363.6 | 22.9 | 82.7 | 5.7 | 8.98 | 8.42 | 3.24 | 0.31 | 0.02 | 2.67 | 0.71 |
| E2 | Gd Marais | D | 5.6 | 1802 | 7.8 | 36.0 | 118.6 | 15.6 | 1.4 | 0.8 | (294.7) | 2.2 | 87 | 2.6 | | | 0.22 | 0.01 | 29.20 | -0.31 | |
| E3 | Gd Marais | D | 4.2 | 3354 | 8.2 | 18.8 | 72.9 | 1.5 | -0.1 | 0.5 | 170.8 | 5.0 | 38 | 8.4 | 3.77 | 3.97 | -1.2 | 0.03 | 0.00 | 5.61 | 0.91 |
| E4 | Bréviaire | D | 4.3 | 1788 | 7.6 | 17.1 | 49.7 | 11.4 | 2.5 | 1.5 | 202.5 | 7.0 | 4 | 5.7 | 3.56 | 3.69 | -1.7 | 0.38 | 0.04 | 0.42 | 0.26 |
| E10 | Gd Marais | D | 8.0 | 2325 | 8.1 | 25.8 | 56.9 | 28.2 | 3.4 | 1.3 | (270.8) | 3.8 | 19 | 0.3 | 5.34 | 3.35* | 0.82 | 0.05 | 3.69 | -0.69 | |
| E20 | Paluette | D | 4.6 | 2512 | 8.2 | 24.3 | 30.9 | 40.4 | 3.3 | 1.9 | (240.7) | 10.7 | 19 | 2.6 | 5.06 | 3.40* | 2.15 | 0.09 | 1.31 | 0.36 | |
| | | A | 26.2 | 4017 | 7.9 | 13.9 | 41.3 | 8.8 | 2.4 | 0.9 | 145.2 | 12.6 | 33.6 | 0.2 | 2.91 | 3.44 | -8.29 | 0.35 | 0.05 | 1.97 | 0.64 |
| E30 | lac Ron | D | 8.0 | 2256 | 7.4 | 17.6 | 28.0 | 25.8 | 7.0 | 2.3 | (182.8) | 11.4 | 9 | 5.7 | 3.88 | 2.68* | 1.52 | 0.22 | 0.58 | -0.13 | |
| | | A | 23.3 | 2915 | 8.0 | 18.7 | 44.9 | 18.2 | 7.3 | 3.6 | 233.0 | 14.8 | 16.2 | 0.9 | 4.15 | 4.59 | -5.05 | 0.67 | 0.14 | 0.81 | 0.02 |

4.1 - Nappe piézométrique de la DDE

| réf | site | E t | R 18° | pH | THT | Ca | Mg | Na | K | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | NO ₃ | r ⁺ | r ⁻ | e | $\frac{rMg}{rCa}$ | $\frac{rNa}{rCa}$ | $\frac{rSO_4}{rCl}$ | i.e.b | |
|-----|-------------|-----|-------|------|-----|------|-------|------|------|------------------|---------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|-------------------|-------------------|---------------------|-------|-------|
| A1 | digue | D | 12.3 | 2720 | 7.5 | 22.1 | 73.3 | 9.2 | 5.0 | 2.0 | (237.1) | 9.1 | 8 | 1.8 | 4.68 | 3.89* | 0.21 | 0.06 | 0.65 | -0.05 | |
| | Guiers | A | 17.5 | 2757 | 7.8 | 21.1 | 68.1 | 10.0 | 1.7 | 1.8 | 252.5 | 5.3 | 21.6 | 2.9 | 4.34 | 4.78 | -4.87 | 0.24 | 0.02 | 3.01 | 0.20 |
| A2 | Calvaire | D | 13.2 | 2252 | 7.4 | 26.1 | 18.8 | 52.0 | 9.8 | 2.0 | (285.0) | 13.8 | 8 | 2.8 | 5.69 | 4.56* | 4.56 | 0.45 | 0.43 | -0.23 | |
| | | A | 14.8 | 2056 | 7.8 | 27.6 | 15.6 | 57.6 | 10.9 | 2.4 | 341.6 | 13.0 | 22.9 | 5.3 | 6.05 | 6.53 | -3.80 | 6.09 | 0.61 | 1.30 | -0.46 |
| A4 | Aire Guiers | D | 13.7 | 2255 | 7.4 | 25.9 | 35.7 | 41.3 | 10.8 | 1.5 | (290.3) | 9.8 | 11 | 0.2 | 5.69 | 4.73* | 1.91 | 0.26 | 0.83 | -0.84 | |
| | | A | 13.8 | 1808 | 7.6 | 32.3 | 51.7 | 47.2 | 10.0 | 1.9 | 402.6 | 12.0 | 35.6 | 2.9 | 6.94 | 7.73 | -5.32 | 1.50 | 0.17 | 2.19 | -0.43 |
| A6 | les Côtes | D | 13.0 | 1885 | 7.6 | 33.9 | 109.4 | 16.0 | 3.3 | 1.8 | (331.4) | 12.1 | 19 | 17.6 | 6.96 | 5.36* | 0.24 | 0.03 | 1.16 | 0.44 | |
| | | A | 14.2 | 1826 | 7.7 | 32.2 | 112.2 | 10.2 | 1.4 | 2.0 | 373.3 | 11.0 | 30.3 | 10.6 | 6.55 | 7.23 | -4.94 | 0.15 | 0.01 | 2.03 | 0.64 |
| A7 | Aoste | D | 12.1 | 1996 | 7.7 | 32.0 | 121.4 | 14.1 | 0.2 | 1.2 | (323.3) | 12.0 | 12 | 4.6 | 6.43 | 4.96* | 0.06 | 0.00 | 0.74 | 0.88 | |
| A8 | Charmille | D | 13.2 | 1931 | 7.7 | 31.9 | 106.2 | 13.1 | 4.3 | 2.4 | (324.3) | 12.5 | 13 | 12.3 | 6.63 | 6.64* | 0.20 | 0.04 | 0.77 | 0.30 | |
| | | A | 14.7 | 2033 | 7.6 | 29.5 | 101.0 | 10.5 | 1.5 | 2.3 | 352.6 | 9.1 | 17.7 | 6.2 | 6.03 | 6.50 | -3.81 | 0.17 | 0.01 | 1.44 | 0.52 |
| A9 | le Rivolet | D | 14.1 | 2104 | 7.5 | 29.5 | 62.5 | 33.8 | 6.9 | 3.4 | (317.4) | 6.1 | 15 | 8.4 | 6.28 | 4.60* | 0.29 | 0.10 | 1.22 | -1.25 | |
| | | A | 16.6 | 2013 | 7.8 | 28.6 | 82.2 | 19.7 | 4.5 | 3.8 | 351.4 | 5.5 | 32.9 | 4.2 | 6.01 | 6.67 | -5.15 | 0.29 | 0.05 | 4.42 | -0.89 |

4.2 - Nappe : autres piezomètres

| réf | site | E | t | R 18° | pH | THF | Ca | Mg | Na | K | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | NO ₃ | r ⁺ | r ⁻ | e | $\frac{rNa}{rCa}$ | $\frac{rNa}{rCl}$ | $\frac{rSO_4}{rCl}$ | i.e.b |
|-------|---------------|---|------|-------|-----|------|-------|------|------|------|------------------|------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|-------------------|-------------------|---------------------|-------|
| 400 | Gravière A 43 | D | 11.7 | 1590 | 7.3 | 36.3 | 126.3 | 6.8 | 18.3 | 3.5 | (362.5) | 35.3 | 11 | 0.7 | 7.75 | 8.65* | | 0.09 | 0.13 | 0.23 | -0.72 |
| | | A | 13.6 | 1528 | 8.3 | 36.0 | 128.2 | 9.8 | 3.4 | 2.4 | 424.6 | 28.6 | 2.6 | 0.4 | 7.41 | 7.83 | -2.73 | 0.13 | 0.02 | 0.07 | 0.74 |
| 401 | Gravière | D | 13.7 | 2580 | 7.9 | 21.3 | 42.5 | 26.0 | 2.8 | 11.2 | (244.2) | 3.5 | 10 | 0.9 | 4.67 | 3.42* | | 1.01 | 0.05 | 2.11 | -3.14 |
| 402 | Les Manges | D | 14.1 | 1968 | 7.6 | 32.0 | 36.0 | 55.9 | 4.6 | 1.4 | (317.2) | 5.6 | 36 | 3.5 | 6.63 | 4.36* | | 2.55 | 0.11 | 4.61 | -0.49 |
| | | A | 14.2 | 1972 | 7.7 | 30.8 | 48.5 | 45.5 | 4.8 | 1.5 | 351.4 | 4.8 | 49.1 | 0.4 | 6.41 | 6.92 | -3.86 | 1.95 | 0.09 | 7.55 | -0.83 |
| 403 | Marvais | D | 7.7 | 1386 | 7.8 | 50.0 | 164.3 | 22.0 | -0.1 | 11.5 | (266.8) | 16.5 | 220 | 7.7 | | | | 0.22 | 0.00 | 9.84 | 0.37 |
| 405a | Veyrins | D | 13.8 | 2016 | 7.7 | 21.8 | 64.5 | 13.9 | 3.4 | 2.7 | 208.6 | 8.6 | 15 | 10.6 | 4.58 | 4.14 | 5.0 | 0.36 | 0.05 | 1.29 | 0.11 |
| 405 b | Veyrins | D | 13.0 | 2080 | 7.8 | 32.2 | 103.8 | 15.3 | 0.8 | 2.3 | 292.8 | 4.0 | 9 | 3.5 | 6.53 | 5.16 | 11.8 | 0.24 | 0.01 | 1.66 | 0.17 |
| 405d | Veyrins | D | 14.4 | 2439 | 7.8 | 11.5 | 28.9 | 10.5 | 3.9 | 1.9 | 150.1 | 2.6 | 8 | -0.1 | 2.52 | 2.70 | -3.4 | 0.60 | 0.12 | 2.27 | -1.98 |
| 405e | Veyrins | D | 13.0 | 2106 | 7.7 | 16.5 | 46.9 | 11.7 | 4.0 | 3.7 | 152.5 | 11.3 | 10 | 13.2 | 3.57 | 3.24 | 4.9 | 0.41 | 0.07 | 0.65 | 0.16 |
| 405f | Veyrins | D | 12.6 | 2365 | 7.7 | 13.3 | 34.9 | 11.2 | 3.1 | 2.2 | 146.4 | 4.0 | 9 | 4.0 | 2.85 | 2.76 | 1.6 | 0.53 | 0.08 | 1.66 | -0.69 |
| 406 | Liatard | D | 8.8 | 2648 | 8.0 | 11.8 | 27.7 | 11.9 | 4.0 | 1.2 | 156.2 | 3.0 | 1 | 0.6 | 2.56 | 2.67 | -2.1 | 0.71 | 0.13 | 0.25 | -1.42 |
| 406b | Liatard | D | 12.6 | 2059 | 7.8 | 14.5 | 32.9 | 15.3 | 3.5 | 1.1 | 148.8 | 10.3 | 15 | 4.2 | 3.08 | 3.11 | -0.5 | 0.77 | 0.09 | 1.08 | 0.38 |
| 407 | Liatard | D | 12.8 | 2728 | 7.6 | 11.8 | 27.7 | 11.9 | 3.1 | 1.2 | 146.4 | 2.9 | 2 | 0.4 | 2.53 | 2.53 | -0.1 | 0.71 | 0.10 | 0.51 | -1.02 |
| 408 | Bréviaire | D | 14.2 | 3013 | 7.6 | 11.2 | 23.2 | 13.1 | 3.4 | 0.8 | 135.4 | 2.5 | 4 | 0.7 | 2.40 | 2.38 | 0.4 | 0.93 | 0.13 | 1.18 | -1.39 |
| 409 | Bréviaire | D | 10.8 | 1710 | 7.3 | 23.1 | 72.9 | 11.9 | 3.2 | 0.8 | 169.6 | 10.5 | 7 | 1.3 | 4.78 | 3.24 | 19.1 | 0.27 | 0.04 | 0.49 | 0.46 |

4.3 - Nappe : piezomètres de la Compagnie Nationale du Rhône

| réf | site | E | t | R 18° | pH | THF | Ca | Mg | Na | K | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | NO ₃ | r ⁺ | r ⁻ | e | $\frac{rNa}{rCa}$ | $\frac{rNa}{rCl}$ | $\frac{rSO_4}{rCl}$ | i.e.b |
|------|-------------------|---|------|-------|-----|------|-------|------|------|------|------------------|-------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------|-------------------|-------------------|---------------------|-------|
| R63 | St Didier | D | 11.6 | 4018 | 7.5 | 5.2 | 16.0 | 2.9 | 1.2 | 0.3 | | 67.0 | 5 | 0.9 | 1.10 | 2.13* | | 0.30 | 0.07 | 0.06 | 0.97 |
| | | A | 12.9 | 2993 | 4.9 | 3.0 | 10.4 | 0.1 | 1.2 | 0.4 | 7.3 | 137.3 | 0.2 | 0.9 | 0.99 | 3.16 | -68.8 | 0.02 | 0.10 | 0.00 | 0.98 |
| R64 | Dompierre | D | 10.9 | 12873 | 9.8 | 2.8 | 7.2 | 2.4 | 9.5 | 1.0 | (33.5) | 8.4 | 6 | 0.7 | 1.00 | 1.31* | | 0.55 | 1.15 | 0.53 | -0.85 |
| | | A | 15.8 | 11229 | 8.3 | 3.0 | 10.8 | 0.7 | 11.3 | 0.6 | 34.7 | 3.6 | 0.2 | 0.4 | 1.10 | 1.31 | -8.71 | 0.11 | 0.91 | 0.02 | -1.09 |
| R65 | Aoste gare Est | D | 12.0 | 2733 | 7.7 | 22.6 | 53.7 | 22.4 | 4.0 | 1.9 | (249.3) | 4.9 | 8 | 0.3 | 4.74 | 3.13* | | 0.69 | 0.06 | 1.21 | -0.61 |
| | | A | 16.5 | 2557 | 7.6 | 23.2 | 57.7 | 21.4 | 4.9 | 1.8 | 290.4 | 5.4 | 20.1 | 0.7 | 4.90 | 5.34 | -4.33 | 0.61 | 0.07 | 2.75 | -0.70 |
| R67 | Aoste gare Est | D | 12.6 | 1936 | 7.6 | 32.2 | 107.0 | 13.4 | -0.1 | 2.0 | (311.2) | 14.6 | 17 | 9.2 | 6.49 | 3.87* | | 0.21 | 0.00 | 0.86 | 0.88 |
| | | A | 16.5 | 1737 | 7.7 | 30.8 | 51.7 | 43.5 | 5.7 | 2.2 | 341.6 | 15.1 | 28.4 | 9.5 | 6.46 | 6.77 | -2.33 | 1.39 | 0.10 | 1.39 | 0.29 |
| R68 | Champagnes | D | 12.7 | 9087 | 8.6 | 6.9 | 14.4 | 8.0 | 4.0 | 3.7 | (60.9) | 12.1 | 8 | 1.1 | 1.65 | 1.61* | | 0.92 | 0.24 | 0.49 | 0.21 |
| | | A | 15.1 | 9536 | 7.9 | 4.4 | 10.8 | 4.1 | 4.8 | 3.1 | 59.8 | 14.5 | -0.2 | 0.4 | 1.16 | 1.40 | -9.0 | 0.63 | 0.39 | 0.00 | 0.30 |
| R72 | Champagnes | D | 12.2 | 1717 | 7.4 | 37.0 | 135.5 | 7.8 | 2.0 | 1.8 | (369.0) | 14.3 | 20 | 7.0 | 7.54 | 4.27* | | 0.09 | 0.01 | 1.03 | 0.67 |
| | | A | 13.6 | 1627 | 7.5 | 31.1 | 66.1 | 35.5 | 4.6 | 1.8 | 402.6 | 15.0 | 34 | 11.9 | 6.46 | 7.92 | -10.1 | 0.89 | 0.06 | 1.67 | 0.42 |
| R73 | Champagnes | D | 13.8 | 10080 | 9.5 | 4.6 | 8.0 | 6.3 | 5.4 | 4.2 | (42.9) | 13.9 | -1 | 4.4 | 1.26 | 1.02* | | 1.30 | 0.59 | 0.00 | 0.13 |
| | | A | 13.2 | 9256 | 7.9 | 5.8 | 15.2 | 4.9 | 5.9 | 3.5 | 80.5 | 17.2 | -1 | 0.9 | 1.51 | 1.82 | -9.37 | 0.53 | 0.34 | 0.00 | 0.29 |
| R80 | St Didier | D | 13.2 | 2759 | 7.8 | 19.4 | 55.3 | 13.6 | 4.0 | 10.4 | (221.5) | 12.7 | 5 | 4.4 | 4.32 | 2.63* | | 0.41 | 0.06 | 0.29 | -0.23 |
| | | A | 13.8 | 6274 | 8.0 | 6.3 | 18.0 | 4.4 | 5.6 | 12.1 | 104.9 | 15.5 | -0.2 | 0.4 | 1.81 | 2.16 | -8.80 | 0.40 | 0.27 | 0.00 | -0.26 |
| R90 | Gd Chaffard | D | 13.4 | 1745 | 7.7 | 11.2 | 35.3 | 5.8 | 4.3 | 0.9 | 106.1 | 17.4 | 7 | 8.8 | 2.45 | 2.52 | -1.4 | 0.27 | 0.11 | 0.35 | 0.57 |
| R135 | L'eau morte | D | 9.9 | 6365 | 9.7 | 6.1 | 10.4 | 8.5 | 21 | 4.6 | 146.4 | 2.7 | -0.2 | 7.9 | 2.25 | 2.60 | -7.3 | 1.35 | 1.76 | 0.05 | -1.74 |
| R177 | Polossat | D | 13.4 | 1548 | 7.1 | 10.2 | 31.3 | 5.8 | 11.3 | 16.6 | 179.3 | 8.3 | 9 | 0.4 | 2.95 | 3.67 | -6.5 | 0.31 | 0.31 | 0.85 | -2.31 |
| R181 | Veyrins | D | 12.8 | 7480 | 8.1 | 7.9 | 24.0 | 4.6 | 3.4 | 6.5 | 119.6 | 6.3 | 1 | -0.1 | 1.89 | 2.16 | -6.6 | 0.32 | 0.12 | 0.12 | -0.77 |
| R184 | Gd Marnis | D | 11.7 | 1607 | 7.6 | 35.0 | 98.2 | 25.5 | 2.9 | 1.2 | 388.0 | 1.9 | 1 | 0.2 | 7.15 | 6.44 | 5.3 | 0.43 | 0.03 | 0.35 | -1.33 |
| R185 | Gd Marnis | D | 13.8 | 1871 | 7.8 | 34.1 | 34.1 | 62.2 | 6.9 | 1.5 | (334.5) | 9.5 | 42 | 0.2 | 7.15 | 3.98* | | 3.01 | 0.18 | 3.25 | -0.26 |
| R186 | Gd Marnis | D | 13.3 | 1561 | 7.6 | 40.5 | 153.1 | 5.6 | -0.1 | 0.2 | (361.0) | 14.1 | 57 | 0.4 | 8.10 | 5.49* | | 0.06 | 0.00 | 2.92 | 0.99 |
| R187 | Gd Marnis | D | 14.0 | 2706 | 7.9 | 22.8 | 54.5 | 22.4 | 6.7 | 0.8 | (266.6) | 1.4 | 5 | 0.1 | 4.87 | 4.00* | | 0.68 | 0.11 | 2.64 | -6.50 |
| R189 | Gd Marnis | D | 14.2 | 1817 | 7.8 | 35.3 | 105.4 | 21.9 | 1.6 | 1.0 | (305.5) | 8.7 | 30 | 0.9 | 7.16 | 3.56* | | 0.34 | 0.01 | 2.55 | 0.61 |
| R189 | Gd Marnis | D | 15.3 | 2720 | 7.9 | 22.1 | 38.5 | 30.4 | 6.6 | 1.2 | (254.6) | 1.4 | 8 | 0.7 | 4.74 | 2.94* | | 1.30 | 0.15 | 4.22 | -7.05 |
| R191 | Marvais | D | 13.3 | 1606 | 7.7 | 40.1 | 127.4 | 20.2 | 1.6 | 2.2 | (388.4) | 11.9 | 40 | 0.7 | 8.14 | 5.20* | | 0.25 | 0.01 | 0.94 | 0.63 |
| | | A | 14.7 | 8963 | 8.0 | 9.0 | 24.0 | 7.3 | 3.5 | 1.2 | 83.0 | 18.7 | 1.8 | 0.2 | 1.98 | 1.93 | 1.34 | 0.50 | 0.13 | 0.07 | 0.65 |

4.4 - Nappe : puits particuliers

| réf | site | E | t | R 18° | pH | THT | Ca | Mg | Na | K | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | NO ₃ | r ⁺ | r ⁻ | e | $\frac{rMg}{rCa}$ | $\frac{rNa}{rCa}$ | $\frac{rSO_4}{rCl}$ | i.e.b |
|------------------|------------|---|------|-------|-----|------|-------|------|------|------|------------------|------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--------|-------------------|-------------------|---------------------|-------|
| 101 ^b | Aire | D | 13.2 | 2002 | 7.3 | 29.8 | 57.7 | 37.4 | 2.5 | 0.8 | (314.2) | 4.3 | 11 | 8.4 | 6.08 | 3.27* | | 1.07 | 0.04 | 1.99 | -0.07 |
| | Romagnieu | A | 15.4 | 2098 | 7.6 | 30.5 | 48.1 | 45.0 | 5.0 | 1.3 | 379.4 | 2.2 | 22.5 | 0.4 | 6.35 | 6.76* | -3.08 | 1.54 | 0.09 | 7.55 | -3.04 |
| 102 | Chanet | D | 11.4 | 1849 | 7.6 | 31.2 | 108.2 | 10.2 | 4.2 | 12.6 | 248.9 | 17.9 | 96 | 15.8 | 6.74 | 6.94 | -0.7 | 0.16 | 0.03 | 3.96 | 0.00 |
| 104 | Oncinet | D | 13.1 | 2005 | 7.8 | 27.7 | 89.0 | 13.4 | 3.6 | 14.9 | (306.7) | 3.3 | 10 | 18.9 | 6.08 | 6.06* | | 0.25 | 0.04 | 2.24 | -4.78 |
| 105 | Le Vorget | D | 12.8 | 1654 | 7.3 | 33.7 | 48.5 | 52.5 | 6.5 | 3.0 | (345.5) | 15.7 | 15 | 9.7 | 7.10 | 5.55* | | 1.78 | 0.12 | 0.71 | 0.19 |
| | | A | 15.3 | 1923 | 7.6 | 30.1 | 14.4 | 64.4 | 13.2 | 3.0 | 370.9 | 17.6 | 19.4 | 3.1 | 6.67 | 7.03 | -2.66 | 7.37 | 0.80 | 0.81 | -0.31 |
| 106 | Flandre | D | 9.8 | 2030 | 7.6 | 31.0 | 116.6 | 4.6 | 0.6 | 4.5 | (321.4) | 7.1 | 18 | 1.8 | 6.34 | 6.34* | | 0.07 | 0.00 | 1.87 | 0.29 |
| | | A | 17.6 | 2141 | 7.6 | 27.5 | 96.2 | 8.5 | 2.5 | 4.9 | 340.4 | 11.0 | -1 | 7.7 | 5.73 | 6.01 | -2.39 | 0.15 | 0.02 | 0.00 | 0.25 |
| 107 | Tuilière | D | 11.5 | 1836 | 7.6 | 34.0 | 101.1 | 21.4 | 4.8 | 1.9 | (346.4) | 12.9 | 15 | 11.4 | 7.06 | 5.50* | | 0.35 | 0.04 | 0.96 | 0.29 |
| | | A | 17.1 | 1831 | 7.7 | 29.5 | 33.7 | 51.3 | 7.4 | 2.8 | 353.8 | 14.1 | 30.5 | 7.5 | 6.29 | 6.95 | -4.97 | 2.51 | 0.19 | 1.60 | 0.01 |
| 108 | Le Rivolet | D | 13.8 | 1916 | 7.5 | 32.5 | 94.2 | 21.9 | 5.0 | 4.4 | (339.5) | 8.5 | 17 | 10.6 | 6.83 | 6.80* | | 0.38 | 0.05 | 1.48 | -0.38 |
| 110 | Champagnes | D | 11.7 | 1795 | 7.5 | 35.4 | 125.9 | 9.7 | 2.4 | 3.6 | (357.6) | 15.7 | 14 | 9.0 | 7.28 | 3.82* | | 0.13 | 0.02 | 0.66 | 0.56 |
| | | A | 17.6 | 1655 | 7.7 | 34.9 | 117.0 | 11.7 | 0.9 | 2.3 | 394.1 | 13.8 | 34.5 | 12.3 | 6.90 | 7.77 | -5.91 | 0.16 | 0.01 | 1.85 | 0.75 |
| 111 | Aoste | D | 13.2 | 1842 | 7.7 | 34.2 | 90.6 | 28.2 | 4.3 | 2.2 | (332.8) | 15.7 | 19 | 16.7 | 7.08 | 5.61* | | 0.51 | 0.04 | 0.99 | 0.45 |
| 113 | Le Gay | D | 12.5 | 2034 | 7.8 | 29.9 | 30.9 | 54.0 | 4.2 | 1.7 | (304.4) | 8.2 | 17 | 11.0 | 6.21 | 3.44* | | 2.98 | 0.12 | 1.53 | 0.02 |
| | | A | 17.3 | 1998 | 7.7 | 30.0 | 61.3 | 35.7 | 3.0 | 1.3 | 337.9 | 8.6 | 16.6 | 10.6 | 6.16 | 6.30 | -1.12 | 0.96 | 0.04 | 1.43 | 0.03 |
| 113 ^b | Nomando | D | 11.3 | 1386 | 7.8 | 38.6 | 134.7 | 12.2 | 1.4 | 8.5 | (349.4) | 8.5 | 32 | 48.4 | 8.00 | 3.73* | | 0.15 | 0.01 | 2.78 | -0.16 |
| | | A | 17.3 | 1673 | 7.6 | 25.3 | 43.7 | 35.0 | 6.6 | 5.5 | 435.5 | 4.2 | 7.9 | 10.1 | 5.49 | 7.58 | -16.05 | 1.32 | 0.13 | 1.39 | -2.61 |
| 114 | Granieu | D | 13.2 | 1905 | 7.8 | 32.5 | 71.7 | 35.5 | 3.6 | 9.4 | (368.3) | 6.3 | 8 | 0.3 | 6.66 | 3.83* | | 0.82 | 0.04 | 0.94 | -1.23 |
| 114 ^b | Granieu | A | 15.8 | 1767 | 7.8 | 33.3 | 101.0 | 19.7 | 1.3 | 0.9 | 372.1 | 8.2 | 44.3 | 9.7 | 6.74 | 7.41 | -4.73 | 0.32 | 0.01 | 3.99 | 0.66 |
| 123 | Veyrins | D | 9.6 | 2526 | 8.0 | 12.6 | 32.1 | 11.2 | 2.3 | 1.2 | 125.7 | 3.8 | 14 | 0.4 | 2.65 | 2.47 | 2.7 | 0.38 | 0.06 | 2.72 | -0.22 |
| 125 | Praille | D | 12.2 | 1803 | 7.8 | 26.7 | 84.2 | 13.9 | 2.5 | 3.8 | 250.1 | 14.9 | 18 | 14.3 | 5.55 | 5.12 | 4.0 | 0.27 | 0.03 | 0.89 | 0.51 |
| 126 | Rabataux | D | 11.8 | 1905 | 8.1 | 23.6 | 85.4 | 5.6 | 16.0 | 3.2 | 244.0 | 16.8 | 23 | 25.5 | 5.50 | 5.36 | 1.3 | 0.11 | 0.16 | 1.01 | -0.64 |
| 127 | Rabataux | D | 9.6 | 1630 | 8.1 | 36.3 | 137.1 | 5.1 | 0.8 | 10.6 | 372.1 | 12.7 | 33 | 25.1 | 7.57 | 7.55 | 0.1 | 0.06 | 0.01 | 1.92 | 0.15 |
| 128 | Le Périer | D | 9.3 | 2528 | 8.0 | 13.4 | 42.9 | 6.6 | 3.5 | 11.2 | 130.5 | 5.3 | 18 | 7.9 | 3.12 | 2.79 | 5.6 | 0.25 | 0.07 | 2.51 | -1.93 |
| 129 | Le Périer | D | 8.9 | 3049 | 8.3 | 18.9 | 69.7 | 3.6 | 2.5 | 5.5 | 207.4 | 2.9 | 10 | 8.4 | 4.02 | 3.82 | 2.5 | 0.09 | 0.03 | 2.55 | -2.05 |
| 130 | Le Périer | D | 11.0 | 1242 | 7.9 | 23.5 | 78.8 | 8.8 | 13.3 | 8.9 | 104.9 | 38.1 | 45 | 52.8 | 5.51 | 4.58 | 9.2 | 0.18 | 0.15 | 0.97 | 0.25 |
| 140 | Ptt Thuet | D | 12.6 | 2146 | 7.9 | 27.8 | 102.2 | 5.6 | 3.5 | 11.4 | 316.0 | 13.7 | 24 | 7.5 | 6.00 | 6.19 | -1.5 | 0.09 | 0.03 | 1.29 | -0.15 |
| 145 | Chamolay | D | 10.0 | 2807 | 8.0 | 22.6 | 72.9 | 10.7 | 1.2 | 9.0 | (245.7) | 3.5 | 11 | 5.7 | 4.80 | 4.62* | | 0.24 | 0.01 | 2.32 | -1.86 |
| 146 | La Chèvre | D | 11.8 | 1896 | 7.8 | 32.4 | 111.0 | 11.4 | 1.5 | 6.4 | (319.6) | 13.5 | 18 | 11.7 | 6.71 | 3.06* | | 0.17 | 0.01 | 0.98 | 0.40 |
| 150 | La Forêt | D | 7.6 | 3234 | 7.8 | 11.0 | 35.7 | 5.1 | 0.2 | 10.2 | 140.3 | 1.9 | 1 | 0.2 | 2.47 | 2.38 | 1.9 | 0.24 | 0.00 | 0.39 | -4.03 |
| 180 | Varchère | D | 10.7 | 1714 | 7.7 | 29.2 | 98.6 | 11.2 | 2.9 | 1.3 | 237.9 | 15.7 | 16 | 20.7 | 6.00 | 5.01 | 9.0 | 0.19 | 0.03 | 0.75 | 0.64 |

2 - FACIÈS CHIMIQUES DE DIFFÉRENTES NAPPES DE LA
RÉGION D'AOSTE
(PRÉLÈVEMENTS DE DÉCEMBRE 1982)

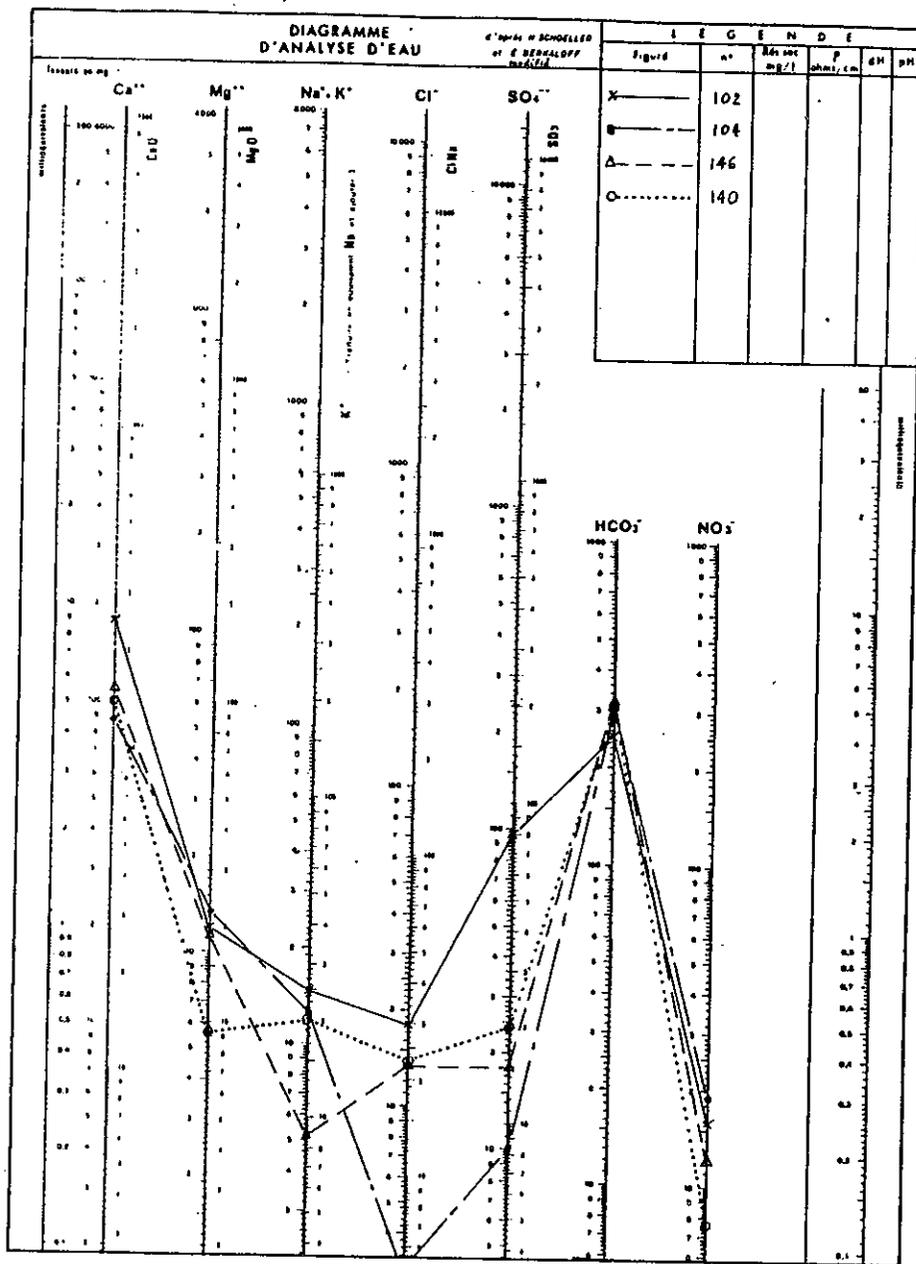


Figure A - Eaux de différentes nappes de la molasse sableuse.

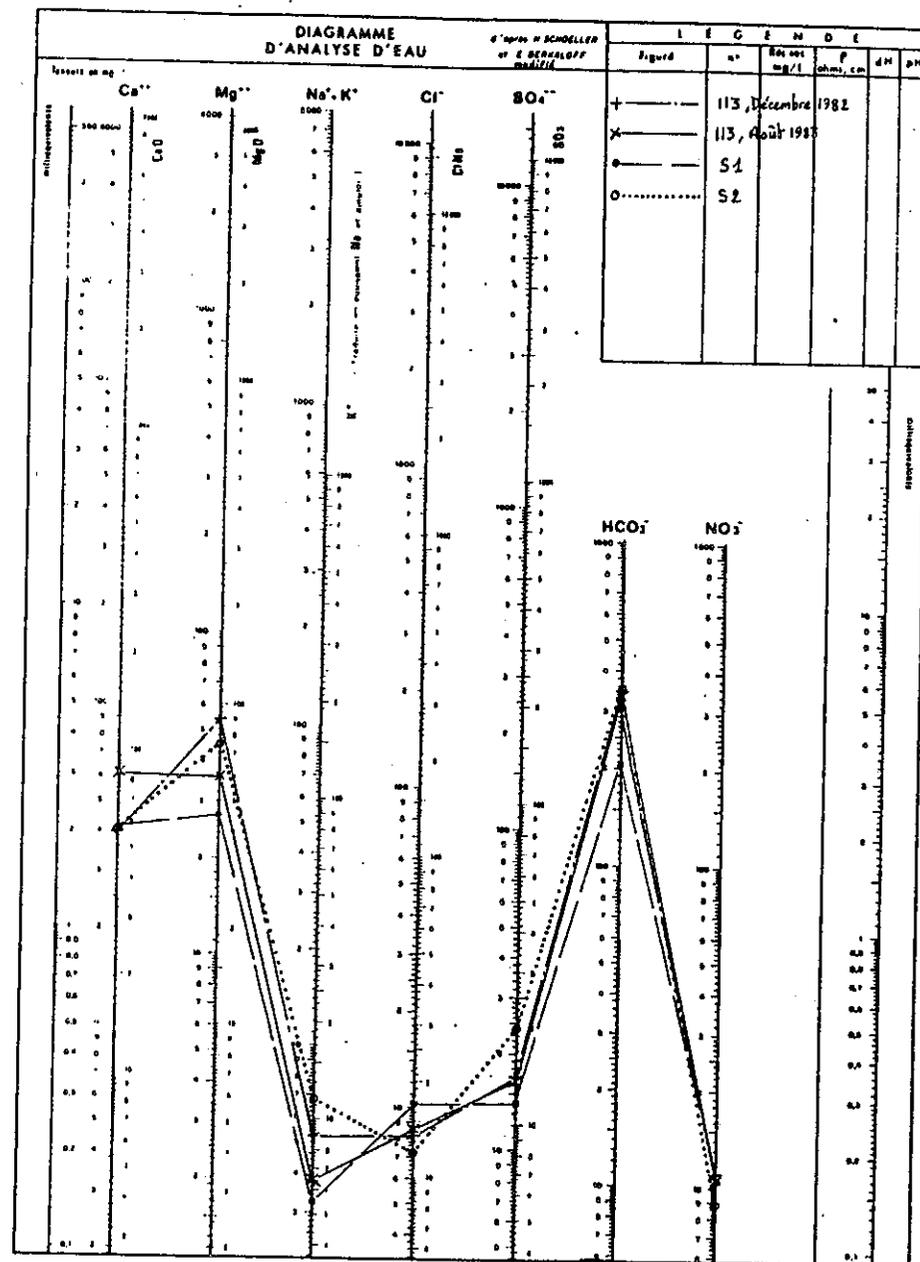


Figure B - Eaux de la nappe et des sources de la terrasse de Granieu.

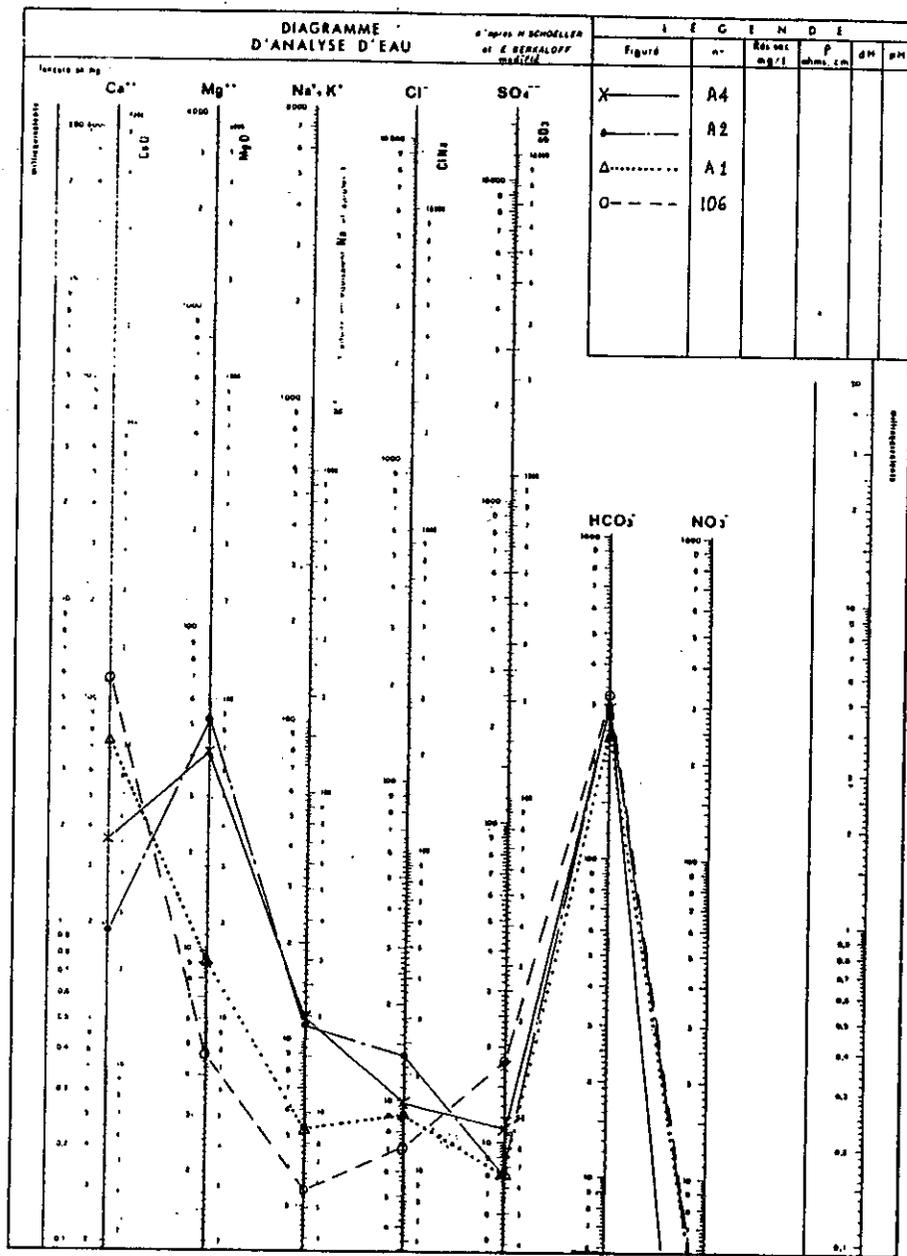


Figure C - Eaux de la nappe entre l'autoroute A43 et Aoste-Gare de l'Est

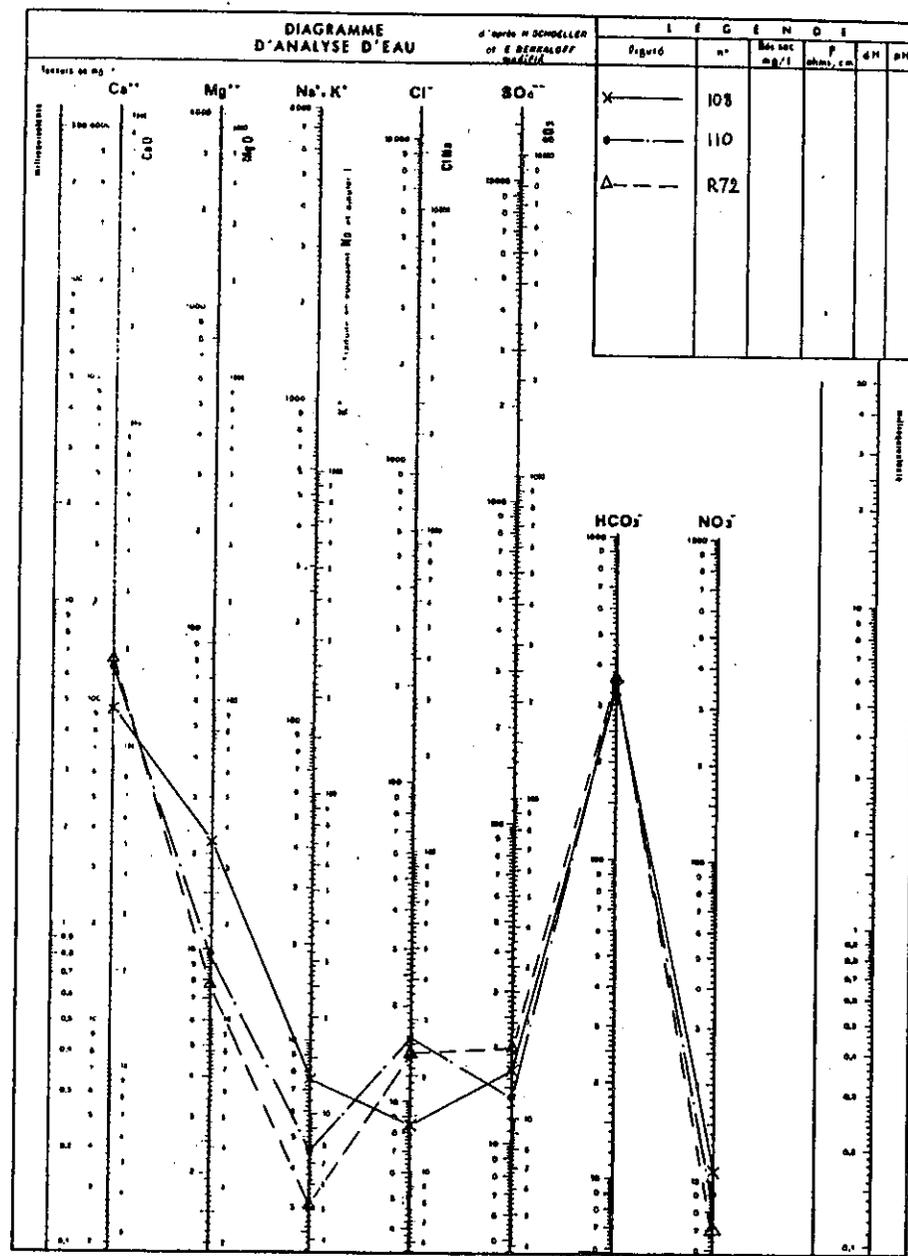


Figure D - Eaux de la nappe d'Aoste, entre Aoste et le Rhône.

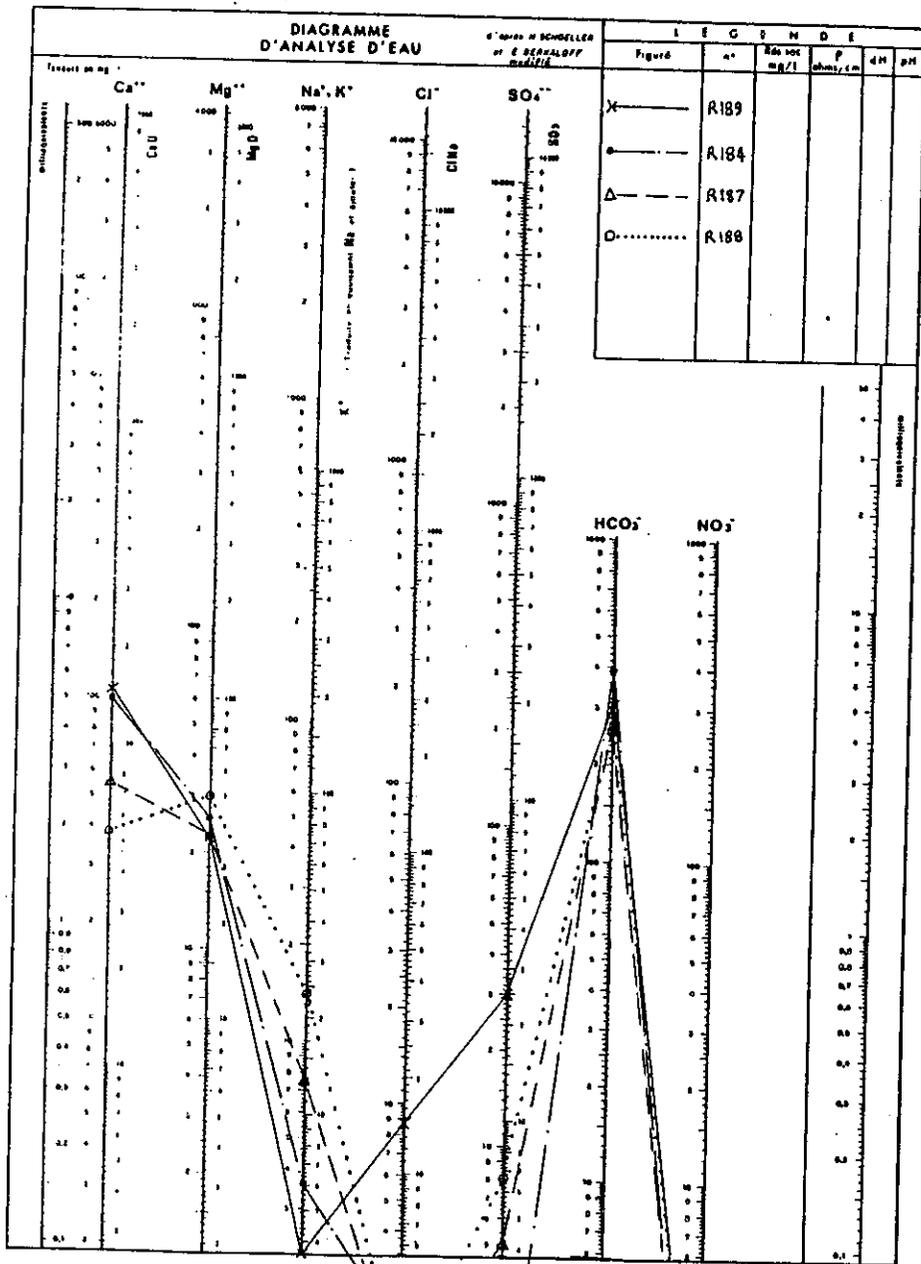


Figure E -Eaux de la nappe du couloir, en amont de Veyrins.

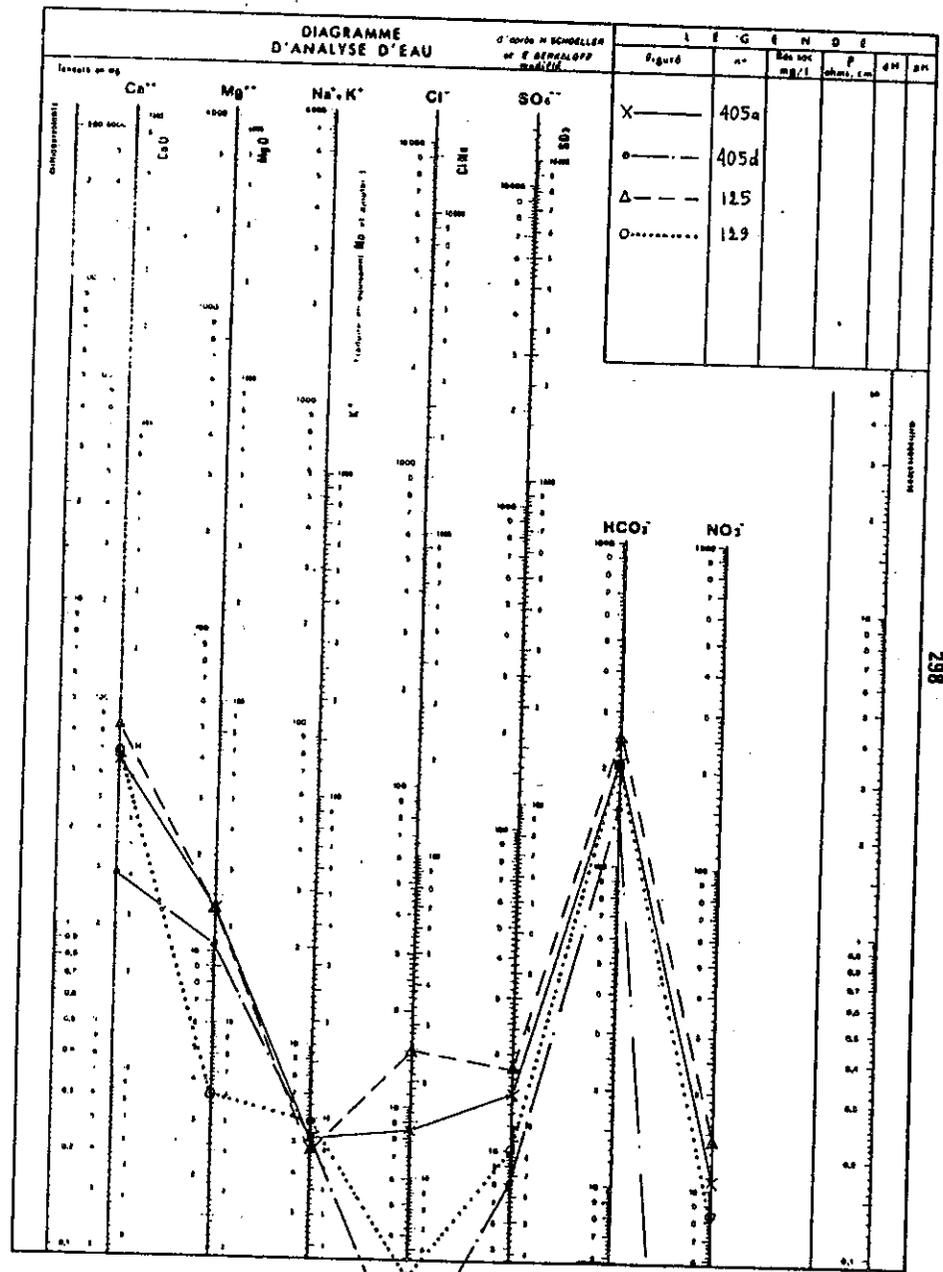


Figure F - Eaux de la nappe du cône de Veyrins.

LISTE DES FIGURES

| | Page |
|---|------|
| Fig. 1 : Position géographique du secteur d'étude..... | 15 |
| Fig. 2 : Les sous-secteurs géographiques de la zone étudiée..... | 16 |
| Fig. 3 : Carte structurale de la partie ouest des Alpes occidentales..... | 18 |
| Fig. 4 : Les bassins périalpins du versant français des Alpes..... | 18 |
| Fig. 5 : Echelle stratigraphique schématique..... | 28 |
| Fig. 6 : Carte géologique simplifiée des confins de la Savoie et du Bas-Bugey..... | 28 |
| Fig. 7 : Sédimentation en milieu deltaïque..... | 32 |
| Fig. 8 : Schéma de l'avancée des alluvions deltaïques vers l'Ouest au Tortonien inférieur..... | 32 |
| Fig. 9 : Types de sédiments glaciaires..... | 32 |
| Fig.10 : Carte géologique de la région d'Aoste..... | 38 |
| Fig.11 : Hypothèses sur les dépôts horizontaux des buttes du Champ et de Brangues-Masset..... | 42 |
| Fig.12 : Chronologie des dépôts successifs de la carrière de Les Combes-Parjin..... | 42 |
| Fig.13 : Courbes cumulées des alluvions fluvio-glaciaires et histogrammes des parties sableuses..... | 48 |
| Fig.14 : Fuseau granulométrique des sables du Tortonien marin..... | 48 |
| Fig.15 : Sens des écoulements de courants..... | 50 |
| Fig.16 : Position des sables du Luquet et de Saint-Didier-d'Aoste sur les diagrammes comparatifs de Moiola et Weiser(1968)... | 52 |
| Fig.17 : Courbes de fréquences cumulées des échantillons 4 et 5 selon des lois gaussiennes de répartition..... | 54 |
| Fig.18 : Histogrammes de fréquence de répartition des classes des 5 dépôts grossiers étudiés par méthode linéaire..... | 54 |
| Fig.19 : Composition pétrographique de dépôts fluvio-glaciaires, molassiques et d'alluvions du Rhône et du Guiers..... | 58 |
| Fig.20 : Histogrammes des indices mesurés sur l'échantillon 4 (molasse)..... | 60 |
| Fig.21 : Représentation conjuguée des indices I et A moyens des 4 échantillons..... | 60 |
| Fig.22 : Histogrammes des indices mesurés sur les échantillons fluvio-glaciaires..... | 62 |
| Fig.23 : Schéma du piedmont bas-dauphinois au Miocène terminal..... | 74 |
| Fig.24 : Détournement du cours du Rhin, de la Meuse et de la Tamise de leur direction nord par la poussée glaciaire du Saal.... | 74 |
| Fig.25 : Essai d'explication de l'origine du creusement du couloir des Avenières par une érosion péri-glaciaire..... | 76 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 26 : Essai d'interprétation glaciaire de l'origine des axes rayonnants des principaux cours d'eau actuels..... | 78 |
| Fig. 27 : Extension des glaciers du Rhône et de l'Isère et leurs phases de retrait..... | 80 |
| Fig. 28 : Passage des plis jurassiens aux plis subalpins..... | 80 |
| Fig. 29 : Carte de répartition des altitudes et position des profils topographiques..... | 81 |
| Fig. 30 : Profils morphologiques entre la plaine d'Aoste-Veyrins et le plateau des Terres Froides..... | 83 |
| Fig. 31 : Réseaux hydrographiques actuel et ancien en bordure du couloir glaciaire des Avenières (étude stéréoscopique).... | 86 |
| Fig. 32 : Réseaux hydrographiques actuel et ancien autour de la cuvette d'Aoste (étude cartographique)..... | 86 |
| Fig. 33 : Profils topographiques de cours d'eau dans la région d'Aoste..... | 86 |
| Fig. 34 : Différentes positions de chenaux..... | 88 |
| Fig. 35 : Chenalisation de la marge glaciaire à flanc de colline lors de quatre phases successives de retrait glaciaire.... | 88 |
| Fig. 36 : Chenaux de marge glaciaire, Stornarfjallet, Ouest Suède... | 88 |
| Fig. 37 : Recoupement du réseau hydrographique périglaciaire par le réseau hydrographique post-glaciaire..... | 88 |
| Fig. 38 : Remblaiement des méandres du couloir des Avenières..... | 91 |
| Fig. 39 : Anciens méandres du Rhône dans la traversée du couloir des Avenières..... | 92 |
| Fig. 40 : Interprétation de la carrière n° 5 du Bois de Nêtrin..... | 94 |
| Fig. 41 : Log de la rive gauche du Guiers en amont du pont de Pont de Beauvoisin..... | 94 |
| Fig. 42 : Hypothèse de mises en place successives des dépôts post-glaciaires le long du Guiers..... | 96 |
| Fig. 43 : Mécanisme des oscillations du niveau de base du Guiers dans la plaine d'Aoste..... | 98 |
| Fig.44a : Interprétation schématique des dépôts de la terrasse de La Bruyère, dans un contexte de débâcle glaciaire..... | 100 |
| Fig.44b : Position des coupes interprétatives de La Bruyère et des sondages de reconnaissance de la C.N.R..... | 100 |
| Fig. 45 : Phénomène de glissement dans les moraines argileuses plaquées au versant molassique..... | 102 |
| Fig. 46 : Représentation schématique des relations entre cônes d'épandage et chenaux fluvio-glaciaires dans la plaine de Vallière..... | 102 |
| Fig. 47 : Essai de reconstitution des écoulements para-glaciaires à différents stades de déglaciation..... | 104 |
| Fig. 48 : Agencement des différents dépôts fluvio-glaciaires et post-glaciaires en aval du cône de Veyrins..... | 106 |
| Fig. 49 : Localisation des sondages de reconnaissance dans le couloir des Avenières..... | 114 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 50 : Profils géo-électriques du couloir des Avenières..... | 116 |
| Fig. 51 : Carte du substratum argileux dans le couloir des Avenières..... | 122 |
| Fig. 52 : Corrélations entre sondages au voisinage de la zone de captage de Veyrins..... | 124 |
| Fig. 53 : Coupes géo-électriques sur la zone de captage au Nord-Est de Veyrins-Thuellin..... | 124 |
| Fig. 54 : Représentation du dispositif Schlumberger et des champs électriques créés lors de l'envoi de courant entre les électrodes A et B..... | 126 |
| Fig. 55 : Type de courbe de terrain le plus souvent obtenue lors de l'étude géophysique de la plaine d'Aoste (Isère)..... | 126 |
| Fig. 56 : Lissage de la courbe expérimentale..... | 126 |
| Fig. 57 : Sondages électriques sur modèles réduits (Bois de Morand)..... | 128 |
| Fig. 58 : Comparaison entre courbe de terrain et courbes de restitution..... | 128 |
| Fig. 59 : Localisation des sondages de reconnaissance de la plaine d'Aoste..... | 132 |
| Fig. 60 : Profils géo-électriques de la plaine d'Aoste..... | 133 |
| Fig. 61 : Carte du substratum des alluvions grossières de la plaine d'Aoste..... | 140 |
| Fig. 62 : Valeur de la résistivité apparente d'un terrain sableux en fonction des terrains de recouvrement..... | 142 |
| Fig. 63 : Carte d'équirésistivités pour une longueur de ligne d'injection AB égale à 6 mètres..... | 144 |
| Fig. 64 : Carte d'équirésistivités pour une longueur de ligne d'injection AB égale à 40 mètres..... | 146 |
| Fig. 65 : Carte d'équirésistivités pour une longueur de ligne d'injection AB égale à 140 mètres..... | 147 |
| Fig. 66 : Carte synthétique des différents chenaux envisagés d'après les sondages effectués sur la plaine d'Aoste..... | 148 |
| Fig. 67 : Profil géosismique transversal au lit du Guiers à l'Est de Romagnieu..... | 150 |
| Fig. 68 : Relation entre q_c et f_s et le type de sol d'après Begermann..... | 150 |
| Fig. 69 : Position de certains sondages pénétrométriques à l'Ouest et à l'Est du secteur étudié..... | 150 |
| Fig. 70 : Fréquence des directions du vent..... | 166 |
| Fig. 71 : Bassins-versants du Pissoud et de la Bièvre..... | 168 |
| Fig. 72 : Bilan de l'eau à l'altitude moyenne de 370 m (Favergeres de la Tour)..... | 170 |
| Fig. 73 : Aménagement de Brégnier-Cordon..... | 172 |

| | Page |
|--|------|
| Fig. 74 : Débits du Rhône à Sault-Brenaz..... | 174 |
| Fig. 75 : Variations mensuelles du niveau de cours d'eau..... | 178 |
| Fig. 76 : Points de mesures et de prélèvements effectués sur les nappes et cours d'eau du couloir des Avenières..... | 186 |
| Fig. 77 : Points de mesures et de prélèvements effectués sur les nappes et cours d'eau de la plaine d'Aoste..... | 187 |
| Fig. 78 : Agencement des différents types de réservoirs aquifères... | 188 |
| Fig. 79 : Cheminement des eaux issues du versant molassique en direction de la plaine d'Aoste..... | 188 |
| Fig. 80 : Nappes phréatiques (17 décembre 1981) - Hautes eaux..... | 194 |
| Fig. 81 : Nappes phréatiques (25 août 1982) - Basses eaux..... | 194 |
| Fig. 82 : Variations mensuelles des nappes de la molasse et de la plaine d'Aoste en amont d'Aoste - Gare de l'Est, comparées aux précipitations mensuelles et au niveau du Guiers..... | 196 |
| Fig. 83 : Mécanismes d'alimentation et drainage de la nappe par le Guiers dans le secteur d'Aoste-Gare de l'Est..... | 196 |
| Fig. 84 : Variations hebdomadaires de la nappe du couloir des Avenières et de l'aval de la nappe d'Aoste comparées avec les précipitations et les débits du Rhône..... | 198 |
| Fig. 85 : Variations de la direction d'écoulement de la nappe d'Aoste en fonction du débit du Rhône..... | 200 |
| Fig. 86 : Battements de la nappe de la plaine d'Aoste entre novembre 1981 et décembre 1982..... | 202 |
| Fig. 87 : Profil en long de la nappe de la plaine d'Aoste entre le pont de Saint-Genix et Saint-Didier-d'Aoste et battements entre hautes et basses eaux..... | 203 |
| Fig. 88 : Profil en long de la nappe du couloir des Avenières (secteur du Grand-Maraïs) entre Granieu et Veyrins et battements entre hautes et basses eaux..... | 203 |
| Fig. 89 : Battements de la nappe entre le Guiers en aval et Romagnieu en amont..... | 203 |
| Fig. 90 : Schéma explicatif des variations d'amplitude des battements de la nappe de la plaine, en aval d'Aoste..... | 203 |
| Fig. 91 : Nappe du couloir des Avenières et nappe captive en charge du cône de Veyrins, positionnées sur un profil de corrélations entre sondages..... | 208 |
| Fig. 92 : Influence d'un canal de drainage sur le soutien d'une nappe captive adjacente à la nappe du couloir des Avenières..... | 208 |
| Fig. 93 : Battement de la nappe contigüe à celle du couloir des Avenières, en bordure de la terrasse fluvio-glaciaire, entre Veyrins et Thuellin..... | 212 |
| Fig. 94 : Relations entre nappe adjacente et nappe du couloir en aval de Veyrins..... | 213 |
| Fig. 95 : Battements de nappe dans le couloir des Avenières..... | 213 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 96 : Courbes caractéristiques des forages effectués entre Granieu et la butte du Champ..... | 214 |
| Fig. 97 : Courbes rabattement/temps de descente pour le premier palier de débit..... | 216 |
| Fig. 98 : Courbes rabattement/temps de remontée en fin de pompage.. | 216 |
| Fig. 99 : Courbes caractéristiques des forages de la station de pompage de Veyrins..... | 220 |
| Fig. 100 : Courbes caractéristiques des forages de la station de pompage de Thuellin..... | 220 |
| Fig. 101 : Courbes d'étalonnage des concentrations en Ca^{++} et Na^+ .. | 230 |
| Fig. 102 : Relation entre conductivité et minéralisation des eaux de la plaine d'Aoste..... | 232 |
| Fig. 103 : Carte de résistivité hautes eaux sur la plaine d'Aoste... | 235 |
| Fig. 104 : Carte de résistivité hautes eaux (couloir des Avenières). | 236 |
| Fig. 105 : Carte des teneurs en fer (couloir des Avenières)..... | 236 |
| Fig. 106 : Carte des teneurs en fer (plaine d'Aoste)..... | 238 |
| Fig. 107 : Carte des teneurs en chlorures (couloir des Avenières)... | 246 |
| Fig. 108 : Carte des teneurs en sulfates (couloir des Avenières).... | 246 |
| Fig. 109 : Carte des teneurs en chlorures (plaine d'Aoste)..... | 248 |
| Fig. 110 : Carte des teneurs en sulfates (plaine d'Aoste)..... | 249 |
| Fig. 111 : Carte du rapport $\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$ (plaine d'Aoste)..... | 254 |
| Fig. 112 : Isovariations de r Mg/r Ca (plaine d'Aoste)..... | 255 |
| Fig. 113 : Carte du rapport $\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$ (couloir des Avenières)..... | 256 |
| Fig. 114 : Carte de l'i.e.b. (couloir des Avenières)..... | 256 |
| Fig. 115 : Carte de l'i.e.b. (plaine d'Aoste)..... | 258 |

LISTE DES TABLEAUX

| | Page |
|---|------|
| Tab. 1 : Chronologie des évènements géologiques..... | 20 |
| Tab. 2 : Comparaison entre les différents dépôts de la région d'Aoste..... | 36 |
| Tab. 3 : Valeurs des indices granulométriques de sables du Tor- tonien ($m_2 b_s$) ou de l'Helvétien (m_{2a}) prélevés au- tour de la plaine d'Aoste..... | 50 |
| Tab. 4 : Valeurs des indices morphométriques de galets prélevés sur des affleurements fluvio-glaciaires et molassiques.. | 61 |
| Tab. 5 : Fourchette des résistivités de terrain proposée par la CGG..... | 112 |
| Tab. 6 : Vitesses de propagation des ondes dans les terrains de bordure du Rhône, d'après la C.N.R..... | 151 |
| Tab. 7 : Bilan d'eau pour les bassins de la Bièvre et du Pis- soud, en 1982..... | 170 |
| Tab. 8 : Paramètres hydrodynamiques des nappes étudiées..... | 221 |
| Tab. 9 : Teneurs en fer et en manganèse de quelques points d'eau de la région d'Aoste..... | 243 |
| Tab. 10 : Corrélations multiples entre les eaux prélevées sur la nappe de la plaine d'Aoste (août 1983)..... | 251 |
| Tab. 11 : Faciès chimiques des nappes de la région d'Aoste..... | 260 |
| Tab. 12 : Analyses chimiques des eaux des différents points de notre secteur..... | 262 |

TABLE DES MATIERES

| | Page |
|--|------|
| AVANT PROPOS..... | 3 |
| RESUME..... | 5 |
| SOMMAIRE..... | 7 |
| INTRODUCTION..... | 9 |
| IÈRE PARTIE : LES TERRAINS RENCONTRES..... | 11 |
| CHAPITRE 1 : CONTEXTE DE L'ÉTUDE..... | 13 |
| 1.1. Cadre géographique..... | 15 |
| 1.2. Géologie locale..... | 17 |
| 1.2.1. Situation géologique..... | 17 |
| 1.2.2. Histoire géologique succincte du Bas-Dauphiné..... | 19 |
| CHAPITRE 2 : GÉOLOGIE DE LA RÉGION D'AOSTE (ISÈRE)..... | 23 |
| 2.A. GEOLOGIE DESCRIPTIVE..... | 25 |
| A.1. Les terrains rencontrés..... | 27 |
| 1.1. Problèmes soulevés sur le terrain..... | 27 |
| 1.2. Description des formations rencontrées..... | 29 |
| 1.2.1. Formations tertiaires..... | 29 |
| 1.2.2. Formations quaternaires glaciaires..... | 33 |
| 1.2.3. Formations holocènes..... | 34 |
| 1.3. Conclusion de l'étude de ces formations..... | 36 |
| A.2. Points de la carte modifiés par rapport à la carte géologique de 1976..... | 37 |
| 2.B. SEDIMENTOLOGIE..... | 45 |
| B.1. Introduction..... | 47 |
| B.2. Etude granulométrique de sables et graviers par tamisage... .. | 47 |
| 2.1. Echantillons fluvioglaciers..... | 49 |
| 2.2. Echantillons de la molasse sableuse tortonienne..... | 49 |
| 2.3. Sable de la carrière de Saint-Didier d'Aoste..... | 51 |
| B.3. Etude statistique de dépôts grossiers..... | 53 |
| 3.1. Etude granulométrique par méthode linéaire..... | 53 |
| 3.2. Etude des directions d'écoulement..... | 56 |
| 3.3. Analyse pétrographique des galets..... | 57 |
| 3.4. Etude morphométrique des galets centrés sur 50 mm..... | 61 |
| 3.5. Conclusion..... | 65 |
| B.4. Conclusion de l'étude sédimentologique..... | 67 |
| CHAPITRE 3 : GÉOMORPHOLOGIE..... | 69 |
| 1. Introduction à l'étude géomorphologique..... | 71 |
| 2. Etude morphologique..... | 72 |
| 2.1. Présentation..... | 72 |
| 2.2. Façonnement du piedmont bas-dauphinois..... | 73 |
| 2.3. Invasion glaciaire dans la partie septentrionale du Bas-Dauphiné..... | 74 |
| 2.4. Poussée glaciaire sur le plateau des Terres Froides et ses conséquences dans la mise en place du réseau hydrographique..... | 77 |

| | |
|---|-----|
| 2.5. Variations de tracé du réseau hydrographique lors du retrait glaciaire..... | 79 |
| 2.6. Profils morphologiques en bordure de la plaine d'Aoste..... | 82 |
| 2.7. Répartition des altitudes..... | 85 |
| 2.8. Etude de thalwegs anciens et actuels..... | 87 |
| 2.8.1. Etude stéréoscopique du gradin de Corbelin..... | 87 |
| 2.8.2. Etude sur cartes à 1/50 000 et 1/25 000 des traces d'anciens thalwegs..... | 87 |
| 2.8.3. Profils de cours d'eau anciens et actuels..... | 89 |
| 2.8.4. Anciens méandres laissés par le Rhône dans le couloir des Avenières..... | 91 |
| 2.9. Considérations diverses..... | 93 |
| 2.9.1. Déglaciation..... | 93 |
| 2.9.2. Cours du Guiers en aval de Pont de Beauvoisin.... | 97 |
| 2.9.3. Origine de la terrasse de La Bruyère..... | 101 |
| 2.9.4. Evolution récente des reliefs laissés par les glaciers..... | 103 |
| 3. Conclusion..... | 105 |

CHAPITRE 4 : GÉOMÉTRIE DU RÉSERVOIR AQUIFÈRE, DE LA PLAINE D'AOSTE AU COULOIR DES AVENIÈRES.....109

| | |
|---|-----|
| 4.1. Introduction..... | 111 |
| 4.2. Prospection géophysique électrique appliquée à l'étude d'un réservoir aquifères..... | 111 |
| 4.2.1. Bref rappel sur le principe..... | 111 |
| 4.2.2. Etudes locales antérieures proches de notre secteur prospecté..... | 112 |
| A. Les travaux de la C.G.G..... | 112 |
| B. Les recherches de matériaux par le C.E.T.E..... | 113 |
| 4.2.3. Etude du couloir des Avenières..... | 115 |
| A. Les différentes formations du couloir..... | 115 |
| B. Les résultats de sondages complémentaires de la DDA.. | 121 |
| C. Carte du substratum argileux dans le couloir des Avenières..... | 123 |
| D. Approche de la géométrie du cône de Veyrins..... | 125 |
| 4.2.4. Etude de la plaine d'Aoste..... | 127 |
| A. Méthode de prospection géophysique électrique..... | 127 |
| B. Influence d'une anisotropie latérale : le problème des chenaux..... | 130 |
| C. Prospection et interprétation géophysique de la plaine d'Aoste..... | 131 |
| D. Le substratum des alluvions grossières de la plaine.. | 139 |
| E. Les cartes d'équirésistivités établies à partir de longueurs de AB données..... | 141 |
| 4.3. La prospection sismique réfraction..... | 149 |
| 4.4. Sondages d'essais pénétrométriques..... | 151 |
| 4.5. Conclusions..... | 153 |

2ÈME PARTIE : HYDROGÉOLOGIE DE LA RÉGION D'AOSTE.....157

CHAPITRE 1 : HYDROCLIMATOLOGIE.....159

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 1. Les relevés météorologiques..... | 161 |
| 1.1. La pluviométrie..... | 161 |
| 1.2. Les températures..... | 163 |
| 1.3. Les vents..... | 165 |

| | |
|---|-----|
| 2. Paramètres physico-chimiques des eaux étudiées..... | 231 |
| 2.1. Températures..... | 231 |
| 2.2. Résistivités..... | 233 |
| 2.3. pH..... | 239 |
| 3. Caractéristiques géochimiques des eaux étudiées..... | 240 |
| 3.1. Dureté des eaux..... | 240 |
| 3.2. Les différents ions analysés..... | 241 |
| 3.2.1. Le fer total..... | 241 |
| 3.2.2. Les cations..... | 243 |
| 3.2.3. Les anions..... | 244 |
| 3.3. Rapports caractéristiques entre certains ions..... | 250 |
| 3.4. Les faciès caractéristiques des différentes nappes..... | 260 |
| 3.5. Chimie des eaux des stations de pompage et de forages antérieurs..... | 261 |
| 4. Conclusion de l'étude physico-chimique des eaux de notre secteur d'étude..... | 263 |

CONCLUSIONS GENERALES 265

BIBLIOGRAPHIE..... 269

ANNEXE I : SONDAGES ELECTRIQUES..... 275

ANNEXE II : SONDAGES DE RECONNAISSANCE DU SOUS-SOL..... 279

ANNEXE III : RELEVES PIEZOMETRIQUES DE NAPPES ET DU FIL DE L'EAU
 DE COURS D'EAU..... 285

ANNEXE IV : ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX..... 289

LISTE DES FIGURES..... 299

LISTE DES TABLEAUX..... 304

TABLE DES MATIÈRES..... 305

DERNIERE PAGE D'UNE THESE

3È CYCLE, DOCTEUR INGÉNIEUR OU UNIVERSITÉ

Vu les dispositions de l'arrêté du 16 avril 1974,

Vu les rapports de M. J. SARROT REYNAULD.....

M.

M. Yves SAPEY TRIOMPHE..... est autorisé
à présenter une thèse en vue de l'obtention du grade de DOCTEUR de 3ème Cycle...
de Géologie Appliquée.....

Grenoble, le 24 novembre 1984

Le Président de l'Université Scientifique
et Médicale

M. TANCHE



31 JAN. 1985

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

