



HAL
open science

Etude géologique et hydrogéologique de la vallée du Rhône entre Vienne et Andance (aménagement du péage de Roussillon)

François Letouze

► **To cite this version:**

François Letouze. Etude géologique et hydrogéologique de la vallée du Rhône entre Vienne et Andance (aménagement du péage de Roussillon). Géologie appliquée. Université de Grenoble, 1969. Français. NNT: . tel-00745900

HAL Id: tel-00745900

<https://theses.hal.science/tel-00745900>

Submitted on 26 Oct 2012

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.



D

050 031332 2

THESE

1^{er} exemplaire

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE
GRENOBLE

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR DE 3^{ème} CYCLE

20 DEC. 1969

Spécialité : Sciences de la Terre

Mention Géologie appliquée

PAR

François LETOUZÉ

Etude Géologique et Hydrogéologique de la vallée du Rhône entre Vienne et Andance

(Aménagement du PEAGE de ROUSSILLON)



Soutenu le

1969

devant la Commission d'Examen

MM

R. BARBIER

Professeur

Président

R. MICHEL

Professeur

J. SARROT-REYNAULD

Professeur

sans chaire

Examineurs

P. ANTOINE

Maitre Assistant

J. MATHIAN

Ingénieur en Chef

à la CNR

Invité

THESE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE
GRENOBLE

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR DE 3^{ème} CYCLE

Spécialité : Sciences de la Terre

Mention Géologie appliquée

PAR

François LETOUZÉ

Etude Géologique et Hydrogéologique de la vallée du Rhône entre Vienne et Andance

(Aménagement du PEAGE de ROUSSILLON)

Soutenue le

devant la Commission d'Examen

MM

R. BARBIER

Professeur

Président

R. MICHEL
J. SARROT-REYNAULD

Professeur
Professeur
sans chaire

Examineurs

P. ANTOINE

Maitre Assistant

J. MATHIAN

Ingénieur en Chef
à la C N R

Invité

100 990 29

AVANT-PROPOS

Parvenu à la conclusion de cette étude, je me sens redevable envers de nombreuses personnes, depuis celles qui m'ont enseigné la Géologie, jusqu'à celles qui ont contribué, tant sur le plan "professionnel" que matériel, et de quelque manière que ce soit, à la présentation de ce mémoire.

A toutes, j'adresse des remerciements très sincères, mais je ne peux résister au plaisir d'exprimer ma reconnaissance particulièrement,

à M. le professeur R. BARBIER, qui m'ayant accepté comme l'un de ses étudiants à mon arrivée à Grenoble, m'a conseillé avec attention. C'est à lui que je dois d'avoir réalisé cette étude de Génie civil, vers lequel j'ai toujours été attiré ;

et à la Compagnie Nationale du Rhône, en la personne de M. J. MATHIAN, ingénieur en chef de la Circonscription Nord de la Direction de l'Équipement à la C. N. R. Qu'il reçoive ici l'expression de toute ma gratitude, ainsi que MM. POMMIER et THELIEZ. J'ai toujours trouvé auprès d'eux, l'aide et la compréhension dont j'ai pu avoir besoin.

Qu'il me soit permis aussi de remercier

MM. les professeurs R. MICHEL et J. SARROT-REYNAULD, pour les conseils qu'ils m'ont donnés et pour leur participation à la composition de ce jury.

MM. G. JUND et R. MARION, ingénieurs au bureau de la C. N. R. de Péage-de-Roussillon. Je leur adresse tous mes remerciements, ainsi qu'à tout le personnel de ce bureau, que j'ai souvent mis à contribution,

et tous les assistants et étudiants du 3^e cycle de l'Institut de Géologie de Grenoble.

Je remercie également tout spécialement M. F. BAZIN, ingénieur à SOGREA, à qui la troisième partie de ce mémoire doit beaucoup, et M. P. ANTOINE, maître-assistant, à qui j'exprime ma profonde sympathie.

Enfin, je ne peux oublier mes professeurs du laboratoire de Géologie de Caen, MM. L. DANGEARD et C. PAREYN, ainsi que M. F. DORE, maître-assistant d'alors. Je leur adresse toute ma reconnaissance.

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

SOMMAIRE

ETUDE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DE LA VALLEE
 DU RHONE ENTRE VIENNE ET ANDANCE

(AMENAGEMENT DU PEAGE-DE-ROUSSILLON)

	<u>Pages</u>
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>I - PRESENTATION GEOGRAPHIQUE</u>	1
A. - Cadre	1
B. - Ressources	3
<u>II - DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES PROJETES</u>	4
A. - Ouvrages principaux	4
1. Barrage	
2. Retenue	
3. Canal de dérivation	
4. Usine et écluse	
B. - Ouvrages annexes	6
1. Modifications du lit du Rhône	
2. Ouvrages de mise en valeur	
<u>III - LE TRIPLE OBJET DE L'AMENAGEMENT</u>	8
A. - Navigation	8
B. - Hydroélectricité	9
C. - Problèmes ruraux	9
<u>IV - PROBLEMES POSES PAR L'AMENAGEMENT</u>	11
A. - Problèmes géologiques	11
B. - Les modifications imposées à la nappe	11

	<u>Pages</u>
<u>PREMIERE PARTIE - GEOLOGIE DU SITE</u>	13
I. - <u>GENERALITES</u>	15
a) Contexte régional	
b) Plan de l'étude	
II. - <u>TERRAINS DU SUBSTRATUM</u>	16
A. - Le cristallin	16
1. Morphologie	
2. Faciès pétrographique	
a) Anatexites	
b) Granites	
c) Granites à deux micas	
3. Tectonique	
a) Mégastructures	
b) Mésostructures	
4. Les pointements	
a) Localisation	
b) Etude pétrographique	
c) Etude de la fracturation	
d) Conclusion	
5. Altération	
6. Conclusion	
B. - Les marnes pliocènes	21
1. Géologie	
a) Affleurements	
b) Composition minéralogique	
c) Répartition	
2. Qualités géotechniques	
a) Granulométrie	
b) Minéralogie de la fraction argileuse	
c) Détermination de caractéristiques physiques	
3. Conclusions	
III. - <u>TERRAINS DE COUVERTURE</u>	28
A. - Alluvions fluvio-glaciaires	28
1. Alluvions würmiennes	
a) Terrasse principale	
b) Terrasse secondaire	
2. Alluvions rissiennes	
a) Terrasse principale	
b) Terrasse secondaire	
3. Quaternaire indifférencié	
4. Alluvions récentes	
B. - Loess et limons	31
1. Loess	
2. Limons	

	<u>Pages</u>
C. - Formes d'accumulation	32
1. Glacis de confluence	
2. Cônes de déjection	
D. - Conclusion	33
IV. - <u>RESUME DE L'HISTOIRE GEOLOGIQUE</u>	34
A. - Les terrains anciens	34
B. - La sédimentation	34
C. - Les phénomènes glaciaires	35
D. - Structure	35
V. - <u>RECONNAISSANCE GEOLOGIQUE</u>	37
A. - Prospection géophysique	37
B. - Campagne de sondages mécaniques préliminaires	38
1. Implantation	
2. Résultats	
3. Le toit du substratum	
4. Conclusion	
C. - Projet de campagne de sondages complémentaires	46
1. Sondages en petit diamètre	
2. Sondages en moyen diamètre	
3. Sondages en gros diamètre	
4. Essais spéciaux	
VI. - <u>CONSEQUENCES POUR LES OUVRAGES</u>	49
A. - Barrage	49
B. - Retenue	49
C. - Dérivation	50
D. - Usine et écluse	50
E. - Restitution	51
<u>SECONDE PARTIE - LES FORMATIONS AQUIFERES</u>	53
I. - <u>INTRODUCTION</u>	55
1. Problème géologique	
2. Problème de la perméabilité	
II. - <u>STRUCTURE DES ALLUVIONS</u>	56
A. - Alluvions anciennes	56
1. Description lithologique de quelques affleurements	
2. Répartition des éléments en fonction de leur nature pétrographique	
3. Observations relatives aux dépôts fluvio-glaciaires	
B. - Alluvions récentes	61

	<u>Pages</u>
1. Coupe au niveau du barrage	
2. Problème des chenaux	
3. Observations réalisées à Gervans	
C. - Conclusion	64
III. - <u>PERMEABILITE DES ALLUVIONS</u>	65
A. Mesures indirectes	65
1. Analyses granulométriques	
a) Alluvions récentes	
b) Alluvions anciennes	
2. Application de la relation de Hazen	
B. - Mesures directes	69
1. Essai Lefranc à débit constant	
2. Essai Lefranc à charge variable	
C. - Conclusion	75
<u>TROISIEME PARTIE - HYDROGEOLOGIE</u>	77
I. - <u>INTRODUCTION</u>	79
II. - <u>HYDROLOGIE SOMMAIRE</u>	80
A. - Le Rhône	80
1. Description du talweg	
2. Profil longitudinal	
3. Régime	
B. - Les affluents du Rhône	84
1. En rive droite	
2. En rive gauche	
C. - Bilan hydrologique	86
1. Précipitation	
2. Evapotranspiration	
3. Ruissellement	
4. Infiltration	
III. - <u>ETUDE DE LA NAPPE ALLUVIALE</u>	89
A. - Ecoulement	
A.I - D'après les cartes de nappes	89
1. Moyens d'étude	
2. Nappe haute du 26.1.68	
3. Nappe moyenne du 5.4.68	
4. Nappe basse du 2.8.68	
5. Influence des pompages	
6. Conclusion	

	<u>Pages</u>
A.II - D'après les variations des niveaux piézométriques	94
1. Variations dans l'espace	
a) Méthode d'étude	
b) Conclusions	
2. Variations dans le temps	
a) Méthode d'étude	
b) Choix de la période	
c) Les profils	
d) Conclusions	
B. - Caractères physico-chimiques	102
1. But et principe de l'étude	
2. Critères analysés	
a) Critères physiques	
b) Critères chimiques	
3. Différents apports d'eau à la nappe de rive gauche	
a) Eau du Rhône	
b) Eau de la terrasse	
4. La nappe alluviale de rive gauche	
a) Résultats des analyses	
b) Différenciation des familles d'eau	
c) Les différentes familles d'eau	
d) Conclusions	
C. - Les facteurs du bilan	110
1. Les apports	
a) Le Rhône	
b) Les apports climatologiques	
c) Les apports de versants	
2. Les pertes	
a) Les pompages	
b) Le Rhône	
c) Irrigation	
3. Conclusion	
IV. - <u>HYDRODYNAMIQUE SOUTERRAINE</u>	114
A. Les régimes de pompages	114
1. Régime permanent	
2. Régime transitoire	
3. Superposition des écoulements - Courbes de remontée	
B. - Essais de débit	117
1. Essai n° 1	
a) Palier à 650 m ³ /h	
b) Palier à 310 m ³ /h	
c) Courbe de remontée	
2. Essai n° 2	
a) Courbe de descente	
b) Courbe de remontée	

	<u>Pages</u>
3. Essai n° 3	
a) Courbe de descente	
b) Courbe de remontée	
4. Conclusion	
C. - Essai de prévision de l'état de la nappe après les travaux	124
1. Zone orientale	
2. Zone occidentale	
3. Conclusion	
<u>CONCLUSIONS GENERALES</u>	129

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE : Profils de variations de la nappe

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

-
- 1 - Cadre général (2)
 - 2 - Cadre géographique (5)
 - 3 - Abaque de plasticité (26)
 - 4 - Coupes géologiques schématiques (36)
 - 5 - Toit du substratum :
 - a) région de la Petite Gorge (41)
 - b) région du barrage (42)
 - c) plaine du Péage (43)
 - d) région de l'usine (45)
 - 6 - Coupes synthétiques dans les alluvions de terrasse (57)
 - 7 - Pourcentages pétrographiques des terrasses rhodaniennes (60)
 - 8 - Coupe géologique au droit du barrage (62)
 - 9 - Fuseaux granulométriques des alluvions récentes (66)
 - 10 - Fuseau granulométrique des alluvions anciennes (68)
 - 11 - Essai Lefranc à débit constant (70)
 - 12 - Essai Lefranc à charge variable : tableau de mesure (72)
 - 13 - Essai Lefranc à charge variable (73)
 - 14 - Courbe de tarage du Rhône à Serrières (82)
 - 15 - Niveaux classés du Rhône à Serrières (83)
 - 16 - Données pluviométriques de la station de Condrieu (85)
 - 17 - Températures moyennes mensuelles. Station de Condrieu (87)
 - 18 - Débits moyens journaliers du Rhône à Serrières en 1968 (90)
 - 19 - (a et b) Profils piézométriques (96 & 97)
 - 20 - Diagrammes d'analyses chimiques des eaux
 - a) le Rhône (104)
 - b) la terrasse (105)
 - c) la nappe de rive gauche (107)
 - 21 - Tableau comparatif des résultats des analyses chimiques (108)
 - 22 - Essai de débit n° 1 : courbes de descente (118)

- 23 - Essai de débit n° 1 : courbe de remontée (119)
- 24 - Essais de débit n° 2 et 3 : courbes de descente (122)
- 25 - Essais de débit n° 2 et 3 : courbes de remontée (123)
- 26 - Etat de la nappe après les travaux (126)
- 27 - La perméabilité des alluvions (134).

LISTE DES PLANCHES HORS-TEXTE

	<u>N° C N R</u>
1 - Géologie au 1/20 000	P.R. 1 - 19
2 - Toit du substratum en courbes de niveau au 1/10 000	P.R. 1 - 20
3 - Projet d'implantation de sondages complémentaires au 1/10 000	P.R. 1 - 16
4 - Nappe haute au 1/20 000	P.R. 1 - 29
5 - Nappe moyenne au 1/20 000	P.R. 1 - 28
6 - Nappe basse au 1/20 000	P.R. 1 - 26
7 - Egale différence entre deux nappes moyennes au 1/20 000	P.R. 1 - 27
8 - Zones d'influence de la nappe au 1/20 000	P.R. 1 - 17
9 - Situation des prélèvements d'eau effectués pour analyses au 1/20 000	P.R. 1 - 21
10 - Géochimie de la nappe alluviale de la rive gauche au 1/20 000	P.R. 1 - 33

INTRODUCTION

=====

I - PRESENTATION GEOGRAPHIQUE

A. CADRE

Entre Givors et Tournon, le Rhône traverse une région bien différente de celle qu'il laisse définitivement à l'île Crémieu. Les reliefs jurassiens et savoyards font place dès Lyon à une brusque disparité entre les deux rives, celle de droite montagneuse du Nord au Sud, celle de gauche, le plus souvent aplanie, aux formes molles.

Ce changement de caractère est à l'origine même de la distinction entre Haut et Bas-Rhône. Lyon, recevant les apports de la Saône, marque la frontière entre les deux domaines.

En effet, les monts du Beaujolais, du Lyonnais, puis du Vivarais contrastent avec les plaines des Dombes, des Terres Froides ou de la Bièvre Valloire, que rehaussent, sans jamais dépasser trois cents mètres de dénivellation à moins de trente kilomètres de la vallée, les plateaux de Bonnevaux et de Chambaran.

Toutefois, il arrive que des obstacles plus ou moins importants barrent la vallée, la resserrant en défilés, dont le plus célèbre est sans doute celui de Donzère, mais qui existent également sur le Bas-Rhône supérieur.

Alors, la rive gauche devient elle aussi escarpée, et l'œil est séduit par la beauté de ces Etroits, que certains se plaisent à comparer aux Portes de Fer du Danube. S'il est vrai que le Rhône est le seul grand fleuve qui puisse soutenir la comparaison, il est certain aussi que la grandeur du panorama que l'on découvre du Mont Pilat fait penser à ces vallées que seul un fleuve exceptionnel a pu façonner.

Le premier de ces défilés se situe entre Givors et Condrieu. Le Rhône suit un cours peu tourmenté, hormis la courbe majestueuse qu'il décrit devant Vienne, ville célèbre par ses vestiges gallo-romains.

A partir de Condrieu, le fleuve est la frontière naturelle entre les monts du Vivarais que domine le massif du Pilat, et les collines du Bas-Dauphiné, de topographie peu accentuée.

Un second défilé existe sur le Bas-Rhône supérieur en dehors des limites de cette étude ; il débute peu à l'amont de Saint-Vallier pour prendre fin à Tain - Tournon.

Enfin, la confluence de l'Isère, située quasiment au niveau de Valence, marque l'entrée du Rhône dans une région qui se distingue de la précédente, tant du point de vue orohydrographique que climatique, donc aussi économique.

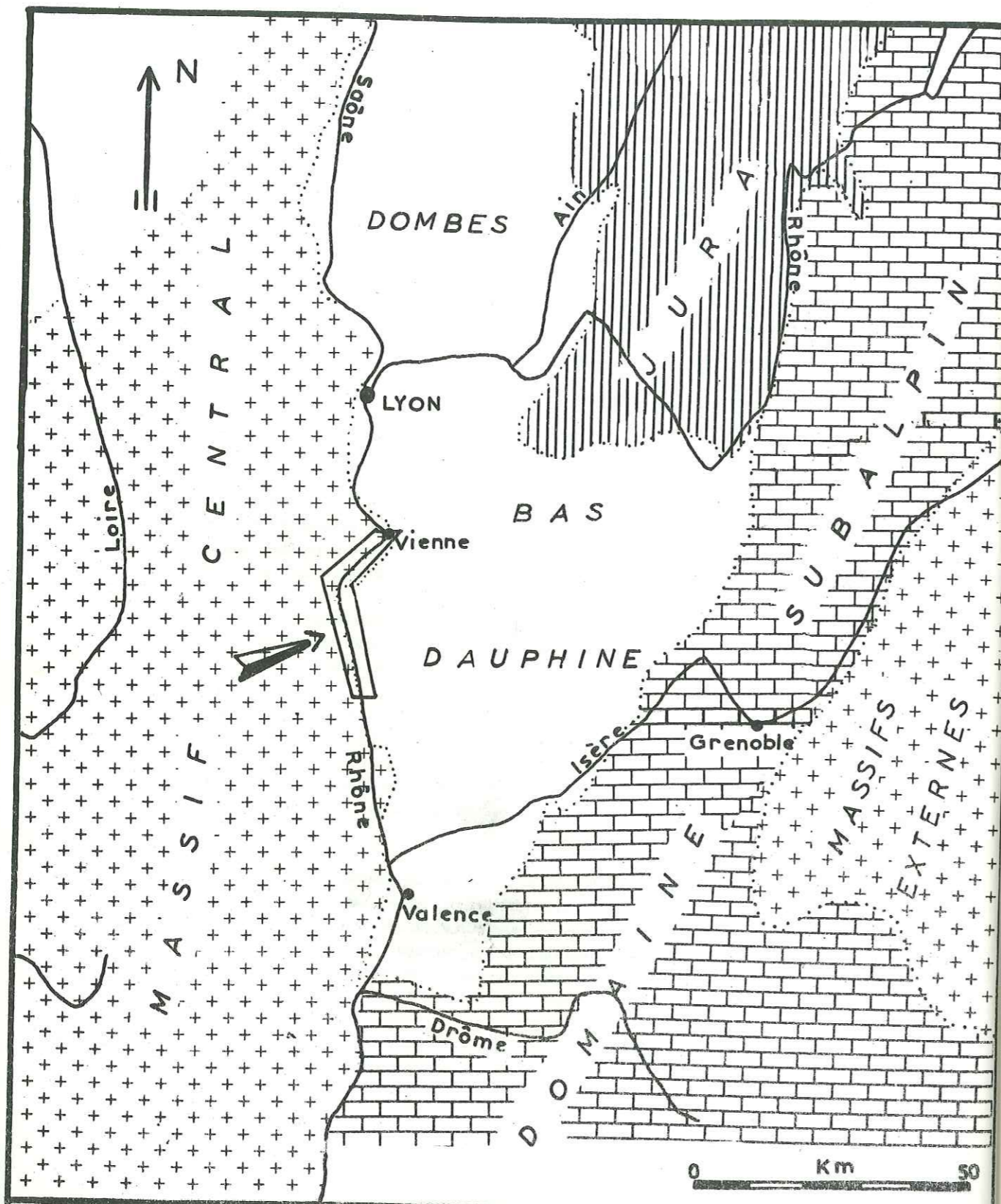


Fig 1 CADRE GENERAL

B. RESSOURCES

Il résulte de ce qui précède que l'activité humaine de cette région se présente sous deux aspects.

Dans les défilés, la route, éventuellement l'autoroute, et la voie ferrée, bien que le plus souvent accrochées au flanc de la vallée, occupent sur chaque rive une place relativement non négligeable. La "plaine" (*), en dehors évidemment des terrains inondables, offre un champ restreint aux exploitations agricoles, par ailleurs très morcelées. Les primeurs sont les produits qui assurent à la région sa réputation.

Remarquons aussi que sur le coteau granitique du Vivarais, lorsqu'il est bien exposé, la culture de la vigne, en gradins étroits et rocailloux, produit des crus renommés.

Sur le plan industriel, quelques usines situées à Givors et à Chasse sont des satellites de l'agglomération lyonnaise ou un relai entre celle-ci et le centre stéphanois tout proche. Vienne compte également plusieurs industries de transformation, qui en font un pôle d'attraction en plein développement.

Lors de l'élargissement de la vallée, la physionomie de l'activité humaine se modifie, principalement sur la rive gauche.

Les vergers (pêchers, cerisiers, avec très souvent entre chaque lignée d'arbres, des plans de fraisiers), peuvent se développer largement. Le maïs, le colza sont également d'importants produits locaux.

La taille des exploitations a considérablement augmenté ; plusieurs coopératives, touchant soit la production fruitière, soit la production viticole, trouvent leur place dans ce cadre.

A côté du secteur agricole, la majeure partie de l'activité est axée sur la présence d'usines de produits chimiques importantes, comme il en existe tout au long de la vallée. Concentrées surtout à Roussillon et Péage de Roussillon, ainsi qu'aux Roches de Condrieu, elles contribuent d'une manière prépondérante à la vie économique de la région.

D'autres industries se sont fixées sur l'une ou l'autre rive ; de taille plus réduite que les précédentes, elles jouent un rôle secondaire, qu'on ne peut cependant négliger.

Un aspect caractéristique de la vallée est l'existence de tout un secteur d'activité qui ne dépend que du Rhône lui-même. En effet, on trouve encore le long du fleuve-dieu, plusieurs chantiers navals, à l'état artisanal, spécialisés dans la construction de bateaux à fond plat, propres à la navigation sur le Rhône. On trouve aussi des passeurs, qui auprès de la "traille", regardent avec nostalgie leur bac qu'il importe seulement de nos jours de ne pas laisser entraîner lors d'une crue. Il y a enfin les mariniers, qui connaissent le Rhône, ses files, ses "lônes", et qui sont seuls à posséder avec toutes les qualités requises le sens de la navigation sur un fleuve où la vitesse du courant est parfois très grande, où les seuils et les rapides sont des obstacles qu'il faut savoir "prendre".

(*) - On désigne ainsi le niveau le plus bas des terrasses du Rhône.

II - DESCRIPTION SOMMAIRE DES OUVRAGES PREVUS

L'aménagement du Péage de Roussillon, le troisième à l'aval de Lyon, après ceux de Pierre Bénite et de Vaugris, intéresse la portion du Rhône, longue de 42 km au total, comprise entre Vienne au Nord, et Andance et Andancette au Sud. Il se situe aux confins de cinq départements : Rhône, Isère, Drôme, Ardèche et Loire.

Il sera réalisé selon un schéma analogue à celui des ouvrages antérieurs : à la suite d'un barrage, déterminant une longue retenue, les eaux du Rhône seront dérivées dans un canal, au bout duquel se trouveront une usine et une écluse, restituant ainsi au fleuve ses eaux naturelles.

Divers ouvrages annexes compléteront ce schéma.

La localisation et les caractéristiques de ces ouvrages correspondent à la description suivante (voir fig. n° 2).

A. OUVRAGES PRINCIPAUX

1) Le barrage

Situé au droit de Saint-Pierre-de-Bœuf, il sera implanté au PK 51 du Bas-Rhône (*), sur une dérivation du Rhône qui modifiera le lit mineur entre les PK 50,5 et 52. La cote de retenue a été fixée à 143,50 NGF, niveau supérieur d'environ 9 m à l'étiage et de 3 m aux plus hautes eaux, à l'endroit du barrage, avant l'aménagement.

Fondé sur les alluvions, ce barrage poids se composera, en principe, de six passes de 22 m d'ouverture, permettant en cas de crue, de laisser passer les débits qui ne seront pas dérivés afin de ne pas surélever le niveau de retenue à l'amont.

2) La retenue

Le remous ou surélévation du plan d'eau du Rhône atteindra 5 m environ en étiage à Condrieu. Il sera sensible jusqu'à Vienne (PK 27).

La retenue sera limitée par des digues insubmersibles, sur huit kilomètres de longueur, de Verin à Saint-Pierre-de-Bœuf en rive droite, et des Roches de Condrieu au barrage, en rive gauche.

Ces endiguements seront complétés chacun par un contre canal qui assurera le drainage des eaux percolant à travers les digues, des apports superficiels des bassins versants interceptés par les digues, et du trop-plein des nappes phréatiques.

Enfin, soulignons qu'il sera donné au Rhône une section spécialement étudiée, pour assurer un cheminement correct des débits solides.

(*) - Les kilomètres sont comptés sur le Bas-Rhône, à partir du Pont de la Mulatière à Lyon (PK 0), du Nord au Sud.

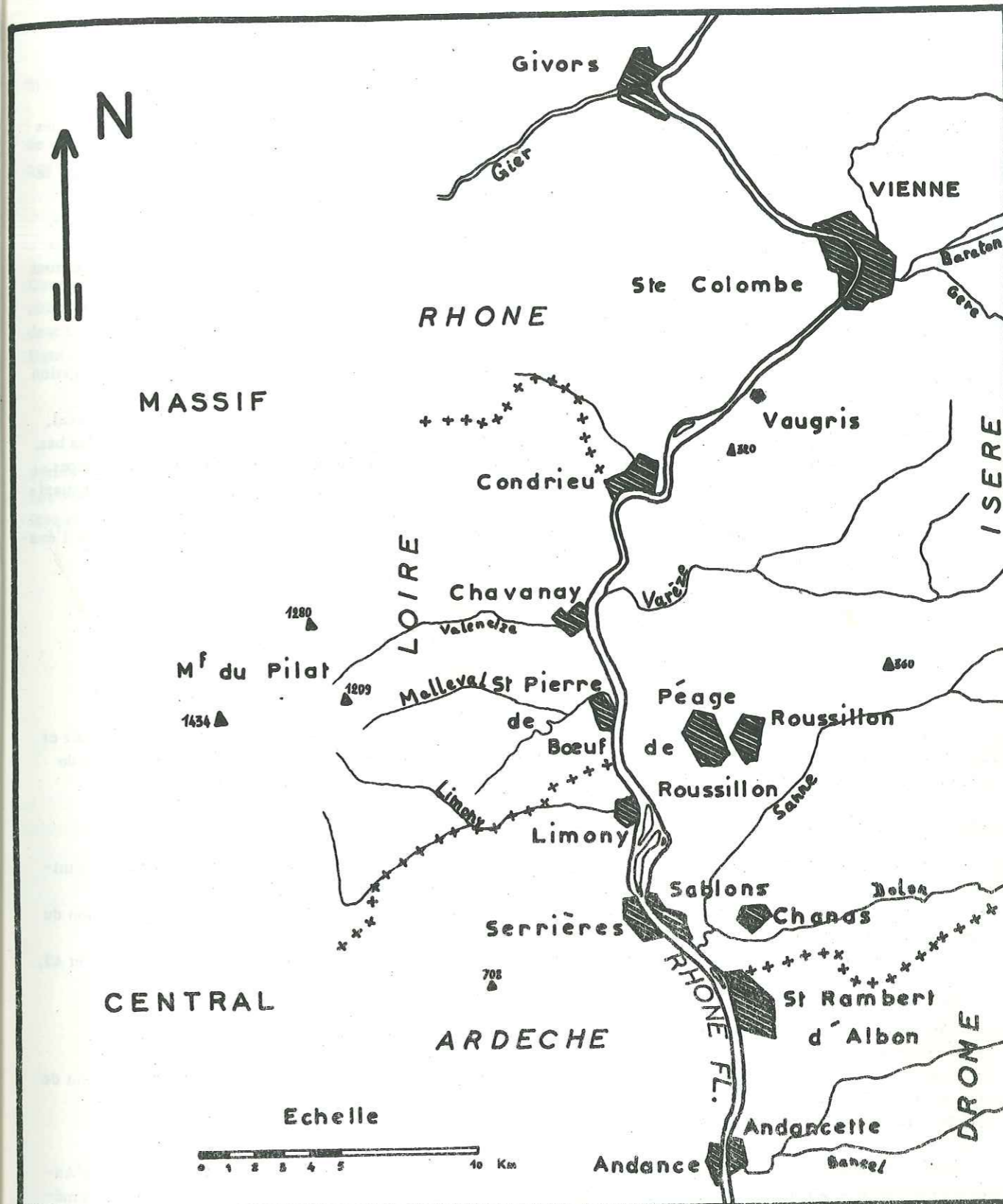


Fig 2 CADRE GEOGRAPHIQUE

3) Le canal de dérivation

Long d'environ 11 km, il circulera de Saint-Pierre-de-Bœuf à Saint-Rambert-d'Albon, en rive gauche, dans les alluvions modernes du Rhône. On compte 9,5 km de canal d'amenée et 1,5 km de canal de fuite.

Cette partie de la voie navigable aura bien sûr les caractéristiques requises quant à sa profondeur, sa largeur, le rayon de ses courbes et la vitesse du courant.

Ce canal, creusé dans les alluvions actuelles, sur une profondeur qui variera en moyenne entre 7 et 10 mètres, sera bordé par des digues dont le cavalier présentera une revanche d'au moins 1,50 m par rapport à la ligne d'eau la plus haute du débit dérivé maximum. Des contre-canaux ayant un rôle analogue à ceux de la retenue accompagneront ces digues.

4) L'usine et l'écluse

Au km 9,5 environ du canal de dérivation, sur la commune de Sablons, seront implantées l'écluse de navigation et l'usine hydroélectrique.

En ce qui concerne la première, longue de 195 m et large de 12 m, elle sera équipée de portes amont et aval, doublées de batardeaux. Un mouillage minimum de 3 mètres y sera assuré sous les niveaux d'exploitation les plus bas.

En ce qui concerne la seconde, juxtaposée à la première, elle sera, en principe, constituée de quatre groupes de type bulbe amont à axe horizontal d'une puissance de 40 000 kW chacun environ et pouvant turbiner un débit maximum de 500 m³/s environ chacun.

Cette usine sera munie également d'un déchargeur qui, outre ses fonctions normales pourra être utilisé pour l'évacuation des débits solides et éventuellement des débits exceptionnels de crue.

B. OUVRAGES ANNEXES

Outre les digues et les drains dont il a été question plus haut, l'aménagement du Péage-de-Roussillon prévoit et impose la création, la réfection, ou la construction de diverses installations qui contribueront au développement de la région, ainsi que des travaux sans lesquels la mise en valeur locale n'aurait été qu'incomplète.

1) Modification du lit du Rhône

C'est ainsi que le lit du Rhône doit être rectifié en plusieurs points, soit pour assurer le rayon de courbure minimum ou la largeur et la profondeur souhaitées de la retenue, soit pour faciliter l'ancrage des digues.

A l'amont de Condrieu, entre les PK 39 et 41, le Rhône devra subir une déviation sur la rive droite en raison du coude accusé qu'il décrit à ce niveau.

Pour le même motif, un rescindement de berge sera effectué à l'aval du pont de Condrieu entre les PK 42 et 43, en rive gauche.

Pour garantir à la retenue une largeur suffisante, des travaux analogues seront réalisés plus en aval :

- en rive droite, entre les PK 43 et 45, à l'aval de Saint-Michel-du-Rhône ;
- en rive gauche, entre les PK 46 et 49, à l'aval de Saint-Alban-du-Rhône où un ancrage en fonction du confluent de la Varèze sera indispensable ;
- en rive droite, entre les PK 48 et 50,5, entre Saint-Pierre-de-Bœuf et la Grande Gorge.

Enfin, des dragages seront effectués sur six kilomètres, de la restitution du canal de fuite (PK 63) au pont d'Andance et Andancette (PK 68,8), afin de garantir un mouillage suffisant à la navigation. Ce chenal raccordera l'aménagement du Péage-de-Roussillon au remous du barrage d'Arras (aménagement de Saint-Vallier).

2) Ouvrages de mise en valeur

Parallèlement à ces travaux annexes, plusieurs chantiers seront ouverts le long de l'aménagement afin d'une part de ne pas perturber les activités déjà existantes, et, d'autre part de parfaire sa rentabilité. C'est dans ce double but que les voies de communication seront rétablies en fonction des ouvrages principaux et qu'une zone portuaire sera créée.

a) Les voies de communication

Certaines seront rétablies à la suite de modifications apportées par la présence de la retenue et de la dérivation. Deux ponts seront édifiés sur le canal d'amenée, l'un dans la plaine de Péage-de-Roussillon, l'autre servant au franchissement de la RN 819 entre Sablons et Chanas. Deux autres ponts seront remaniés : le vétuste pont de Chavanay, qui devra franchir la retenue et le pont de Peyraud qui permettra le franchissement du canal de fuite et du Rhône, à la ligne S. N. C. F. de Saint-Rambert-d'Albon à Annonay.

b) La zone portuaire

Une plate-forme insubmersible, réalisée avec les excédents de déblais provenant du creusement du canal de dérivation, sera construite sur la commune de Sablons, en rive gauche du canal. Cette future zone portuaire de 65 hectares sera raccordée au réseau routier et ferroviaire déjà existant et ne manquera pas d'intéresser les industries pour lesquelles la voie d'eau représente un atout majeur ou simplement un moyen d'existence indispensable.

III - LE TRIPLE OBJET DE L'AMENAGEMENT

A. NAVIGATION

La vallée du Rhône a toujours été un couloir de passage très fréquenté, et les "barques" du début du siècle, les remorqueurs, pousseurs, automoteurs et autres d'aujourd'hui, ne sont pas à la veille de disparaître.

Au contraire, si un jour se réalise la jonction mer du Nord - mer Méditerranée, cet axe qui desservira la plus grande partie des pays de l'Europe occidentale devra répondre à des exigences accrues. Aussi, la Compagnie Nationale du Rhône (*) a-t-elle entrepris l'aménagement du Rhône français avec le souci de satisfaire aux normes internationales de la navigation fluviale, du moins dans son cours inférieur.

Les caractéristiques projetées sont les suivantes :

Rubriques	Avant	Après
	l'aménagement	
Mouillage minimum à l'étiage	1,80 m	3 m
Vitesse maximale du courant	3,5 à 4 m/s	2 m/s
Rayon de courbure minimum	300 m	800 m
Largeur du chenal	30 m	40 m

Ainsi, le Rhône de demain sera passablement amélioré : redressement de la voie navigable, fortement sinueuse dans le détail (**), suppression de nombreux seuils, diminution de la vitesse du courant, régularité beaucoup plus grande dans les possibilités de mouillage.

Et les quelques 100 unités du parc navigant du Rhône à l'heure actuelle (dont une seule assure le transport des voyageurs) verront leur productibilité considérablement accrue.

Dans cette optique, et en considérant que les ports de la région lyonnaise ont plus que triplé leur trafic entre 1950 et 1961, proportion que n'ont jamais atteinte les autres voies navigables françaises, on peut prédire un essor plus important encore à cette région à la fin des travaux.

(*) - Que l'on désignera plus loin par le sigle C.N.R.

(**) - L'enfoncement actuel à 1,50 m passera après aménagement à 2,50 m ce qui fera passer le tonnage utile d'un même bateau de 1 à 2,5.

B. HYDROELECTRICITE

L'amélioration de la voie navigable n'est que l'un des objectifs de la Compagnie Nationale du Rhône. Le second intérêt de l'aménagement est la production d'hydroélectricité. En effet, le régime du Rhône, complexe comme celui de tous les grands fleuves, est tel qu'un débit moyen important est assuré la plus grande partie de l'année. A cette constatation vient s'ajouter le fait que dans cette portion du Rhône, la pente moyenne du profil est assez élevée. Ces deux conditions réunies font que la production d'énergie hydroélectrique est un facteur non négligeable motivant l'équipement du grand fleuve.

En fixant la cote de retenue à 143,50 NGF, la hauteur de chute brute sera ainsi de 16 m. L'usine étant prévue pour turbiner un débit moyen de 1 600 m³/s, la production nette en haute tension atteindra, pour une année moyenne, 850 à 880 GWh.

Si l'on compare ces chiffres aux données identiques des aménagements de Génissiat ou de Donzère-Mondragon, les deux fleurons de l'équipement du Rhône, on constate que la productivité des ouvrages à l'étude est moindre. Mais il convient de noter que les conditions locales sont très différentes : Génissiat n'est pas équipé pour la navigation et jouit d'un site des plus favorables, et Donzère possède une dérivation exceptionnelle longue de 28 km et d'un débit du Rhône considérable.

Aussi, l'aménagement du tiers amont du Bas-Rhône, s'il se justifie principalement par l'amélioration de la voie navigable, n'en contribuera pas moins efficacement à la production hydroélectrique.

C. PROBLEMES RURAUX

Le troisième volet du tryptique concerne l'incidence de l'aménagement sur les besoins ruraux de la vallée, qui peuvent se subdiviser en trois points.

1) Lutte contre les inondations

Au niveau de la retenue, la section qui lui sera donnée sera telle que les crues seront moins dangereuses. Sa largeur sera augmentée notablement, et on prévoit qu'il en résultera à Condrieu un abaissement de 0,25 m de la crue exceptionnelle. Ensuite, tout le long de la retenue et de la dérivation, des digues insubmersibles protégeront les plaines cultivées, de manière absolue pour la plus grande partie et pour le reste, les submersions ne pourront se faire que par l'aval, ce qui en réduira la fréquence et l'importance. Au total, un millier d'hectares sera ainsi protégé.

Au niveau de la dérivation, un second millier d'hectares se trouvera en bordure du Rhône court-circuité, où l'importance des crues sera minimisée au maximum, du fait de la dérivation d'une grande partie des débits.

2) Assainissement

La répercussion des travaux sur les eaux souterraines sera plus difficile à évaluer et à contrôler. Toutefois, les contre-canaux en pied de digues permettront de surveiller et de maîtriser le niveau de la nappe phréatique, à l'amont du barrage et le long du canal de dérivation. On évitera ainsi toute surélévation dommageable pour les sous-sols et les fondations.

Dans ce but également, les drainages affluents, naturels comme la Varèze, ou artificiels, comme les collecteurs d'égouts communaux et industriels, nécessiteront des ouvrages spéciaux : rectification du lit de la Varèze, construction d'un drain à Condrieu qui véhiculera les eaux usées jusqu'au canal, par exemple.

Ces travaux d'assainissement compléteront ces réalisations.

3) Irrigation

On estime qu'à l'aval du barrage, au droit du Rhône court-circuité, le niveau du fleuve baissera de 1,70 m en étiage et de 3,50 m en eaux moyennes. Cette baisse aura pour conséquence principale de diminuer la tranche d'eau souterraine.

Les pompages, industriels ou communaux, risquent de voir leur alimentation amoindrie ; les terres de culture risquent de subir quelques dommages.

Sur ce dernier point, un programme agricole a été dressé prévoyant un système d'irrigation, qui, touchant environ 500 hectares, ne se contentera pas de palier à d'éventuelles dégradations mais stimulera l'essor de la région.

IV - PROBLEMES POSES PAR L'AMENAGEMENT

La réalisation du projet de la C. N. R. soulève différents problèmes d'ordre géologique et hydrogéologique. Le but de cette étude est de contribuer le plus efficacement possible à déterminer de façon précise les difficultés qui pourront surgir lors de l'exécution des travaux, à en estimer l'importance, et éventuellement à examiner quelles solutions peuvent être adoptées.

A. FACTEURS GEOLOGIQUES

Une première partie sera consacrée à l'examen des différentes formations géologiques intervenant à des degrés divers sur les ouvrages. En se basant essentiellement sur un levé géologique au 1/20 000, on étudiera successivement les terrains du substratum et les terrains de couverture. Un développement d'ordre géologique pur concernant les pointements de roche cristalline que l'on trouve au milieu de la vallée, conciliera les deux objectifs de cette partie : étudier d'une façon générale les terrains qui forment l'ensemble de la vallée dans le tronçon qui nous occupe, et dégager de ces observations ce qui intéresse directement les projets.

Dans cette optique, une synthèse des documents déjà en possession de la C. N. R. précèdera l'exposé d'un projet de travaux de reconnaissance définitif.

Une seconde partie traitera de la structure et de la perméabilité du remplissage alluvial de la vallée, vu sous l'angle de la Géologie Appliquée. Elle assurera la transition avec la troisième partie.

B. MODIFICATIONS IMPOSEES A LA NAPPE

Dans cette troisième partie, on étudiera la nappe alluviale de la vallée du Rhône.

C'est en rive gauche, au Sud du défilé de Condrieu que se situent les problèmes majeurs. En effet, la cote de la retenue et du plan d'eau dans le canal sera sensiblement au-dessus du terrain naturel, et la nappe phréatique subira sans aucun doute les répercussions de ces nouvelles conditions aux limites.

Il apparaît donc déjà nécessaire d'étudier la nappe dans son état actuel.

Exploitée actuellement d'une façon importante, cette nappe le sera probablement davantage encore par la suite. Il est donc souhaitable d'en connaître, avant les travaux, les caractéristiques. Elles permettront ensuite un essai d'évaluation des conséquences de l'aménagement sur ces exploitations.

En outre, cette étude constituera une référence si des problèmes particuliers se posent pendant ou après les travaux.

En définitive, il s'agit donc d'étudier les conditions géologiques et hydrogéologiques de l'aménagement de Péage-de-Roussillon.

PREMIERE PARTIE

=====

GEOLOGIE DU SITE

=====

I - GENERALITES

a) Contexte régional

Si l'on veut replacer la région étudiée dans son cadre géologique, on est obligé de faire intervenir plusieurs formations non représentées sur la carte ci-jointe (voir planche hors-texte n° 1).

En effet, la limite entre le Massif Central, constitué non seulement de terrains cristallins ou cristallophylliens, mais aussi de roches primaires, secondaires et tertiaires, et la Bièvre Valloire, formée d'un Quaternaire bien développé (dépôts fluvio-glaciaires) ne se conçoit que comme séparation entre deux domaines bien différents.

Les monts du Vivarais, qui forment la rive droite du Rhône à ce niveau, sont les derniers pointements vers l'Est, d'un vieux socle, en apparence homogène, qui se prolonge sous les "Terres Froides" vers l'Île Crémieu, ainsi que l'ont confirmé des sondages plus ou moins récents.

Le Quaternaire n'est représenté, entre Vienne et Andance, que par quelques placages de loess.

En revanche, la rive gauche du Rhône montre par ses affleurements une ordonnance plus complexe. En dehors des terrains mentionnés ci-dessus, très localisés, et des dépôts fluvio-glaciaires qui couvrent une très grande superficie, la molasse miocène et les marnes pliocènes viennent former le substratum des formations quaternaires. A noter que la molasse n'intervient pas directement sur les études relatives à l'aménagement.

b) Plan de l'étude

L'étude géologique qui suit comporte cinq chapitres. Les deux premiers sont consacrés aux formations observables à la surface, même si pour certaines, il n'y a pas d'affleurements localisés sur le secteur de la carte.

Ce sont :

- les terrains du Massif Central,
- les marnes bleues pliocènes,
- les formations fluvio-glaciaires de la Bièvre,
- les placages quaternaires.

Un troisième chapitre dressera un tableau rapide de l'histoire géologique régionale et de la structure générale de l'ensemble.

Dans une quatrième partie, il sera procédé à l'analyse des résultats de campagnes de reconnaissance déjà effectuées, ainsi qu'à la préparation d'une campagne de sondages complémentaires.

Enfin, les incidences de la géologie sur les travaux feront l'objet du dernier chapitre.

II - TERRAINS DU SUBSTRATUM

Les terrains qui forment le substratum sous-alluvial dans le secteur étudié, sont également visibles à l'affleurement. Ce chapitre étudiera donc ces formations en tenant compte à la fois des observations de surface, n'entrant pas forcément dans le cadre strict de ce secteur précis, et des données des sondages déjà effectués.

Deux distinctions s'imposent :

- les terrains cristallins du Massif Central,
- les marnes bleues pliocènes.

A. LE CRISTALLIN

1. Morphologie

Les monts du Vivarais qui constituent vers l'Ouest le relief dominant la région, culminent au Crêt de la Perdrix (1434 m) dans le massif du Pilat. De ce sommet jusqu'au Rhône, trois gradins se succèdent aux altitudes approximatives de 1000, 600 et 300 à 400 mètres. L'observation de ce dernier, le plus étendu en largeur, montre :

- une surface topographique très irrégulière, bien que souvent ennoyée sous des dépôts loessiques,
- une contre-pente vers l'amont de la vallée,
- une extension limitée, vers le Nord et vers le Sud,
- un contact très net, orienté Nord-Sud, avec le rebord du gradin immédiatement supérieur.

A la lumière de ces données, il est clair que ce replat n'est d'origine ni marine (la mer pliocène a pourtant atteint un niveau élevé), ni même fluviale, mais que seule l'hypothèse d'une origine tectonique puisse être retenue.

De toute façon, seul le rebord de ce gradin nous intéresse ici. Il se présente comme une masse homogène, aux formes molles, disséquées par de nombreux talwegs à caractère torrentiel.

Sa pente est en général forte : 25 à 30 %.

2. Faciès pétrographiques

Sans entrer dans le détail de ces formations cristallines, nous signalerons que les faciès les plus couramment représentés sur le rebord du Massif Central sont les suivants :

- des Anatexites,
- des Granites,
- des Granites à deux micas.

a) Anatexites (J.P. GUELPA, 1966)

Il s'agit d'une formation métamorphique représentée dans sa majeure partie par une roche claire, à grain moyen ou fin, de structure granoblastique, équante.

L'étude microscopique montre que le quartz est en général abondant ; il est même parfois le constituant essentiel de la roche ; de plus, il montre fréquemment une extinction roulante, qui indique, au moins pour certaines zones des efforts mécaniques subis par la roche.

Les feldspaths sont alcalins et calco-sodiques ; les premiers souvent accompagnés de bourgeons de myrmékite.

Les biotites, parfois chloritisées, sont disséminées dans la masse de la roche, ou bien se concentrent en lits souvent plissotés, et dans ce cas, la roche prend l'aspect d'un gneiss.

Il est possible aussi, de trouver des minéraux typiques du métamorphisme de cette région : amas de cordiérite et de sillimanite associées.

J.P. GUELPA admet comme formation mère de ces anatexites "un ensemble volcanique ou volcano-sédimentaire - coulées, tufs, grès pyroclastiques associés - de chimisme rhyolitique".

Quoi qu'il en soit, c'est le faciès le plus commun dans le secteur de cette étude.

b) Granites

Ce deuxième faciès est, sur le terrain, lié au précédent ; le passage de l'un à l'autre se fait progressivement, mais sur une faible distance. Toutefois, les enclaves de Cristallophyllien y sont nombreuses, au moins sur sa périphérie.

C'est une roche à grain moyen, de couleur gris clair à gris bleuté.

L'examen microscopique montre que le quartz est présent en quantité importante ; il est plus rarement cataclastique que dans le cas précédent.

Les feldspaths sont là encore de deux types : les feldspaths alcalins, avec bourgeons de myrmékite, et les plagioclases, avec veinules perthitiques.

La biotite existe aussi, mais en plus faible proportion.

La cordiérite, enfin, est peu abondante.

Il s'agit donc d'un granite à cordiérite, que l'on rencontre principalement au droit des agglomérations de Saint-Pierre-de-Bœuf, de Serrières et de Peyraud.

c) Granites à deux micas

Associé également de très près aux anatexites, ce troisième faciès se distingue du précédent par le fait que la muscovite s'adjoint au cortège minéralogique, alors que la cordiérite fait défaut.

Il s'agit d'un granite à deux micas, à grain fin, où la muscovite abondante se présente en grandes lamelles qui s'associent tantôt au quartz, tantôt à la biotite.

J.P. GUELPA (ibid.) souligne "la postériorité du granite à deux micas par rapport à la série cristallophyllienne et à la granitisation normale, ... qui ressort de son mode de gisement fréquent en filons... recoupant franchement métamorphites et granites à biotite".

Ce faciès domine principalement entre Chavanay et Condrieu.

3. Tectonique

Nous distinguerons les observations faites à l'échelle régionale ("mégastructures") de celles faites à l'échelle de l'affleurement ("mésostructures").

a) Mégastructures

A l'échelle des "mégastructures", il apparaît trois réseaux de fractures groupées principalement comme suit, par ordre d'importance décroissante :

- fractures orientées NE-SW ; (direction varisque).
- fractures orientées N-S ; ce sont les plus récentes ;
- fractures orientées NW-SE, peu visibles en surface ; elles sont décrochées par les précédentes donc leur sont antérieures.

Ces fractures, et surtout les premières citées, sont très souvent jalonnées de mylonites, parfois épaisses. Signalons à ce propos que le faciès prédominant au Nord de Saint-Pierre-de-Bœuf, qui est celui d'une mylonite, correspond plus à une zone de broyage et d'écrasement qu'à une zone de faille. Il s'agit donc d'une mylonite au sens pétrographique du terme.

Il a été aussi reconnu des remplissages filoniens de quartz, accompagné ou non de barytine, dans la plupart de ces grandes cassures.

Plusieurs auteurs, en particulier M. CHENEVOY (1962 et 1963) et ses élèves, ont montré qu'il s'agissait là d'accidents cassants, à rejet vertical ou subvertical, infirmant ainsi la thèse de A. DEMAY (1931 et 1945) qui expliquait la structure de ce secteur par la superposition de 3 nappes de charriage, dont les mylonites, en position horizontale ou subhorizontale, en représentaient les limites respectives.

L'origine tectonique de la vallée du Rhône par effondrement du type Graben ne peut donc plus être mise en doute, ce qui est confirmé, rappelons-le, par les données morphologiques.

b) Mésostructures

A l'échelle des "mésostructures", une étude de détail a été effectuée, dont la justification apparaîtra au paragraphe suivant. Des mesures d'orientation de fractures et de diaclases relevées, en rive droite, dans deux carrières situées l'une au Sud de Chavanay, l'autre au Nord de Saint-Pierre-de-Bœuf, montrent un bon groupement en familles, accompagné aussi de quelques valeurs isolées.

Les résultats peuvent être présentés sous forme de tableau :

	Saint-Pierre-de-Bœuf		Chavanay	
	Orientation sur le Nord	Pendage	Orientation sur le Nord	Pendage
Famille I	78 85	90	90	45 N
Famille II	160 175	65 75 W		
Famille III	115 125	70 75 S	115 130	90
Famille III	140	90	140	70 E
VALEURS ISOLEES	8	80 W	0 40 50	82 W 15 25 W

La première conclusion est que les valeurs obtenues se retrouvent sensiblement d'un affleurement à l'autre. Toutefois, la famille II, si nette à Saint-Pierre-de-Bœuf, n'apparaît pas à Chavanay ; peut-être la disposition de la carrière elle-même masque-t-elle cette orientation.

La seconde conclusion fait ressortir que les grandes fractures n'apparaissent pas, ne se reflètent pas sur les diaclases. En effet, il n'a pas été relevé d'orientations correspondant au Nord, au Nord Est, excepté à Chavanay, mais ces mesures, par ailleurs peu nombreuses ne se retrouvent pas à Saint-Pierre-de-Bœuf.

4. Les "Pointements"

En dehors des affleurements de la rive droite du Rhône, et de ceux situés en rive gauche entre Vienne et Les Roches de Condrieu, il existe plusieurs pointements de roches cristallines, dont certains, de dimension réduite il est vrai, ne figurent pas sur la carte géologique de la région.

a) Localisation

Deux de ces témoins sont très nets ; l'un est situé en rive droite, entre Chavanay et Saint-Pierre-de-Bœuf, à hauteur du lieu-dit "la Petite Gorge". De dimension restreinte, il perce la couverture des alluvions récentes à environ 500 m du rebord cristallin. Son sommet dépasse à peine celui des pêchers qui l'entourent !!

Le second, sur la rive gauche, est beaucoup plus évident, car il donne les reliefs qui dominent Andancette, au Sud du secteur cartographié.

Enfin, discret lui aussi, un pointement cristallin de ce type porte le château de Saint-Alban-du-Rhône, et provoque l'avancée de la haute terrasse au milieu de la plaine ; il est logique de penser que c'est le même pointement qui affleure, une centaine de mètres plus au Nord, en bordure même du Rhône, et aussi, un peu à l'Est du château, dans le lit de la Varèze.

Ce même éperon est également visible, à la faveur de l'ouverture très récente d'une carrière, située en contre-bas du cimetière de Saint-Alban, où il n'est surmonté que de deux à trois mètres d'alluvions anciennes.

b) Etude pétrographique

Cette étude porte uniquement sur le pointement de la Petite Gorge ; les résultats de cette étude seront ensuite comparés aux affleurements de Chavanay et de Saint-Pierre-de-Bœuf.

* La Petite Gorge

L'affleurement se présente comme une masse sombre, en raison de l'altération superficielle. Les dimensions en sont réduites : environ dix mètres de longueur et trois ou quatre de largeur. Le sommet est aplani et les contacts avec les alluvions sont nets, le rebord ouest étant subvertical, le rebord est étant incliné avec une pente qui reste encore forte.

Macroscopiquement, l'échantillon se présente comme un granite de couleur gris moyen, à grain grossier, isogranulaire, de structure équante.

En lame mince, on observe :

- de nombreux cristaux de quartz, à extinction roulante ;
- des feldspaths potassiques et calco-sodiques très altérés ; les potassiques sont fréquemment pœcilitiques ; parmi les plagioclases, les plus nombreux sont sodiques ; ils sont très fragmentés ;
- des minéraux phylliteux : la muscovite tient une place extrêmement réduite, tandis que la biotite (seul minéral mélanocrate) existe en quantité notoire ; elle est très chloritisée et peut présenter, bien que rarement, des inclusions de zircons.

En conclusion, nous avons ici un granite très tectonisé, à structure "en mortier", voisine de celle d'une mylonite. L'altération et le broyage des minéraux laisse penser que la roche a subi des efforts mécaniques importants.

* Chavanay

L'échantillon macroscopique indique que nous sommes en présence d'une roche moins fracturée que la précédente ; le grain en est moyen et régulier ; les minéraux mélanocrates abondants se concentrent en de minces lits plissotés, le matériel leucocrate étant quartzo-feldspathique.

En lame mince, on observe :

- des cristaux de quartz, à extinction roulante ; ils sont moins abondants que dans la lame précédente ;
- des feldspaths, parmi lesquels les potassiques, poecilites, sont fréquemment muscovitisés ; les plagioclases, séricitisés, sont beaucoup moins fragmentés que ceux de la lame de la Petite Gorge ;
- la biotite, en paillettes bien développées, de couleur rouge brun ; elle est très abondante ;
- la muscovite, en petits éclats, est aussi représentée en assez grande quantité.

En conclusion, nous avons ici un granite à deux micas, voisin d'un granite d'anatexie, par sa structure en "bouffées" qui est caractérisé par un état de "rafacheur" nettement plus évident que dans la lame taillée dans le pointement de la Petite Gorge.

* Saint-Pierre-de-Bœuf

Macroscopiquement, il s'agit d'une roche très leucocrate, à grain moyen à fin, isogranulaire, de structure équante, qui se rapproche du faciès d'une aplitite.

La lame mince taillée dans cette roche montre :

- le quartz, en nombreux cristaux à extinction roulante ; il présente en outre de fréquentes recristallisations ;
- les feldspaths potassiques, avec des inclusions perthitiques, et plagioclases, voisins du pôle albitique (An 10-15), souvent séricitisés ;
- la biotite, qui existe en petites paillettes, disséminées dans la roche. Elle est peu abondante ;
- la muscovite, enfin, qui peut seulement figurer au rang des minéraux accessoires.

En conclusion, nous sommes en présence d'une roche, où, les minéraux fragmentés ayant subi des déformations mécaniques, la structure est celle d'une mylonite.

* Conclusion

En définitive, la roche qui constitue le pointement de la Petite Gorge, est à rapprocher du faciès de Saint-Pierre-de-Bœuf, plus que de celui de Chavanay. On peut donc penser que ce pointement, formé d'une roche dure et résistante (telles que le sont les mylonites) s'est trouvé ramené au niveau de la vallée par le jeu ou le rejou de fractures, les déformations des minéraux venant étayer cette hypothèse.

L'ancienneté de ce réseau de fractures expliquerait alors l'ennoiement de ce relief sous les alluvions du Rhône.

c) Etude de la fracturation

Un relevé d'orientation de fractures et de diaclases a été réalisé, tant sur le pointement de la Petite Gorge que sur celui de Saint-Alban, dans le but de déterminer si, par ces directions, il était possible de relier ces pointements au massif de la rive droite.

A Saint-Alban, les directions suivantes ont été trouvées :

- fractures principales : N 110-120, pendage subvertical ;
- fractures secondaires : N 85- 90, pendage 15-25 N ;
- mesures isolées : N 165-170, pendage 60-65 W.

A la Petite Gorge, les orientations suivantes ont été mesurées :

- fractures principales : N 160-165, pendage 70-80 W ;
- fractures secondaires : N 75- 80, pendage subvertical ;
- valeurs isolées : N 30 , pendage 60 S.

En conclusion, les différences de mesures que l'on trouve ici, sont les mêmes que celles qui apparaissent sur la rive droite ; le pointement de Saint-Alban serait à mettre en regard de l'affleurement de Chavanay, celui de la Petite Gorge à paralléliser avec celui de Saint-Pierre-de-Bœuf.

d) Conclusion

Qu'il s'agisse de l'étude pétrographique ou de l'étude de la fracturation, la conclusion qui s'impose à propos de ces pointements est qu'ils sont à rattacher aux affleurements de la rive droite, par l'intermédiaire d'accidents, maintenant masqués par les alluvions du Rhône, de direction nord est - sud ouest, faisant remonter le compartiment situé au Nord Ouest. Ainsi le pointement de la Petite Gorge serait à rattacher aux affleurements de Saint-Pierre-de-Bœuf, celui de Saint-Alban à ceux de Chavanay. C'est du moins ce qu'on conduit à penser les observations de surface.

Cette direction étant celle des fractures les plus anciennes, expliquerait le modelé du substratum tel qu'il ressort de l'étude des sondages, comme nous le verrons plus loin. Mais il n'est pas exclu que ce relief ait été accusé lors d'une phase tectonique plus tardive, celle qui a engendré les cassures nord-sud, par exemple.

5. Altération

Le socle cristallin a été soumis pendant une très longue période aux agents d'érosion. Ce phénomène, dû à une émergence prolongée, se traduit par le fait que sur une grande épaisseur la roche est très altérée.

Sur les différents replats, existe un recouvrement d'arène granitique important, qui n'a pas été sans jouer de rôle au Pliocène, comme nous le verrons plus loin.

L'altération a également influé sur la présentation actuelle des affleurements : patine gris sombre, roche arénisée, ou se débitant en fragments pelliculaires, ...

Enfin, remarquons que la fracturation a été soulignée par cette altération : les diaclases sont marquées par des concentrations d'oxydes ; les familles de fractures apparaissent à l'affleurement d'une façon plus évidente, sur une épaisseur que l'on peut estimer à quatre ou cinq mètres.

6. Conclusion

Il ressort donc que les terrains cristallins qui forment principalement la rive droite, montrent des roches, la plupart du temps, très altérées et très tectonisées.

Les efforts mécaniques visibles à l'échelle microscopique sont à relier aux mouvements tectoniques qu'a subi le bord de la vallée.

Certaines des différentes failles connues qui affectent le massif, peuvent se prolonger sous le remplissage alluvial, mais ne doivent pas avoir d'influence sur le programme des travaux.

Par contre, il est permis de supposer que les projets concernant la région de Condrieu à Saint-Michel-du-Rhône, pourront malgré la pente du versant, mais en raison de sa proximité, atteindre le terrain cristallin suivant la profondeur à laquelle ils doivent être réalisés. C'est pourquoi une reconnaissance détaillée devra être effectuée dans ce secteur.

B. LES MARNES PLIOCENES

Correspondant au Tertiaire terminal, les marnes qui forment l'essentiel en superficie du substratum sous-alluvial de la vallée dans le secteur considéré, sont importantes à plusieurs titres :

- du point de vue purement géologique, se pose le problème de leur âge et de leur répartition ;
- du point de vue géotechnique, ce sont les seuls terrains que les fouilles sous les alluvions atteindront, et sur lesquelles seront fondées l'usine et l'écluse de Sablons.

1. Géologie

a) Affleurements

Connues uniquement par sondages dans l'axe de la vallée, ces marnes affleurent sur la bordure en quelques endroits bien précis : Loire-sur-Rhône, et surtout Roussillon et Salaise-sur-Sanne, au débouché de la Bièvre Valloire.

Il s'agit d'une formation, qui à l'affleurement se présente en une masse homogène de couleur gris bleu à gris clair, lorsqu'elle est sèche, devenant bleu foncé quand l'échantillon est humide (en place). En surface, la partie superficielle présente une altération de couleur beige jaunâtre, dont l'épaisseur est variable.

Ces marnes ont fait l'objet d'exploitations en carrière à ciel ouvert pour l'extraction "d'argiles sableuses" destinées à la fabrication de poteries, terres cuites, tuiles, etc..

Très finement litées, présentant de minces lits de granulométrie plus élevée, plus sableux, elles ne contiennent qu'exceptionnellement des macrofossiles ; leur microfaune, par ailleurs réputée abondante, n'a livré, dans la région, que quelques rares espèces, toutes trouvées dans la fraction granulométrique inférieure à 0,200 mm. Ce sont :

- Nonion sp
- Globigerina cf concina (Reuss)
- Ammodiscus cf incertus (d'Orb.)

Le faciès de ces marnes indiquant un milieu euxinique, il n'est pas surprenant que les faunes rencontrées soient de petite taille.

Les déterminations concernant une faune plus abondante soulève en fait le problème de leur âge véritable.

En effet, si la comparaison avec le stratotype leur donne un âge "plaisancien", les microfossiles qui y ont été trouvés par différents prélèvements leur donnent une extension plus grande, puisqu'on y signale une faune d'âge "astien".

Il paraît donc plus prudent de leur conserver l'appellation de marnes "pliocènes", sans préciser davantage.

b) Composition minéralogique

D'un point de vue général, les marnes que l'on trouve dans le secteur de Péage-de-Roussillon sont constituées de quartz, de calcite et dolomie, de minéraux argileux, de feldspaths et de micas, ces deux derniers en proportion infime.

Par rapport à ce qui a été trouvé lors d'aménagements antérieurs, plus méridionaux, on peut constater qu'il s'agit d'une formation moins argileuse et plus riche en quartz.

Les pourcentages approchés des principaux minéraux sont d'ailleurs les suivants :

- quartz 25 % (10-35 %)
- calcite 30 % (20-50 %)
- minéraux argileux 45 % (15-60 %).

Les valeurs indiquées sont des chiffres moyens, accompagnés des valeurs extrêmes rencontrées au cours des différentes analyses.

Cette proportion relativement forte en grains de quartz détritique est, comme nous le verrons plus loin, probablement responsable de la résistance mécanique plus grande de ces marnes dans le secteur étudié que de celles connues plus au Sud dans la vallée.

c) Répartition

Le problème de la répartition de la formation marneuse est déjà posé par la position même des affleurements dont il vient d'être question. En outre, ces marnes bleues sont aussi connues dans les vallées affluentes du Rhône que sont, en rive droite, celles de l'Eyrieux et du Doux, au Sud, et en rive gauche, celle de Bièvre Valloire, au Nord.

Il ressort de ces observations que l'on trouve le toit de la même formation à des cotes très différentes, entre 110 et 120 NGF dans l'axe de la vallée, entre 160 et 170 ou plus dans les vallées affluentes.

De plus, il faut remarquer qu'un sondage profond situé au niveau de Péage-de-Roussillon, ayant touché, sous les alluvions anciennes le toit des marnes à la cote 120 NGF, les a traversées sans en atteindre la base sur une longueur de 227 mètres.

Par conséquent, pour expliquer ces phénomènes, en écartant l'hypothèse de mouvements tectoniques post-pliocènes d'une telle importance, seule l'idée d'un surcreusement considérable dans l'axe d'écoulement du Rhône peut retenir l'attention, en ce qui concerne les différences d'altitude du toit de ces marnes.

A condition que la formation soit horizontale, ce surcreusement aurait donc atteint au minimum une cinquantaine de mètres, au droit du débouché de la Bièvre Valloire, et probablement davantage, si l'on considère que dans le défilé de Vienne Condrieu, un sondage a traversé les alluvions sur cinquante mètres environ, et n'a atteint le substratum marneux qu'à une cote voisine de 90-100 NGF, ce qui implique, compte tenu de la pente générale de la vallée, un surcreusement de quatre vingt mètres, au minimum, la limite supérieure n'étant pas connue avec suffisamment de données.

L'épaisseur de cette formation, si l'on admet la valeur précédente comme amplitude de surcreusement au droit de la Bièvre-Valloire, se chiffre à 280 ou 300 mètres au minimum.

En résumé, nous pouvons dire que les marnes pliocènes se sont déposées à la faveur d'un affaissement considérable (leur épaisseur totale atteint 300 mètres au minimum), probablement rapide, en raison de leur homogénéité. Puis une phase de creusement est intervenue consécutive à la régression post-pliocène, entraînant au toit de cette formation, des dénivellations de l'ordre de 50 à 80 mètres.

Remarquons enfin que cette proposition coïncide assez bien avec celle de l'origine tectonique de la vallée du Rhône.

2. Qualités géotechniques

A ce stade des études, les marnes pliocènes ont fait l'objet d'analyses variées, destinées à reconnaître certaines caractéristiques : granulométriques, minéralogiques, mécaniques.

Nous examinerons les résultats donnés par ces différentes méthodes d'investigation.

a) Granulométrie

Signalons que la classification granulométrique adoptée est la suivante :

argile	d inférieur à 0,0005 cm
silt	d compris entre 0,0005 et 0,005 cm
sable très fin	d compris entre 0,005 et 0,01 cm
sable fin	d compris entre 0,01 et 0,02 cm

et que ces termes sont employés ici dans un sens granulométrique et non géologique.

Les résultats dépouillés concernant des analyses effectuées sur des échantillons prélevés sur les carottes des sondages R 48 à 52, donc dans la zone où est projetée l'implantation de l'usine.

La composition granulométrique moyenne est la suivante :

- argile 30-35 % (22,5 - 50 %)
- silt 55-60 % (52,5 - 70 %)
- sable 10-12 % (0,5 - 35 %).

Les valeurs indiquées sont des chiffres moyens, accompagnées, entre parenthèses, des valeurs extrêmes rencontrées au cours des différentes analyses.

Si l'on se réfère à la classification de la "Public Roads Administration", il s'agit donc d'une "argile silteuse".

De plus, si on regarde les pourcentages de chaque échantillon, sondage par sondage, on constate que, avec l'augmentation de la profondeur, augmente le pourcentage de la fraction argile, au détriment de la fraction sable fin et très fin, bien que cette dernière soit toujours, néanmoins, représentée par un chiffre voisin de 10 %.

Ce fait ressort du tableau suivant :

Sondage R 48			Sondage R 49			Sondage R 50		
Cote	Sable	Argile	Cote	Sable	Argile	Cote	Sable	Argile
103	35	10	104	20	30	108	12,5	32,5
92	10	30	93	10	40	92	10	35
84	10	30	84	10	40	89	0,5	50

Ceci est à mettre en parallèle avec les résultats exposés au paragraphe c).

b) Minéralogie de la fraction argileuse

Les marnes pliocènes ont également fait l'objet d'analyses radiocristallographiques par diffractométrie aux Rayons X, afin de préciser la nature et le pourcentage des différents minéraux argileux qui forment près de la moitié des constituants de la roche.

Sur chaque échantillon provenant des carottes des sondages R 47, R 48 et R 49, différents traitements ont été exécutés en vue d'une détermination aussi nette que possible ; ainsi pour chaque échantillon, une analyse a été réalisée sur :

- une fraction non traitée,
- une fraction glycérolée,
- une fraction chauffée.

Ceci a permis de mettre en évidence les minéraux suivants :

- la kaolinite, minéral argileux le plus simple ;
- l'illite, de la famille des micas ; c'est le plus répandu des minéraux argileux ;
- la chlorite, qui pourrait provenir des schistes cristallins, comme résultat de l'altération des divers silicates. C'est un minéral caractéristique de l'altération des roches métamorphiques.

Les pourcentages approximatifs de ces divers minéraux sont les suivants :

- kaolinite 20 à 25 % (10-45 %)
- illite 40 % (30-60 %)
- chlorite 35 à 40 % (15-50 %).

Il est important de noter l'absence "d'argiles gonflantes" tels que la montmorillonite, les vermiculites ou les chlorites gonflantes.

Après traitement approprié par le glycérol, et après chauffage, aucune modification de position des pics sur les diagrammes enregistrés a permis de conclure à l'absence de tels minéraux.

Il est bien évident que ces argiles gonflantes, lorsqu'elles sont présentes, posent des problèmes de "tenue" au moment d'excavation de fouilles d'une part, et aussi après la construction des ouvrages, puisqu'une modification de la surcharge appliquée à l'ensemble entraîne des phénomènes tels que la restitution élastique, gonflement propre des minéraux et augmentation du volume d'eau intrafoliaire, si la modification se produit dans le sens d'une diminution, ou des phénomènes opposés, si elle a lieu dans le sens d'une augmentation.

c) Détermination de caractéristiques physiques

Quelques déterminations de caractéristiques physiques ont été faites sur des échantillons non remaniés provenant des sondages exécutés dans le secteur de la future usine.

Elles sont relatives :

- à la densité sèche,
- aux teneurs en eau,
- à la porosité,
- aux limites d'Atterberg.

+ Densité sèche

Cette grandeur correspond au poids spécifique d'un échantillon de sol sec. Elle indique donc la proportion de vides de l'échantillon quand on en a exprimé toute l'eau.

Sa valeur moyenne se situe à 1,69.

Elle n'est donc pas très élevée (on considère comme élevées les valeurs supérieures à 1,80) : on en déduit que ces marnes n'ont pas subi une surcharge importante.

+ Teneurs en eau

Il a d'abord été pratiqué une détermination de la teneur en eau naturelle des divers échantillons. Les valeurs obtenues sont groupées, et l'on peut prendre comme valeur moyenne 21,4.

Puis on a déterminé les teneurs en eau à saturation pour les mêmes échantillons. La valeur moyenne obtenue n'est que de 22,6.

La comparaison entre ces deux résultats est intéressante : elle montre que les marnes sont saturées à 95 %.

+ Porosité

Il est intéressant également de déterminer, à partir des valeurs précédentes, la porosité n de cette formation, par la formule :

$$d_s = (1 - n) \cdot d_m$$

d_m étant la densité des constituants solides
 d_s la densité sèche.

Si l'on admet des densités de :

- 2,68 pour l'ensemble de la fraction argileuse (45 %)
- 2,66 pour le quartz (25 %)
- 2,72 pour la calcite (30 %)

on obtient une densité moyenne d_m de 2,69
 et une porosité

$$n = 1 - \frac{1,69}{2,69} = 37 \%$$

+ Limites d'Atterberg

Ce sont les teneurs en eau qui délimitent les frontières entre l'état liquide, l'état plastique et l'état solide. Seules les limites de liquidité LL (teneur en eau au-delà de laquelle le matériau peut être considéré comme liquide) et de plasticité LP (teneur en eau au-delà de laquelle le matériau peut être considéré comme plastique) ont été étudiées.

Déterminées expérimentalement, au moyen d'un matériel normalisé, ces valeurs sont les suivantes :

LL = 35 % (34,8 à 38,3)

LP = 19 % (18,2 à 20,9)

On peut également faire intervenir la notion d'indice de plasticité IP tel que :

IP = LL-LP

et se reporter à l'abaque de plasticité de CASAGRANDE (voir fig. n° 3).

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

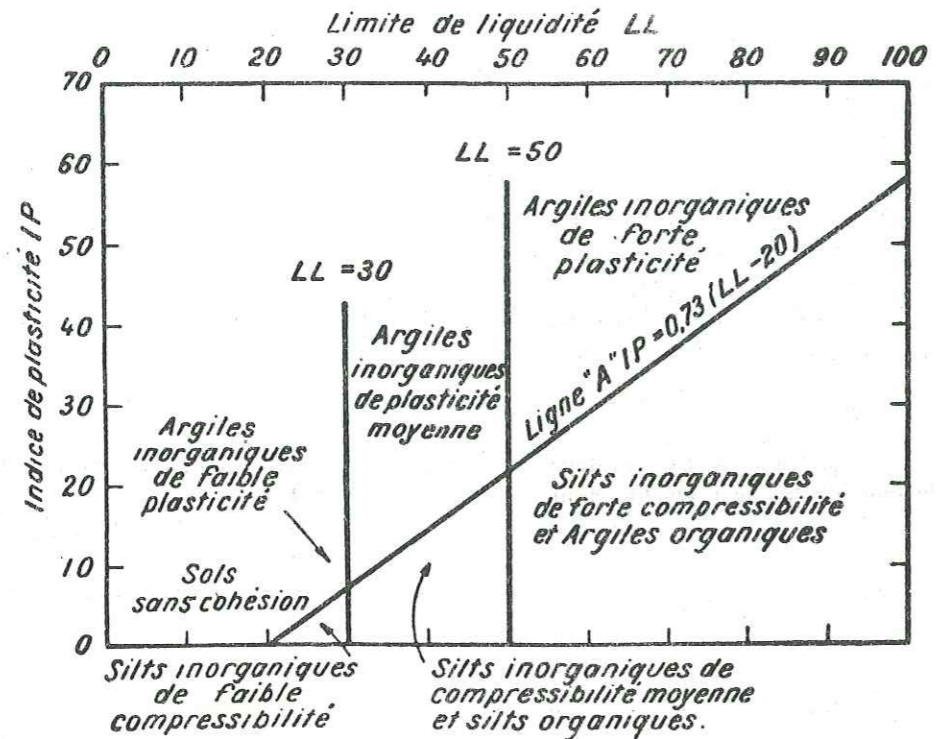


FIG. 3 — Abaque de plasticité. (D'après A. CASAGRANDE).

On constate que ces marnes s'apparentent aux "argiles inorganiques de plasticité moyenne".
En outre, la consistance relative de ces marnes peut se formuler :

$$CR = \frac{LL - d_s}{IP} = 0,73$$

On peut donc conclure qu'il s'agit d'un matériau moyennement consistant, puisque cette valeur approche l'unité. Selon K. TERZAGHI (1965), on peut alors s'attendre à une valeur de résistance à la compression simple comprise entre 1 et 5 kg/cm².

3. Conclusions

Les observations faites sur les marnes bleues montrent qu'il s'agit d'une formation où les éléments argileux sont les constituants essentiels (près de 50 %). Ils proviennent certainement en grande partie des produits d'altération des terrains anciens de la rive droite. Toutefois la présence de grains de quartz (dont la taille granulométrique reste faible) indique une influence détritique qui s'est manifestée par épisodes discontinus : les niveaux plus sableux mis en évidence par les sondages ou à l'affleurement le prouvent. Mais ces observations étant très ponctuelles, aucune corrélation valable n'a été possible.

Du point de vue géotechnique, les analyses déjà effectuées ont montré que cette formation, saturée à 95 % rap- pelons-le est moyennement consistante. Toutefois, des mesures de compression et de résistance au cisaillement sont

indispensables pour une connaissance plus complète des propriétés mécaniques de cette roche.

Sa porosité et sa densité sèche montrent, en outre, que la formation n'a eu à subir que des surcharges peu importantes, mais on peut s'attendre néanmoins à certaines "réactions" de la part de ces marnes, d'après ce que l'on connaît par ailleurs.

Enfin, il ressort clairement des observations précédentes que ces marnes sont imperméables, et que leur toit constitue la base de la nappe aquifère sus-jacente.

III - TERRAINS DE COUVERTURE

L'étude des formations quaternaires sur le plan général a fait l'objet de nombreuses publications, qu'il s'agisse de leur position relative et de leur âge, ou de leur raccordement à diverses observations faites soit dans la région lyonnaise, soit dans le bassin de Valence.

- On peut distinguer :
- les alluvions fluvio-glaciaires ;
- les loess et limons.

De nombreuses controverses ont vu jour, chaque auteur essayant de paralléliser ou même d'extrapoler des observations faites dans d'autres régions telles les Pyrénées, les Alpes suisses ou autrichiennes, à celles qu'ils ont pu faire dans la région étudiée.

Enfin, dans un dernier paragraphe, seront examinés les renseignements donnés par la Géomorphologie sur certaines formes d'accumulation.

A. LES ALLUVIONS FLUVIO-GLACIAIRES

Le confluent de la vallée du Rhône et de la vallée de la Bièvre Valloire, pose le problème du raccordement entre les terrasses rhodaniennes et les nappes fluvio-glaciaires de cette vallée morte si bien conservée.

En effet, le modelé du substratum peu résistant face aux agents d'érosion apparaît, au vu des sondages exécutés dans cette région, comme formant dès la fin de l'époque tertiaire une dépression allongée dans le sens est-ouest. Les langues glaciaires s'y sont engagées, l'ont partiellement remblayée ; et l'abandon, après l'accumulation des dépôts typiques, par la rivière qui émanait des glaciers, a contribué de façon prépondérante à assurer aux différents niveaux un état de conservation des plus remarquables.

1. Alluvions wurmiennes

Le point de départ de ce raccordement est la moraine interne de Rives, d'âge wurmien, correspondant au maximum de la dernière glaciation.

a) Terrasse principale

La formation morainique de Rives se prolonge de façon continue sur 45 km, avec une pente régulière de 6 %, par une nappe alluviale dite "de Beaurepaire", depuis le seuil de Rives jusqu'à la plaine du Rhône qu'elle domine par une

terrasse d'altitude absolue 140-145 NGF à Saint-Rambert-d'Albon. C'est la terrasse 18-25 m : elle est à cette hauteur au-dessus du fleuve.

Cette terrasse couvre une surface considérable et se marque dans la topographie par un talus très net qui fait une quinzaine de mètres de haut, et dont la base détermine un niveau de sources. Citons, entre autres conséquences, les cressonnières de Saint-Maurice-l'Exil, ou la zone marécageuse du Creux-de-la-Thine.

En rive gauche, ce niveau débute, au Nord, aux Roches de Condrieu et se prolonge au Sud, en dehors des limites de la carte. C'est au pied de cette terrasse que l'on trouve à Saint-Alban-du-Rhône un affleurement de roches cristallines, pointement qui semble être responsable de l'avancée de la terrasse au milieu de la plaine, en la protégeant et en obligeant le Rhône à faire un coude.

En rive droite, ce même niveau est très net, immédiatement au Sud de Saint-Pierre-de-Bœuf, alors qu'entre Peyraud et Saint-Désirat, il forme deux ressauts topographiques marqués, l'un au Nord Ouest de Champagne, l'autre au débouché de la vallée du Ruisseau de l'Ecoutay (Saint-Désirat).

b) Terrasse secondaire

Il existe, visible en quelques points, une terrasse ancienne, inférieure en altitude au niveau du maximum wurmien. On la connaît en rive gauche, au Sud Ouest de Péage-de-Roussillon (le Mas d'Hole) et plus au Sud, entre Saint-Rambert-d'Albon et Andancette.

En rive droite, elle se voit particulièrement bien entre Peyraud et la vallée du Ruisseau de l'Ecoutay, de même que dans celle du Ruisseau de Torrenson (Andance).

Elle doit être considérée comme postérieure au maximum wurmien et est à paralléliser avec la banquette de Saint-Jean-de-Moirans. Elle résulterait d'un creusement dans le niveau précédent mais sa faible répartition dans l'espace oblige à se demander s'il s'agit d'un niveau correspondant à un stade de retrait bien différencié, ou seulement d'une "terrasse locale formée en fonction d'un seuil rocheux ayant momentanément arrêté le creusement dans le défilé de Saint-Vallier" (L. GORON, 1951).

2. Alluvions rissiennes

Elles constituent les deux niveaux immédiatement supérieurs à la terrasse wurmienne, figurant sur le levé géologique.

a) Terrasse principale

Le plus élevé des deux correspond à la période d'extension maximale du glacier rissien, encore que pour certains auteurs, ce ne soit qu'un premier stade de retrait. Il est à rattacher à la nappe alluviale de Lapeyrouse-Mornay, et au complexe morainique de Saint-Etienne-de-Saint-Geoirs, et de la Côte-Saint-André.

La terrasse rhodanienne qui s'y relie, domine le Rhône de 60 à 70 mètres, et débute au Nord de Saint-Clair-du-Rhône ; elle se prolonge au Sud, malgré les entailles des vallées de la Varèze, de la Sanne et du Dolon, et forment les collines qui s'élèvent au-dessus du lieu-dit Varambon-la-Croix, et des agglomérations de Saint-Maurice-l'Exil, de Givray, du Péage-de-Roussillon. Elle se suit également entre Salaise-sur-Sanne et Chanas, et au Sud de la vallée du Dolon, elle forme le coteau qui abrite Saint-Rambert-d'Albon.

En règle générale, elle se présente sous un aspect plus altéré que la terrasse wurmienne, le matériau la constituant étant lui-même en principe plus clair.

b) Terrasse secondaire

De même qu'il existe une terrasse post-wurmienne, de cote inférieure à celle du Wurm, de même, on trouve une terrasse post-rissienne, qui elle aussi résulte d'une phase de creusement.

Elle est donc, en altitude, située entre la terrasse du Wurm et celle du Riss.

Elle est particulièrement nette, entre Salaise-sur-Sanne et Chanas.

3. Quaternaire indifférencié

Sous cette appellation, nous désignerons des dépôts de type alluvial, en placages sur le versant cristallin.

Il s'agit de lambeaux de terrasses plus ou moins bien conservés, mais qui ne se caractérisent par aucune forme précise ; en particulier, il n'est pas possible de repérer le sommet donc la cote maximale de ces affleurements, d'une façon suffisamment péremptoire pour les relier à des niveaux plus distincts à l'aval, et donc d'avancer pour eux un âge, ou même un rapport avec telle ou telle phase glaciaire.

On les trouve principalement en rive droite, sur les pentes cristallines au-dessus de Verenay, plus au Sud entre Saint-Pierre-de-Boeuf et Limony, entre Serrières et Peyraud, et enfin dans la vallée du Ruisseau de Torrenson (Andance).

En rive gauche, ils ne se rencontrent qu'au niveau du défilé de Vienne Condrieu, puisqu'au-delà, ces terrains forment des terrasses continues. Ils se localisent au Sud de Vienne, au débouché du Ruisseau de Mallecombe, puis à Vaugris (Ruisseau de Gerbolle), et enfin entre Chonas-l'Amballan et les Roches-de-Condrieu.

Signalons qu'il existe de tels placages à des altitudes bien supérieures à celles des autres terrasses précédemment reconnues. Les affleurements se présentent comme des formations alluviales certaines, mais beaucoup plus hétérométriques que les premières. Les galets de quartzites y sont particulièrement abondants. L'aspect général est celui d'un niveau plus altéré, et le fait le plus important est que le ciment en est induré.

Il est donc logique de penser qu'ils se sont déposés lors de phases glaciaires plus anciennes que celle du Riss. Ils pourraient donc appartenir soit au Mindel, soit même au Gunz, sans qu'il soit possible de préciser. Certains auteurs (L. DAVID, 1967, G. DENIZOT, 1939...) proposent même un âge plio-villafranchien, pour ces "lambeaux informes, hostiles à tout essai de précision".

Enfin, remarquons l'importance de l'érosion le long de la vallée, où les dépôts alluviaux ne sont bien conservés qu'au droit de la Bièvre Valloire. Sur les versants cristallins, elle a été particulièrement intense puisque ces dépôts quaternaires ne permettent aucune corrélation entre eux. Il est probable, toutefois, en tous cas logique de supposer, qu'en ce qui concerne les placages les moins élevés, non indurés, ils soient les restes de la plus récente des phases d'accumulation, cette phase ayant été précédée d'une phase de creusement qui a dû déblayer les dépôts antérieurs.

4. Alluvions récentes

Les alluvions modernes (ou récentes) forment le lit majeur du Rhône, dans lequel le fleuve décrit de nombreux méandres quand la plaine est large (niveau de la Bièvre Valloire) ou bien suit un cours plus rectiligne quand les défilés resserrent la vallée.

Elles correspondent aussi à la zone inondable en temps de crue, ce qui explique qu'on y trouve un recouvrement constant de limons superficiels.

Elles seront étudiées plus en détail dans la partie suivante.

B. LOESS ET LIMONS

Il s'agit là de formations typiques dont l'origine est liée en partie aux phénomènes glaciaires du Quaternaire. Nous pouvons les subdiviser en deux ensembles :

- loess
- limons.

En ce qui concerne le premier, son étude peut se paralléliser à celle faite pour les différents niveaux fluvio-glaciaires. Quant au second, il intervient directement sur le programme de l'aménagement.

1. Le loess

D'importants placages de loess recouvrent les terrains précédemment étudiés. Il faut remarquer que ces dépôts sont les plus abondants sur la rive droite du Rhône : le promontoire qui domine Saint-Pierre-de-Boeuf présente un recouvrement de loess dont l'épaisseur est d'une dizaine de mètres.

Mais surtout ce type de dépôt est particulièrement net dans les "pièges à loess" que sont les confluents avec la vallée du Rhône de talwegs secondaires venant de l'Ouest. C'est le cas, par exemple, dans les vallées des Ruisseaux de l'Écoutay (de Saint-Désirat-de-Valoux) et de Torrenson (Andance).

On admet que ces formations d'origine éolienne se sont accumulées dans des dépressions, amenées par des vents d'Est, venant des régions froides, ce qui explique leur fréquence sur le versant oriental des reliefs.

Pour T. YUET SUEN, (1934), le grain de ce loess serait de plus en plus fin de l'amont (confluence de l'Ain) vers l'aval (Valence) de la vallée du Rhône ; ceci tendrait à prouver que le transport s'est plutôt fait dans le sens nord est - sud ouest et que par conséquent l'exposition aux vents dominants n'aurait joué qu'un rôle insignifiant pour les dépôts de loess.

Cette formation qui, par ailleurs, a fourni une faune parfois riche en ossements de vertébrés (éléphants, ours, bisons, rhinocéros, ...), a subi également une altération classique : migration "per descensum" du carbonate de calcium ce qui fait qu'en surface, on trouve la partie décalcifiée, le "lehm", propice à la culture.

Le loess étant un sédiment caractéristique des maxima de refroidissements climatiques, la question s'est posée de savoir si l'on pouvait établir une stratigraphie du loess et ainsi déceler différents niveaux correspondant aux différentes "poussées" glaciaires. Si l'on met à part le loess à bancs durcis villafranchien, connu dans la région lyonnaise, il semble que contrairement aux idées émises par F. BOURDIER (1958), il n'y ait qu'un seul niveau de loess, et que l'observation faite à Ionage (Isère) d'un lambeau de loess surmonté d'une moraine attribuée au Wurm (observation unique et qui prouverait l'existence d'un loess rissien) doive être interprétée comme résultant "d'un glissement avec loess remanié" (L. DAVID, ibid.).

Il est donc probable que le loess ait son origine liée uniquement au maximum de glaciation, l'époque wurmienne.

2. Les limons

Il existe, associés aux dépôts loessiques, des limons qui recouvrent les anciennes terrasses. Leur origine est à rapprocher là encore des phénomènes glaciaires et fluvio-glaciaires. Mais, plus intéressants parce qu'ayant une incidence sur l'aménagement projeté, seuls les limons qui recouvrent les alluvions récentes, retiendront notre attention.

Il s'agit de dépôts fins, plus argileux que sableux, de couleur gris beige, renfermant parfois quelques galets (diamètre moyen estimé : 2 cm) isolés.

Il représentent les produits de sédimentation du Rhône lors de crues, d'où leur appellation fréquente de "limons de débordement". Ils sont donc liés au débit solide du Rhône et ont par conséquent une origine propre assez floue, plus ou moins lointaine.

Ils intéressent l'aménagement par le fait qu'ils devront être séparés, lors des travaux, des alluvions proprement dites sous-jacentes, par ailleurs peu argileuses, comme il le sera vu plus loin, et qui seront utilisées avec un degré de propreté maximum, comme matériau de remblai ou de construction de digues.

C'est donc leur épaisseur qu'il importe le plus de connaître. Une campagne de sondages à la tarière mécanique a été effectuée à l'emplacement des futures digues, et il ressort que cette épaisseur est en moyenne de 2,5 à 3 mètres. Les valeurs limites trouvées sont les suivantes :

- 0,50 m au sondage R 32
- 6,90 m au profil 85 du premier projet.

La conclusion qui s'impose d'elle-même est l'irrégularité de l'épaisseur de cette couverture limoneuse. Cette formation a donc recouvert une surface topographique non uniforme, avec des reliefs qui, tout en restant peu marqués, sont quand même relativement importants pour une formation alluviale de ce type.

C. FORMES D'ACCUMULATION

L'étude des photos aériennes ainsi que l'étude de surface ont permis de mettre en évidence des formes d'accumulation que nous appellerons glacis de confluence, et dont certaines sont de véritables cônes de déjection.

1. Zones de confluence

Les affluents du Rhône de la rive gauche, qui drainent la vallée morte de Bièvre Valloire, forment, en arrivant au niveau de la basse plaine actuelle, une entaille dans la dernière terrasse (terrasse wurmienne), et il se produit un recul du front de terrasse, en même temps qu'un grand plan, faiblement incliné, d'apparence régulière. Ce glacis a une forme conique dont le sommet se trouve quelques dizaines de mètres en amont du front de terrasse ; tout en s'en rapprochant de par leur similitude morphologique, ces formations sont à distinguer des cônes de déjection s. str. car le matériau qui les compose n'est pas emprunté aux bassins versants des rivières qui leur ont donné naissance. Leur faible débit actuel interdit de penser qu'elles aient pu, à une époque quelconque, transporter des éléments qui sont - les sondages le montrent - fort peu différents de ceux trouvés dans les alluvions en place. Et il est difficile de penser que dans un passé plus ou moins lointain, leur compétence a pu être supérieure à ce qu'elle est aujourd'hui, car leur lit, au sein de la Bièvre Valloire est très peu encaissé, et leur pente plutôt faible.

Il s'agit donc plus vraisemblablement d'un dépôt de matériaux remaniés, empruntés au front de terrasse, ce qui explique son recul, à la faveur d'une rupture de pente locale.

De telles formes sont particulièrement visibles :

- à Saint-Alban-du-Rhône, au confluent de la Varèze,
- entre Salaise-sur-Sanne et Saint-Rambert-d'Albon, aux confluent de la Sanne, où cette très belle forme est recoupée à l'amont par un ancien méandre du Rhône, et du Dolon.

2. Cônes de déjection

Si les formes précédentes sont localisées sur la rive gauche du fleuve, au contraire, en rive droite, au pied du versant granitique, ce sont des cônes de déjection typiques, ayant emprunté leurs matériaux à l'escarpement cristallin, qui descendent, au débouché des principaux torrents cévenoles, jusque sous les alluvions récentes.

Il est même probable qu'ils se poursuivent assez loin vers l'axe de la vallée ; c'est du moins, comme nous le verrons plus loin, ce que laisse supposer l'étude des sondages qui ont rencontrés ces formations.

On les trouve presque exclusivement en rive droite, au débouché des ruisseaux suivants, qui sont, du Nord au Sud : les ruisseaux de Murinand, de Reynard (à Ampuis), de Bassemont, de la Valencize (à Chavanay), du Merlon (à Arcoules), de Limony, du Mauron, de Marlet, de Crémieux (à Peyraud), de l'Écoutay (à Saint-Désirat) et de Torrenson (à Andance).

En rive gauche, ce sont les confluent de quelques ruisseaux près de Vaugris, du lieu-dit Gerbay, et plus au Sud, aux Champagnières et au Creux de la Tine.

D. CONCLUSION

La répartition de ces formations de couverture montre que quatre d'entre elles auront une incidence directe sur les ouvrages.

Des alluvions fluvio-glaciaires, seule la terrasse du Wurm interviendra, encore que ce soit d'une façon peu problématique, puisque le canal doit simplement venir s'appuyer contre elle, éventuellement en la rognant légèrement, entre les carrières des Blaches et des Grandes Balmes.

Ce sont les alluvions récentes qui seront les plus atteintes par les travaux. Leur étude de détail sera faite dans la partie suivante ; mais on peut dès à présent indiquer que les travaux de creusement ne devraient pas poser de problèmes, qu'ils s'effectuent dans ce niveau, ou dans les alluvions anciennes.

L'ouverture de nombreuses gravières a montré que ces formations se tenaient bien. A ce sujet, on peut dire que la présence de particules argileuses, même en très faible quantité, suffit à assurer la cohésion des galets et graviers entre eux.

Enfin, il faut souligner que le canal traversera entre Sablons et Montverze, au niveau de la Sanne, une formation particulière : il s'agit de la zone d'accumulation due à la confluence de cette rivière. Toutefois, en raison de la similitude entre les alluvions anciennes qui la constituent, et les alluvions récentes sous-jacentes, il ne devrait pas en résulter de difficultés.

Quant aux limons, ils devront être séparés des alluvions qu'ils recouvrent, afin qu'elles constituent un matériau propre pour l'édification des digues.

C'est à ce seul titre qu'ils interviennent sur le programme de l'aménagement.

IV - RESUME DE L'HISTOIRE GEOLOGIQUE

A. LES TERRAINS ANCIENS

Le vieux socle qui constitue le Massif Central est formé de roches métamorphiques et éruptives dans sa majeure partie. Leur genèse dépasse largement le cadre de cette étude et nous dirons seulement qu'elles résultent de longs processus agissant sur les terrains précambriens, où, dès cette époque, des phénomènes volcaniques ou volcano-sédimentaires, probablement de chimisme acide, ont imprimé leur marque.

Sur ce socle "granitique" en partie émergé, des bassins se sont formés, type bassin de Saint-Etienne, seuls témoins de la sédimentation paléozoïque.

B. LA SEDIMENTATION

Des terrains secondaires il n'existe pas de traces, et on peut penser que cette région a joué un rôle de bombement à cette époque, puisqu'on retrouve ces terrains plus au Nord (monts du Beaujolais, Mont-d'Or lyonnais, ...) et plus au Sud (région de Valence).

Avec le début de l'ère tertiaire, la phase majeure de la tectonique alpine n'est pas sans répercussions sur la structure profonde de ce secteur ; en particulier, on peut y rattacher le caractère subsidé de la Bièvre Valloire à l'Oligocène ; il est probable aussi que les cassures orientées Nord-Sud soient à mettre en rapport avec la surrection de la chaîne des Alpes, même s'il s'agit d'une phase plus tardive.

L'érosion qui a fait suite n'a pas été jusqu'à la pénéplanation et la transgression miocène, responsable de l'accumulation des dépôts molassiques, a pu s'effectuer sur un relief encore accusé, constitué principalement dans le secteur qui nous intéresse par les irrégularités de surface des terrains cristallins et cristallophylliens.

Après le dépôt de la molasse miocène, qui n'affleure pas dans la vallée proprement dite, mais qui constitue une partie du substratum, un peu plus à l'Est, se situe le dépôt des marnes argileuses du Pliocène, à la faveur d'une nouvelle transgression, qui a affecté la vallée du Rhône jusqu'au niveau de Givors.

D'une finesse sans défaut, d'une régularité étonnante tant dans le sens vertical que sur une coupe longitudinale, ces marnes, où l'on trouve à la fois des animaux marins et des débris végétaux, se sont déposées dans un très long golfe, où l'eau devait être plus saumâtre que franchement marine, et les apports terrigènes non négligeables. Mais il est curieux de remarquer que nulle part, on ne trouve les témoins d'une sédimentation de golfe, tels des cailloutis ou même des blocs, au moins au voisinage des falaises.

On peut donc supposer que cette formation s'est déposée dans un bras de mer très calme, le fleuve n'ayant pas encore acquis le caractère torrentiel qu'on lui connaît maintenant ; mais leur épaisseur considérable laisse la possibilité d'invoquer une période de "subsidence" assez rapide.

Faisant suite à ce niveau mi-marin, mi-continentale, viennent des formations franchement continentales : marnes à lignite d'Hauterives, sables de Lens-Lestang, cailloutis de Chambaran, qui forment le passage avec les dépôts quaternaires, et qui en sont d'ailleurs parfois difficiles à distinguer.

C. LES PHENOMENES GLACIAIRES

Marquée essentiellement par des phénomènes glaciaires, la période quaternaire a été divisée en différents âges correspondant à des glaciations distinctes. On a reconnu, dans la région lyonnaise un dépôt villafranchien, puis différents niveaux que l'on a essayé de rattacher à quatre grandes glaciations qui sont de la plus ancienne à la plus récente : le Günz, le Mindel, le Riss et le Würm.

La même correspondance a été établie, sans doute plus aisément, dans la région du Bas-Dauphiné ; mais il n'existe aucune preuve, ni pédologique, ni stratigraphique, ni paléontologique, que des phases climatiques interglaciaires aient alterné avec ces épisodes froids dont il est question.

Aussi, plutôt que de considérer ces phases comme distinctes, nous penserons de préférence que, sans nier que tel stade peut avoir tel âge, il s'agit en fait d'une seule glaciation s.l. Le climat régnant sur l'Europe centrale et les Alpes était froid pendant la totalité de la période quaternaire jusqu'au Würm (âge absolu attribué : - 10 000 ans pour sa fin). Les différents stades visibles dans l'état actuel des choses ne représenteraient que des pulsations d'une même langue glaciaire, sans écarter pour autant l'éventualité de climats moins rigoureux pour chaque stade de retrait.

D. STRUCTURE

La structure d'ensemble de la vallée ressort des coupes géologiques (voir fig. n° 4) réalisées, la première au niveau du défilé de Vienne Condrieu, la seconde au niveau de Péage-de-Roussillon, et la troisième au niveau de Saint-Rambert d'Albon.

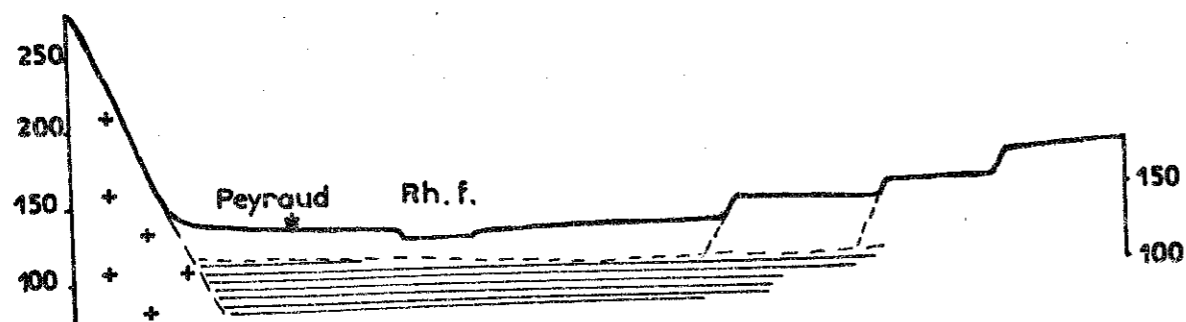
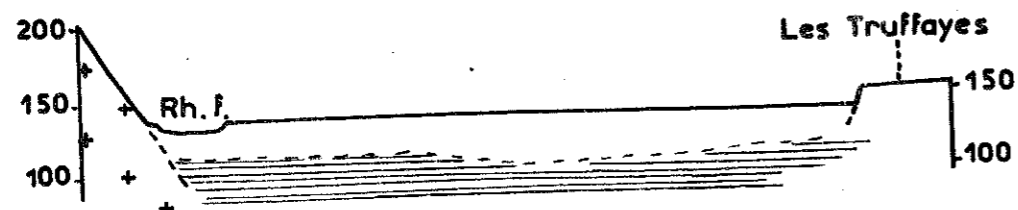
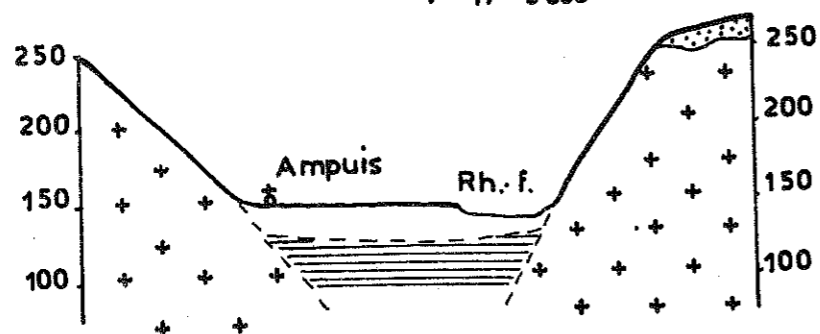
Elles montrent le substratum marneux plus ou moins régulier, surmonté des alluvions récentes et des alluvions anciennes formant des niveaux emboîtés ; le tout vient s'appuyer sur le rebord cristallin du Massif Central.

Il s'agit donc d'une structure simple qui n'aura pas d'incidences sur les aménagements.

W

E

Echelles H 1/ 20 000
V 1/ 5 000



Loess et
Cristallin

Marnes pliocènes

Quaternaire

Fig 4 COUPES GEOLOGIQUES SCHEMATIQUES

V - LA RECONNAISSANCE GEOLOGIQUE

Le but de ce travail étant d'examiner les incidences de la structure géologique sur les aménagements projetés, notamment à l'égard des fondations, la plus grande attention doit être apportée aux différentes phases de la reconnaissance.

C'est pourquoi dans un premier temps, sera faite la synthèse des éléments déjà en possession de la C. N. R. : résultats de deux campagnes qui sont par ordre chronologique :

- campagne de prospection géophysique,
- campagne de sondages mécaniques préliminaires.

Dans un troisième paragraphe, l'exposé de la préparation d'une tranche de sondages complémentaires, devant être exécutée jusqu'au début des travaux, tiendra le plus grand soin des résultats acquis et des buts à atteindre.

A. PROSPECTION GEOPHYSIQUE

Effectuée en 1958-1959, par la Compagnie Générale de Géophysique, elle avait pour but essentiel, outre de dégrossir la structure de la région, de déterminer :

- l'épaisseur des limons,
- l'épaisseur des alluvions,
- la nature du substratum,

dans un secteur comprenant les limites de cette étude, Vienne au Nord, Andance et Andancette au Sud.

Deux méthodes ont été utilisées :

- étude par sondages électriques : près de 600 au total qui ont permis de comparer les formations meubles, d'un point à un autre.
- étude par sismique réfraction, réalisée en dernier lieu pour préciser certains points, où le substratum cristallin avait été mis en évidence par la première méthode (les résistivités des marnes et du cristallin étant assez voisines, il pouvait subsister une incertitude).

Ces sondages électriques et sismiques ont été étalonnés sur des sondages mécaniques.

Du rapport qui a suivi cette étude, accompagné d'une carte géologique et topographique du substratum, nous bormerons volontairement à ne retenir principalement que les valeurs de résistivité des formations rencontrées, ainsi que la valeur de la vitesse de propagation des sismiques au sein de chacune d'elles.

Nature du terrain	Résistivité en Ohms x mètre	Vitesse sismique en m/s
Limons	20 100	300 500
Alluvions sèches	+ 1000	600 1 100
Alluvions humides	200 500	1 800 2 200
Marnes	10 50	2 000 2 400
Cristallin	+ 100	3 000 4 700

Ce tableau récapitulatif met en lumière que la méthode électrique a permis de distinguer les limons des alluvions et les alluvions humides des marnes, grâce à des résistivités différentes.

En revanche, les résistivités des marnes et du cristallin étant voisines, seule la méthode sismique permettait de lever le doute sur la nature du substratum.

De plus, lorsque l'épaisseur des alluvions humides n'était pas nettement supérieure à celle des alluvions sèches, il en est résulté certaine difficulté à connaître la puissance de la totalité des formations alluviales. C'est là probablement l'une des causes les plus fréquentes de l'imprécision de quelques résultats se répercutant sur la carte du toit du substratum.

Ces indications sur le substratum ont pu être contrôlées, précisées ou modifiées par la campagne de sondages mécaniques qui a suivi, car, bien que la maille du quadrillage des sondages électriques ait été beaucoup plus serrée, les prélèvements d'échantillon que constituent les carottes sont encore préférables à toutes les hypothèses, si approchées soient-elles.

B. CAMPAGNE DE SONDAGES MECANIQUES PRELIMINAIRES

1. Implantation

Effectués en plusieurs étapes de 1960 à 1968, au stade de l'avant-projet, ils ont été implantés à l'emplacement des ouvrages tels qu'ils étaient prévus dans les premiers projets. En outre, il existe aussi une série de sondages sur l'eau, dans le lit du Rhône tous les 0,5 kilomètres environ. Enfin un certain nombre de sondages privés ont été communiqués à la C. N. R.

La répartition des sondages existants se fait de la manière suivante (voir planche hors-texte n° 3):

- une concentration se manifeste dans les zones du futur barrage et de la future usine ;
- dans la plaine de Péage-de-Roussillon, les sondages sont espacés ; en principe, ils sont situés dans l'axe du canal ; mais le projet ayant subi quelques modifications, il arrive que certaines portions groupent plusieurs sondages dans la même zone. Ici, quelques sondages privés viennent compléter les informations ;
- enfin, quelques sondages, plus serrés, existent dans le secteur de la déviation de Condrieu ;
- ailleurs, sauf dans la région de la Petite Gorge, où la C. N. R. possède des données sur le substratum, seuls les sondages sur le Rhône existent, et il est bien aléatoire, de vouloir tracer les courbes de niveau du substratum d'une manière rigoureuse.

2. Résultats des sondages

Dans leur ensemble, ces sondages contribuent à la connaissance des quatre formations qui retiennent l'attention :

- les limons,
- les alluvions récentes,
- les marnes,
- le cristallin.

a) Les limons

Lors de l'exécution des sondages mécaniques, ces dépôts ont occupé une place réduite, en raison de l'intérêt porté aux autres formations ; nous nous bornerons à rappeler que leur épaisseur varie en moyenne entre 2 et 3 mètres.

b) Les alluvions

Elles ont été traversées par battage, à la soupape ou au trépan (diamètre allant de 4" à 6") dans la plupart des cas. Le faible pourcentage de carotte obtenu de ces échantillons ainsi prélevés est évident, seuls les éléments grossiers pouvant être récupérés ; en effet, l'eau du forage lave les matériaux et le départ des particules fines est inévitable.

Quelques essais de perméabilité de type "Lefranc" ont été réalisés (cf. la deuxième partie), ainsi que des analyses granulométriques : il a été possible, sur un sondage, de récupérer la quasi totalité du matériau après décantation (sondage effectué au trépan d'injection).

Les résultats de ces essais sont exposés plus loin.

c) Les marnes pliocènes

En ce qui concerne ces marnes, elles ont été prélevées au carottier à double paroi, de 101 ou 116 mm de diamètre, avec un pourcentage compris entre 90 et 100 % sur une épaisseur restant généralement inférieure à 5 mètres, la cote du substratum étant donnée avec précision. Toutefois, dans la région de l'usine, cinq sondages ont reconnu les marnes sur une cinquantaine de mètres. Des prélèvements pour analyses sédimentométriques, minéralogiques ou mécaniques y ont été effectués, de même que des essais de pénétromètre.

d) Le cristallin

Ce terrain a été rarement rencontré ; il a été lui aussi carotté en 101 ou 116 mm de diamètre ; mais ce carottage a pu poser quelques problèmes, car, dans la plupart des cas où le cristallin a été trouvé, au droit des agglomérations de Serrières, Limony, Saint-Pierre-de-Boeuf, Chavanay et Condrieu, les sondages n'ont traversé que la couche altérée de surface et très fracturée ; le plus souvent même, ils ont révélé une roche à l'état de débris anguleux noyés dans une pâte argileuse verdâtre à gris bleuté (sondage RR 32, par exemple) parfois sur une épaisseur très grande (près de 30 mètres au sondage R 4, à l'Est de Limony, où le pourcentage de carotte est tombé à 25 %).

Ce phénomène, connu ailleurs que dans la vallée du Rhône, peut s'interpréter soit comme une altération sur place formant le passage entre le "gore" proprement dit et la roche saine, soit comme le produit d'un très ancien cône de déjection qui aurait accumulé ses matériaux en arrivant dans la vallée, soit enfin comme le remplissage d'un accident tectonique.

Il semble que dans le cas présent, seule la deuxième hypothèse puisse être retenue ; en effet, il est curieux de noter que ces observations sont faites au droit de torrents que l'on peut supposer avoir été plus actifs autrefois qu'aujourd'hui.

Enfin, ces sondages ont montré, ce qui est confirmé par l'étude de surface, que l'altération de la roche se produit sur une épaisseur moyenne de 3 à 4 mètres. Elle se traduit par une apparence plus nette des réseaux de fractures et de diaclases, soulignés par des colorations brun rouille, indiquant la concentration de sels de fer principalement.

3. Le toit du substratum

L'essentiel des données des sondages mécaniques était de donner l'altitude du toit du substratum, ainsi que sa nature. La représentation de la topographie du bed-rock en courbes de niveau n'a été possible, à l'échelle choisie, d'une manière relativement précise, que dans trois secteurs :

- le barrage,
- l'usine,
- la Petite Gorge.

On a pu ainsi faire figurer des courbes d'équidistance égales à 1 mètre.

Ailleurs, en l'absence de données suffisamment denses, seules les courbes maîtresses de 5 en 5 mètres ont pu être dessinées, sans d'ailleurs que leur tracé soit absolument définitif. Elles indiquent la forme générale du relief, qui est assez voisine de celle indiquée à la suite de la prospection géophysique. Toutefois, certaines différences sont apparues, mais les arguments apportés par les sondages mécaniques étant irréfutables, il est intéressant d'analyser les différents résultats.

Il est possible pour la clarté de l'exposé de diviser la zone d'étude en quatre secteurs qui sont du Nord au Sud :

- de Vienne à Verin ;
- de Verin à Saint-Pierre-de-Boeuf ;
- de Saint-Pierre-de-Boeuf à l'île de la Platière ;
- de l'île de la Platière à Saint-Rambert-d'Albon.

a) De Vienne à Verin

Dans le défilé du Rhône, la campagne de sondages mécaniques a confirmé la présence d'un chenal dont l'emplacement est assez peu différent du Rhône actuel, ce qui n'a rien de surprenant étant donné la faible largeur du défilé lui-même. Mais elle a permis de déceler un certain nombre de surcreusements, souvent importants (un sondage au Nord de Vaugris a traversé les alluvions sur une quarantaine de mètres avant de trouver le substratum), et que la prospection géophysique n'avait pas mis en évidence. De tels surcreusements sont très nets, au droit des futurs ouvrages de l'aménagement de Vaugris, et plus au Sud, face au débouché du Ruisseau de Bassemont (où les marnes ont été trouvées à la cote minimale de 114,8 NGF, la cote prévisible étant 120-125 NGF), puis au droit de la commune de Condrieu (cote minimale 113,5 NGF, cote prévisible 120-125 NGF), et enfin au droit de la commune de Verin (cote minimale 106,5 NGF, cote prévisible 120-125 NGF).

Dans la région de Condrieu, où d'importants travaux doivent être effectués, il apparaît que le chenal se situe grosso modo à l'emplacement de la déviation prévue ; quant au drain, les données sont encore insuffisantes pour dresser une carte précise dans cette zone.

b) De Verin à Saint-Pierre-de-Boeuf

Le chenal, qui atteint une cote voisine de 130-135 NGF à Vienne et 120-125 NGF à Condrieu, se prolonge vers le Sud, mais, jusqu'au niveau de Chavanay, seuls les sondages sur le Rhône existent, c'est la prospection géophysique qui donne les renseignements les plus fournis. Le chenal semble gagner Chavanay à peu près en ligne droite, à une cote voisine de 115-120 NGF, et il est probable qu'il y ait là encore des surcreusements notables.

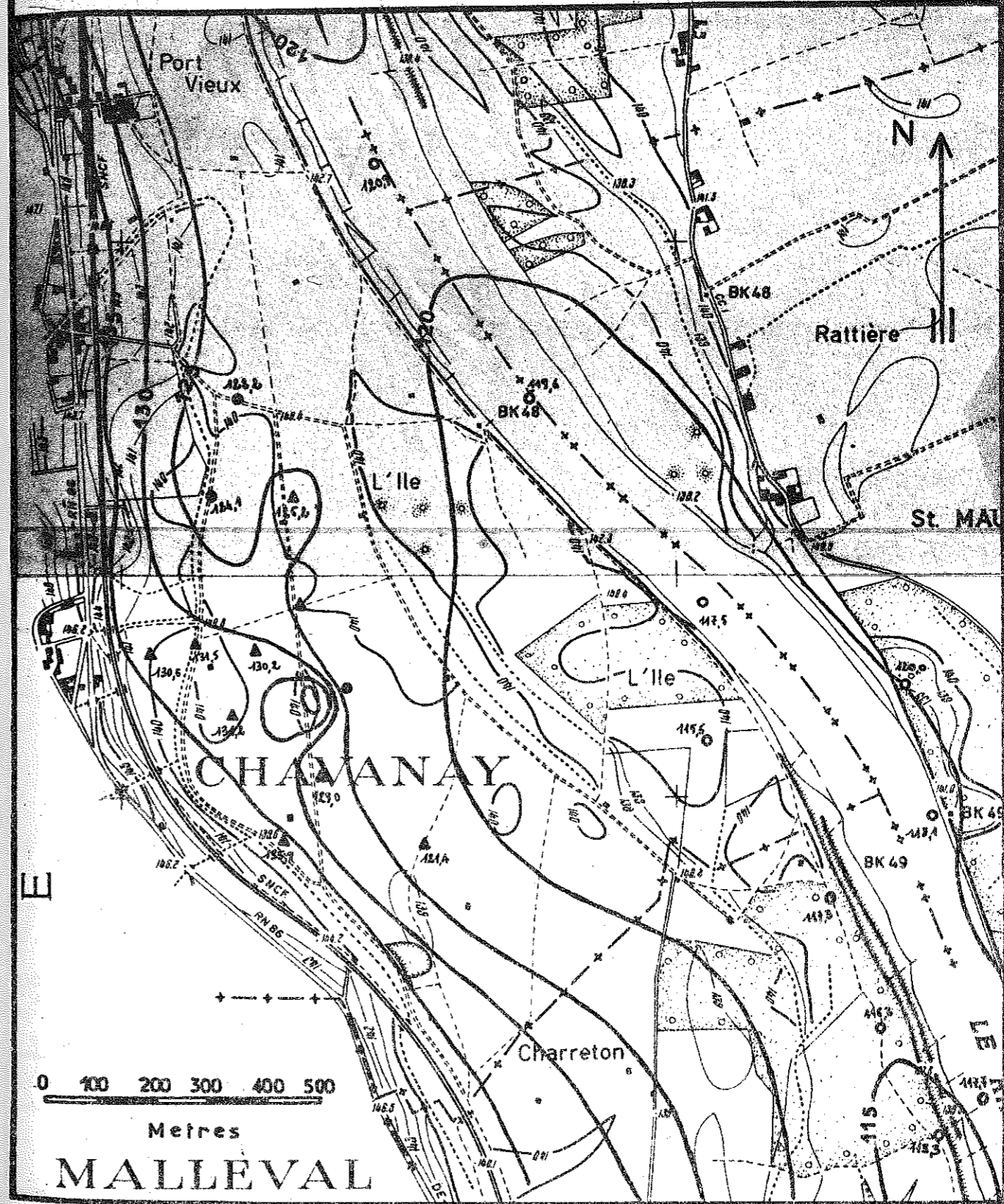
A partir de Chavanay, jusqu'à Saint-Pierre-de-Boeuf, des sondages permettent de retrouver le chenal qui prend sur ce tronçon une direction nord-ouest - sud-est. Sa profondeur se trouve à une cote moyenne comprise entre 115 et 120 NGF.

Il présente quelques irrégularités : un haut fond à 120,9 NGF (sondage RR 23) et un peu plus au Sud, un surcreusement dont le fond se situe à 113,3 NGF (sondage R 21).

La région de la Petite Gorge a fait l'objet d'une étude détaillée (voir fig. n° 5a) en raison du pointement cristallin signalé plus haut, et grâce à de nombreux sondages qui l'encerclent. Il ressort que ce pointement s'individualise très net-

Fig 5a

TOIT DU SUBSTRATUM REGION DE LA PETITE GORGE



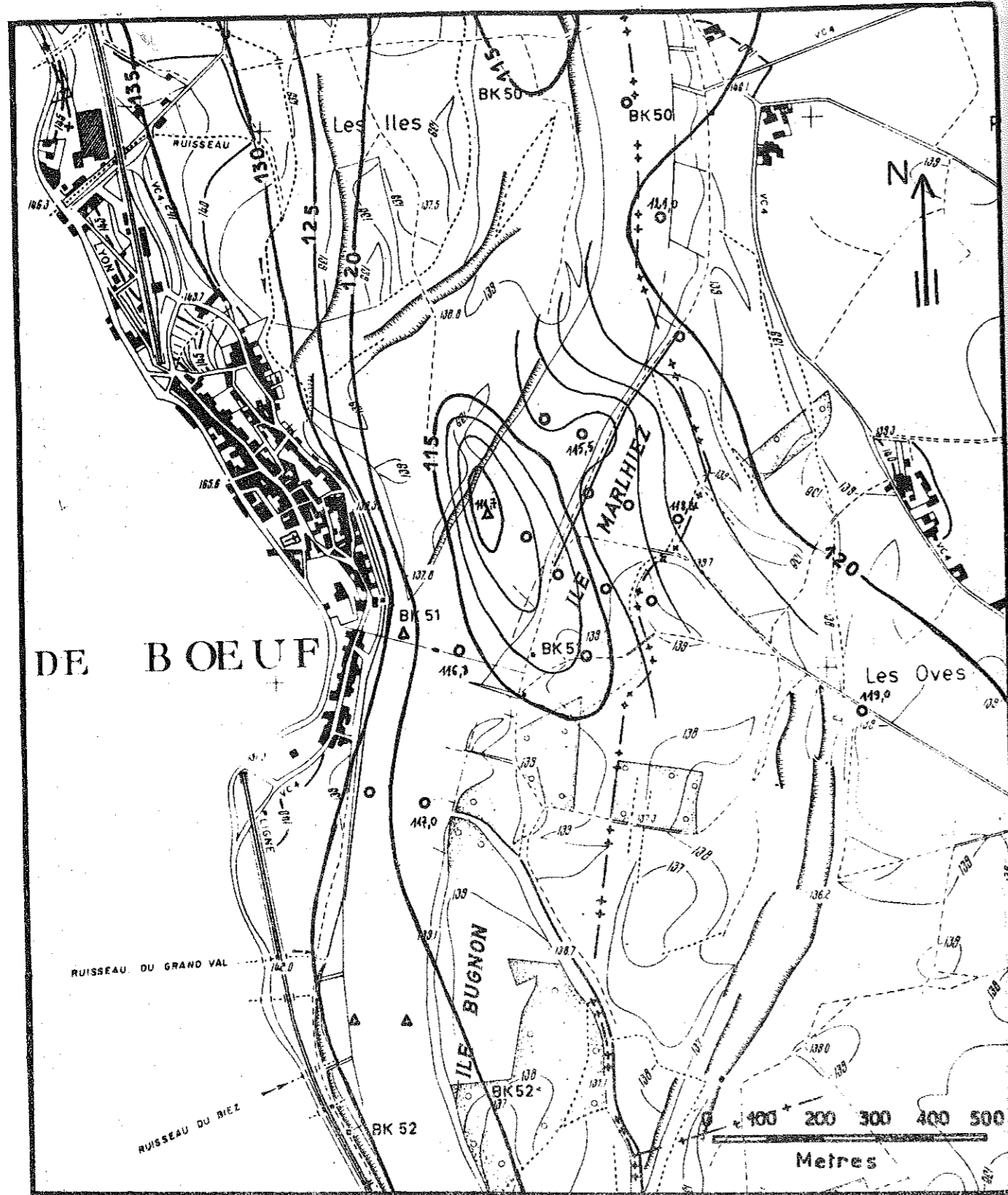


Fig 5 b TOIT DU SUBSTRATUM
REGION DU BARRAGE

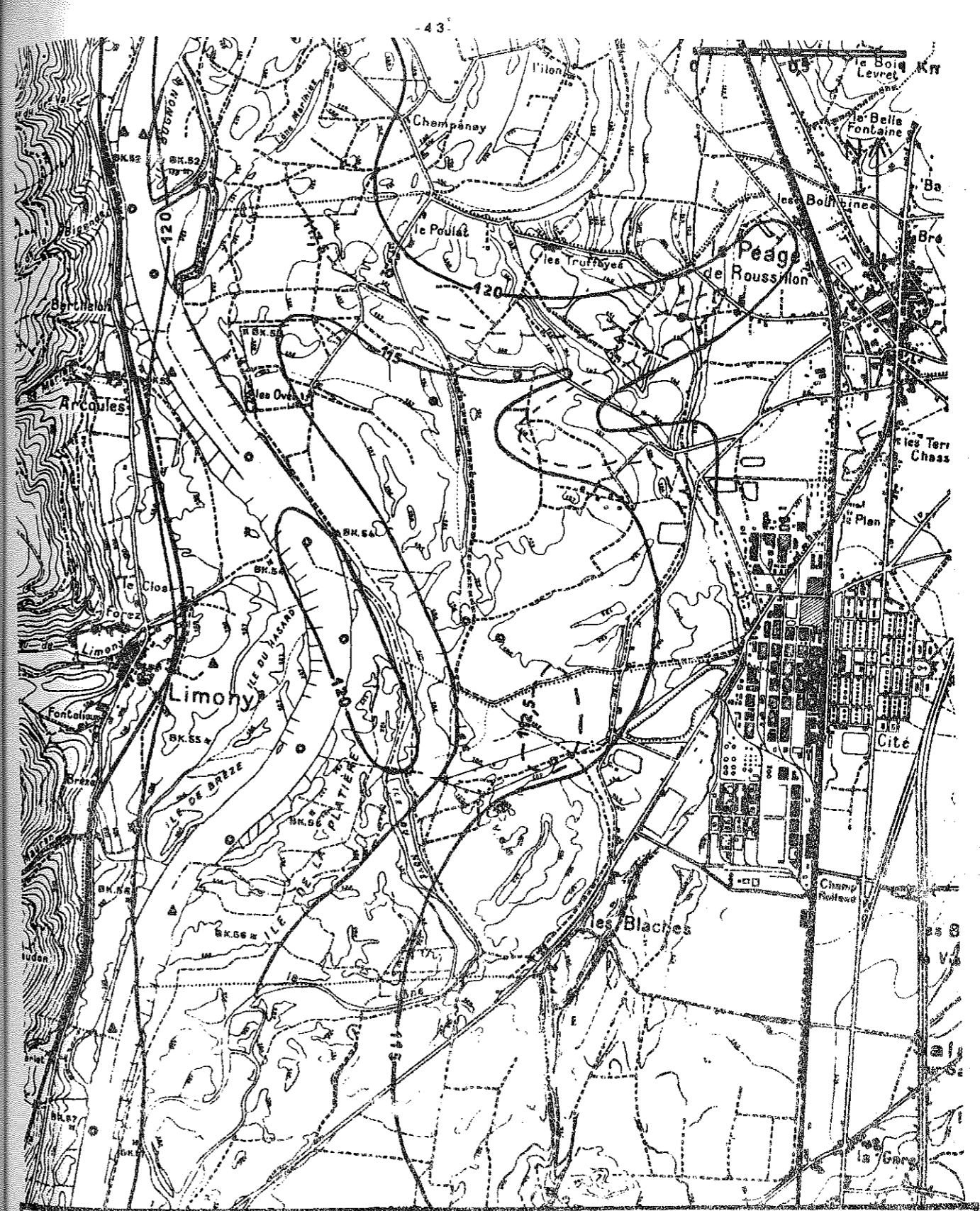


Fig 5 c TOIT DU SUBSTRATUM
PLAINE DU PEAGE

tement, bien qu'entre lui et le versant du Massif Central, le substratum soit à une cote relativement élevée 130-135 NGF, le raccord se faisant d'une manière progressive. Il pourrait s'agir là d'un replat dû à un ancien méandre du Rhône.

Plus au Sud, au niveau du futur barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf, se situe un nouveau surcreusement, dont le fond atteint la cote 111,6 NGF. Etant donné son orientation, il semble contourner l'ouvrage par la rive droite (voir fig. n°5b).

C'est aussi à ce niveau que se trouve le sondage RR 32 qui a trouvé à la cote 112,7 une formation qui paraît être le prolongement d'un ancien cône de déjection noyé dans les alluvions. La pâte argileuse gris verdâtre qui enrobe les débris cristallins pourrait représenter le remaniement des marnes bleues par le phénomène qui a mis en place cette formation.

c) De Saint-Pierre-de-Bœuf à l'Île de la Platière

L'allure du toit du substratum se complique dans ce secteur. En effet, le chenal se divise en deux bras, séparés par un seuil dépassant la cote 120 NGF, allongé suivant une direction nord ouest - sud est (voir fig. n° 5c).

Le bras qui le contourne à l'Ouest est assez resserré au départ, puis s'élargit à partir de Limony.

Mais c'est le bras est qui est le plus intéressant. En effet, il présente une large fosse de surcreusement, le fond étant situé à la cote 111,9 NGF (sondage R 18), immédiatement suivie d'un étroit entre l'extrémité sud du haut fond médian et le relèvement du substratum marneux sous la terrasse würmienne.

En outre, il indique la présence d'un "affluent" en rive gauche (cf. sondage R 3 et R 16) de ce qui aurait été un ancien cours du Rhône datant du début de l'ère quaternaire. Le confluent se situe au Nord Ouest de Péage-de-Roussillon, au lieu-dit "Les Truffayes". Il n'est pas impossible que cette dépression affluente soit à mettre en liaison avec le réseau d'accidents tectoniques de direction est-ouest mis en évidence plus à l'Est, dans le comblement tertiaire de la Bièvre Valloire.

Ces deux sillons se rejoignent au niveau de l'Île de la Platière.

d) De l'Île de la Platière à Saint-Rambert-d'Albon

Ici, les sondages sont à nouveau assez dispersés, sauf tout au Sud, à l'emplacement de la future usine de Sablons. Aussi, entre l'Île de la Platière et Sablons, on peut seulement dire que le chenal semble s'élargir, orienté grossièrement Nord-Sud, à des cotes comprises entre 110 et 115 NGF. Il n'est possible de noter qu'un seul seuil, d'étendue vraisemblablement limitée, au niveau de la B. K. 58, où le substratum a été trouvé à la cote de 120,1 NGF.

Dans le secteur de l'usine et de l'écluse (voir fig. n° 5d), le chenal principal s'approfondit (cote voisine de 105-110 NGF), et se resserre grâce à l'avancée des hautes terrasses de Saint-Rambert-d'Albon. Au droit même des ouvrages, il est possible de déceler quelques irrégularités dues à des configurations d'affluents, séparées par des sortes de croupes dont les altitudes restent toutefois comprises entre 112 et 118 NGF.

Assez difficile à caractériser dans ses grandes lignes, ce relief devrait être précisé davantage par la campagne de sondages complémentaires.

4. Conclusion

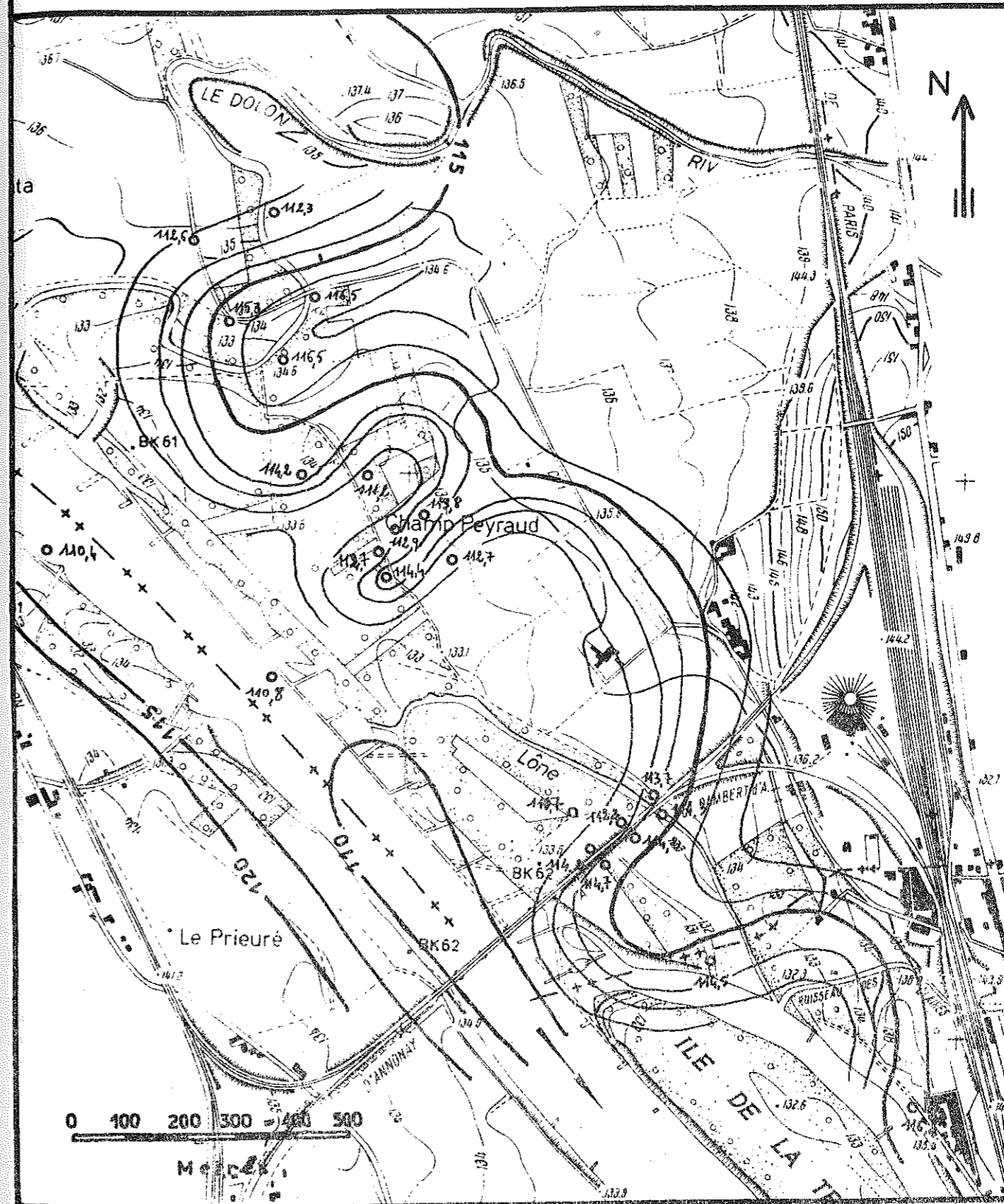
Les résultats acquis à la suite de ces campagnes, relatifs à la morphologie profonde, font donc apparaître un sillon dont le tracé est dans l'ensemble assez peu différent de celui du Rhône actuel. Le sillon se divise en deux branches au niveau de Péage-de-Roussillon sur un parcours d'environ six kilomètres, séparées par un haut-fond, la branche orientale étant la plus importante.

Ce creusement reçoit de l'Est plusieurs affluents dont le plus net est sans nul doute celui situé au droit des "Truffayes".

Au niveau du barrage, le sillon contournera les ouvrages par la droite, et bien que la limite entre cristallin et marnes ne soit pas encore très nette, on peut déjà supposer que l'influence d'une formation non cohérente, toute proche, distincte des alluvions risque d'être déterminante vis à vis des circulations aquifères.

Fig 5d

TOIT DU SUBSTRATUM
REGION DE L'USINE



Au niveau de l'usine, la topographie de détail du substratum est encore imprécise. Seules les marnes pliocènes interviendront sur les ouvrages, et il serait illusoire d'envisager un déplacement des implantations projetées, pour trouver une zone de fondation meilleure : dans tout ce secteur, le Pliocène forme la totalité du substratum.

C. PROJET DE CAMPAGNE DE SONDAGES COMPLEMENTAIRES

Pour préciser les données parfois insuffisantes des premières phases de reconnaissance, et pour permettre des études nouvelles qui s'imposent en raison des modifications apportées à l'implantation des futurs ouvrages par rapport à celles de l'avant-projet, une campagne de sondages complémentaires a été étudiée en tenant le plus grand compte des buts à atteindre. Car cette campagne est la dernière à réaliser avant sinon la fin des études du moins le début des travaux.

Dans les prévisions qui ont fait l'objet d'une étude détaillée, la répartition sommaire des différentes rubriques se fait de la façon suivante :

- sondages en petit diamètre, de reconnaissance du sous-sol ;
- sondages en moyen diamètre, à équiper de piézomètres ;
- sondages en gros diamètre, pour essais de pompages.

Enfin, il est prévu pour certains d'entre eux, des essais spéciaux (de perméabilité, de mécanique des sols, ...).

1. Sondages en petit diamètre

L'implantation de ces sondages, à but de reconnaissance essentiellement, se justifie ainsi :

a) - dans le secteur du barrage, ils auront pour objet de préciser le modelé du substratum qui est assez capricieux dans le détail ; en effet, jusqu'à présent, la limite entre les marnes et le rocher n'a pas été très franche, il s'agira donc de poursuivre les investigations afin de repérer avec précision la cote du cristallin en place et de mettre en évidence soit la couche d'altération, soit un cône de déjection fossilifère. Des mesures de perméabilité pourront être effectuées à ce niveau. En outre, ces sondages permettront d'établir le profil du substratum à l'emplacement de la future paroi étanche.

Le problème est des plus importants en ce qui concerne le dispositif d'étanchéité à mettre en place pour éviter des circulations inopportunes sous l'ouvrage ou sous les digues. Ces sondages permettront aussi de préciser la cote du substratum au droit de chaque pile du barrage.

b) - le long des digues de la retenue, un certain nombre de sondages a été prévu, et malgré la grande extension en longueur de ces dernières, une reconnaissance précise est nécessaire pour détecter avant les travaux toute ancienne construction (digues ou perrés) éventuelle qui, maçonnée ou non, pourrait créer des retards dans le chantier. Une moyenne de trois sondages au kilomètre a été jugée satisfaisante, ces sondages étant accompagnés d'investigations à la tarière mécanique, à raison d'un point de prélèvement tous les cent mètres, afin de reconnaître l'importance des limons de surface.

c) - en ce qui concerne le canal de dérivation, seuls quelques tronçons ont été modifiés par rapport aux deux premiers projets. C'est pourquoi un sondage de reconnaissance mené jusqu'au substratum marneux, placé tous les 0,500 kilomètres a été estimé suffisant, là où aucun sondage n'existait dans un rayon inférieur à une centaine de mètres.

Ici encore, ce programme se double d'une série de sondages à la tarière, destinés à reconnaître l'épaisseur des limons de surface.

La densité des sondages mécaniques augmente au niveau des deux ponts futurs qui franchiront le canal. Pour éviter toute surprise fâcheuse comparable à ce qui a pu se produire lors d'aménagements antérieurs, un sondage a été placé au droit de chaque pile de pont.

d) - au niveau du groupe usine écluse déchargeur, il a été prévu pour les sondages en petit diamètre des implantations calquées sur les futurs ouvrages : dans l'axe de l'écluse, au droit des portes amont et aval, et au centre de l'écluse, ainsi que surtout pour les fondations de l'usine où il est important de connaître le profil du substratum au droit de la paroi étanche. Ces fondations atteignant la cote 95 NGF (le terrain naturel étant à cet endroit à la cote 133 NGF), ces sondages seront menés jusqu'à la cote 90 NGF et pourront permettre la mise en œuvre d'essais "in situ" au moment de leur exécution (essais de pénétromètre, en particulier) et de moyen d'étude du comportement des argiles pliocènes (tire-fonds, torpilles) qui renseigneront sur leurs réactions face aux sollicitations mécaniques.

e) - compte tenu des sondages déjà effectués, quatre nouveaux forages ont été placés en travers du Rhône, au P. K. 60 au Sud de Serrières, où il est envisagé d'établir un seuil qui garantirait à l'agglomération un plan d'eau comparable à l'actuel.

f) - enfin, à Condrieu, des sondages seront nécessaires pour l'étude du drain projeté. Ce drain, visitable, sera donc d'une section importante et la reconnaissance de son implantation se justifie par la crainte de rencontrer d'anciennes constructions humaines, comme d'anciens perrés, parfois rebelles au passage des engins mécaniques courants. D'une profondeur d'investigation réduite à une quinzaine de mètres (le substratum pouvant jouer alors un rôle à cette profondeur), ces sondages verront leur implantation directement commandée par les possibilités qu'offrent les ruelles de Condrieu à l'amenée de matériel de forage ; il est même à prévoir que l'accès par voie d'eau (donc l'emploi d'une portière, ce qui exige une période de hautes eaux favorables) sera rendu obligatoire en quelques points.

2. Sondages en moyen diamètre

Le programme de sondages en moyen diamètre est moins étendu que le précédent. Il se résume en un certain nombre de sondages qui devront être équipés de tubes piézométriques de fort diamètre (80-90 mm), munis de filtres, qui ne peuvent être adaptés sur des sondages de petit diamètre.

Certains de ces sondages sont placés dans la zone du barrage et dans la zone de l'usine-écluse. Outre leur rôle déjà cité, ils reconnaîtront le substratum en vue de la mise en place des parois étanches.

D'autres pourront recevoir tire-fonds ou torpilles, et servir ainsi à l'étude du substratum marneux.

Enfin, beaucoup de ces sondages sont destinés à recevoir des piézographes, appareils, dont le principe et la réalisation sont dus à la C. N. R., constitués d'un enregistreur sensible aux variations de pression d'air comprimé. On enregistre ainsi de façon continue sur un tambour comparable à celui d'un limnigraphe les variations du niveau de la nappe phréatique dans un piézomètre. L'emploi de ces appareils nécessite un tube piézométrique de fort diamètre.

3. Sondages en gros diamètre

Il est prévu dans le cadre de cette campagne l'exécution d'une dizaine d'essais de pompage. Ils ont été placés au voisinage des stations de pompage communales qui seront touchées de quelque manière que ce soit par l'aménagement ; un essai était également souhaitable à proximité des stations de pompage industrielles les plus importantes. En effet, un exhaussement ou un abaissement du niveau de la nappe phréatique dans les zones de captages importants peut influencer de façon certaine sur les caractéristiques hydrodynamiques d'une nappe alluviale. Il est donc indispensable au maître d'œuvre de les connaître avant les travaux.

Ces essais auront donc un double but : de constituer un dossier d'étude des conditions d'alimentation et de circulation de la nappe au voisinage des stations, et de permettre de chiffrer au mieux la valeur de la perméabilité des alluvions.

C'est dans ce but qu'un essai de débit a été prévu dans le secteur de la future paroi étanche du groupe usine-écluse.

Ces sondages en gros diamètre seront accompagnés de sondages pouvant être équipés de piézographes, disposés en croix sur deux cercles concentriques de rayons pouvant être pris respectivement égaux à 5 et 50 mètres par rapport à l'axe du pompage. Ces points d'observation supplémentaires augmenteront la précision des mesures et des résultats. On pourra aussi apprécier la valeur de la perméabilité dans deux directions normales.

Ajoutons que ces essais, pour prendre toute leur signification, devront être réalisés en tenant compte de certaines conditions impératives :

- niveau du Rhône le plus constant possible pendant la durée de l'essai,
- paliers de débit constant, établis chacun sur un temps suffisamment long, à débits croissants,
- mesures de niveau fréquentes.

Ces sujétions, dont la liste n'est pas limitative, constituent le minimum de précautions à prendre pour assurer un essai valable.

4. Essais spéciaux

En même temps que l'exécution de ces sondages, des essais autres que les essais de pompage, seront effectués. Ils concernent l'étude de la perméabilité des alluvions et des propriétés mécaniques des marnes pliocènes.

En ce qui concerne les alluvions, des essais de type "Lefranc" à charge constante ou à charge variable, valables pour les terrains meubles compléteront dans la zone du barrage et de l'usine les mesures faites ailleurs. D'autres essais semblables seront réalisés, également à l'avancement, dans les sondages du canal de dérivation et des digues, de même que dans la plaine de Condrieu.

Dans le même ordre d'idées, des essais de type "Lugeon" valables pour une roche compacte, ont été prévus sur une douzaine de sondages implantés dans les terrains cristallins fracturés.

Quant aux marnes pliocènes, deux types d'opérations sont prévus :

- des prélèvements d'échantillons non remaniés, qui fourniront des carottes destinées aux divers essais de laboratoire de Mécanique des Sols : essai triaxial, essai de cisaillement, essai Proctor, détermination des limites d'Atterberg, etc. . .

Ils seront effectués de préférence sur des sondages en moyen diamètre ;

- des essais de pénétromètre ("Standard Penetration Test", ou autre) qui permettront de se faire une idée sur le degré de compaction du sol, et sur sa résistance à l'enfoncement (poinçonnement).

VI - CONSEQUENCES POUR LES OUVRAGES

Trois types de terrains seront affectés par l'aménagement :

- les marnes pliocènes,
- les alluvions récentes,
- les alluvions anciennes (terrasses du Würm).

Elles interviennent sur les différents ouvrages, à des degrés différents.

A. LE BARRAGE

Il sera fondé sur les alluvions récentes du Rhône. Il restera en moyenne une dizaine de mètres au-dessus du substratum. Il s'agit donc d'un problème classique de fondations en alluvions mais qui présente deux particularités ; en effet, le substratum, la campagne de sondages préliminaires l'a montré, sera constitué ici des marnes pliocènes, bien que sur la partie rive droite, il soit composé sur une grande épaisseur de l'accumulation de matériaux analogues à une formation de déjection, issue vraisemblablement d'un torrent cévenole.

Cette hypothèse se trouve confirmée par l'étude qui est faite plus loin (voir fig. n° 8) où il apparaît qu'il s'agit d'un très ancien cône de déjection qui pénètre, le long du versant cristallin, sous le toit des marnes pliocènes.

Dans ce cas, cette formation pourrait être le siège de circulations d'eau souterraine importantes.

Un rideau d'étanchéité ou une paroi continue paraît donc être une précaution nécessaire afin d'éviter tout désordre du milieu de fondation et toute surprise ultérieure éventuelle.

De plus, il convient de noter que le modelé du substratum présente dans cette région un sillon assez net, ayant un tracé, qui dans le projet actuel semble contourner l'ouvrage par la rive droite. Le dispositif d'isolement du massif de fondation devra donc être établi en tenant compte de cette particularité.

Mise à part cette difficulté, il semble que la fondation puisse s'effectuer dans des conditions analogues à celles des aménagements antérieurs, sans poser de problème particulièrement nouveau.

B. LA RETENUE

Elle n'intéresse en principe que les alluvions modernes ; elle ne devrait donc pas soulever non plus de difficultés propres, puisque la tranche intéressée comprend seulement la partie supérieure de ces alluvions, faite de limons et de graviers fins.

Les travaux annexes risquent toutefois de rencontrer le substratum cristallin. Sans présenter d'inconvénient prohibitif une telle éventualité n'en suppose pas moins la mise en œuvre de techniques et de matériel appropriés, dont les premières

conséquences seraient des dépenses supplémentaires. De plus, le passage d'un terrain à l'autre, pourrait entraîner des retards dans le chantier.

Toutefois, si les sondages récemment effectués ont montré qu'à la sortie du défilé lui-même, le granite n'était pas à une cote "dangereuse" pour les travaux, il n'en est pas de même pour l'établissement du réseau d'assainissement de Condrieu.

Dans ce cas, les sondages complémentaires permettront de lever l'incertitude.

De même, mais avec une marge de sécurité plus grande, il n'est pas impossible que les terrains cristallins jouent un rôle à Saint-Alban-du-Rhône, en rive gauche, si un élargissement du chenal navigable doit être effectué pour appuyer la digue sur la haute terrasse. On sait en effet que la présence de ce niveau au milieu de la vallée est due à un éperon rocheux, qui affleure d'ailleurs tout près du lit du Rhône.

Enfin, signalons que les travaux pourront mettre en évidence des constructions humaines plus ou moins anciennes. Mais ce problème n'étant plus d'ordre géologique, tout essai de prévision devient très aléatoire, et il faudra se contenter des résultats des sondages futurs, prévus le long des digues et des berges du Rhône.

C. LA DERIVATION

La dérivation proprement dite comprend le canal d'amenée et le canal de fuite.

En ce qui concerne le premier tronçon (amenée), il ne semble y avoir de problème d'ordre purement géologique. Ce canal sera creusé sur toute sa longueur dans les alluvions modernes sans jamais atteindre le substratum marneux.

La partie superficielle, limoneuse, sera éliminée et le matériau provenant du creusement sera utilisé à l'édification des digues et des remblais, en raison de l'absence de particules argileuses en grande quantité, ce qui contribue à en faire un matériau très propre.

De plus, à l'échelle de l'aménagement, il s'agit d'une formation homogène, au moins dans sa partie la plus superficielle. Elles ne créeront donc pas en principe de surprises.

Quant au canal de fuite, il sera creusé lui aussi dans ces mêmes formations, mais à une profondeur plus grande. Aussi, dans sa partie amont, l'excavation pourra atteindre les marnes sous-jacentes et des solutions propres à l'exécution de fouilles dans un tel terrain devront être adoptées.

Donc, d'un point de vue purement géologique, cette section des travaux ne devrait pas souffrir d'inconvénient majeurs, quant à leur exécution. Par contre, leur incidence sur la nappe phréatique constitue le véritable problème. Son étude fait l'objet de la troisième partie de ce travail.

D. L'USINE ET L'ECLUSE

L'usine est le seul ouvrage qui sera fondé sur les marnes pliocènes. Il est donc possible que des problèmes techniques se posent lors de la réalisation, mais dans ce cas, l'expérience acquise sur les chantiers antérieurs sera d'une grande utilité.

En particulier, on peut penser qu'au contact de l'eau ces marnes pourront se transformer en une boue plastique qui rendrait pénible le travail et en allongerait les délais.

Ne pouvant prévenir l'inconvénient que représenteraient des conditions atmosphériques défavorables, il sera possible en revanche d'éviter les infiltrations d'eau à partir des alluvions sus-jacentes. Ces dernières sont en effet gorgées d'eau et fortement perméables. C'est pourquoi il est prévu d'exécuter une paroi étanche, qui isolera l'usine après les travaux, et des pompes de rabattement de nappe et d'assèchement.

Une fois asséchée, la fouille devrait avoir une tenue correcte, eu égard à la compacité de ces marnes.

Par contre, le matériau considéré, comme ceux déjà rencontrés plus à l'aval du Péage-de-Roussillon, pourra présenter l'inconvénient de se soulever, d'une façon plus ou moins importante, par décompression, au moment de l'exécution de la fouille. Il sera donc nécessaire de surveiller les réactions de ces marnes dans la zone de fondation.

Des précautions de ce genre ont déjà été prises lors de précédents aménagements sur le Rhône, en service maintenant ou encore en chantier. Dans ces cas semblables, on a pu, au stade des études ou en début de chantier, contrôler les mouvements des marnes au moyen de tire-fonds et de torpilles. Et des soulèvements de plusieurs centimètres ont ainsi été enregistrés.

Pour uniformiser les réactions de ce terrain, en un stade plus avancé des travaux, un radier général sera nécessaire.

En outre, et bien que l'on n'ait pas identifié d'argiles gonflantes (ce qui reste à confirmer), la fondation proprement dite devra être faite en fonction d'éventuels tassements différentiels, ce qui amènera à utiliser les méthodes déjà expérimentées dans les cas précédents : construction par blocs plus ou moins dépendants, et ayant une certaine "liberté" de jeu dans les deux directions de plan.

Quant à l'écluse, elle sera fondée en partie sur les alluvions (partie amont), qui seront alors compactées pour les homogénéiser. Reposant sur les marnes pliocènes, la partie aval subira les mêmes précautions que l'usine.

E. LA RESTITUTION

Il est prévu des dragages dans le lit actuel du Rhône, entre Saint-Rambert-d'Albon et Andancette, afin d'assurer un mouillage suffisant à la navigation.

Il est prévisible que l'épaisseur des alluvions sera assez grande pour que ces dragages puissent être effectués sans poser de problèmes très sérieux, puisqu'ils ne concernent que les quatre premiers mètres environ des alluvions.

Toutefois, c'est entre le promontoire d'Andance et le pointement d'Andancette que la crainte de rencontrer le substratum rocheux à une altitude élevée, en raison des irrégularités de sa surface, était la plus grande. En fait, les sondages mécaniques effectués dans cette zone ont trouvé le cristallin à une cote suffisamment basse : 110 à 113 NGF, le plafond des dragages étant prévu à la cote 121,50 NGF pour que l'on puisse envisager cette tranche des travaux d'exécution facile.

DEUXIEME PARTIE

LES FORMATIONS AQUIFERES

I - INTRODUCTION

Les alluvions modernes revêtent, nous l'avons vu dans la partie précédente, la plus grande importance à l'égard des travaux projetés. Elles sont le milieu aquifère de la nappe qui risque d'être passablement touchée par les ouvrages. En outre, elles seront le siège de la fondation du barrage, le matériau de constitution des digues ; le canal sera creusé dans ce terrain ; enfin elles seront le milieu environnant l'usine et l'écluse.

1. Problème géologique

Nous examinerons en premier lieu la structure géologique de ces formations.

Mais les alluvions récentes ne peuvent être étudiées que par la mise en œuvre de techniques appropriées, tels les sondages. Il n'existe en effet aucun affleurement naturel, et seulement de très exceptionnelles possibilités d'observation artificielles.

En conséquence, la synthèse des données de sondages, bien que ces derniers manquent parfois de précision, (mais seule la technique d'échantillonnage est en cause), sera des plus utiles.

Néanmoins, l'étude de surface, faite sur la terrasse würmienne, n'a pas été sans intérêt ; car, même si alluvions récentes et alluvions anciennes sont des dépôts différents par certains caractères (âge, climat, apports, composition, ...) il reste que ce sont des dépôts rhodaniens, et dans une certaine mesure, les observations de surface pourront être extrapolées aux dépôts récents. En tout état de cause, la convergence des faciès laisse penser que les structures doivent être voisines.

2. Problème de la perméabilité

L'étude géologique amène naturellement au problème de la perméabilité de ces alluvions. Diverses méthodes ont été utilisées de manière à cerner le problème, et d'obtenir une fourchette de valeurs du coefficient K, la plus étroite possible.

Car, il est bien évident que, d'un secteur à un autre, la valeur de K varie en fonction de facteurs divers souvent difficiles à chiffrer. Aussi, vouloir donner une valeur unique à ce coefficient pour de tels matériaux, si homogènes soient-ils à l'échelle de l'aménagement, semble simplifier le problème d'une manière trop systématique.

II - STRUCTURE DES ALLUVIONS

L'étude détaillée du remplissage alluvial de la vallée a été menée à partir :
- d'observations faites sur les alluvions anciennes, particulièrement faciles à aborder,
- d'indications sur les alluvions récentes, apportées par les sondages principalement.

Ces dernières sont évidemment les plus intéressantes à l'égard du problème étudié, mais ce sont aussi celles dont l'analyse et la synthèse sont les plus délicates, en raison surtout du mode de prélèvement : le sondage à la curette constitue un prélèvement qualitatif et non quantitatif.

A. ALLUVIONS ANCIENNES

1. Description lithologique de quelques affleurements

Les alluvions würmiennes se prêtent le mieux à une description détaillée des différents niveaux qui les composent, en raison des nombreuses exploitations de graviers dont elles font ou ont fait l'objet.

Trois carrières ont été choisies dans ce niveau (voir fig. n° 6) ; elles sont situées respectivement du Nord au Sud, à Saint-Alban, au lieu-dit "les Grandes Balmes" au Sud de Péage-de-Roussillon, et au lieu-dit "Montverze" près du débouché de la Sanne. Ces gravières permettent de faire débiter les observations à partir de la surface supérieure du maximum würmien.

Dans les descriptions qui suivent, les dimensions indiquées ont été seulement estimées à l'œil, et non mesurées. Elles donnent l'ordre de grandeur. En outre, la classification granulométrique adoptée est la suivante :

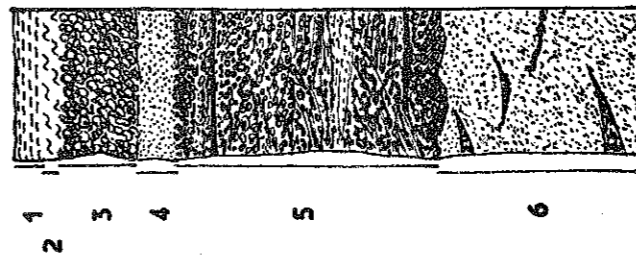
- cailloutis fins : d inférieur à 0,2 cm,
- galets petits : d compris entre 0,2 et 2 cm,
- galets moyens : d compris entre 2 et 10 cm,
- galets grossiers : d supérieur à 10 cm.

a) Carrière de Saint-Alban

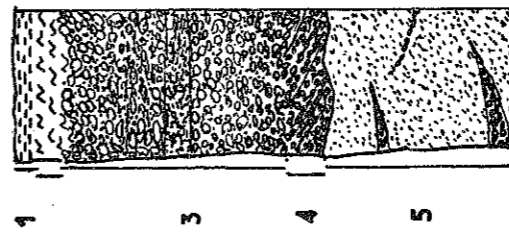
La succession lithologique est la suivante :

1. 0,30 m terre végétale ;
 2. 0,80 m limons bruns avec quelques galets moyens ;
 3. 0,30 m galets grossiers avec ciment argilo-sableux, de couleur rousse ;
 4. 4 m galets à granulométrie variable comprise entre 0,5 et 5 cm, avec ciment sableux fin, peu abondant.
Amas de gros galets. Mince lentilles sableuses ;
 5. 3 m sable fin pur, recoupé par endroits de lits fins de petits galets. Parfois, poches de cailloutis fins ;
 6. 3,5 m galets de granulométrie variable, semblable au niveau 4, avec minces niveaux limono-argileux (5 cm d'épaisseur maximum) qui déterminent des niveaux humides.
- Au-delà, zone aveugle jusqu'au fond de la carrière.

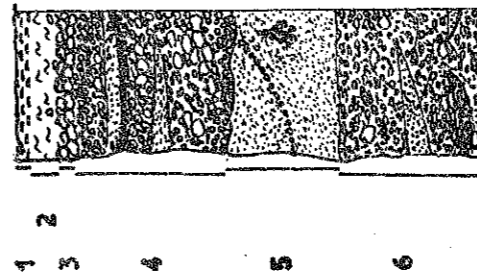
Montverze



Grandes Balmes



St Alban



Echelle 1 cm = 2 m

	Terre Végétale		Galets gros ou moyens (d > 2 cm)
	Limons		Galets petits (0,2 < d < 2 cm)
	Sable pur		Cailloutis fins (d < 0,2 cm)

Fig 6 COUPES SYNTHETIQUES DANS LES ALLUVIONS DE TERRASSES

Environ deux cents mètres au Sud de cette carrière, une zone d'emprunt, qui par ailleurs a fait apparaître le cristallin à une profondeur faible (4 à 5 m) sous la surface topographique, montre la succession suivante :

- 0, 20 m : terre végétale.
- 0, 60 m : limons bruns avec lits de petits galets.
- 0, 20 m : limons très fins, de couleur ocre.
- 0, 40 m : sable à litage oblique, renfermant des niveaux de petits galets.
- 0, 50 m : argilite de couleur gris verdâtre, avec lit d'argile pure blanchâtre à la base.
- 1, 20 m : galets de plus en plus grossiers vers la base, avec ciment sableux.

b) Carrière des Grandes Balmes

On peut y noter la succession synthétique suivante :

1. 0,50 m : terre végétale.
2. 0,90 m : limons bruns.
3. 6 m : niveau de galets à granulométrie variable, (d_m compris entre 0,3 et 10 cm). Litages entrecroisés fréquents. Ciment sableux peu abondant.
4. 0,80 m : niveau identique au précédent, où les intercalations sableuses sont plus fréquentes. Le litage est oblique. Le contact avec le niveau inférieur est très irrégulier et se marque par une coloration brun roussâtre.
5. 5 m : formation sableuse avec petites lentilles de petits galets dont l'épaisseur ne dépasse pas 40 cm. Puis, zone aveugle jusqu'au fond de la carrière.

c) Carrière de Montverze

Une coupe synthétique montre :

1. 0,80 m : terre végétale.
2. 0,40 m : limons sableux roux, avec quelques galets.
3. 2 m : niveau de galets moyens ($d_m = 4$ cm) où le ciment sableux est peu abondant.
4. 1 m : banc de sable gris clair, homogène.
5. 7 m : niveau de galets moyens, à ciment sableux peu abondant, renfermant quelques lentilles (0,50 à 0,70 m d'épaisseur) de petits galets, sans ciment, et quelques niveaux sablo-argileux, en lentilles de 3 à 5 cm d'épaisseur. Litage entrecroisé fréquent.
6. 5 à 6 m : sable fin, avec quelques rares niveaux de galets ($d_{max} = 3$ cm) en lentilles de 1 à 5 cm d'épaisseur.

2. Répartition des éléments en fonction de leur nature pétrographique

a) Localisation des points d'observation

La détermination des pourcentages des principaux types pétrographiques rencontrés, en galets, dans les alluvions anciennes a été effectuée sur des matériaux provenant :

- des trois carrières citées au paragraphe précédent, (1, 2, 3)
- de la carrière du lieu-dit "les Truffayes", à l'Ouest de Péage-de-Roussillon, dans la terrasse würmienne, (4)
- de la carrière "des Blaches", lieu-dit situé au Sud Ouest de Péage-de-Roussillon, dans le niveau de creusement du Würm, (5)
- enfin, d'une ancienne exploitation située en rive droite, entre la R.N. 86 et Saint-Désirat, dans le niveau du maximum würmien, (6)

b) Résultats

Il a été possible de distinguer les galets correspondant aux différentes natures lithologiques suivantes, sans tenir compte des fractions dimensionnelles :

- Radiolarites $d_{min} = 0,3$ $d_m = 1$ $d_{max} = 2$ cm

- Cristallin	$d_{min} = 0,5$	$d_m = 5$	$d_{max} = 25$
- Calcaires	" = 1,5	" = 5	" = 20
- Grès et Quartzites	" = 3	" = 10	" = 30
- Quartz pur.	" = 0,5	" = 2	" = 5

Les différents pourcentages relatifs aux divers points d'observation sont représentés sur la figure n° 7, sous forme de diagrammes circulaires.

c) Interprétation

En conclusion il apparaît :

- un pourcentage quasi constant de radiolarites, le plus souvent en petits galets ($d_m = 1$ cm), facilement caractérisés par leur couleur rouge brique ;
- un pourcentage croissant du Nord au Sud en galets calcaires, pouvant atteindre une taille importante (jusqu'à 20 cm). La valeur rencontrée dans la carrière des Blaches et des Truffayes (niveau de creusement) indique une plus grande proportion des calcaires dans les niveaux plus profonds de la nappe würmienne.
- un pourcentage décroissant du Nord au Sud des galets de grès et quartzites, caractérisés par leur forme massive de roche dure, ainsi que des galets de quartz, le plus souvent sous forme de quartz laiteux, mais parfois aussi sous forme de quartz rose, opaque,
- enfin, une proportion de roches cristallines, assez faible en rive gauche, où il est difficile en raison de l'altération des matériaux de préciser si prédominent les faciès alpins ou ceux propres au Massif Central. La taille de ces galets ne dépasse pas 5 à 7 cm. En rive droite, dans l'unique carrière où il a été possible de faire une étude valable, cette proportion a considérablement augmenté, et il convient de remarquer que les faciès du Massif Central dominant. De plus, on peut souligner que la taille des galets a également augmenté (d_{max} atteignant 25 cm).

En résumé, les proportions de galets de calcaires et de grès semblent varier en raison inverse l'une de l'autre, celle des premiers augmentant, celle des derniers diminuant, du Nord au Sud. Il est possible de voir là le résultat d'un dépôt différencié, marqué pour la partie sud par des apports plus importants d'éléments provenant des chaînes subalpines, et pour la partie nord par une prédominance d'éléments plus résistants, ayant pu subir un transport considérable et éventuellement un remaniement plus ou moins accentué, ce qui est confirmé par l'étude de l'orientation des galets.

D'autre part, l'accroissement de la proportion en galets cristallins, de la rive gauche à la rive droite, mérite d'être mis en lumière. Il correspond à un apport évidemment plus fourni en ces matériaux sur la bordure du Massif Central.

3. Observations relatives aux dépôts alluvionnaires (*)

Au cours de l'étude des dépôts alluvionnaires, quelques observations intéressantes ont pu être faites dans les gravières exploitées dans les alluvions würmiennes.

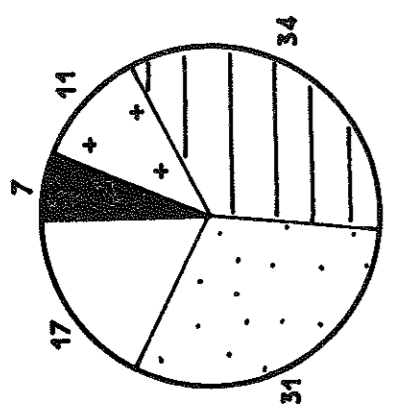
Dans les alluvions anciennes, il a été possible d'observer, à la suite de J. AVIAS (1956) d'importantes concrétions de calcite, en bourgeons de petite taille, situées à la face inférieure de gros galets en place (d voisin de 20 cm). Ces concrétions sont responsables de l'agglutination de grains plus petits ($d = 0,5$ à 1 cm).

Le phénomène résulte probablement du lessivage des horizons sus-jacents (limons ou fraction sableuse des alluvions qui contient en moyenne 25 à 30 % de CO_3Ca), et de la migration "per descensum" du carbonate de calcium.

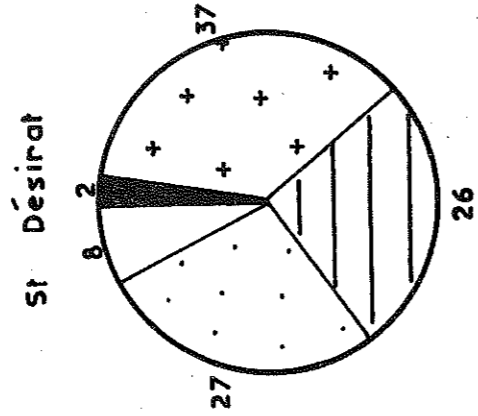
Une deuxième observation concerne la gélification de certains galets : très souvent, les galets allongés ont été frag-

(*) - Certaines de ces observations ont été faites conjointement avec M. P. MANDIER, assistant à la Faculté des Lettres de Lyon. Je le remercie des discussions fructueuses que nous avons eues ensemble.

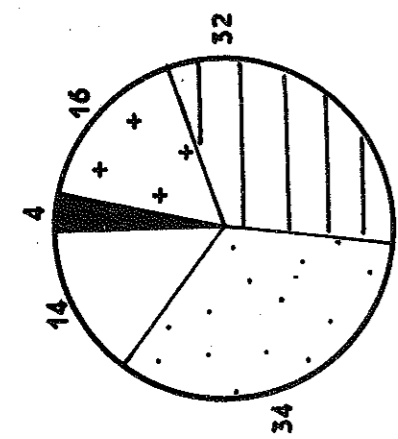




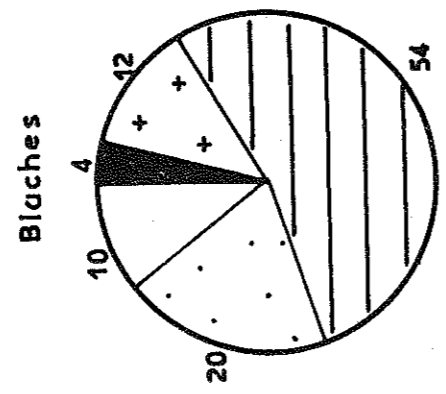
Montverze



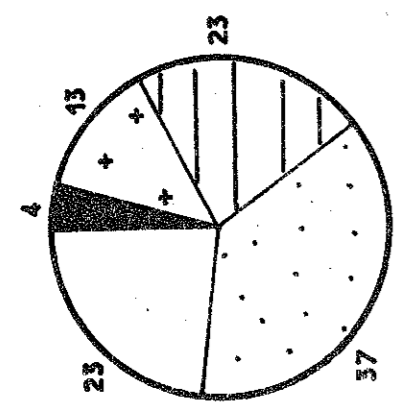
St Désirat



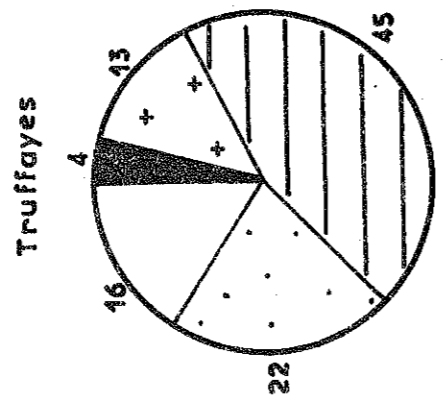
Grandes Balmes



Blaches



St Alban



Truffayes



POURCENTAGES PETROGRAPHIQUES
TERRASSE WÜRMIENNE

Fig 7

mentés en rondelles; les cassures sont nettes, quasiment planes; les angles vifs résultant de ces dernières ne sont pas émoussés, ou ne le sont que très légèrement. Ceci implique une fragmentation contemporaine du dépôt: il n'y a pas eu transport, ce qui est confirmé par la présence de plusieurs fragments correspondants, trouvés à une faible distance les uns des autres. La seule cause plausible de ce phénomène est l'action du gel, preuve tangible du climat froid qui régnait au moment de l'accumulation de ces formations.

B. ALLUVIONS RECENTES

A la lumière des paragraphes précédents, il convient maintenant d'examiner les données des sondages déjà exécutés, relatives à la structure des alluvions récentes. Puis, en dernier lieu, il sera fait état d'observations réalisées dans la fouille de l'usine de l'aménagement de Saint-Vallier, situé à l'aval de la région qui nous intéresse ici.

Tous les sondages exécutés pour l'aménagement de Péage-de-Roussillon ont été implantés dans la plaine, et ont donc traversé ces formations sur une épaisseur que l'on peut considérer égale en moyenne à une vingtaine de mètres. Il apparaît que certains d'entre eux ont rencontré un ensemble homogène de galets, graviers et sable, sur toute leur longueur, ce qui rend impossible, dans ce cas, toute interprétation tentant de retrouver les alluvions anciennes sous les alluvions récentes.

1. Coupe au niveau de barrage

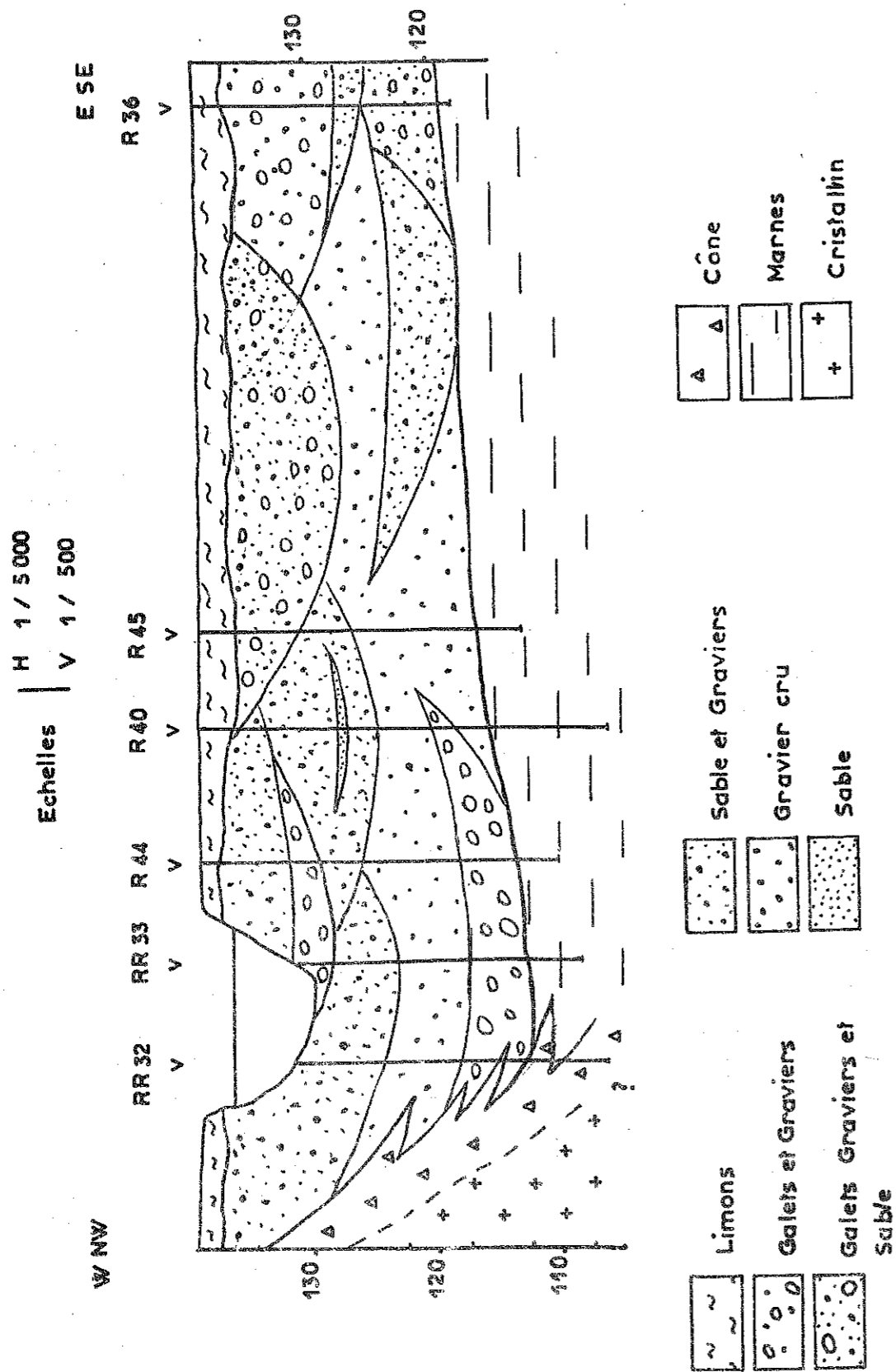
Sur plusieurs sondages cependant, on peut déceler divers niveaux de compositions granulométriques différentes; ainsi, par exemple dans le secteur du futur barrage, on a pu grâce à une coupe (représentée sur la figure n° 8) faire ressortir la présence de lentilles, différenciées selon leurs caractères granulométriques de la façon suivante:

- galets, graviers, sable,
- galets, graviers,
- graviers crus,
- sable et graviers,
- sable.

Cette coupe montre:

- une épaisseur de limons de débordement relativement irrégulière,
- une disposition des lentilles classiques pour ce genre de dépôts; les lentilles plus grossières, situées à la base de la nappe alluviale peuvent être attribuées dans ce cas précis aux alluvions anciennes; nous avons ici un des rares cas de mise en évidence de cette attribution, qui reste d'ailleurs hypothétique en l'absence de preuves formelles;
- un substratum marneux légèrement incliné vers l'Ouest, venant se raccorder au versant cristallin par l'intermédiaire d'un cône très ancien, s'intercalant même dans les marnes bleues. Cette formation peut s'interpréter soit comme un cône de déjection (les éléments qu'on y trouve sont peu roulés) soit comme le résultat de "coulées de versant", sorte de brèche de pente. Dans ce dernier cas, cette formation devrait être retrouvée tout le long de la bordure du versant cristallin. Or, les deux sondages situés à proximité du versant sont implantés au débouché de deux torrents cévenols, et tous deux ont montré la même formation.

En conclusion, nous opterons pour la première interprétation: cônes de déjection d'extension latérale limitée, localisée au débouché de torrents qui ont été à l'époque fin Tertiaire - début Quaternaire plus actifs qu'aujourd'hui. Mais il n'est pas exclu que de nouvelles observations prouveront une certaine continuité à cette formation, et dans ce cas la deuxième hypothèse se verrait confirmée.



COUPE GEOLOGIQUE AU DROIT DU BARRAGE

Fig 8

Quoi qu'il en soit, cette formation a vraisemblablement eu lieu par épisodes successifs, d'abord au moment du dépôt des marnes pliocènes, ensuite, pendant le Quaternaire, lors des différentes phases d'accumulation du Rhône.

2. Problème des Chenaux

Par ce terme, nous entendons des zones de circulations préférentielles des eaux souterraines. Elles correspondent donc à des niveaux de granulométries différentes, qui pourraient être d'anciens cours du Rhône.

En pratique, il se trouve plusieurs preuves de l'existence de tels chenaux : nous en parlerons au paragraphe suivant ; mais dès à présent, on peut rappeler qu'une pollution d'origine superficielle a atteint la nappe en un point donné de la vallée, et n'a affecté que quelques uns des nombreux puits situés, à l'aval, sur un profil transversal à la vallée.

Ce déplacement de pollution chimique dans une direction donnée atteste donc la présence au sein du massif alluvionnaire de chenaux plus perméables.

Dans le cas précis représenté sur la coupe précédente (voir fig. n° 8), on peut également avancer que certains niveaux moins sableux ou plus grossiers s'intercalent dans une formation où prédominent les sables et graviers. Ainsi, au niveau du barrage, une densité de sondages suffisamment grande permet de conclure que des circulations importantes doivent se produire, au niveau du fond du Rhône, en rive gauche, ainsi que sous ce lit, à la base de la nappe alluviale.

Ailleurs, soit parce que les sondages sont distants de 500 mètres ou plus, soit parce qu'il n'a pas été possible d'identifier des niveaux de granulométries distinctes, toute interprétation devient hypothétique et il est impossible d'envisager avec suffisamment de précision la répartition de chenaux éventuels.

Comme le plus souvent, il n'y a pas de moyens directs de les caractériser, de les localiser dans l'espace (orientation, dimensions...) et de les raccorder entre eux, on peut seulement constater ou supposer leur présence.

3. Observations réalisées à Gervans

L'ouverture de la fouille de la future usine de Gervans (Drôme), pour l'aménagement de Saint-Vallier, nous a permis d'observer directement ces formations en place.

Il y a tout lieu de penser que la structure des alluvions du Rhône sont semblables entre ces deux points, et des corrélations ont été ainsi rendues possibles.

D'une façon générale, il apparaît que les alluvions récentes sont plus homogènes que les alluvions anciennes : les lentilles de granulométries différentes sont en moins grand nombre, et en particulier, il n'existe que de très rares lentilles de sable pur.

En outre, la granulométrie moyenne des premières est estimée plus faible que celle des secondes, ce qui sera d'ailleurs confirmé au chapitre suivant.

Dans le détail, on a pu voir qu'il pouvait se produire des passées où les alluvions étaient beaucoup moins propres qu'elles ne sont réputées l'être. Une importante proportion d'argile s'adjoint au ciment, qui de ce fait devient moins sableux.

En outre, les travaux ont mis en évidence des zones où les galets sont recouverts d'un enduit noirâtre, dû à la présence d'oxydes métalliques et (probablement) de graphite. Ces dépôts sont en forme de bandes étroites, localisées ; ils attestent l'existence de zones de circulations privilégiées d'eaux chargées en sels minéraux. Malheureusement, de telles zones sont indécélables à l'examen de surface.

On a pu également mettre en évidence la présence de blocs de nature cristalline dont la taille moyenne atteint le mètre cube. Ces blocs sont rarement disséminés dans la masse des graviers, mais plus souvent rencontrés à la base

(*) - Mis en évidence par diffractométrie aux R-X.

de la nappe alluviale (le plus gros bloc trouvé atteignait le poids de 25 tonnes). Ils ont une forme "roulée", ce qui indique que malgré leur taille, ils ont subi un certain transport.

Toutefois, la densité de telles observations est suffisamment faible, surtout au sein de la formation alluviale, pour considérer la rencontre de ces blocs comme exceptionnelle.

C. CONCLUSION

Les différents points abordés au cours de cette étude, ont mis l'accent sur le caractère hétérogène de ces alluvions. L'étude de surface a permis de conclure à l'existence de lentilles souvent peu épaisses, dont l'arrangement est complexe; les niveaux de galets et graviers sont les plus abondants, et présentent fréquemment une structure "ouverte", selon la définition de H. CAMBEFORT (1951). Quant aux niveaux de sable, ils n'ont été rencontrés (il faut le souligner) que juste à l'amont du débouché des affluents de la rive gauche : la Varèze à Saint-Alban, la Sanne à Montverze. On peut donc penser que ces dépôts fins sont liés à une sorte de barrages naturels provoqués par ces confluences.

L'analyse des relevés de sondages a confirmé ces observations, avec moins de précision, il est vrai. En particulier, il a été impossible d'identifier les niveaux argileux mis en évidence dans les alluvions anciennes. On peut donc penser qu'ils font défaut dans les alluvions modernes, ou plus probablement que la technique d'échantillonnage n'a pas permis de mettre en évidence des niveaux fins dont l'épaisseur est de l'ordre de 5 à 10 cm.

Quant aux niveaux sableux, ils ont été rencontrés en de rares endroits, et surtout sur de faibles épaisseurs.

Mais il demeure que dans l'ensemble, la granulométrie des alluvions récentes est plus fine et plus homogène que celle des alluvions anciennes; Ceci sera confirmé au chapitre suivant.

Pour conclure, on peut souligner l'hétérogénéité de détail de ces formations, même si à l'échelle d'un ouvrage, elles peuvent apparaître comme homogènes. Cette conclusion prendra toute son importance, par la suite lors de l'étude de la perméabilité des alluvions.

III - PERMEABILITE DES ALLUVIONS

La connaissance de la valeur la plus approchée possible du coefficient de perméabilité des alluvions est d'un intérêt fondamental. C'est à ce problème que tentera d'apporter une solution ce chapitre, grâce à l'utilisation de techniques expérimentées, tant en laboratoire, sur des échantillons remaniés, que sur le terrain, avec un matériau en place.

A. MESURES INDIRECTES

1. Analyses granulométriques

Ces analyses ont été réalisées sur différents échantillons intéressants :

- les alluvions récentes ;
- les alluvions anciennes.

a) Alluvions récentes

Les prélèvements ont eu lieu sur le matériau provenant du forage R 65 exécuté dans la plaine de Condrieu, au trépan d'injection. Les sables et graviers, et les particules fines ont été récupérés, après décaantation, ce qui explique que le minimum de pertes de fines par lavage a été réalisé. Cette prise d'échantillon a été effectuée entre 2,30 m et 9,80 m de profondeur, soit sur 7,50 mètres.

Le matériau a été réparti en neuf lots, sur chacun desquels une analyse granulométrique a été faite. Puis ces neuf lots ont été soigneusement mélangés et deux nouvelles analyses ont été faites sur ces échantillons "moyens".

La figure n° 9 représente les fuseaux granulométriques obtenus avec les valeurs extrêmes (en pointillé) et avec les résultats des analyses faites sur les échantillons moyens (traits pleins).

Il ressort que :

- le fuseau des valeurs moyennes se situe assez bien au milieu du fuseau des valeurs extrêmes, ce qui indique une proportion pondérale semblable en éléments fins et en éléments grossiers, donc une prédominance, en volume, des éléments fins ;
- le diamètre moyen se situe vers 18 mm ;
- le diamètre efficace d_{10} (dimension au-dessous de laquelle se situe la taille de seulement 10 % des éléments de l'échantillon), se trouve à 0,2 mm ;
- on ne trouve pratiquement pas de particules argileuses (pourcentage voisin de 1 %).

b) Alluvions anciennes

Les analyses se rapportant aux alluvions anciennes ont été effectuées sur des échantillons "moyens" prélevés dans quelques unes des gravières citées plus haut :

- celle des Grandes Balmes,
- celle des Blaches,

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

FUSEAUX GRANULOMETRIQUES ALLUVIONS RECENTES

SEDIMENTATION

TAMISAGE

argiles

silts

sables

graviers

cailloux

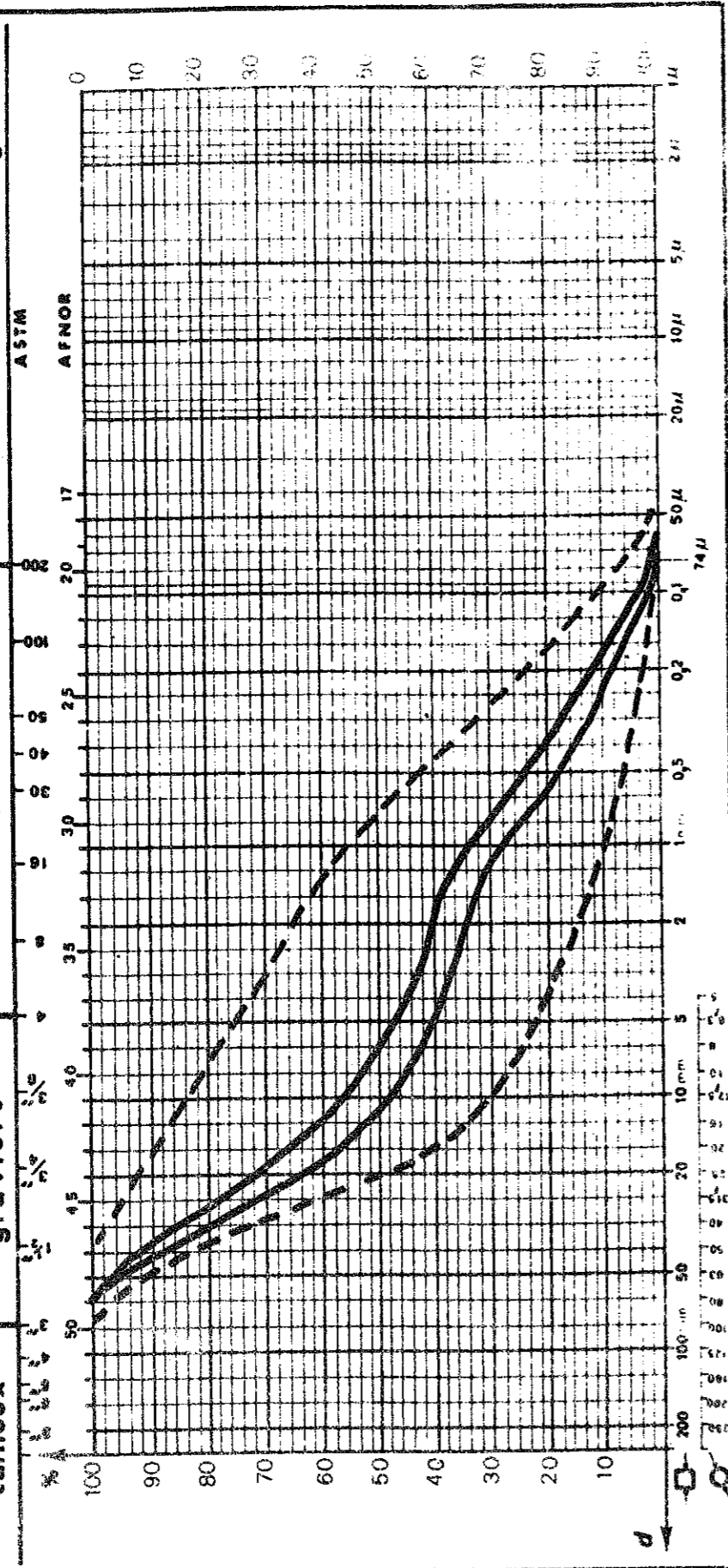


Fig 9

- celle de Saint-Désirat,
- celle des Truffayes.

Les résultats sont également représentés sous la forme d'un fuseau (voir fig. n° 10), duquel il ressort que :

- la forme bimodale, légèrement visible sur les fuseaux des alluvions récentes, est encore accentuée ici, ce qui indique deux origines différentes. Aussi, on pourrait penser que ces deux apports étaient le Rhône et l'ancienne rivière qui drainait la Bièvre-Valloire ; mais tous deux étant d'origine glaciaire, les matériaux qu'ils ont accumulés ne devaient pas être morphométriquement très différents ; et il est plus logique d'invoquer un remaniement de formations différentes (comme une moraine), dont le résultat serait venu s'adjoindre au caractère primitif des alluvions ;
- le diamètre moyen se situe ici vers 15 mm ;
- le diamètre efficace se trouve à 0,7 mm ;
- on ne trouve là encore qu'un pourcentage très réduit (inférieur à 1 %) de particules argileuses.

c) Comparaison entre les deux résultats

On peut donc vérifier d'après ces différentes courbes que la granulométrie des alluvions anciennes est supérieure à celle des alluvions récentes.

De plus, il est à souligner que ces matériaux sont pratiquement dépourvus de particules fines de la dimension des argiles. Elles sont donc très propres, comme on pouvait l'espérer par comparaison avec les formations identiques trouvées, lors d'aménagements antérieurs, plus à l'aval dans la vallée.

2. Application de la relation de HAZEN

Parmi les lois qui relient la granulométrie et la perméabilité, la plus couramment utilisée est celle connue sous le nom de loi d'Allen Hazen. C'est la plus simple, car elle ne fait intervenir que les deux notions indiquées : le diamètre efficace d_{10} et le coefficient de perméabilité K , sans nécessiter la connaissance de facteurs souvent difficiles à mesurer, comme la porosité du sédiment, la viscosité de l'eau, etc...

Cette loi s'écrit :

$$K = c \cdot d_{10}^2$$

où K est le coefficient de perméabilité,

d_{10} le diamètre efficace, qui intervient par son carré,

c un coefficient dont la valeur est comprise entre 100 et 150.

K est donné en m/s si d est exprimé en mètres.

Si l'on applique cette formule simplement, à partir des données des analyses granulométriques, on obtient :

- pour les alluvions récentes : K compris entre $4 \cdot 10^{-6}$ et $6 \cdot 10^{-6}$ m/s ;

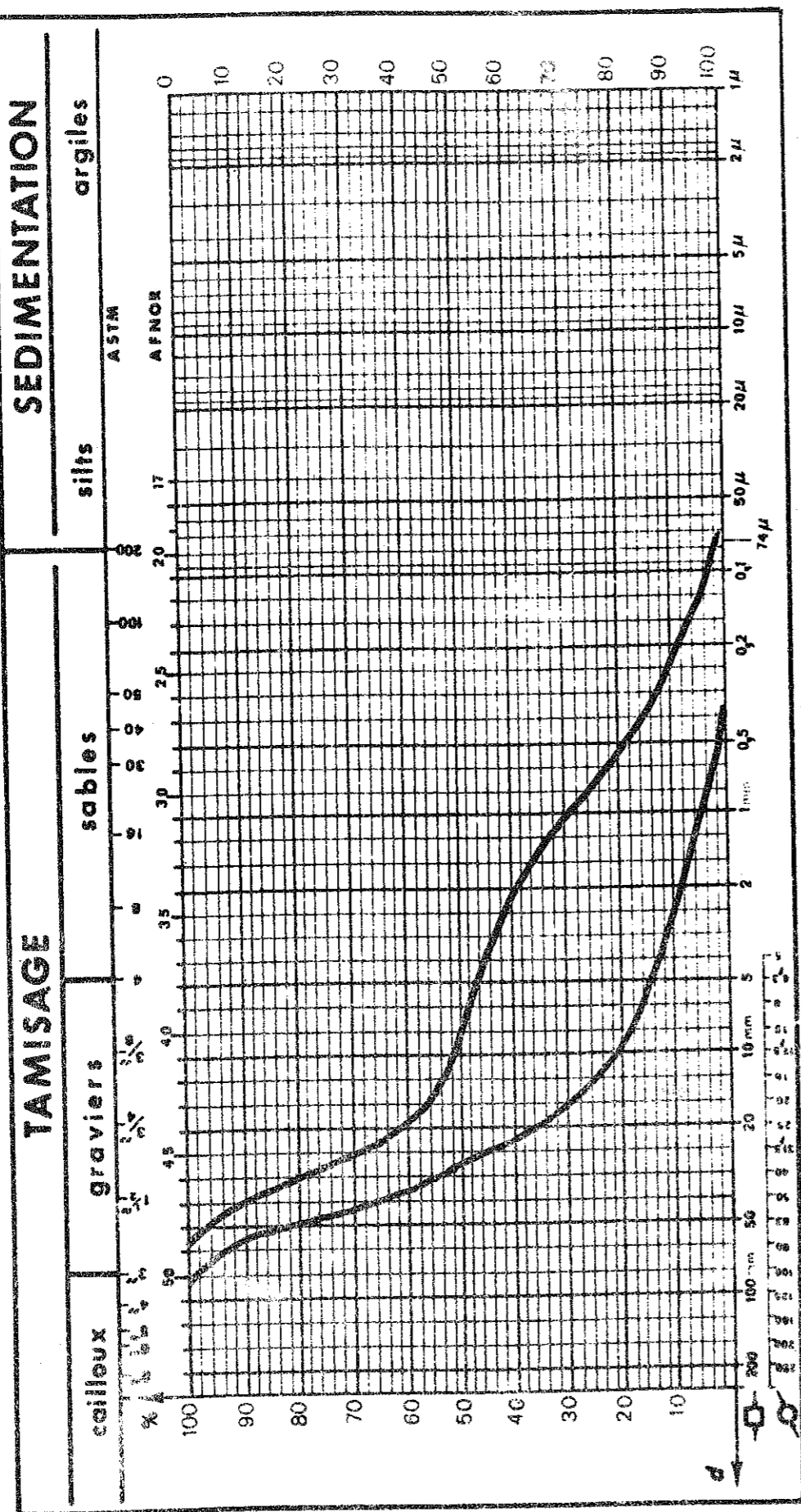
- pour les alluvions anciennes :

K compris entre $4,9 \cdot 10^{-5}$ et $7,5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

On peut comparer ces valeurs avec celles obtenues par la méthode du perméamètre sur des échantillons remaniés prélevés dans les alluvions anciennes. La valeur du coefficient K est alors comprise entre $8,9 \cdot 10^{-6}$ et $1,7 \cdot 10^{-5}$ m/s. Ce sont des valeurs que l'on peut considérer comme faible mais il n'est pas surprenant de constater une telle différence, eu égard au mode d'échantillonnage d'une part, et surtout d'autre part à l'arrangement du matériau dans le moule du perméamètre (compaction différente de ce qu'elle est dans la réalité).

**FUSEAU GRANULOMETRIQUE
ALLUVIONS ANCIENNES**

Fig 10



B. MESURES DIRECTES

Des essais ponctuels de perméabilité ont été réalisés dans le cadre de la campagne de sondages préliminaires, sur le forage R 64, situé au droit de la déviation de Condrieu. Ce forage était tubé dans les alluvions récentes, avec une colonne lisse de 140 mm de diamètre.

Les essais étant effectués dans des terrains meubles, seul le principe "LEFRANC" était utilisable, et la méthode par injection a été retenue. Six séries de mesures ont été faites à l'avancement, en considérant que le tubage, lisse, était descendu jusqu'au fond du sondage.

Ces essais ont été menés suivant deux procédés :

- à débit constant,
- à charge variable.

1. Essais "LEFRANC" à débit constant

Le principe de cet essai consiste à injecter en tête de la colonne, un débit Q constant de manière à maintenir à un niveau fixe l'eau dans le forage.

On réitère l'opération pour plusieurs niveaux, et à chaque stabilisation, on fait correspondre un couple de valeurs : Q_1-H_1 , Q_2-H_2 , Q_3-H_3 , ... où Q représente le débit d'injection

et H la charge totale au-dessus du sabot de la colonne, ou simplement la surcharge due à l'injection, en mètres d'eau.

On trace la courbe

$$H = f(Q)$$

ce qui permet de calculer graphiquement

$$\frac{dH}{dQ} = \text{tg } i$$

Partant de la formule de DARCY modifiée

$$Q = C K H,$$

il vient :

$$K = \frac{1}{C \cdot \text{tg } i}$$

où

k est le coefficient de perméabilité

tg i, la pente de la droite, mesurée graphiquement

C, le coefficient de forme.

Pour ce dernier, si l'on suppose que le passage de l'eau s'effectue selon une surface plane, circulaire (base de la colonne), on peut utiliser la formule de Donald W. TAYLOR :

$$C = 5,7 \cdot r$$

dans laquelle r est le rayon de la colonne, exprimé en mètres.

L'essai n° 6 effectué à la profondeur de 15 mètres peut être pris comme type d'interprétation.

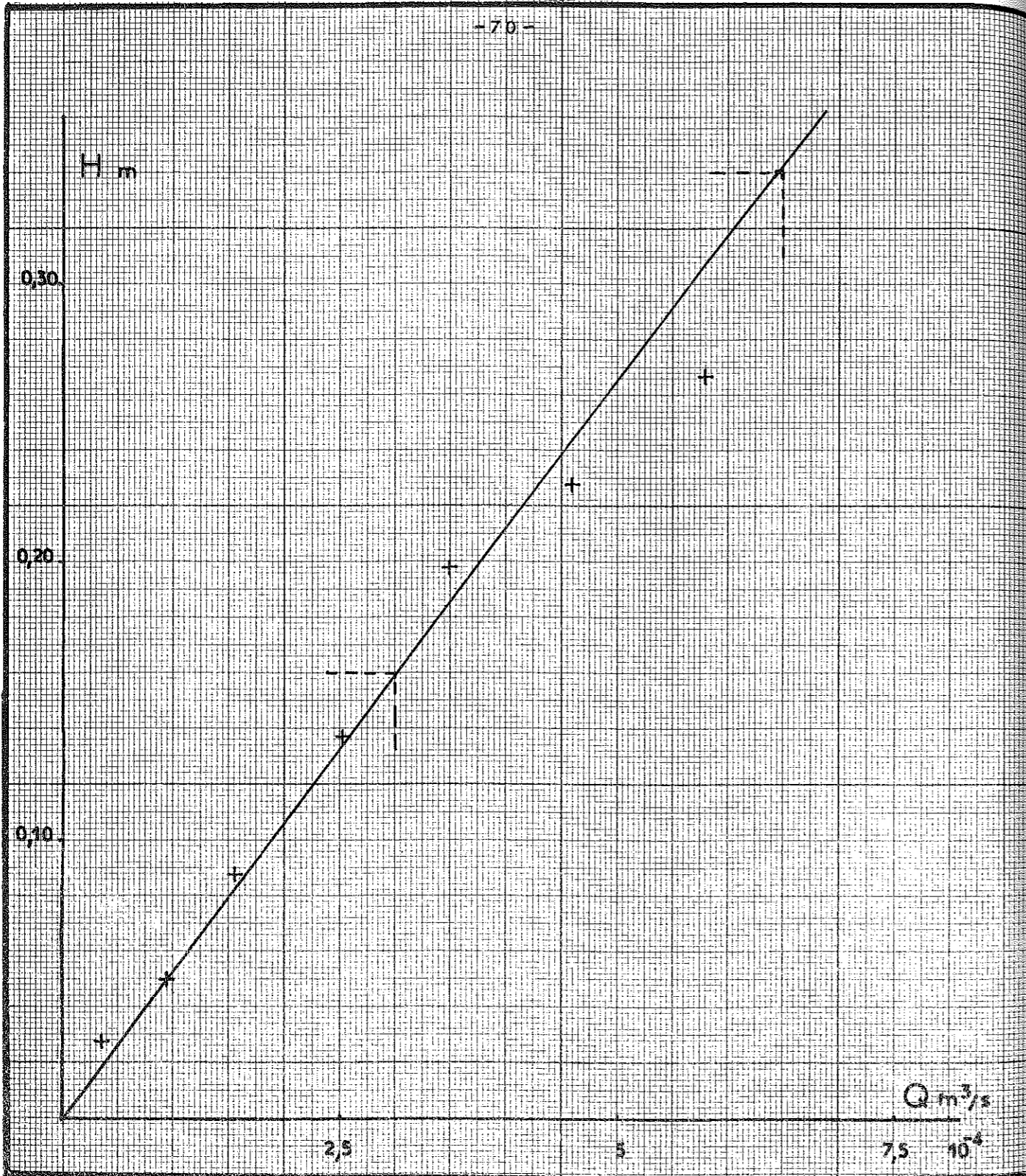


Fig 11

ESSAI TYPE LEFRANC
DEBIT CONSTANT

Les couples de valeurs $Q_1 - H_1$ sont les suivantes :

$Q_{m^3/s}$	dH_{in}
$0,4 \cdot 10^{-4}$	0,03
0,9 "	0,05
1,58 "	0,09
2,53 "	0,14
3,5 "	0,20
4,6 "	0,23
5,8 "	0,27
$8,5 \cdot 10^{-4}$	0,47

La courbe de mesures est reportée sur la figure n° 11.

Ayant choisi de porter en ordonnées la surcharge apportée par l'injection d'eau, la courbe passe par l'origine des axes. En principe les points doivent s'aligner sur une droite ; en réalité, à cause de facteurs divers, comme l'imprécision des mesures, la non certitude absolue que le tubage descend au fond du sondage, ce qui peut entraîner des colmatages ou des décolmatages, ces points ne sont pas exactement alignés, et il convient de construire au mieux, la droite qui intègre les irrégularités de mesures.

La pente de cette droite est donc :

$$\text{tg } i = \frac{0,34 - 0,16}{(6,5 - 3) \cdot 10^{-4}} = 0,05 \cdot 10^4$$

D'autre part,

$$r = 0,07 \text{ m}$$

donc

$$K = \frac{1}{5,7 \cdot 0,07 \cdot 0,051} \cdot 10^{-4}$$

soit

$$K = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Les autres essais de ce type donnent les résultats suivants :

Essai n° 2 (profondeur 7,00 m) $K = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

Essai n° 3 (profondeur 9,00 m) $K = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

Ces résultats doivent être regardés avec une certaine prudence en raison de l'hypothèse relative à la forme de la cavité située à la base de la colonne. Diverses formules donnent une valeur du coefficient C suivant que l'on considère qu'il s'agit d'une sphère, d'une demi-sphère, d'un cylindre, d'un disque circulaire...

En l'absence de données suffisamment précises, nous avons opté pour la dernière solution. Et il convient de noter que le calcul de C à l'aide des autres formules plus complexes n'apporte que peu à la précision du résultat.

2. Essai "LEFRANC" à charge variable

Cet essai diffère du précédent par le fait que l'on injecte de l'eau dans le forage d'une façon supposée instantanée. Puis, on note à intervalles de temps réguliers, la remontée ou la descente du niveau d'eau dans le sondage.

On obtient à nouveau des couples de valeurs $t_1 - h_1, t_2 - h_2, t_3 - h_3 \dots$, où h représente la charge totale au-dessus du niveau statique, au temps t, mesuré toutes les minutes par exemple.

L'essai n° 4 peut être pris comme type d'interprétation. Il a été effectué à la profondeur de 15 mètres, par injection d'eau. On a donc observé la courbe de descente.

Avec les mesures relevées (voir fig. n° 12), on forme les quantités suivantes :

Essai n° 4. - Profondeur : 11 m - Niveau de la nappe au sol : 4,80 m

Temps en mn	Niveau de l'eau au-dessous du spl en m	Hauteur d'eau au-dessus de la nappe en h_j m	$(\frac{dh}{dt})_i$ en m/s	H_i en m
1	0,39	4,41	0,0035	4,30
2	0,60	4,20	0,0031	4,10
3	0,79	4,01	0,0028	3,92
4	0,96	3,84	0,0025	3,76
5	1,11	3,69	0,0021	3,62
6	1,24	3,56	0,0021	3,49
7	1,37	3,43	0,0020	3,37
8	1,49	3,31	0,0020	3,25
9	1,61	3,19	0,0018	3,14
10	1,71	3,09	0,0018	3,02
11	1,81	2,99	0,0015	2,94
12	1,90	2,90	0,0015	2,85
13	1,99	2,81	0,0013	2,77
14	2,07	2,73	0,0018	2,68
15	2,17	2,63	0,0013	2,43
20	2,57	2,23	0,0012	2,05
25	2,93	1,87	0,0011	1,70
30	3,27	1,53	0,0009	1,38
35	3,56	1,24	0,0009	1,10
40	3,83	0,97	0,0008	0,84
45	4,09	0,71	0,0008	0,58
50	4,34	0,46	0,0007	0,34
55	4,57	0,23	0,0005	0,15
1h00	4,73	0,07	0,0002	0,04
05	4,79	0,01	0,0003	0,005
10	4,80	0,00		

Fig. 12 - Essai LEFRANC à charge variable - Tableau de mesures.

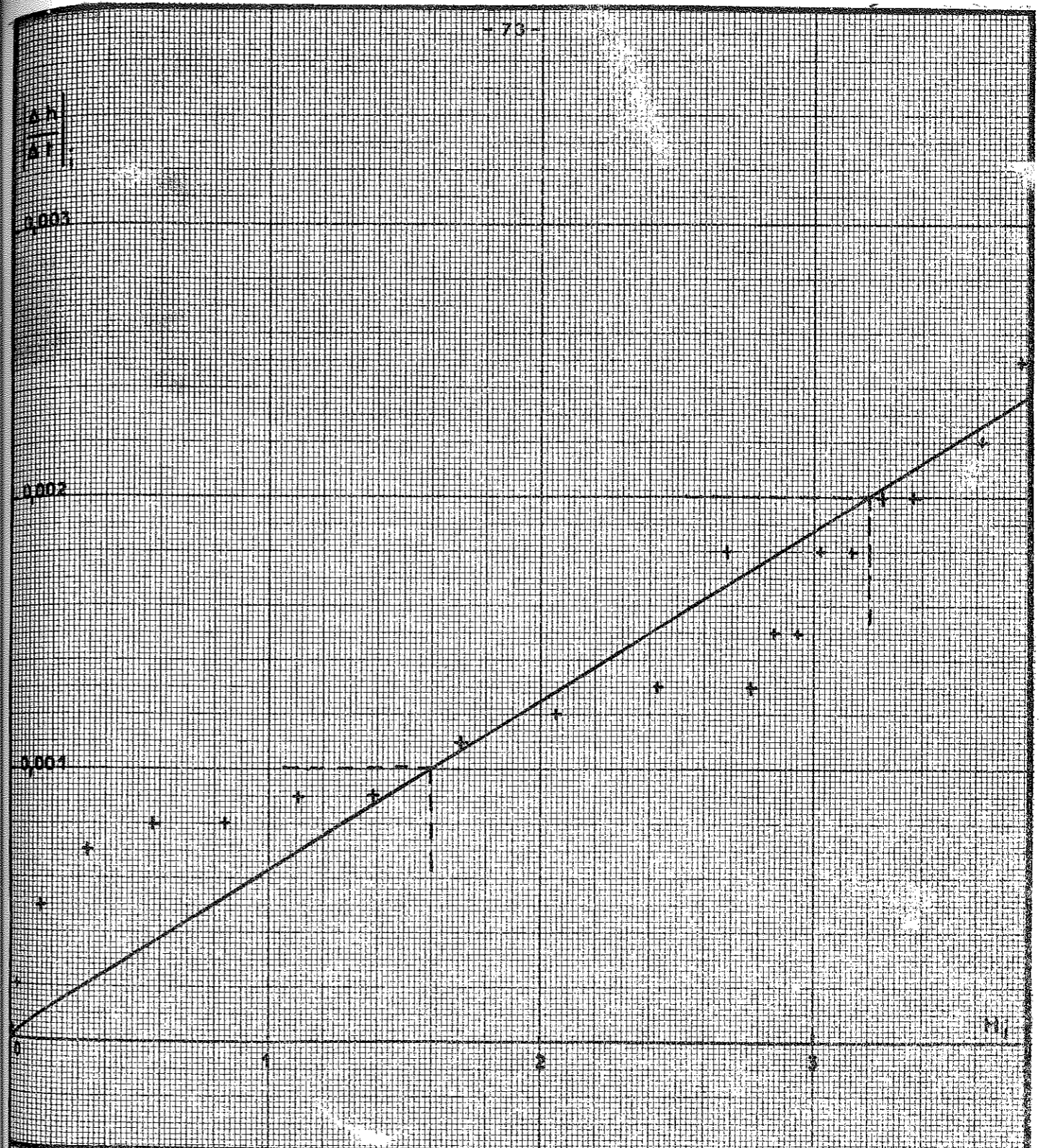


Fig 13

ESSAI TYPE LEFRANC
CHARGE VARIABLE

$$\frac{dh}{dt} = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1}, \text{ etc.}$$

et
$$H = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

On construit alors la courbe $\frac{dh}{dt} = f(H)$. (Voir figure n° 13). On doit en principe obtenir une droite, mais pour des raisons analogues à celles indiquées plus haut, on constate que les points ne sont pas alignés, et il convient de tracer au mieux la droite qui intègre les irrégularités des points de mesure.

L'équation des variations de niveau en fonction du temps dont la droite est la représentation linéaire s'écrit :

$$Q = C K H + S \frac{dh}{dt}$$

où Q représente le débit supposé constant au cours de l'essai,

C le coefficient de forme de la cavité,

K le coefficient de perméabilité,

H la charge totale au temps t,

S la surface de base de la colonne,

dh la variation de charge pendant le temps dt.

Cette équation peut encore s'écrire :

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q}{S} - \frac{C K}{S} H$$

Donc la pente de la droite $\frac{dh}{dt} = f(H)$ est

$$\text{tg } i = \frac{C K}{S}$$

Il vient

$$K = \frac{S \cdot \text{tg } i}{C}$$

D'après la courbe de la figure, le calcul donne :

$$\text{tg } i = \frac{0,002 - 0,001}{3,2 - 1,6} = 0,62 \cdot 10^{-3}$$

et

$$K = \frac{(0,07)^2 \cdot 0,62 \cdot 10^{-3}}{5,7 \cdot 0,07}$$

soit

$$K = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Les résultats des autres essais de ce type sont :

Essai n° 1 (profondeur 5 m) $K = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

Essai n° 2 (profondeur 13 m) $K = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$.

D'autres essais LEFRANC ont été réalisés sur les sondages exécutés dans la région de l'usine, et ont donné pour chaque sondage, suivant la profondeur, des valeurs de K comprises entre $3,5 \cdot 10^{-2}$ et $4 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$.

C. CONCLUSION

L'étude de la perméabilité des alluvions montre en définitive que les différentes techniques utilisées aboutissent à des résultats fort différents.

L'étude de la granulométrie permet de conclure que le diamètre moyen est supérieur dans les alluvions anciennes. Il en résulte que la perméabilité est aussi plus élevée dans ces niveaux que dans les alluvions récente. Pour ces dernières, la relation granulométrie - perméabilité se traduit par une valeur de coefficient K située vers 10^{-5} m/s .

Quant aux essais "in situ", ils amènent à considérer pour ce coefficient une valeur située dans une fourchette très étalée allant de 10^{-2} à 10^{-6} (valeurs 1 000 fois différentes).

Il convient d'insister, pour une interprétation plus juste de ces essais, sur le fait que plusieurs hypothèses ont été faites avant de parvenir à ces résultats. Elles concernent d'une part la forme de la cavité d'écoulement de l'eau, et d'autre part l'éventualité de remontée de sable au cours des essais. Ces hypothèses, suivant l'importance qu'on leur attribue, peuvent modifier les résultats de façon considérable. Toutefois, en l'absence de données précises sur ces différents facteurs, les résultats avancés ont été obtenus en supposant la cavité assimilable à un disque circulaire, et les remontées de sable inexistantes. Ces valeurs doivent donc être regardées avec la prudence qui s'impose.

La plus grande attention devant être réservée aux mesures effectuées "in situ", il apparaît donc une grande hétérogénéité des alluvions récentes, quant à leur structure. Il ressort nettement de ces mesures qu'il ne suffit pas d'avoir une prédominance des éléments fins pour que la perméabilité soit faible.

Enfin, insistons sur le fait que ces mesures sont ponctuelles et qu'elles ne peuvent, par conséquent, pas être étendues à l'ensemble de la plaine alluviale. Elles n'intéressent qu'un très faible volume ; c'est ce qui les distingue des mesures qui seront déterminées dans la troisième partie.

TROISIEME PARTIE

HYDROGEOLOGIE

I - INTRODUCTION

L'étude hydrogéologique qui suit a pour but essentiel de définir les conditions actuelles de la nappe alluviale du Rhône.

Nous avons vu précédemment qu'en rive droite, elle est d'extension limitée, puisque la basse plaine est réduite en largeur. C'est donc en rive gauche, où elle est la plus développée, que se sont concentrées les études de la C.N.R., principalement entre Les Roches de Condrieu et Saint-Rambert-d'Albon.

Cette étude comprend trois chapitres :

- le premier est consacré à l'énoncé de données hydrologiques de base, concernant le Rhône et ses affluents ; puis on a dressé le bilan hydrologique de la région ;
- dans le second chapitre, sont étudiées les conditions d'écoulement et des variations de régime de la nappe. Puis, il est procédé à l'exposé des résultats d'une campagne d'analyses physico-chimiques des eaux de la nappe. Enfin, un dernier point concerne la récapitulation des facteurs du bilan de la nappe ;
- le dernier chapitre, enfin, traite de l'hydrodynamique souterraine : il comprend l'étude et l'interprétation d'essais de débit donnant les valeurs des caractéristiques hydrodynamiques des terrains, puis un essai de prévision de l'état de la nappe après les travaux.

II - HYDROLOGIE SOMMAIRE

A. LE RHÔNE

La partie du Rhône comprise entre Lyon et Valence constitue le tiers amont du Bas-Rhône. Le secteur intéressé par cette étude correspond à la partie centrale de ce tiers, de Vienne (PK 29) à Andance et Andancette (PK 69).

1. Description du talweg

Le cours du Rhône qui, vu à petite échelle, présente une direction générale nord-sud, est à l'échelle de l'aménagement plus complexe. Il peut se diviser en deux tronçons.

De Givors à Condrieu, il a un cours épigénétique qui le fait circuler entre deux rives escarpées. S'enfonçant en effet initialement dans les terrains tendres de la molasse tertiaire, il entaille maintenant sur une profondeur importante, successivement le synclinal houiller prolongeant le bassin de Saint-Etienne, puis l'anticlinal qui lui fait suite vers le Sud, anticlinal hercynien formé de roches cristallines et cristallophylliennes.

A partir de Condrieu, extrémité du défilé, le Rhône, qui avait un cours relativement régulier depuis une vingtaine de kilomètres, hormis le coude de Vienne, circule entre l'escarpement du Massif Central en rive droite et les formations plus tendres du Bas-Dauphiné en rive gauche ; il décrit alors de nombreux méandres, peu accentués dans la morphologie actuelle, mais qui l'ont été beaucoup plus, à en juger par le modelé des fronts de terrasse de surcreusement.

2. Profil longitudinal

Le profil longitudinal du Rhône est un facteur éminemment variable, dans le temps et dans l'espace.

Il est connu grâce, d'une part, à la campagne de sondages dont il a été question précédemment, et surtout, d'autre part, à une prospection systématique par profils transversaux réalisés tous les cent mètres, et effectués soit à la sonde mécanique, soit à la sonde à ultra-sons.

Ces profils ont montré que si la pente moyenne pouvait être estimée égale à 0,4 %, on trouve néanmoins de très fortes variations locales qui déterminent des seuils et des mouilles. Les plus importants d'entre eux se situent, pour les premiers, aux PK 26, 31, 42, 51, 55 et 61, et pour les seconds, aux PK 25, 29, 41, 50, 52 et 61.

Parallèlement à ces irrégularités dans l'espace, le fond du lit du Rhône présente une mobilité telle que des différences de plusieurs dizaines de centimètres (jusqu'à 0,40 m) peuvent être enregistrées en un même point sur un intervalle de dix ans.

L'explication la plus simple à ce phénomène est que le Rhône a un débit solide élevé (*), et des sautes de régime assez brutales, même dans ce secteur.

(*) - Pour M. PARDE (1925) le débit solide du Rhône dans ce secteur peut atteindre 3,5 à 4 millions de tonnes par an.

Mais certains de ses affluents sont également connus pour avoir un débit solide important ; et c'est au confluent de ces derniers que se produisent de véritables cônes de déjection, sortes de barrages naturels qui provoquent à la fois un relèvement du plan d'eau à l'amont et une pente plus forte, donc un creusement plus important à l'aval.

3. Régime

Le tiers amont du Bas-Rhône est soumis, comme les autres grands fleuves, à un régime complexe. Ses composantes principales sont les suivantes :

- le Haut-Rhône, dont le bassin versant est d'environ 20 000 km². La pluviométrie moyenne y est relativement élevée. Le caractère nivo-glaciaire de ce tronçon est évident : il se traduit sur les variations de niveau par un maximum en saison chaude, et un minimum en saison froide ;
- la Saône, dont les apports représentent le résultat d'une pluviométrie, moins abondante que celle du secteur précédent, mais qui reste forte, sur un bassin versant plus étendu (environ 30 000 km²). Cette rivière a un régime également mixte, pluvio-nival, puisque les précipitations sous forme d'eau sont supérieures à celles sous forme de neige ; il en résulte un maximum en saison froide, et un minimum en saison chaude.

Ce résumé schématique laisse donc prévoir qu'un débit relativement élevé est assuré toute l'année. Mais on peut préciser que sans aucun doute la Saône est l'élément prépondérant qui imprime au Rhône ses principales oscillations dans le secteur qui nous occupe.

Trois limnigraphes fournissent des observations continues sur les niveaux et les débits du Rhône. Ce sont ceux de Sainte-Colombe-les-Vienne, Serrières et Andance. Des échelles limnimétriques sont également disposées le long du fleuve et permettent des corrélations entre les différents points d'observation.

Ce sont les données du limnigraphe de Serrières qui sont les plus utilisées, du moins en ce stade actuel des études. Elles sont représentées sur les figures n° 14 et 15.

Nous retiendrons donc, à partir de ces données, que les différents débits caractéristiques à Serrières, sont les suivants :

	Hauteur lue	Cote NGF	Débit en m ³ /s
Crue annuelle	4,10	134,60	2.750
D. C. 3	2,20	132,70	1.330
D. C. 6	1,30	131,90	800
D. C. 9	0,60	131,20	500
Btiage conventionnel	0,20	130,80	360

Par convention, lors de la représentation des différents états de la nappe, nous considérerons que :

- les basses eaux sont obtenues quand le débit du Rhône est inférieur à 600 m³/s ;
- les hautes eaux sont obtenues quand le débit du Rhône est supérieur à 1 500 m³/s ;
- les eaux moyennes sont obtenues quand le débit du Rhône est compris entre 600 et 1 500 m³/s.

Ceci tient compte du fait que pour caractériser ces différents états, le régime doit être le plus stabilisé possible, sur une période assez longue (8 à 10 jours environ).

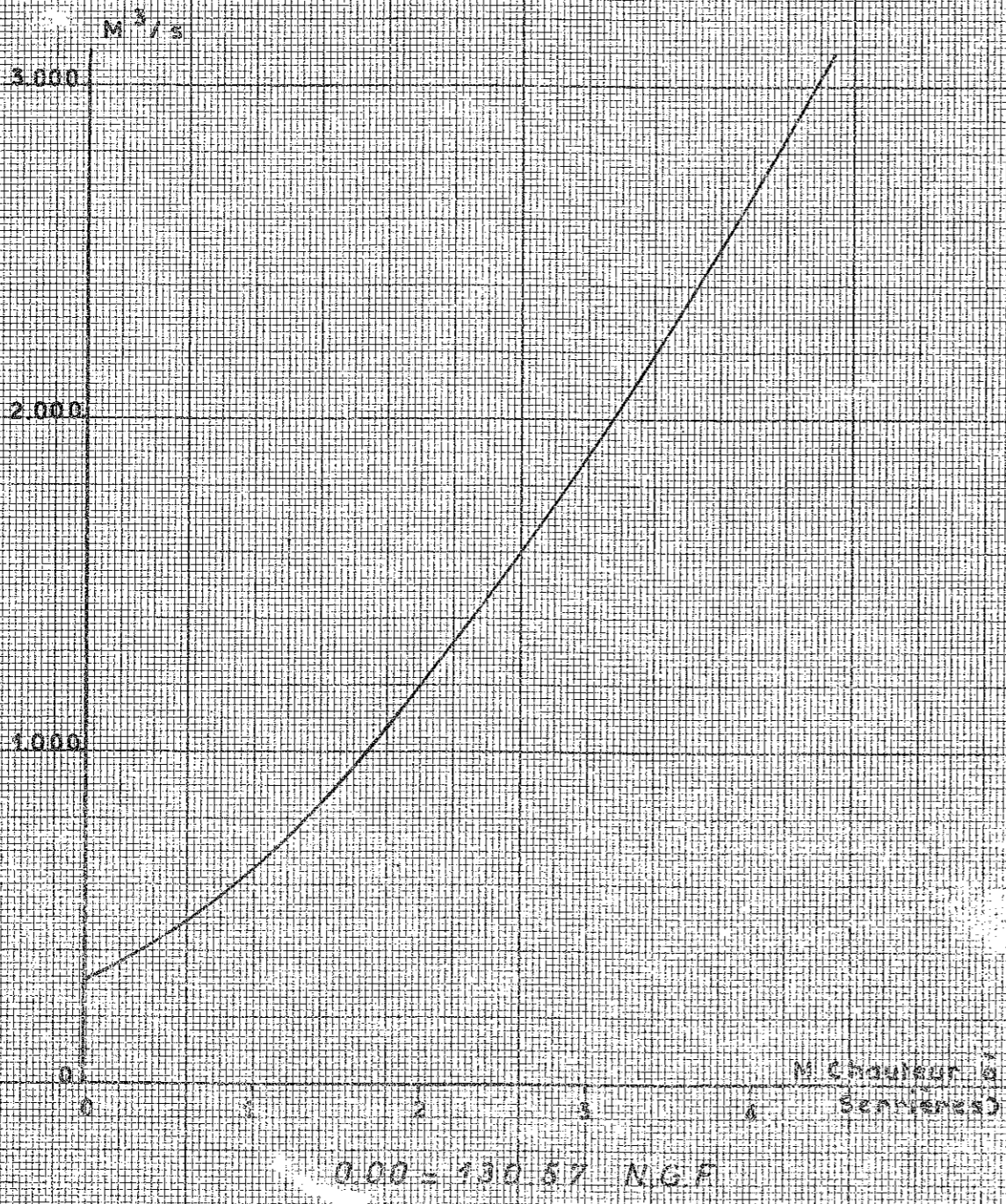


Fig 14 COURBE DE TARAGE RHONE A SERRIERES

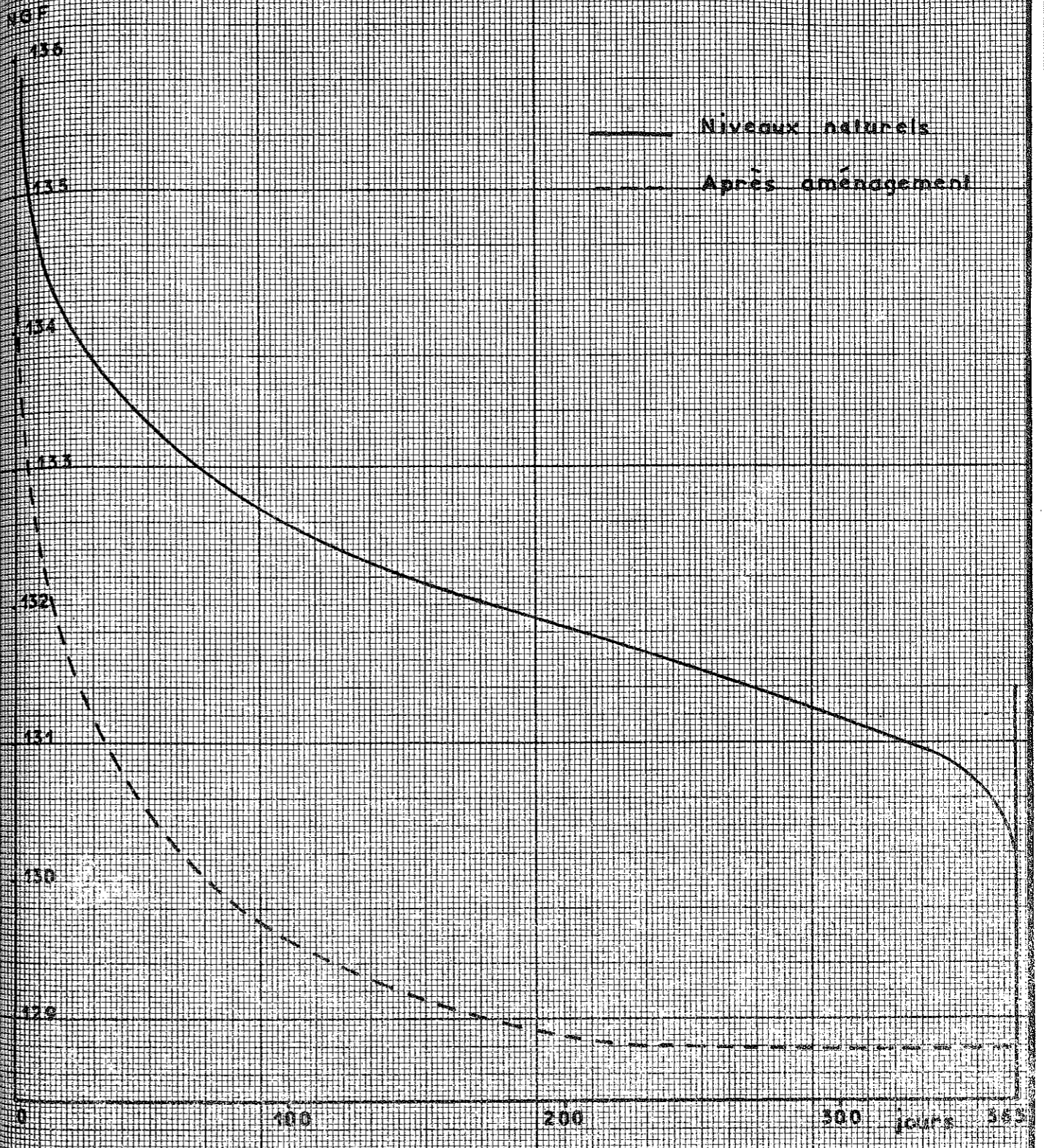


Fig 15 NIVEAUX CLASSES RHONE A SERRIERES

B. LES AFFLUENTS DU RHÔNE

L'hydrographie des affluents du Rhône est aussi différenciée que la nature et la morphologie des deux rives. Aussi, convient-il de séparer les deux ensembles.

1. En rive droite

Les principaux affluents du Rhône en rive droite sont les suivants, du Nord au Sud :

- Ruisseau de l'Arbuel à Condrieu,
- " de la Valencize à Chavanay,
- " de Malleval à Saint-Pierre-de-Bœuf,
- " de Limony à Limony,
- " de l'Ecoutay à Saint-Désirat,
- " de Torrenson à Andance,

les plus importants étant ceux de la Valencize, de Malleval et de Limony, qui drainent le massif du Pilat.

Ils ont tous un caractère torrentiel très marqué, et leurs apports sont très irréguliers : presque secs pendant les mois d'été, hormis les crues soudaines et rapides dues aux orages, ils ne fournissent qu'un débit réduit en saison humide, où le débit moyen peut être estimé à 100 l/s pour les plus importants.

La fonte des neiges du massif du Pilat contribue à alimenter ces ruisseaux au printemps, mais les débits restent souvent faibles.

La surface du bassin versant ainsi drainé peut s'évaluer à environ 200 km².

2. En rive gauche

Les affluents du Rhône en rive gauche, sont moins nombreux, mais en raison des conditions géographiques, ils ont un cours plus long et un régime plus régulier, en principe.

Ce sont du Nord au Sud :

- la Gère et le Baraton, à Vienne,
- la Varèze, à Saint-Alban-du-Rhône,
- le Dolon et la Sanne, entre Chanas et Saint-Rambert-d'Albon.

Les superficies des bassins versants sont respectivement :

- pour la Gère et le Baraton : 370 km²
- pour la Varèze : 230 km²
- pour le Dolon et la Sanne : 820 km².

Ces rivières qui drainent le Bas-Dauphiné, ont un régime moins sensible aux facteurs climatiques que les affluents de la rive droite, en ce sens qu'ils connaissent en toute saison un certain débit. Toutefois, en saison humide, les débits sont encore très largement supérieurs à ce qu'ils sont en été.

Par exemple, pour le Dolon, on peut estimer que le débit varie de 100 à 500 l/s pendant huit mois de l'année, alors que pendant les mois d'été, le débit est réduit de 20 à 50 l/s.

En l'absence de données précises, c'est cet ordre de grandeur qui doit être retenu aussi pour les autres affluents.

Années Mois	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
	Janvier	4,0	4,2	2,9	3,4	5,7	1,4	1,0	4,4	2,3
Février	6,4	4,5	6,0	8,3	3,3	0,4	7,0	1,9	8,9	6,3
Mars	6,1	10,4	9,2	9,0	5,9	7,7	7,2	7,8	7,0	9,3
Avril	9,1	11,8	11,1	14,2	10,9	11,8	11,9	10,3	12,5	10,5
Mai	16,3	15,1	17,1	14,5	13,7	14,3	16,2	14,7	15,6	14,7
Juin	17,2	19,1	20,1	19,2	18,2	18,0	19,7	18,6	19,4	18,4
Juillet	20,0	22,9	18,8	20,1	20,5	20,9	22,1	18,6	18,9	21,6
Août	20,4	20,2	19,0	19,6	21,9	18,4	19,8	18,7	18,9	20,0
Septembre	18,2	19,0	15,4	20,8	17,2	16,7	17,9	15,1	18,5	15,9
Octobre	11,2	11,5	12,3	13,3	12,2	12,6	10,8	13,4	14,8	14,3
Novembre	5,9	6,7	8,6	6,9	5,3	10,2	7,2	7,6	5,1	7,8
Décembre	4,4	6,1	2,9	4,7	0,4	0,1	3,0	5,4	4,8	1,8
Températures moyennes annuelles	11,6	12,6	12,0	12,8	11,2	10,8	12,0	11,4	12,2	12,0

Fig. 16. - Températures moyennes mensuelles. -
- Station de Condrieu. -

C. BILAN HYDROLOGIQUE

L'équation générale du bilan hydrologique fait intervenir des facteurs divers de telle sorte que la somme des apports soit égale à la somme des pertes.

Les apports se font uniquement sous la forme de précipitations atmosphériques : pluie ou neige.

Les pertes se font suivant différents processus, parmi lesquels on distingue l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration. La dernière de ces grandeurs est la plus difficile à mesurer directement, mais c'est aussi la plus intéressante à connaître.

Nous déterminerons donc les trois autres grandeurs, et par différence, nous arriverons à la connaissance de la dernière.

1. Précipitations

Parmi les différentes stations pluviométriques qui existent sur le secteur de notre étude, la plus utilisable est celle de Condrieu, parce que les relevés y sont les plus nombreux, les plus réguliers, sur le plus grand nombre d'années.

Le tableau ci-joint (voir fig. n° 16) indique que les précipitations, qu'elles soient sous forme de pluie ou de neige, se répartissent en moyenne sur 127 jours par an.

Il ressort également de ce tableau que la tranche d'eau précipitée atteint une hauteur moyenne de 800 mm par an.

Sur les dix années relevées, le mois le plus pluvieux a été septembre 1960 avec 202,5 mm, le mois le moins pluvieux a été février 1965 avec 5,6 mm.

Il convient également de noter que l'année la plus sèche a été 1962 avec un total de 532,4 mm soit seulement 66 % (ou 2/3) de précipitation par rapport à l'année moyenne.

Cette année-là est d'ailleurs bien connue pour les basses eaux mémorables qui furent la conséquence de cette période de sécheresse.

2. Evapotranspiration

En l'absence de données lysimétriques, la détermination de la quantité d'eau qui disparaît par évapotranspiration, est possible par application de diverses formules.

La méthode de calcul retenue est celle proposée par L. TURC, qui donne l'évapotranspiration réelle, en fonction des précipitations et de la température moyenne du lieu.

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

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

où P représente les précipitations en mm/an

T la température moyenne annuelle du lieu en degrés centigrades

L le pouvoir évaporant de l'air.

Le tableau ci-joint (voir fig. n° 17) indique les températures moyennes mensuelles relevées à la station de Condrieu, sur la même période de dix ans (1958-1967).

Années / Mois	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
Janvier	18.9	28.9	50.7	76.6	34.8	29.0	33.8	56.5	47.0	40.3
Février	31.5	5.8	100.8	37.5	37.1	45.2	37.5	5.6	65.8	30.2
Mars	40.2	86.9	86.6	10.8	22.2	56.3	111.9	85.4	34.6	51.8
Avril	51.7	82.7	20.3	84.7	39.7	78.0	54.1	56.3	67.4	21.6
Mai	94.2	60.9	65.3	48.4	74.8	37.1	77.6	82.4	55.1	77.6
Juin	94.6	75.4	42.1	77.8	28.8	147.7	56.6	44.2	28.3	113.4
Juillet	52.0	21.9	145.3	37.2	9.9	71.2	28.8	153.0	54.7	92.7
Août	163.7	50.5	107.5	39	30.6	192.6	101.1	55.8	30.7	64.1
Septembre	175.7	55.0	202.5	37.5	96.1	27.9	49.2	191.8	31.5	92.1
Octobre	69.8	66.5	199.3	141.5	22.9	28.3	39.6	36.6	176.5	5.9
Novembre	40.1	104.4	88.9	48.6	41.2	125.1	20.6	79.5	118.9	152.0
Décembre	147.5	43.8	50.6	53.5	94.3	29.2	48.3	98.4	61.1	23.4
Total annuel	955.9	662.7	1 159.9	696.1	532.4	867.8	654.1	940.5	771.6	765.1

Fig. 17. - Précipitations mensuelles.

- Station de Condrieu. -

Une moyenne effectuée à partir de ces données indique que la température moyenne du lieu est de 11°8 C.

Il vient alors :

$$L = 677$$

et

$$E_T = 530 \text{ mm/an.}$$

3. Ruissellement

Le ruissellement est la quantité d'eau provenant des précipitations atmosphériques, qui reste en surface et se trouve entraînée vers les axes de drainage : rivières, ruisseaux, canaux...

Cette quantité dépend donc de facteurs divers comme la perméabilité du terrain de surface, l'importance et la nature de la végétation, entre autres.

Elle se traduit par la formule :

$$R = k.P$$

Le ruissellement est donc fonction des précipitations, le coefficient k étant le rapport du débit moyen des émissaires superficiels de la nappe, à la surface totale du bassin versant.

D'après une étude réalisée sur la Bièvre-Valloire, on peut admettre qu'à son extrémité occidentale, la tranche d'eau écoulée sur l'ensemble du bassin versant (710 km²) pourrait être de 50 mm au minimum pour une année moyenne, ce qui conduit à adopter pour k une valeur de 8 %.

En fait, il semble que cette estimation soit plutôt pessimiste, et la valeur de 10 % paraît davantage convenir à la vallée du Rhône, en raison des différences qui existent entre ces deux régions, notamment en ce qui concerne la couverture végétale.

Donc, si

$$k = 0,10$$

$$R = 80 \text{ mm/an.}$$

4. Infiltration

L'équation générale du bilan s'écrivant :

$$P = E + R + I,$$

il vient

$$I = P - (E + R)$$

$$\text{soit } I = 800 - (530 + 80)$$

$$\text{d'où } I = 190 \text{ mm/an.}$$

On peut donc estimer en conclusion que, chaque année, une lame de 190 mm d'épaisseur moyenne arrive par infiltration jusqu'à la nappe, et la réalimente de façon non négligeable.

Soulignons que ce bilan n'intéresse que le secteur de notre étude : vallée du Rhône uniquement, et non les affluents, qu'ils soient de la rive droite ou de la rive gauche.

De plus, si l'on considère que la superficie de la plaine est de 60 km² environ, le débit infiltré sur ce secteur peut être estimé :

$$Q = S \cdot I$$

avec Q débit infiltré en m³/an

S superficie du bassin en m²

I infiltration en m/an

$$Q = 60 \cdot 10^6 \cdot 0,19$$

$$Q \approx 1 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{an.}$$

III - ETUDE DE LA NAPPE ALLUVIALE

Ce chapitre, consacré à l'étude de la nappe alluviale du Rhône, comporte une première partie consacrée à l'étude de la forme de l'écoulement tel qu'il ressort des cartes isopiézométriques ; elle renseignera en outre sur les conditions d'alimentation de la nappe et sur ses rapports avec le Rhône, élément de base de toute interprétation.

Dans une seconde partie, il sera procédé à la synthèse des données que possède la C. N. R. sur les variations du niveau de la nappe, variations imputables à divers facteurs parmi lesquels, en particulier, les stations de pompage industrielles.

Dans une troisième partie, seront exposés les résultats d'une campagne d'analyses chimique et physico-chimique des eaux de la nappe.

Enfin, une quatrième partie fera une rapide récapitulation des différents facteurs du bilan de la nappe.

A. ECOULEMENT

A. I. D'APRES LES CARTES DE NAPPES

La forme de l'écoulement, dont dépend une grande partie des considérations ultérieures, sur son mode d'alimentation, a été établie avec le souci de représenter les différents états caractéristiques de la nappe, en régime permanent, ou à la rigueur semi-permanent, afin d'éviter au maximum les erreurs d'interprétation.

1. Moyens d'étude

Les quelque trois cents piézomètres répartis sur les 60 km² approximatifs de la plaine du Rhône, entre Ampuis et Saint-Lambert-d'Albon, font l'objet de relevés hebdomadaires, voire bi-hebdomadaires pour certains d'entre eux, tous effectués pendant la même matinée.

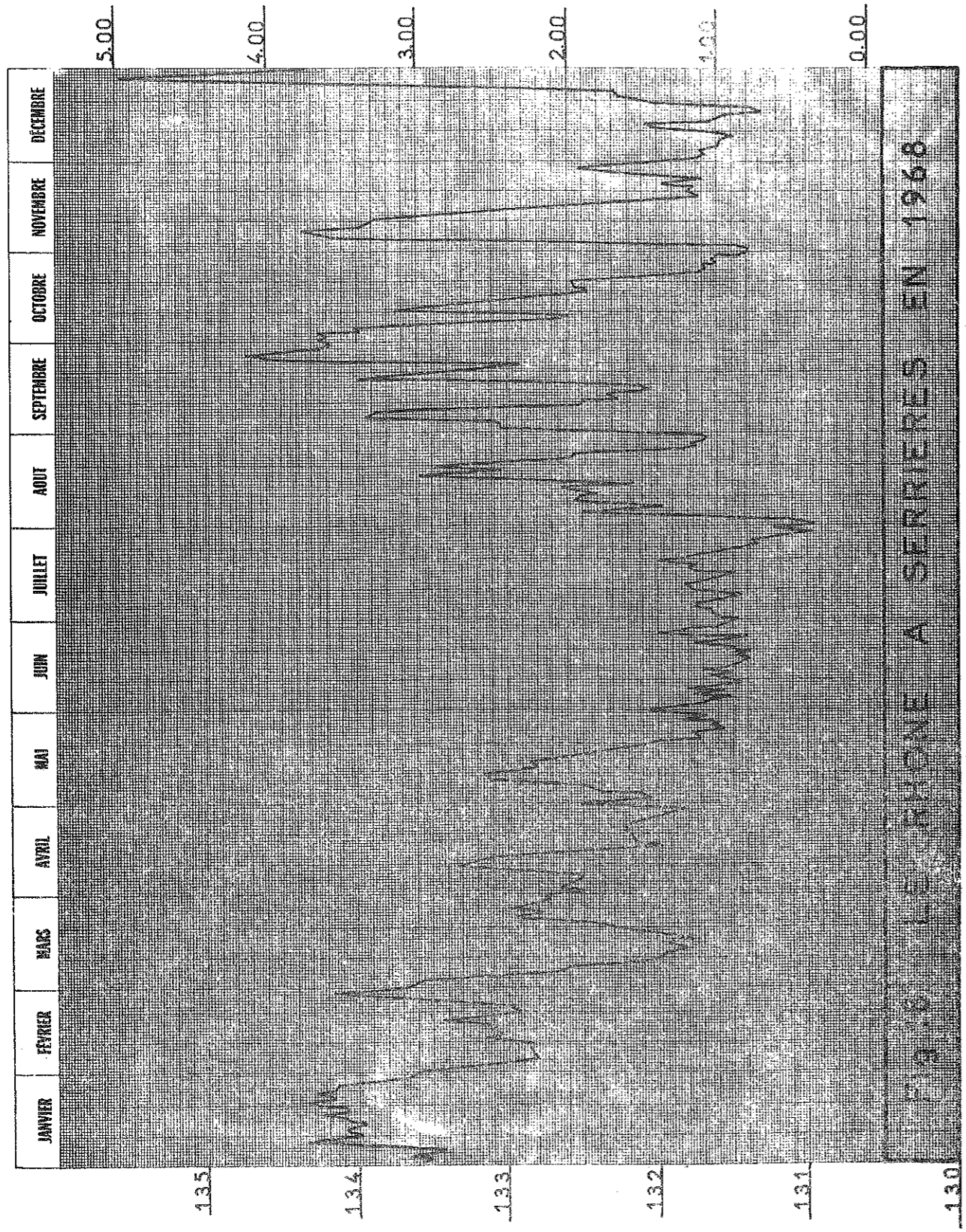
Aussi est-il particulièrement aisé d'avoir différentes représentations de la nappe en un instant donné. Cet avantage peut, sous certain rapport, constituer un inconvénient en ce sens que la représentation obtenue est un "instantané".

En fonction des débits moyens journaliers du Rhône à Serrières (voir fig. n° 18), nous avons choisi de représenter les nappes suivantes :

- nappe haute du 26 janvier 1968,
- nappe moyenne du 5 avril 1968,
- nappe basse du 2 août 1968.

Ce choix a été guidé par celui des périodes s'approchant le plus du régime permanent.

A la suite de cette étude, il est apparu intéressant de dresser la carte représentant la différence entre deux nappes moyennes, pour des débits du Rhône identiques dans les deux cas, où sur l'une les puits industriels sont en marche normale, sur l'autre ils sont à l'arrêt.



2. Nappe haute du 26-1-68 (voir planche hors-texte n° 4).

a) Choix de la période

Cette nappe est celle qui remplit le mieux les conditions suivantes :

- niveau du Rhône le plus haut possible : débit à Serrières 2 360 m³
- niveau maintenu sur une période la plus longue possible : dans les six jours qui ont précédé, le battement du Rhône n'a pas excédé 15 cm.

b) Ecoulement des eaux

+ Au droit du défilé épigénique, l'écoulement de la nappe est pratiquement parallèle à l'axe de la vallée, indépendant du trajet du Rhône, exception faite de la région de Tupin et Semons, où il apparaît que sur une distance de 1km environ, le fleuve draine la nappe.

+ De Condrieu à Saint-Alban-du-Rhône, la largeur de la plaine est toujours réduite à cause de l'avancée de la haute terrasse ; l'écoulement est toujours grossièrement parallèle à l'axe de la vallée, avec toutefois un léger effet de drainage de la nappe par le Rhône en rive gauche, et d'alimentation en rive droite.

A noter la dépression située au niveau des pompes industrielles de Saint-Clair-du-Rhône.

+ De Saint-Alban à Sablons, sur la rive gauche, l'alimentation par le Rhône est manifeste, de même que l'alimentation par la terrasse würmienne entre Saint-Alban et Saint-Maurice-l'Exil.

L'écoulement converge vers les puits industriels de Péage-de-Roussillon et de Roussillon.

En rive droite, l'écoulement est dirigé vers le Rhône. On peut également noter l'alimentation due aux Ruisseaux de Malleval et de Limony.

+ Au Sud et à l'Est de Sablons, apparaissent deux secteurs différents : une zone correspondant à la plaine de Sablons, où la nappe est très plate (gradient voisin de 0,02 %) ; la cause en est probablement l'important captage situé à l'amont, auquel s'ajoute les apports latéraux du Rhône et de la Valloire.

Le débouché de cette vallée constitue précisément la deuxième zone, où l'écoulement est au contraire très marqué. Les apports venant de la vallée du Dolon, entre Chanas et Saint-Rambert-d'Albon, impriment à la surface de la nappe une pente accusée, laissant supposer un apport non négligeable.

+ Au-delà de Saint-Rambert, le Rhône reprend son rôle de drain, en ce qui concerne la rive gauche. En rive droite, où la basse plaine est plus étendue en largeur, le sens de l'écoulement est à nouveau parallèle à l'axe de la vallée.

3. Nappe moyenne du 5-4-68 (voir planche hors-texte n° 5)

a) Choix de la période

Cette nappe est celle qui remplit le mieux les conditions suivantes :

- niveau du Rhône proche du niveau moyen : débit à Serrières 1 170 m³/s
- niveau maintenu sur la période la plus longue possible : dans les six jours qui ont précédé, le niveau du Rhône n'a varié que de 25 cm.

b) Ecoulement des eaux

+ D'Ampuis à Saint-Clair-du-Rhône, l'écoulement est parallèle à l'axe de la vallée, indépendant du trajet du Rhône, avec la même irrégularité que précédemment au niveau de Tupin et Semons.

Au niveau de Saint-Clair, la dépression due aux puits n'apparaît pas directement sur le tracé des courbes de niveau, mais elle existe néanmoins : les cotes du toit de la nappe le prouvent.

+ De Saint-Alban-du-Rhône à Saint-Maurice-l'Exil - Givray, l'alimentation en rive gauche par la nappe de terrasse est le trait majeur de l'écoulement.

En rive droite, la Valencize et le Ruisseau des Côtes constituent des apports très marqués, mais il ressort nettement que dans ce secteur, le Rhône draine la nappe de la plaine.

+ De Givray à Sablons, la nappe de la rive gauche présente toujours une dépression double au niveau des pompages de Péage-de-Roussillon. On peut noter qu'ici le rayon d'influence diminue et que les deux groupes s'individualisent beaucoup plus nettement. On peut considérer que le rabattement y atteint une valeur proche de 3,50 à 4 mètres. L'alimentation par le Rhône est très nette ici encore.

En rive droite, l'écoulement est dirigé vers le Rhône ; on note également une zone d'apports importants au droit du Ruisseau de Limony.

+ De Sablons à Saint-Rambert-d'Albon, les apports de la Valloire apparaissent encore nettement, mais l'écoulement se dirige à nouveau vers le Rhône qui draine la nappe dans ce secteur et au-delà.

4. Nappe basse du 2-8-68 (voir planche hors-texte n° 6)

a) Choix de la période

Cette nappe est celle qui remplit le mieux les conditions suivantes :

- niveau du Rhône le plus bas possible : débit à Serrières 420 m³/s
- niveau maintenu sur une période la plus longue possible ; dans les six jours qui ont précédé, la variation de niveau du Rhône a été inférieure à 25 cm.

b) Ecoulement des eaux

+ D'Ampuis à Saint-Clair-du-Rhône ; l'écoulement est là encore parallèle à l'axe de la vallée : les courbes de niveau ne sont pas affectées par le trajet du Rhône.

A Saint-Clair, la dépression des pompages industriels est à nouveau visible, en rive gauche, où une alimentation se produit à partir du Rhône, alors qu'en rive droite, l'écoulement est dirigé vers le fleuve.

+ De Saint-Alban-du-Rhône à Givray, les apports latéraux de la nappe de terrasse sont plus marqués, de même qu'en rive droite, ceux des Ruisseaux de la Valencize et des Côtes.

Au Nord de Saint-Pierre-de-Bœuf, apparaît la dépression due à la station de pompage industrielle.

+ De Givray, au Nord de Sablons, l'écoulement porte l'empreinte des pompages intensifs de la rive gauche. La nappe de terrasse ainsi que le Rhône contribuent à l'alimentation de cette zone dont l'influence se propage moins loin en basses eaux.

Il apparaît à nouveau une zone très plate au Sud de l'île de la Platière, identique à celle observée en hautes eaux, mais avec une cote moins élevée.

En rive droite, on peut noter la zone d'apports provoquée par le Ruisseau de Limony.

+ De Sablons à Saint-Rambert-d'Albon, à la zone plate décrite plus haut, succède progressivement la zone des apports de la Bièvre-Valloire, et le Rhône reprend son rôle de drain.

5. Influence des pompages

Très nette déjà sur les cartes qui viennent d'être étudiées, l'influence des pompages industriels situés dans la plaine du Péage-de-Roussillon a pu être individualisée, et le résultat de cette étude est représenté sur la carte d'égale différence entre deux nappes voisines (voir planche hors-texte n° 7),

Les débits moyens journaliers du Rhône en 1968 sont en effet tels que deux nappes moyennes ont pu être choisies :

- celle du 7 juin 1968 : débit du Rhône à Serrières 725 m³/s avec une amplitude de variation des hauteurs inférieure à 50 cm dans les sept jours précédents ;
- celle du 12 juillet 1968 : débit du Rhône à Serrières 720 m³/s, avec une amplitude de variation des hauteurs inférieure à 30 cm dans les sept jours précédents.

Elles sont donc en principe quasiment identiques, mais l'intérêt de la comparaison réside dans le fait que la première représente une nappe au repos, (les pompages industriels étaient à l'arrêt depuis une quinzaine de jours), tandis que la seconde représente une nappe troublée par la marche des puits.

La différence de lecture des cotes de l'eau dans chaque piézomètre a permis de tracer les courbes d'égale différence de la nappe : courbes de mètres en mètres, et courbe des 0,50 m.

Sur cette carte, on voit apparaître les deux dépressions.

En ce qui concerne celle située la plus au Nord, on peut constater que le battement de la nappe se fait ressentir assez loin vers Givray-Port-Vieux, laissant ainsi supposer la présence d'un chenal de perméabilité plus grande, calqué sur un ancien cours du Rhône. On peut en effet admettre que cet ancien cours, du fait de la vitesse du courant, a été "lavé" des particules fines, et que les alluvions y sont plus perméables.

D'autre part, l'influence des pompages va en diminuant vers le Rhône, à la faveur d'un élargissement de la plaine en direction de l'île Bugnon.

Vers l'Est, cette influence est assez vite dissipée également ; toutefois, le manque de points d'observation dans cette zone ne permet pas de s'en assurer de façon certaine.

La zone située la plus au Sud montre une influence beaucoup plus marquée en bordure du Rhône. Il convient de noter à cet égard que la lône de la Platière ne doit pas agir directement sur la nappe, sauf en période de hautes eaux (*). On peut admettre que son lit est colmaté, et que, en particulier, elle n'intervient pas dans l'alimentation des puits.

L'influence de ce champ de puits est aussi assez limitée vers l'Est, mais la remarque précédente est aussi valable pour ce secteur. Par contre, vers le Sud, elle est beaucoup plus étendue, et semble responsable de la platitude de la surface piézométrique dans ce secteur.

Quant au tracé irrégulier de la courbe -2,00 m, il s'explique par la position des puits en marche le 12 juillet. En effet, si le débit pompé dans ce "champ" est relativement constant, plusieurs puits différents peuvent être utilisés à cette fin.

La faible importance transversale du battement de la nappe peut s'expliquer de plusieurs façons différentes :

- même après vingt jours d'arrêt des pompes, la nappe est loin d'avoir repris son état de repos ;
- qu'il y ait pompage ou non, la zone d'influence est réduite ; or :

$$R = f\left(\frac{T \times t}{S}\right) \text{ donc soit } S \text{ est très grand, soit } T \text{ est petit, ce qui implique une épaisseur aquifère ou une perméabilité faible.}$$

Il est probable que ces facteurs interviennent simultanément, et il est bien difficile d'attribuer à l'un d'eux l'action prépondérante.

Il est intéressant de noter aussi que dans ce cas précis le battement maximum est équivalent pour les deux groupes de puits, en dépit de la différence considérable des débits pompés (cf plus loin) :

- 3,50 m au 309
- 3,52 m au P 302.

(*) - Elle est sèche en période de basses eaux.

Si l'on juxtapose ces résultats à ceux obtenus de la même façon sur deux nappes basses de 1964, comparables sur ce point précis :

- 28.8.64 : 370 m³/s (puits à l'arrêt)
- 27.7.64 : 370 m³/s (puits en marche)

où l'on trouve un battement de :

- 2,55 au P 248
- 3,50 au P 302,

on constate que :

- pour des débits du Rhône différents, le battement de la nappe est le même pour le secteur sud, alors qu'il est, pour le secteur nord, plus faible, quand le débit du Rhône est moindre. Cette différence peut être imputable à une marche des puits différente dans les deux cas ;
- la zone d'égal battement de la nappe est plus étendue quand le niveau du Rhône est plus bas, ce qui est logique puisqu'il s'agit d'une différence de niveaux.

6. Conclusion

On peut remarquer que les différents facteurs intervenant sur la forme de l'écoulement de la nappe sont au nombre de trois.

Parmi eux, le Rhône est le plus important dans la zone où la plaine s'élargit.

En effet, il constitue soit un drainage, comme en rive droite de Condrieu à Peyraud, et en rive gauche des Roches de Condrieu au confluent de la Varèze et au-delà du confluent du Dolon, soit une alimentation, comme en rive gauche au niveau des différentes stations de pompage de Saint-Clair-du-Rhône et de Péage-de-Roussillon.

Sont également visibles sur les cartes de nappes les apports des versants. Ceux de la terrasse würmienne sont sensibles principalement entre Saint-Alban-du-Rhône et Saint-Maurice-l'Exil-Givray, et au Sud de Chanaz.

Les apports des versants de la rive droite sont beaucoup plus localisés que les précédents : seuls les débouchés des principaux torrents produisent une alimentation notable par un gradient élevé, mais qui ne semble pas se prolonger très loin vers l'axe de la vallée.

Enfin, l'importance des pompes industrielles de Péage-de-Roussillon constitue un élément prédominant de la forme de l'écoulement. A ce niveau, l'alimentation par le Rhône est manifeste ; quant à celle produite par la terrasse, il est raisonnable de penser qu'elle est importante, mais seul un plus grand nombre de points d'observation permettra de l'affirmer.

La zone de cette influence s'étend en hautes eaux, jusqu'au niveau de Saint-Maurice-l'Exil, pour ne commencer en basses eaux qu'au Sud de Givray. Vers le Sud, à cet effet de ponction se joignent les apports latéraux, ce qui se traduit par une zone relativement plate.

A. II. D'APRES LES VARIATIONS DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES

Parallèlement à l'étude de l'écoulement de la nappe, il s'est avéré intéressant d'étudier les variations des niveaux piézométriques sur divers profils perpendiculaires à l'axe de la vallée, principalement dans la zone d'implantation du canal.

Dans cette optique, nous avons dissocié la notion d'espace de la notion de temps.

1. Variations "dans l'espace"

a) Méthode d'étude

Dans une première phase, ont été reportées les cotes de différentes nappes, sur des coupes où on a également figuré les ouvrages qui modifieront les conditions aux limites de la nappe la retenue et le canal.

Sur ces profils (voir fig. n° 19) on a représenté les surfaces piézométriques des nappes la plus basse et la plus haute connues depuis le début des études. Ce sont :

- la nappe basse du 16 novembre 1962 ; débit du Rhône à Serrières 260 m³/s ;
- la nappe haute du 31 décembre 1965 ; débit du Rhône à Serrières 2 630 m³/s.

Il convient de préciser que la nappe haute du 31.12.65 correspond à une période de très hautes eaux ayant entraîné des inondations sur une grande partie de la plaine. Aussi le niveau de cette nappe est-il particulièrement élevé ; et il peut s'ensuivre des erreurs dues au fait que la lecture du niveau d'eau dans un tube piézométrique n'indique pas exactement le niveau qu'aurait eu la nappe s'il n'y avait pas eu d'inondations au préalable.

Ceci est d'autant plus vrai que la perméabilité des limons superficiels est très différente de celle des alluvions (ceux-ci sont 1 000 à 10 000 fois moins perméables que celles-là).

b) Conclusions

Les profils montrent que :

- le fond du canal sera toujours situé au-dessus des plus basses eaux naturelles, sauf dans le tronçon de restitution, et au-dessous des plus hautes eaux naturelles ; quant à la surface libre de l'eau elle sera toujours au-dessus du terrain naturel, et par conséquent, son influence sera surtout manifeste dans des conditions analogues aux nappes basses.
- la dépression des pompes industrielles est plus accusée en basses eaux ce qui est logique. Par contre, le rayon d'influence est plus faible. Donc en basses eaux, le relief de la nappe est plus accusé mais moins étendu en surface.
- le lit de la Saône peut être considéré comme colmaté, de la même manière que celui de la lône de la Platière ; en effet, l'eau de la rivière n'est pas en relation avec la nappe.
- le niveau de la nappe de terrasse est indépendant de celui de la nappe de la basse plaine, à l'exception du secteur des puits, où toutefois l'absence de points d'observation ne permet pas d'être affirmatif à ce sujet.

On peut donc en définitive considérer la nappe de la plaine alluviale comme libre la plus grande partie du temps. En période de hautes eaux, et dans ce cas surtout en bordure du Rhône, elle peut être captive sous les limons, qui eux, peuvent retenir une certaine quantité d'eau, et former un niveau aquifère très localisé, plus ou moins temporaire, dont les variations masquent, en hautes eaux, celles de la nappe alluviale.

Il s'agirait donc là d'un phénomène analogue à celui décrit plus à l'aval (M. HENRY, J. BONNIER, J. MATHIAN, 1954).

2. Variations "dans le temps"

a) Méthode d'étude

Dans une deuxième phase, à partir des relevés hebdomadaires des piézomètres, on a pu établir des diagrammes, en figurant en ordonnées la cote NGF, de la surface piézométrique, et en abscisses le temps. Il fallait donc choisir une période suffisamment longue pour avoir assez de mesures pour tracer une courbe valable, période pendant laquelle le Rhône, pris comme élément de référence, devait présenter une variation de forte amplitude, positive ou négative, mais le plus unimodale possible, afin d'éviter au maximum les interférences de crue et de décrue, qui auraient gêné l'interprétation.

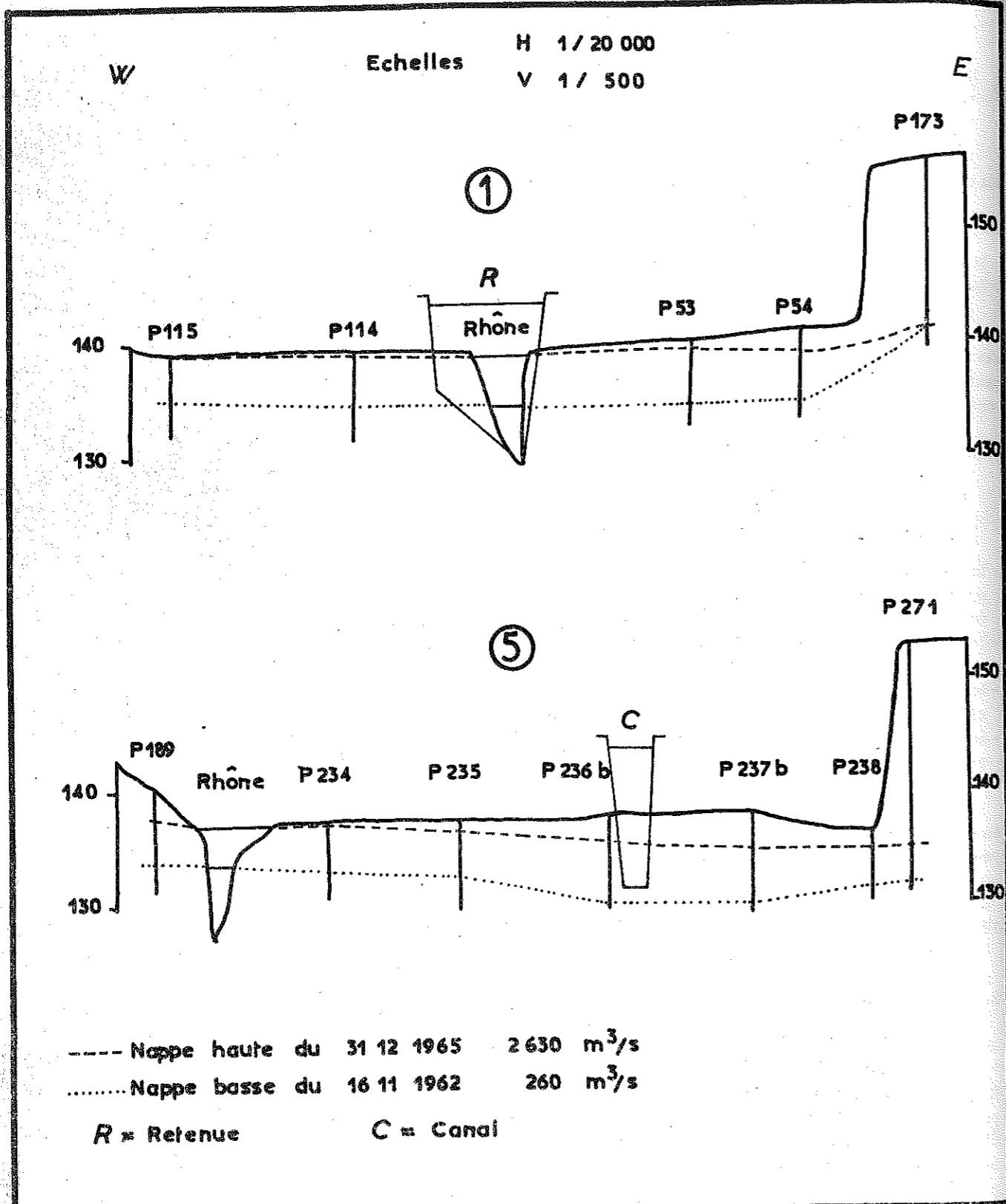


Fig 19a PROFILS PIEZOMETRIQUES

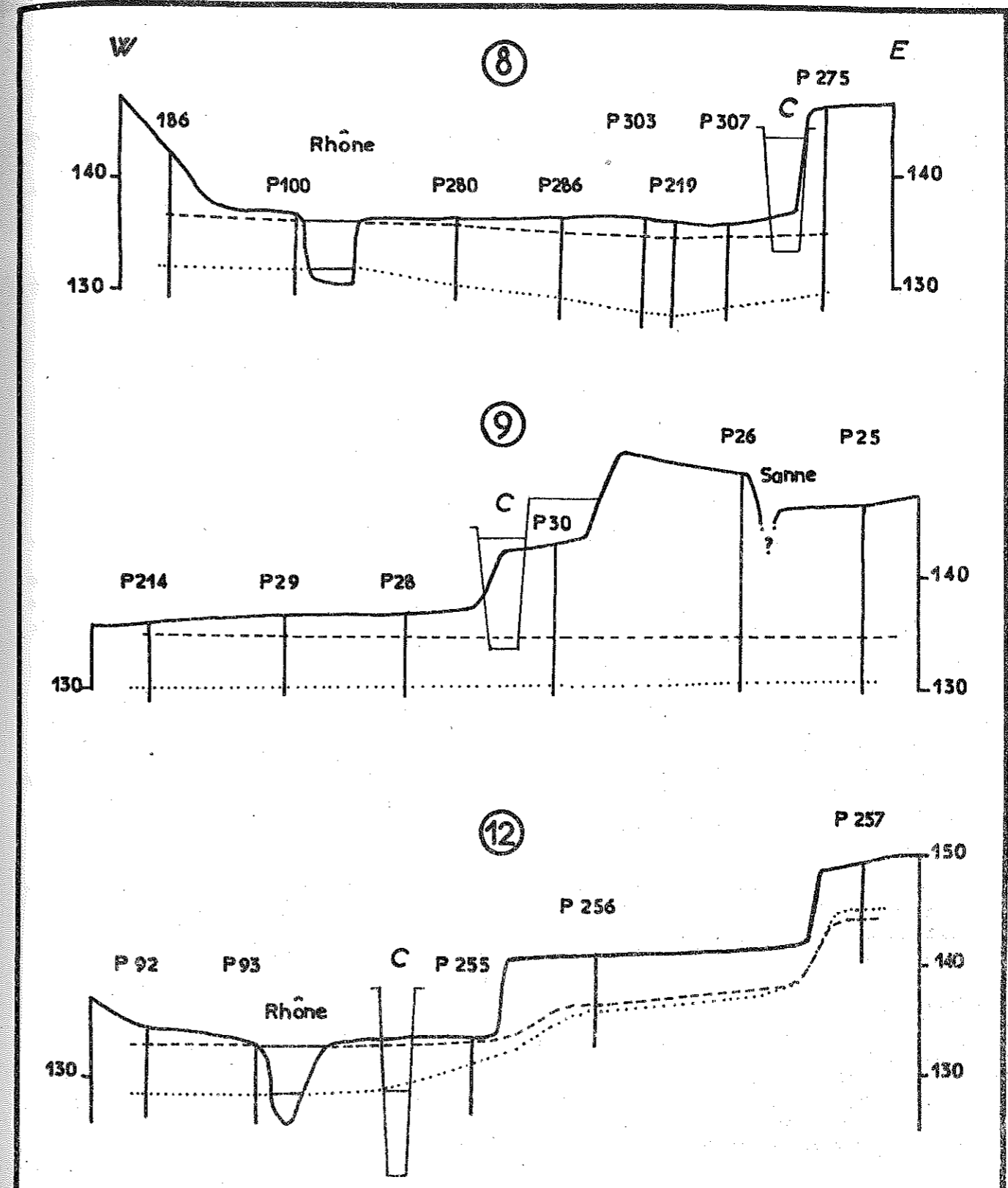


Fig 19b PROFILS PIEZOMETRIQUES

b) Choix de la période

Dans cette optique, la période du 19 novembre 1965 au 21 janvier 1966 a été retenue comme la plus favorable. Le tableau ci-dessous indique en effet les hauteurs et débits du Rhône à Serrières, ainsi que les apports pluviométriques, pendant ces neuf semaines.

Hauteur à Serrières en m	Débit du Rhône (m ³ /s)	Date des relevés	Pluviomètre de Saint-Pierre-de-Bœuf (mm)
2.00	1200	19.11	15
2.80	1755	26.11	22
4.00	2670	3.12	8.5
4.50	3100	10.12	15
4.45	3060	17.12	5.5
3.70	2430	24.12	16
3.90	2590	31.12	3
4.10	2755	7.1	6.5
2.90	1830	14.1	11
1.55	900	21.1	

De ces données, il ressort que l'on a bien un diagramme unimodal puisque le Rhône est le 19.11.65 à un régime d'eaux moyennes, qu'il croît régulièrement pour atteindre un maximum le 10.12.65 avec un débit de 3.100 m³/s, ce qui est dans le domaine des crues ; puis il revient à un niveau inférieur à celui du point de départ le 21.1.66 avec un débit de 900 m³/s (régime des eaux moyennes).

Cette période présentait un inconvénient : le risque de trouver au maximum de la crue plusieurs piézomètres inaccessibles ou inondés ; c'est ce qui explique certaines lacunes dans les graphiques. Mais il est facilement concevable que les piézomètres inutilisables étaient situés en bordure du Rhône, et que par conséquent, ce sont ceux dont les variations sont les moins intéressantes.

En regard avec cette variation positive du Rhône, la pluviométrie sur le secteur étudié a été faible. Le maximum se situe dans la semaine du 26.11 au 3.12 avec 22 mm et le minimum dans la semaine du 31.12 au 7.1 avec 3 mm.

c) Les profils (voir annexe)

La région la plus intéressante à étudier était évidemment celle où le Rhône sera court-circuité par la dérivation. C'est pourquoi seize profils ont été exécutés, du PK 49 au PK 62. Sur chacun de ces profils, en principe perpendiculaires à l'axe de la vallée, on a porté les variations de deux à sept piézomètres suivant la valeur des informations, l'élément de référence étant la courbe du Rhône à Serrières.

+ Profil 1 (PK 49)

Les deux piézomètres de rive droite P 114 et P 115 ont leurs variations pratiquement superposables à celles du Rhône. En rive gauche, il en est de même pour le P 53, alors que le P 54 suit aussi le Rhône, mais d'une façon déjà atténuée. Quant au P 173, situé sur la terrasse, il n'est absolument pas concerné par la montée du Rhône.

+ Profil 2 (PK 50)

Le seul piézomètre de la rive droite montre un régime en tous points comparable à celui du Rhône. En rive gauche, les 172 et 171 suivent le même régime ; et plus on s'écarte du lit mineur, plus l'amplitude des variations diminue ; en outre, le maximum de la crue atteint les piézomètres les plus éloignés avec un retard qui peut atteindre une semaine (P 49) ou davantage.

+ Profil 2 bis (PK 51)

Les deux piézomètres de ce profil montrent que le premier (P 45) suit les variations du Rhône, avec toutefois une montée plus accusée, tandis que le second se situe dans une zone où l'influence du fleuve est atténuée.

+ Profil 3 (PK 52)

Ce profil permet de tracer une limite nette entre l'influence du Rhône et la zone où les variations piézométriques sont atténuées. En effet, les P 40 et P 247 réagissent comme le fleuve, et les P 166 et P 41 sont eux franchement dans une zone mixte.

Quant au P 246, il correspond à cette limite puisqu'il enregistre les variations du Rhône, identiques en hautes eaux, tandis qu'en eaux moyennes, il se stabilise.

+ Profil 4 (PK 52, 5)

Les P 35 et P 36 réagissent de manière conforme aux variations du Rhône, ainsi que le P 37 bis, qui toutefois indique un mouvement de décrue moins rapide.

Les autres piézomètres de ce profil trahissent, même le P 270 situé sur la terrasse, soit une influence des pompages, soit un changement des caractéristiques hydrodynamiques du terrain.

+ Profil 5 (PK 53)

Le P 189 de la rive droite et les P 236 bis et P 237 bis ont des variations comparables à celles du Rhône, avec pour ces deux derniers une amplitude de variation plus grande qui résulte probablement d'une influence des pompages industriels. Mais cette influence est peu nette. Les P 238 et 271 présentent au contraire des oscillations plus amorties.

+ Profil 6 (PK 54)

Mis à part le P 106 et P 105 de la rive droite qui subissent les mêmes variations que le Rhône, tous les piézomètres de ce profil sont situés dans la zone d'influence des puits.

+ Profil 7 (PK 55)

Tous les piézomètres de ce profil sont à la fois sous l'influence du Rhône et sous l'influence des pompages ; en effet, ils ont des variations qui présentent les mêmes caractères que celles du fleuve ; mais les amplitudes sont plus importantes (3,00 m au total pour le Rhône, et 6,50 m pour le P 292).

+ Profil 8 (PK 55, 5)

Bien qu'assez incomplet, ce profil est analogue au précédent : tous les piézomètres sont soumis à la double influence du Rhône et des pompages. Toutefois, le P 275 situé sur la terrasse présente des variations plus amorties. Notons ici encore la forte amplitude des variations du P 219.

+ Profil 8 bis (PK 56)

L'intérêt de ce profil est de montrer que le P 241, bien que situé sur la terrasse, réagit très nettement aux variations du Rhône, avec une amplitude plus grande, tandis que le P 276 situé lui aussi sur la terrasse subit un mouvement plus atténué.

+ Profil 9 (PK 57)

Les trois premiers piézomètres de ce profil ont des variations très voisines de celles du Rhône, mais l'influence des pompages est encore sensible sur l'amplitude des variations. Quant aux P 26 et P 25, on retrouve un graphique analogue à celui du P 276 du profil précédent ; on peut les rattacher à la zone d'influence mixte, où l'influence du Rhône est prépondérante, mais atténuée.

+ Profil 9 bis (PK 58)

De ce profil, seuls les P 16 et P 17 ont des variations quasiment identiques à celles du Rhône. Pour les autres, l'influence du fleuve est certaine mais elle intervient à un degré moindre : plus on s'éloigne du Rhône, plus l'amplitude des variations est faible.

+ Profil 10 (PK 60)

Les trois premiers piézomètres de ce profil ont des variations semblables à celles du Rhône. Ce sont les P 99 de la rive droite, et les P 157 et P 8 de la rive gauche. Les P 9 et P 10 ont des variations soumises à l'influence du Rhône mais avec une amplitude moindre (ils appartiennent donc à une zone mixte). Enfin, les P 11 et P 253 sont indépendants des variations du Rhône. Leur graphique, assez régulier, dénote cependant une influence de la pluviométrie (et donc de l'infiltration) importante.

+ Profil 10 bis

Les P.R. 1 et P 14 sont à classer dans une zone mixte, en raison de l'atténuation des variations. Quant au P 15 et P 250, leur situation et leurs profils laissent penser qu'ils sont indépendants des variations du Rhône ; toutefois, l'allure très irrégulière de leur profil est probablement imputable à une influence conjuguée du Dolon et de l'infiltration à partir de la pluviométrie. Le P 250 enfin est totalement indépendant de ces facteurs, excepté l'infiltration.

+ Profil 11 (PK 61)

Les P 97 et P 96 de la rive droite, ainsi que les P 3, P 4 de la rive gauche ont des variations en tous points comparables à celles du Rhône : ils sont sous son influence directe. Les P 5 et P 254 présentent les mêmes variations très atténuées : ils appartiennent à une zone mixte, bien que le dernier soit situé sur la terrasse.

+ Profil 12 (PK 62)

Seuls les P 92 et P 93, situés en rive droite, sont sous l'influence directe du Rhône. Ce sont aussi les seuls situés dans la basse plaine. Le P 255 est à placer dans une zone mixte, en raison de la moindre amplitude de ses variations. Enfin, les P 256 et P 257 sont indépendants, surtout le second, des variations du Rhône. Ils peuvent être considérés comme représentatifs de la nappe de terrasse.

d) Conclusions

La synthèse de cette étude est représentée sur la carte des zones d'influence de la nappe (voir planche hors-texte n° 8).

Quatre secteurs ont été distingués :

* zone sous l'influence directe du Rhône

Il s'agit d'une bande située, évidemment en bordure du fleuve, et dont la largeur maximale est comprise entre 600 et 800 mètres. Les piézomètres situés dans cette zone subissent des variations de niveau en tous points identiques à celles du Rhône.

* zone sous l'influence de la nappe de terrasse

Dans ce secteur, le niveau de la nappe est indépendant des variations du Rhône. La cote de la nappe ne varie qu'en fonction de l'infiltration à partir des précipitations atmosphériques.

La limite occidentale de cette zone est située légèrement en retrait du front de terrasse et se perd au niveau de péage-de-Roussillon, en raison de l'influence des pompages industriels.

* zone sous une influence mixte

Située entre les deux précédentes, elle représente le domaine où les niveaux des piézomètres subissent des variations sensibles à deux influences différentes : le Rhône, ayant un niveau très mobile, et la nappe de terrasse ayant, par comparaison, un niveau stable.

Nous avons donc ici des variations de type intermédiaire : le mouvement général de hautes eaux et de basses eaux imprimé par le Rhône est sensible, mais l'amplitude des variations est beaucoup moindre. De plus, il est bien évident que les variations sont de moins en moins accentuées, d'Ouest en Est.

* zone sous l'influence des pompages industriels

Cette zone a été délimitée à partir des variations des piézomètres, mais aussi et surtout à partir de la courbe de battement 0,50 m (cf. planche hors-texte n° 5).

Cette valeur de 0,50 m a été jugée comme représentant une limite valable : au-delà les amplitudes sont trop faibles et influencées par de nombreux paramètres, en-deçà, l'influence des puits est manifeste.

L'influence des pompages se traduit principalement sur les graphiques des piézomètres situés au droit de chaque champ de puits par des amplitudes de variation souvent supérieures à celles du Rhône. On peut attribuer ce phénomène au fait que tous les puits ne sont pas en marche, tous ensemble, et de façon toujours continue.

En bordure du Rhône, enfin, on peut penser que l'alimentation a lieu en partie directement à partir du fleuve, le niveau des piézomètres situés sur l'île de la Platière accusant une dépression déjà sensible. Cette hypothèse sera confirmée par l'étude des caractères physico-chimiques de la nappe.

En définitive, la comparaison des profils de variation des niveaux piézométriques permet un groupement des piézomètres en catégories où les causes influant sur le niveau de l'eau déterminent des effets semblables.

Au cours de cette étude, nous avons attribué au Rhône le rôle essentiel. Mais l'étude des graphiques piézométriques annuels ou pluri-annuels permet de voir que sur la terrasse, la pluviométrie, et l'infiltration se répercutent sur le niveau de la nappe.

Aussi peut-on penser que dans la plaine, l'infiltration doit également jouer son rôle. Mais comme une forte pluviométrie coïncide généralement avec une montée du niveau du Rhône, il est délicat d'attribuer avec certitude à une cause donnée chaque variation du niveau de la nappe.

Enfin, cette étude a permis de mettre l'accent sur la présence de zones à caractéristiques hydrogéologiques différentes.

Nous avons vu que certains piézomètres (P 172, P 246, P 35, P 236 b, P.R. 17, P 292, P 219 et P 241 en particulier) présentent des variations dont les amplitudes sont supérieures à celles du Rhône. Si l'on admet que le régime des pompages a été constant pendant la période choisie, ce phénomène ne peut s'expliquer que par un accroissement de la perméabilité

et du coefficient d'emmagasinement du terrain. Ces observations ont permis de localiser plusieurs chenaux, ou anciens lits du Rhône (cf. planche hors-texte n° 1).

A l'inverse, d'autres piézomètres (P 38 b, P 270, P 238, P 225, P 271, P 25 et P 26, en particulier) ont montré des variations dont les amplitudes sont inférieures à celles du Rhône. Il est donc possible d'envisager une diminution des caractéristiques hydrogéologiques du terrain, mais l'influence stabilisante de la nappe de terrasse doit avoir le rôle prépondérant.

B. CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES

1. But et principe de l'étude

Dans le cadre des études de la C. N. R. relatives à la nappe de la basse plaine alluviale du Rhône, une prospection générale sur la géochimie des eaux a été entreprise dans le but d'apprécier les qualités chimiques et physico-chimiques de la nappe dans son état actuel.

Devant permettre en outre d'évaluer les caractères des eaux de la nappe tels qu'ils seront, en principe, après les aménagements, cette campagne a été effectuée en deux temps :

- dans le secteur situé au Nord de Saint-Pierre-de-Bœuf et à l'Est du canal de dérivation, les prélèvements ont été réalisés pendant une période de hautes eaux (les 5, 6 et 7 mai 1969).
Débit du Rhône à Serrières : 2 500 m³/s.
- dans le secteur situé au Sud de Saint-Pierre-de-Bœuf, et à l'Ouest du canal de dérivation, les prélèvements ont été effectués pendant une période de basses eaux (les 29, et 30 mai 1969).
Débit du Rhône à Serrières : 750 m³/s.

Les points de prélèvements répartis sur un quadrillage aussi régulier que possible (voir planche hors-texte n° 9) ont été choisis de manière à fournir une eau "vivante", non stagnante ; cet objectif a conduit à prendre des échantillons dans des puits exploités actuellement, industriels ou particuliers.

En outre, des échantillons témoins ont été prélevés dans le Rhône, au cours des deux périodes citées plus haut.

Les échantillons, prélevés et étudiés par l'Institut Pasteur de Lyon, ont fait l'objet d'une analyse chimique et physico-chimique complète.

Ajoutons enfin que les points d'eau servant à l'alimentation en eau potable de collectivités, ont fait également l'objet d'analyses bactériologiques, dont les résultats ne figurent pas dans cette étude.

2. Critères analysés (Ch. HERGUEZ, 1965)

Les critères analysés se groupent en deux ensembles :

- critères physiques,
- critères chimiques.

Nous ne retiendrons que les plus caractéristiques.

a) Critères physiques

Ce sont :

- + le pH, qui outre sa valeur propre, permet de connaître le pouvoir agressif de l'eau ;
- + la résistivité, exprimée en Ohms/cm, d'autant plus forte que l'eau est moins minéralisée ;

- + le résidu sec, exprimé en mg/l. Après traitement de l'eau (chauffage à 110° puis à 500°) donne une indication sur la quantité de matières en suspension ;
- + l'anhydride carbonique libre CO₂, principal agent d'attaque des roches, dont la production est liée à la vie dans le sol ;
- + la dureté (titre hydrotimétrique, ou T. H.) exprimée en degrés français, représentant la teneur globale de l'eau en sels de Ca et Mg ;
- + le titre alcalimétrique complet (T. A. C.) exprimé également en degrés français, représentant la teneur globale de l'eau en hydrates, carbonates et bicarbonates alcalins et alcalino-terreux.

b) Critères chimiques

Il s'agit du dosage, exprimé en mg/l, d'éléments isolés dont les principaux sont :

- + les alcalino-terreux Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ que nous avons séparés pour une meilleure comparaison des résultats. De toute façon, les teneurs globales de ces cations sont représentées par la dureté de l'eau ;
- + les alcalins Na⁺ et K⁺, dont les teneurs interviennent si l'eau doit être destinée à l'irrigation. Notons que pour une meilleure représentation des résultats, la teneur en potassium a dû être multipliée par 10 ;
- + Fe⁺⁺, classé dans la législation française comme élément indésirable (la teneur doit être inférieure à 0,2 mg/l). Pour les mêmes raisons que précédemment, la teneur en fer a dû être multipliée par 100 ;
- + Cl⁻, indice de pollution essentiellement chimique, lorsqu'il atteint un taux supérieur à 250 mg/l.
- + SO₄⁻, souvent d'origine naturelle, mais aussi résultant parfois d'une pollution industrielle ;
- + CO₃H⁻, qui intervient sur le pouvoir tampon de l'eau, et donc sur les variations de pH ;
- + NO₃⁻, qui provient, en doses élevées, de pollutions chimiques (effluents industriels, lessivage d'un sol enrichi par engrais) ou de pollution organique. Pour les mêmes raisons que précédemment, la teneur en nitrates a dû être multipliée par 10.

La connaissance de ces paramètres a en outre permis de déterminer certains rapports caractéristiques. Nous appellerons R₁, R₂ et R₃

$$R_1 = \frac{CO_3H}{SO_4 + Cl}$$

$$R_2 = \frac{SO_4}{Cl}$$

$$R_3 = \frac{Ca + Mg}{Na + K}$$

3. Différents apports d'eau à la nappe de la rive gauche

Les deux apports qui arrivent à la nappe de la rive gauche du Rhône, sont les eaux du fleuve lui-même, et les eaux de la nappe de terrasse.

a) Eaux du Rhône

Six prélèvements au total, répartis sur les deux campagnes, ont été effectués. La figure n° 20 a, représente sur un diagramme normalisé la composition de quatre échantillons, deux représentatifs des hautes eaux, et deux représentatifs des basses eaux.

On constate que :

- le pH varie de 7,5 en basses eaux à 8 en hautes eaux ;
- la résistivité varie de 2 450 en basses eaux à 3 200 Ohms/cm en hautes eaux ;
- la dureté varie entre 16° en hautes eaux et 20° en basses eaux.

Fig 20a
DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU
RHONE

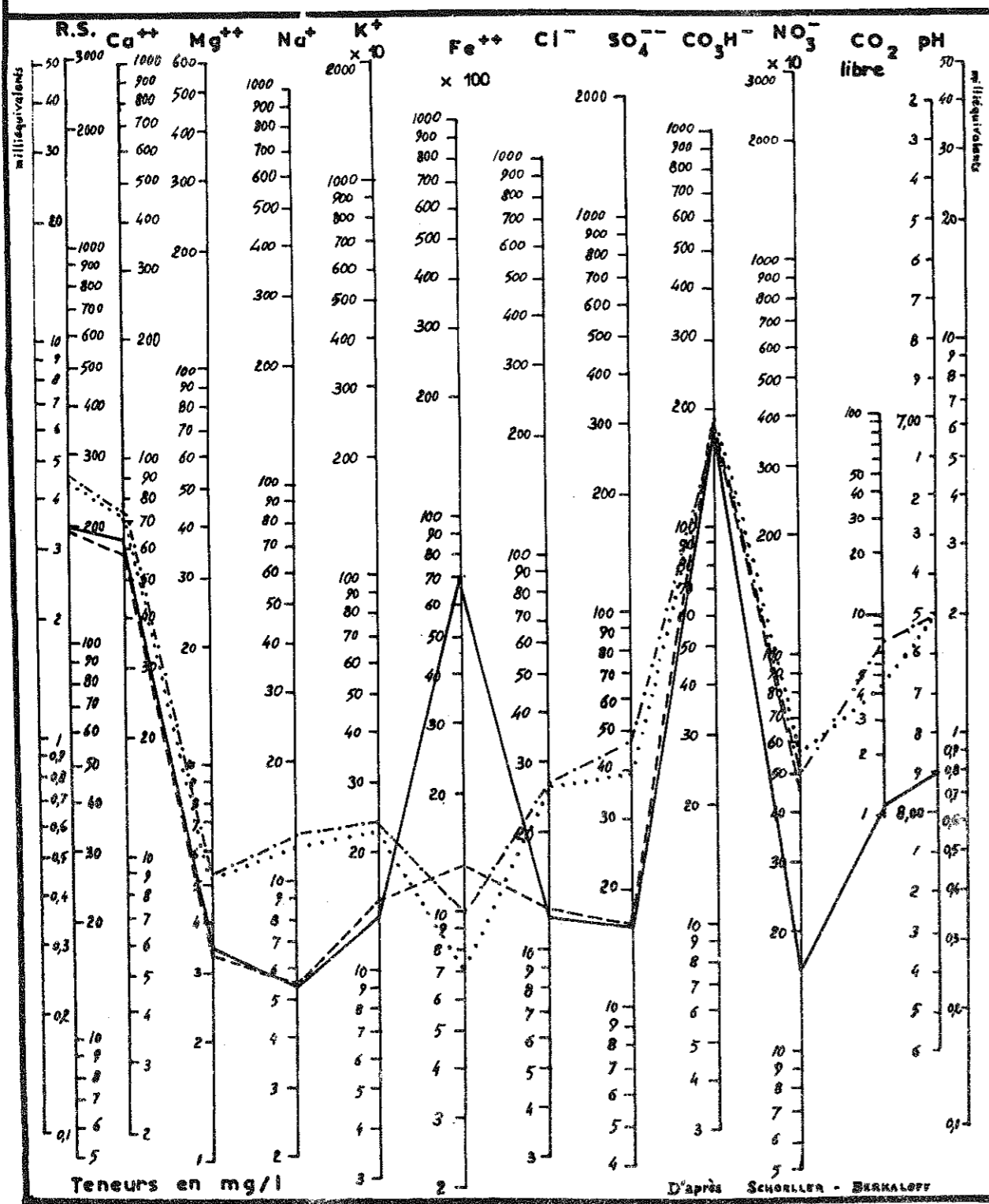
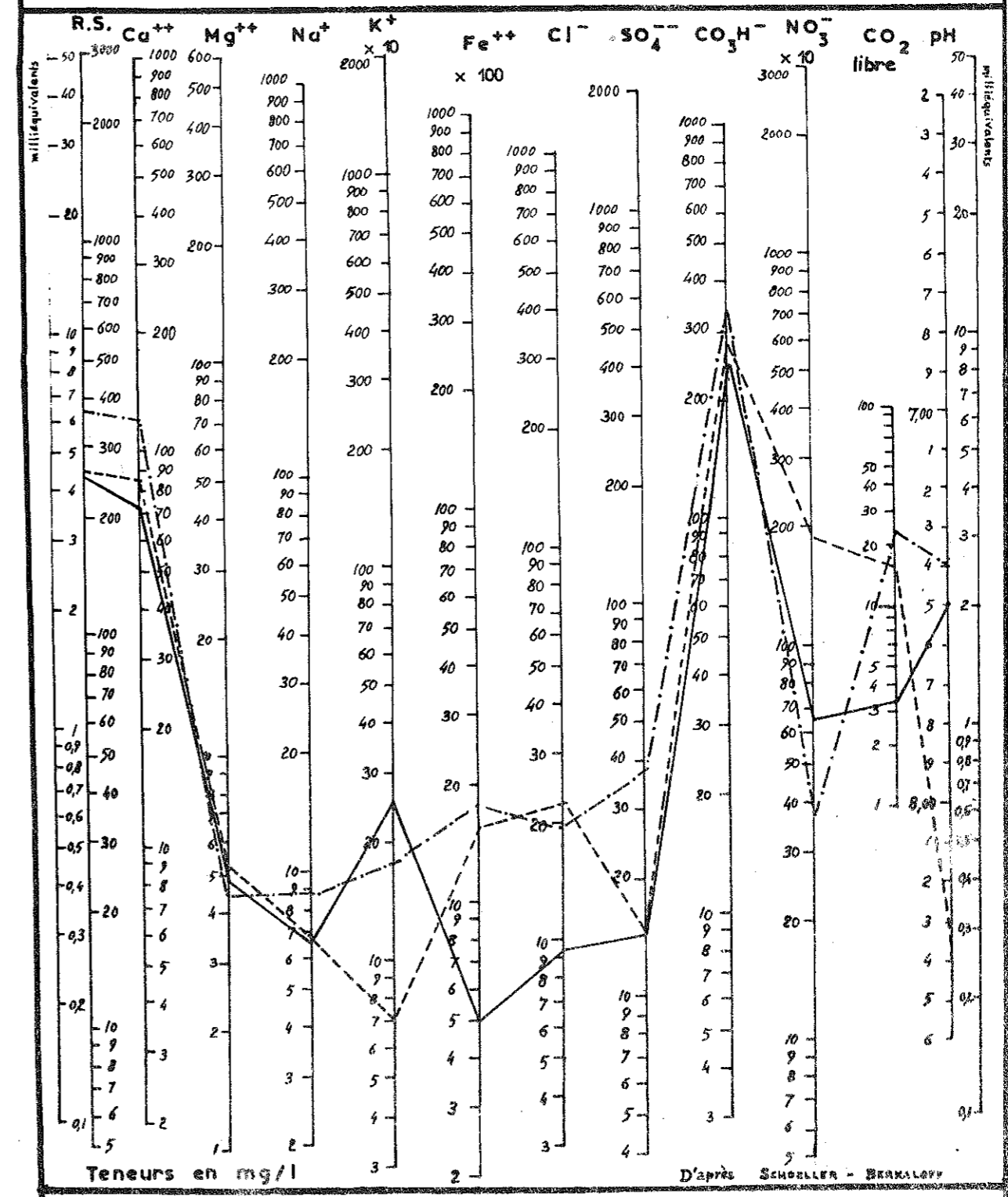


Fig 20b
DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU
TERRASSE



D'une façon générale, on peut dire qu'il s'agit d'une eau bicarbonatée calcique : la teneur en Ca varie de 59 à 92 mg/l, la teneur en CO₃H varie de 176 à 186 mg/l.

En outre, les prélèvements faits en basses eaux accusent une minéralisation plus élevée : les teneurs des différents éléments sont toutes plus fortes en basses eaux, ce qui est logique, toutes sauf le fer.

Du point de vue de la pollution, c'est une eau moins mauvaise qu'elle n'en a la réputation (Ch. HERGUEZ, ibid.).

b) Eaux de la nappe de terrasse

Quatre prélèvements ont été effectués entre Saint-Alban-du-Rhône et Saint-Rambert, en bordure de la terrasse.

Il apparaît que (voir figure n° 20 b) :

- le pH varie entre 7,4 et 8,4,
- la résistivité est comprise entre 1 350 et 2 600 Ohms/cm,
- la dureté varie de 20,5 à 32°.

Ca (variant entre 74 et 120 mg/l) et CO₃H (variant de 241 à 329 mg/l) étant les éléments prédominants, cette eau est donc, elle aussi, essentiellement bicarbonatée calcique, et ne diffère de l'eau du Rhône que par une minéralisation plus importante, qui se traduit par une dureté plus importante et une résistivité plus faible. Toutefois, il importe de remarquer que les teneurs en chlorures et en sulfates sont dans les deux cas, assez voisines.

L'eau de terrasse présente en outre une plus grande variabilité des teneurs : par exemple, à Saint-Alban, un prélèvement effectué dans un puits situé dans l'agglomération a révélé des teneurs très élevées en potassium (100 mg/l) et en sulfates (210 mg/l), alors qu'un autre, situé près de Saint-Rambert-d'Albon a montré des teneurs très faibles : 0,7 mg/l pour K, et 13 mg/l pour SO₄.

On peut donc suspecter le premier d'avoir été souillé avant la prise d'échantillon, car il s'agit de teneurs que l'on peut considérer comme anormales.

4. La nappe alluviale en rive gauche

a) Résultats des analyses

Parmi les différentes analyses effectuées, quelques unes prises du Nord au Sud, aux Roches de Condrieu, à Saint-Maurice-l'Exil, à Péage-de-Roussillon, à Sablons et au niveau du pont de Peyraud, sont représentées sur la figure n° 20c.

Il ressort de ce diagramme que l'on a encore ici des eaux bicarbonatées calciques.

- le pH varie entre 6,9 et 7,8 ;
- la résistivité est comprise entre 1 250 et 2 530 Ohms/cm ;
- la dureté varie de 20,9 à 39°.

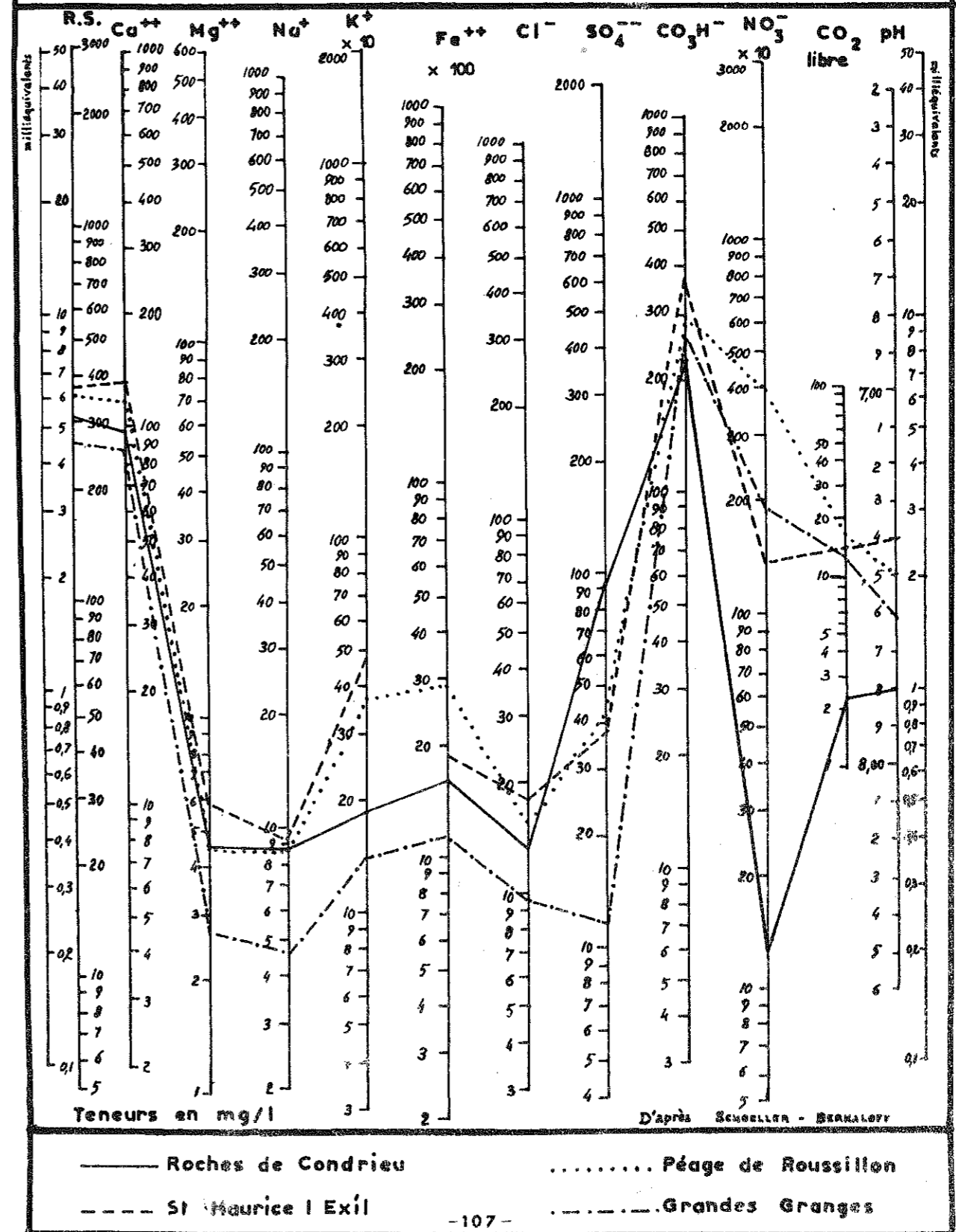
Le tableau représenté sur la figure n° 21 met en évidence que, contrairement à ce qui était prévisible, les eaux de la nappe alluviale de la rive gauche ne sont pas un mélange uniforme des deux eaux que l'on a analysées au paragraphe précédent : en effet, on trouve dans la nappe des teneurs inférieures aux minima ou supérieures aux maxima enregistrés dans ces deux apports.

b) Différenciation des familles d'eau

Dans le but de classifier ces eaux, le premier critère retenu a été la résistivité, accompagné de la valeur de la dureté. Nous avons donc distingué :

- les eaux douces : résistivité élevée, et T. H. inférieur à 20° ;
- les eaux moyennement minéralisées : résistivité moyenne, et T. H. compris entre 20 et 30° ;
- les eaux fortement minéralisées, dures : résistivité faible, et T. H. supérieur à 30°.

Fig 20c DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU
NAPPE DE RIVE GAUCHE



	Rhône	Nappe rive gauche	Nappe terrasse
pH	7,5 - 8	6,9 - 7,8	7,4 - 8,4
Dureté	16 - 20	20,8 - 39	20,5 - 32
T.A.C.	14,5 - 15,2	16 - 36	19,7 - 27
Résistivité	2450 - 3200	1250 - 2530	1350 - 2610
Ca ⁺⁺	59 - 72	75 - 147	74 - 120
CO ₃ H ⁻	176 - 186	195 - 390	241 - 329
SO ₄ ⁻⁻	16 - 46	9,6 - 88	13 - 37
Cl ⁻	11 - 25,6	8,2 - 29	9 - 27
Na ⁺	5,2 - 12,4	4,4 - 28	6,6 - 36,6
Mg ⁺⁺	3,4 - 5,1	2,6 - 11,4	4,3 - 12,6
NO ₃ ⁻	1,2 - 5,6 (*)	1,2 - 55,8	3 - 18
K ⁺	1,2 - 2,3	0,5 - 5	0,7 - 2,5
Fe ⁺⁺	0,00 - 0,70	0,06 - 0,50	0,00 - 0,17
R ₁	2,6 - 6,4	2,1 - 16,5	5,8 - 10,8
R ₂	1,4 - 1,8 (*)	0,9 - 6,8	0,6 - 1,9
R ₃	5,2 - 9,9	3,7 - 16,9	0,7 - 12,4

(*) - Indépendamment du débit du Rhône.

Fig. 21 - Tableau comparatif des résultats des analyses chimiques.

Dans un deuxième temps, on a tenu compte des variations de la teneur en sulfates, qui semblent le mieux caractériser les différentes familles d'eau, du point de vue chimique. Les variations de cette teneur ont été assorties des variations du rapport R 2 (rapport des sulfates aux chlorures) bien que la teneur en chlorures puisse déformer la valeur vraie de ce rapport, puisque ces derniers peuvent provenir d'une pollution organique locale.

c) Différentes familles d'eau

Nous avons pu ainsi définir :

+ Zone I : Résistivité inférieure à 1 800 Ohms/cm, avec T. H. supérieur à 30°.
Nous avons distingué dans cette famille :

* zone I-a : Teneur en sulfates inférieure ou voisine de 35 mg/l, avec R 2 inférieur à 2.
Il s'agit donc d'une zone où l'eau est fortement minéralisée, avec une teneur en sulfates moyenne ou faible, en quantité double des chlorures environ.
Cette zone inclut les prélèvements effectués sur la terrasse, et quelques mesures réalisées dans la plaine.

* zone I-b : Teneur en sulfates supérieure à 35 mg/l, avec R 2 supérieur à 2.
C'est donc toujours une eau fortement minéralisée, mais où la teneur en sulfates est moyenne ou forte. Elle est encore le plus souvent à peine supérieure à celle des chlorures (R 2 varie entre 2 et 3).
C'est une zone située dans sa majeure partie en pied de terrasse, dont la limite occidentale peut s'avancer plus ou moins loin dans la plaine. On peut noter que localement, la valeur du rapport R 2 peut s'abaisser (comme au lieu-dit "Champanay") ; et une pollution organique locale entraînant une élévation du taux de chlorures peut expliquer cette variation.

+ Zone II : Résistivité comprise entre 1 800 et 2 200 Ohms/cm, avec T. H. compris entre 20 et 30°.
Nous avons distingué dans cette famille :

* zone II-a : Teneur en sulfates inférieure à 35 mg/l.
Dans cette zone, se groupent deux prélèvements situés dans le secteur de la confluence du Dolon. Les teneurs en sulfates sont 11 et 13 mg/l, mais les valeurs du rapport R 2 sont respectivement 14 et 0,9.
Ce sont donc des eaux moyennement minéralisées, où la teneur en sulfates est faible, mais où la présence de chlorures est très variable, probablement liée à une pollution organique locale.

* zone II-b : Teneur en sulfates supérieure à 35 mg/l, avec R 2 compris entre 2 et 9.
Ce sont des eaux moyennement minéralisées, où la teneur en sulfates est moyenne ou forte, et où la proportion de sulfates est toujours largement supérieure à celle des chlorures.
Cette zone groupe les prélèvements effectués dans une partie du secteur des pompages industriels, de Péage-de-Roussillon, ceux situés le plus au Nord, ainsi que dans la plaine du Péage, et dans le secteur de Sablons.

+ Zone III : Résistivité supérieure à 2 200 Ohms/cm, avec T. H. compris entre 20 et 30°.
Nous avons distingué dans cette famille :

* zone III-a : Teneur en sulfates inférieure à 35 mg/l.
Ce sont des eaux moins minéralisées que les précédentes ; la teneur en sulfates est faible (voisine de 10 mg/l) et le rapport R 2 est toujours très élevé.
Cette famille se situe dans la région du pont de Peyraud (lieu-dit "Les Grandes Granges"), sur la commune de Sablons.

* zone III-b : Teneur en sulfates voisine de 35 mg/l.
Cette zone correspond elle aussi à des eaux moins minéralisées que les précédentes ; la teneur en sulfates est moyenne ou forte, et le rapport R 2 est élevé ; il est partout supérieur à 6.
Cette zone inclut les pompages situés le plus au Sud du Péage-de-Roussillon.

d) Conclusions

La localisation géographique de ces différentes zones sur la planche hors-texte n° 10, permet de conclure que dans la plaine de la rive gauche, les eaux se présentent, suivant les secteurs, comme le mélange des eaux de la nappe et des eaux du Rhône.

Au droit de Saint-Maurice-l'Exil, il se produit une influence très nette de la nappe de terrasse, se faisant ressentir jusqu'au milieu de la plaine, de même qu'au droit de Péage-de-Roussillon, où les pompages situés jusqu'à 500 mètres en moyenne du pied de terrasse fournissent une eau à rapprocher par ses caractères physico-chimiques de celle de la terrasse.

De même au niveau de la Sanne, il se dessine une influence importante de la nappe de terrasse qui se fait sentir assez loin en direction de Sablons.

Quant à l'influence du Rhône, elle est particulièrement évidente au droit de la zone des pompages industriels de Péage-de-Roussillon, où les eaux ont une composition voisine de celle du Rhône. Il en est de même dans le secteur situé entre Sablons, Chanas et Saint-Rambert-d'Albon.

Cette étude chimique confirme donc les conclusions des paragraphes précédents, en les précisant davantage.

Enfin, signalons qu'en rive droite, les analyses montrent que l'on peut rattacher aux familles décrites en rive gauche, des zones correspondantes, et qu'il apparaît une nouvelle famille, dans le secteur de Saint-Pierre-de-Boeuf, où l'eau est très faiblement minéralisée (T. H. compris entre 6 et 11°, et résistivité comprise entre 4 100 et 6 000 Ohms/cm). Cette famille IV voit son origine directement liée à la proximité du versant cristallin.

Cette observation, jointe au fait qu'un prélèvement effectué un peu plus à l'Est (200 m environ) a révélé une eau de composition voisine de celle du Rhône, prouve donc la faible importance au moins en superficie, des apports de versants de la rive droite du Rhône.

C. LES FACTEURS DU BILAN

Nous avons vu au début de cette partie que le débit moyen du Rhône à Serrières est proche du millier de m³/s.

Tous les termes du bilan représentent des quantités qui équivalent au maximum à la centième partie de ce chiffre. En outre, beaucoup de ces termes sont souvent difficilement estimables avec un degré de précision satisfaisante.

Il apparaît donc d'ores et déjà que ce paragraphe sera la récapitulation, plus qualitative que quantitative, des différents facteurs qui interviennent sur le bilan de la nappe.

Nous distinguerons deux ensembles :

- les apports,
- les pertes.

1. Les apports

Les différents facteurs d'alimentation de la nappe sont :

- les apports du Rhône,
- les apports de versants,
- les apports de l'infiltration.

a) Les apports du Rhône

L'étude de la piézométrie a montré que la nappe est en équilibre avec le Rhône : celui-ci alimente celle-là, en de nombreux points.

Ces apports directs ont une importance très grande surtout à l'égard des ouvrages de captage situés à proximité du lit du fleuve, mais ils sont difficilement estimables en raison de la variabilité des débits du Rhône lui-même, et de celle des débits pompés, suivant les secteurs.

A ce propos, signalons que H. CAMBEFORT (1965) a montré qu'un pompage situé à proximité d'une rivière (épaulement d'une fouille par exemple) rabattait la nappe des deux côtés de la rivière comme si cette dernière n'existait pas. C'est ce que l'on peut constater, sur les cartes de nappes, au niveau de Limony, en particulier.

L'auteur montre que ce résultat, basé sur les données des analogies électriques peut s'expliquer par le fait que l'alimentation de la nappe à partir de la rivière se fait dans un plan perpendiculaire à l'axe de cette dernière, alors que l'écoulement de la nappe se fait parallèlement à celui de la rivière.

Dans la zone des pompages, une approximation montre que, si l'on prend une valeur moyenne de perméabilité de 5.10⁻³ m/s et un gradient de 1/2 000 (compte tenu de l'inclinaison des courbes de niveau de la nappe par rapport au cours du Rhône, l'infiltration reste inférieure à 0,010 m³/s, par kilomètre de longueur comptée sur la berge du Rhône.

b) Les apports des versants

+ En rive droite

Comme nous l'avons vu précédemment, le replat appelé "Piedmont" et le rebord des massifs granitiques constituent deux zones différentes.

Sur le premier, on trouve une couverture d'altération, masquant des paléo-reliefs supposés importants, dont l'épaisseur est par conséquent assez irrégulière.

L'eau, qui arrive sur cette zone, s'infiltré et résurge en de nombreuses sources dont certaines sont captées. On peut logiquement penser que ces résurgences sont liées à d'anciens talwegs, noyés sous la couverture d'altération.

Sur le second, à l'opposé du précédent, l'infiltration est inexistante et le ruissellement est prépondérant.

Il en résulte que les nombreux torrents, dont nous avons cité plus haut, que les plus importants, véhiculent jusqu'à la plaine un certain débit, qui s'ajoute directement à celui du Rhône, tandis qu'une fraction de ce débit - en l'absence d'exutoire aisé - s'infiltré dans les formations superficielles et chemine jusqu'à la nappe.

Au vu des sondages, on peut avancer que la matrice de ces matériaux est très argileuse, et il est probable que ces formations soient moins perméables que les alluvions. Toutefois, le gradient y est plus élevé.

On peut penser, en conclusion, que compte tenu de la pluviométrie, des débits de ces torrents, et de la distance qu'ils parcourent dans la plaine alluviale, le débit qui parvient à la nappe à partir des affluents de la rive droite, doit être de l'ordre d'une dizaine de litres par seconde, pour les plus importants.

+ En rive gauche

La profonde dissymétrie entre les deux rives qui affecte cette partie de la vallée du Rhône sur le plan morphologique et géologique, se traduit aussi sur le plan hydrogéologique.

En effet, nous avons ici une contrée où les reliefs sont peu marqués ; le ruissellement est malaisé, et l'infiltration est prépondérante. Toutefois, dans la partie nord, au niveau du défilé de Vienne-Condrieu, on peut penser que les apports sont du même ordre de grandeur et de même nature que ceux de la rive droite.

A partir des Roches de Condrieu, vers le Sud, les formations fluvio-glaciaires qui s'emboitent et se superposent sont le siège de circulations drainées par le Rhône.

Une estimation faite au niveau de la Bièvre-Valloire indique que l'apport moyen est de l'ordre de 6 m³/s, en ce qui concerne la vallée drainée par le Dolon.

On peut donc penser que, après avoir rapporté ce débit à la superficie du bassin versant, l'apport total en eaux souterraines de la rive gauche peut être évalué à environ 10 m³/s.

c) Les apports de l'infiltration

Nous avons évalué au chapitre précédent, à 190 mm/an la quantité d'eau qui s'infiltré dans le sol à partir des précipitations atmosphériques.

2. Les pertes

Les pertes que subit la nappe du Rhône se groupent en trois ensembles :

- les pompages,
- le Rhône,
- l'irrigation.

a) Les pompages

Disséminés sur toute la superficie de la plaine alluviale, ces pompages, industriels ou communaux, exploitent les eaux de la nappe d'une façon régulière. L'addition de tous les débits pompés montre que ce sont les pompages privés qui, bien qu'étant les moins nombreux, prélèvent les plus grandes quantités : près de 10 000 m³/h au total, soit 2,8 m³/s.

Ces stations sont concentrées à Roussillon et Péage-de-Roussillon d'une part, et à Saint-Clair-du-Rhône d'autre part, en rive gauche. En rive droite, une seule station industrielle, de moindre importance mais non négligeable, se trouve à Saint-Pierre-de-Bœuf.

Par contre, les stations communales, beaucoup plus dispersées, mais beaucoup plus nombreuses, donnent un total de 1 800 m³/h environ pompés dans la nappe.

Il convient de préciser en outre que la plus grande partie des débits pompés retournent soit directement au Rhône, soit aussi parfois à la nappe.

Signalons aussi que quelques communes ont la totalité ou seulement une partie de leur alimentation en eau assurée par le captage de sources situées soit au niveau de la haute terrasse de la rive gauche, soit sur la rive droite (sources de failles, ou sources de terrains de couverture).

Enfin, précisons que cet état ne tient compte que des stations actuellement en service, et non des ouvrages en cours de réalisation ou seulement projetés, et réalisables dans un avenir souvent proche.

b) Le Rhône

Nous avons vu précédemment que le Rhône pouvait alimenter la nappe. Mais le phénomène inverse peut se produire, plus fréquemment en période de basses eaux ; mais aussi pendant les hautes eaux.

La nappe est drainée, rappelons-le, principalement en rive gauche entre Saint-Alban-du-Rhône et Saint-Maurice l'Exil puis à partir du confluent du Dolon, et au-delà, vers le Sud.

En rive droite, le Rhône draine la nappe entre Saint-Michel-du-Rhône et la Petite Gorge, et de Limony à Peyraud.

De même que lorsqu'il s'agissait des apports par le Rhône, les débits soustraits à la nappe par le fleuve sont difficilement chiffrables, avec un degré de précision satisfaisante.

Un aspect particulier des pertes imposées par le Rhône est le processus de variation des réserves d'eau qui "résurgent" (M. PARDE, 1925) dans le lit mineur du Rhône quand le talweg se rétrécit (dans les défilés, par exemple) ou quand l'épaisseur des alluvions diminue brusquement (au passage d'un seuil, par exemple). Il résulte de ce phénomène qu'une certaine partie du débit de la nappe passe ainsi directement dans le fleuve. Pour M. PARDE (ibid.) il est possible d'évaluer ces pertes à environ 20 m³/s.

c) Irrigation

Rappelons pour mémoire que les pertes subies par la nappe sont en partie dues aux pompages agricoles. L'importance de cette fraction est plus que toute autre très difficile à chiffrer avec suffisamment de précision, d'autant plus qu'une partie de l'eau pompée retourne à la nappe après l'arrosage.

Quant aux drainages d'irrigation, il en existe un réseau peu dense il est vrai, qui ne peut faire l'objet d'aucune mesure précise en raison du faible débit qui y coule.

3. Conclusions

Parmi tous les facteurs du bilan hydrogéologique, qui interviennent à des degrés divers, on peut souligner que les plus importants sont pour les apports, le débit en provenance de la rive gauche, en particulier au niveau de la Bièvre Valloire, et pour les pertes, la ponction des pompages industriels de l'agglomération de Péage-de-Roussillon.

D'une façon générale, on peut dire que la nappe ne peut emmagasiner tous les apports ; le Rhône joue le rôle de régulateur et maintient l'équilibre.

D'autre part, à l'exception des pertes par évapotranspiration, tous les pompages retournent au Rhône ou à la nappe. Ce sont donc les apports qui, en représentant l'alimentation potentielle de la nappe, influent le plus sur le bilan.

En considérant les débits moyens relatifs à la nappe, qui transitent dans l'axe de la vallée, on arrive au résultat suivant :

en appliquant la formule de DARCY

$$Q = K \cdot S \cdot i$$

où Q représente le débit en m³/s

S la section de passage de ce débit en m²

K le coefficient de perméabilité en m/s

i le gradient

- au niveau de Condrieu, on obtient approximativement :

$$Q = 0,200 \text{ m}^3/\text{s}$$

- au niveau de Saint-Rambert-d'Albon, on obtient approximativement :

$$Q = 0,306 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il se produit donc sur ce secteur une augmentation de débit de 0,100 m³/s, soit la moitié du débit d'entrée. Elle est due en majeure partie aux apports de la Bièvre-Valloire. Mais ces derniers ne représentent qu'une très faible partie du débit du Rhône, élément de base, et il apparaît aléatoire de dresser un bilan complet et précis à partir des données énoncées plus haut.

En conclusion, le débit du Rhône est très largement supérieur aux apports ou même aux pertes de la nappe. Toutefois, le bilan étant par lui-même positif, il ressort que l'on pourrait envisager une exploitation accrue, moyennant certaines précautions à l'égard du capital acquis.

IV - HYDRODYNAMIQUE SOUTERRAINE

A. LES REGIMES DE POMPAGE

Il est admis que la courbe de dépression de la surface piézométrique au voisinage d'un pompage atteignait un profil d'équilibre, lié à un rayon d'action constant et à un niveau constant. C'est le régime permanent ou d'équilibre.

Mais, la pratique a montré que le niveau d'eau dans le puits n'est pas toujours constant pour un débit donné, de même que le rayon d'action. Le temps est alors le facteur qui intervient de façon prépondérante. C'est le régime transitoire ou de non-équilibre.

1. Régime permanent

Ce régime peut s'étudier à partir des travaux de J. DUPUIT, qui a formulé plusieurs hypothèses pour la résolution de tels problèmes.

Pour une nappe à filets convergents vers un axe de pompage, nous supposons donc :

- le milieu aquifère, ainsi que l'eau elle-même, incompressibles,
- l'écoulement laminaire (domaine de validité de la loi de Darcy),
- le milieu homogène et isotrope,
- les surfaces équipotentielles planes,
- le rayon d'action constant,
- la composante verticale de la vitesse négligeable devant la composante horizontale.

A la stabilisation de régime, observée sur un temps suffisamment long, la formule de DUPUIT est applicable :

Q = K * (H^2 - h^2) / Log (R/r)

ou

Q = 1,366 K * (H^2 - h^2) / log (R/r)

dans laquelle,

- Q = débit pompé
- K = perméabilité du terrain
- H = hauteur de la zone d'alimentation
- h = hauteur d'eau dans le puits après obtention du régime stable
- R = distance du puits à la zone d'alimentation
- r = rayon du puits

La quantité H - h représente le rabattement dans le puits.

Ces hypothèses seront utilisées au paragraphe suivant bien qu'un doute subsiste quant à la validité de leur application. En effet, les essais de débit qui présentent une apparence de régime permanent peuvent être en fait des essais en régime transitoire masqué par un phénomène analogue à une réflexion d'ondes sur un milieu à transmissivité très différente marquant les limites de la nappe dans le secteur considéré. Cette nouvelle transmissivité peut être brusquement nulle (limite imperméable : marnes ou terrains cristallins) ou infinie (limite marquée par le Rhône).

Toutefois, comme il n'existe que peu de moyens de mise en évidence de ce phénomène de façon péremptoire, et encore moins de possibilités de correction, ces essais de débit seront exploités en supposant qu'ils correspondent à un véritable régime permanent, et les résultats seront regardés avec toutes les réserves qui s'imposent.

2. Régime transitoire

Lorsque le niveau d'eau dans le puits varie, pour un débit constant, et que corollairement le rayon d'action n'est plus fixe, la méthode précédente n'est plus utilisable, et on doit faire intervenir une variable supplémentaire : le temps.

C.V. THEIS et plusieurs autres auteurs, ont établi la théorie d'un tel régime et nous utiliserons la formule d'approximation logarithmique de l'équation de THEIS :

D = (Q / (4 * T)) * Log (2,25 * T * t / (x^2 * S))

ou

D = (0,183 * Q / T) * log (2,25 * T * t / (x^2 * S))

dans laquelle,

- D = rabattement dans le puits,
- Q = débit pompé
- T = transmissivité du terrain (avec T = K.H)
- t = temps de pompage
- x = distance du puits de pompage au puits d'observation
- S = coefficient d'emmagasinement du terrain.

Cette formule peut s'écrire sous la forme :

D = (0,183 * Q / T) * (log (2,25 * T * t / (x^2 * S)) + log t)

C'est donc une équation de la forme

y = a (log b + log x)

où les variables sont

y = D
log x = log t

Nous obtenons donc une représentation graphique, qui, en coordonnées semi-logarithmiques, est une droite, dont la pente, et par conséquent la dérivée de l'équation, est :

tg x = dy/dx = dD/d(log t)

Cette valeur est donnée par l'accroissement du rabattement dans un cycle logarithmique c. D'où :

T = (0,183 * Q) / c

De même, lorsque la droite coupe l'axe des temps au point t_0 , le rabattement est nul, et l'on a :

$$\log \frac{2,25 T t_0}{x^2 S} = 0$$

soit

$$S = \frac{2,25 T t_0}{x^2}$$

La connaissance de T et de S par une solution graphique simple est donc l'essentiel de l'application de cette formule d'approximation.

Aux hypothèses établies au départ dans le cas d'un régime permanent, doivent s'ajouter celles-ci :

- problème plan et de révolution,
- temps de pompage suffisamment long,
- nappe d'étendue infinie,
- terrain homogène et isotrope,
- surface de la nappe au repos horizontale.

3. Superposition des écoulements - Courbes de remontée

La loi de Darcy applicable par hypothèse à tous les écoulements étant linéaire, on peut admettre qu'un changement de débit ou l'arrêt d'un pompage correspond à la superposition de deux problèmes simultanés :

- la continuation du premier mode de pompage, au débit Q, de durée illimitée,
- l'addition (en valeur relative) d'un second pompage dont le débit Q' est tel qu'il représente ou la somme algébrique du premier et du deuxième débit s'il s'agit d'un changement, ou le même débit mais de signe opposé, s'il s'agit de l'arrêt du pompage.

Cette addition intervenant au temps t' , l'équation générale prend la forme,

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

Si $Q = Q'$ (courbe de remontée) :

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

D représente ici les rabattements observés lors de la remontée du niveau, dans le cas de l'arrêt du pompage.

Ce sont les rabattements résiduels.

En portant en coordonnées semi-logarithmiques les D résiduels et $\log \frac{t}{t'}$, on obtient une droite, et une valeur de T telle que :

$$T = \frac{0,183 Q}{c'}$$

c' , étant un cycle logarithmique obtenu dans ce nouveau système d'axes.

B. ESSAIS DE DEBIT

L'exploitation d'un essai de débit, pour ne pas entraîner de développements mathématiques complexes, et surtout, pour avoir une signification la plus valable possible, requiert certaines conditions, qui dans le cas présent se résument ainsi :

- le pompage doit être suffisamment long et régulier ; un essai témoignant d'arrêts de pompe intermittents (pompages de désablage, par exemple) ne présente pas d'intérêt pour la détermination des caractéristiques hydrodynamiques ;
- les différents paliers de débit doivent être tels que le débit pompé aille en augmentant du début à la fin de l'essai ;
- le niveau du Rhône doit rester le plus constant possible, pendant la totalité de la durée de l'essai, surtout lorsque le puits de pompage n'en est pas très éloigné.

Ces conditions étant posées, trois essais ont pu être dépouillés :

- * Essai n° 1 : plaine de Péage-de-Roussillon,
- * Essai n° 2 : plaine de Péage-de-Roussillon,
- * Essai n° 3 : plaine de Saint-Michel-du-Rhône.

Précisons que les ouvrages où ont été effectués ces essais sont des puits parfaits, crépinés sur toute la hauteur de l'aquifère, dont les diamètres sont respectivement de 0,40 m et 3,80 m.

1. Essai n° 1

La courbe rabattement-temps montre que le niveau d'eau dans le puits n'est pas constant pour un débit donné. Nous sommes donc dans le cas d'un essai en régime transitoire.

a) Palier I, à 650 m³/h (voir fig. n° 22)

Le premier palier à 610 m³/h étant trop court, on peut le supprimer et, en approximation suffisante, placer l'origine des temps au point t_0 tel que le volume d'eau extrait depuis le début du pompage avec le débit de 610 m³/h soit égal à celui qu'on aurait extrait en pompant à partir de t_0 avec le débit de 650 m³/h.

L'échelle des temps sera donc établie en conséquence, et la droite

$$D = f(\log t)$$

peut être construite.

Le calcul du cycle logarithmique nous amène aux valeurs suivantes :

$$c = 3,05 - 2,40 = 0,65$$

D'autre part $Q = 650 \text{ m}^3/\text{h}$ soit $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$

D'où

$$T = 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}.$$

La puissance de l'aquifère pouvant être prise ici égale à 20 m nous avons :

$$K = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

b) Palier II, à 310 m³/h (voir fig. n° 22)

Au débit positif 650 m³/h, on suppose qu'on superpose un débit négatif de 340 m³/h pour obtenir un régime à 310 m³/h. Donc, sur un quadrillage semi-logarithmique, on porte en abscisse $\log t'$, t' étant l'origine de ce deuxième palier, et en ordonnées D', différence entre le rabattement fictif qu'on aurait obtenu si on avait continué le palier I, et le rabattement réel mesuré. Ce rabattement fictif a été calculé, non pas en prolongeant la courbe expérimentale, mais en extrapolant les données de la première partie de l'exploitation qui intègre les irrégularités locales de la courbe de mesure.

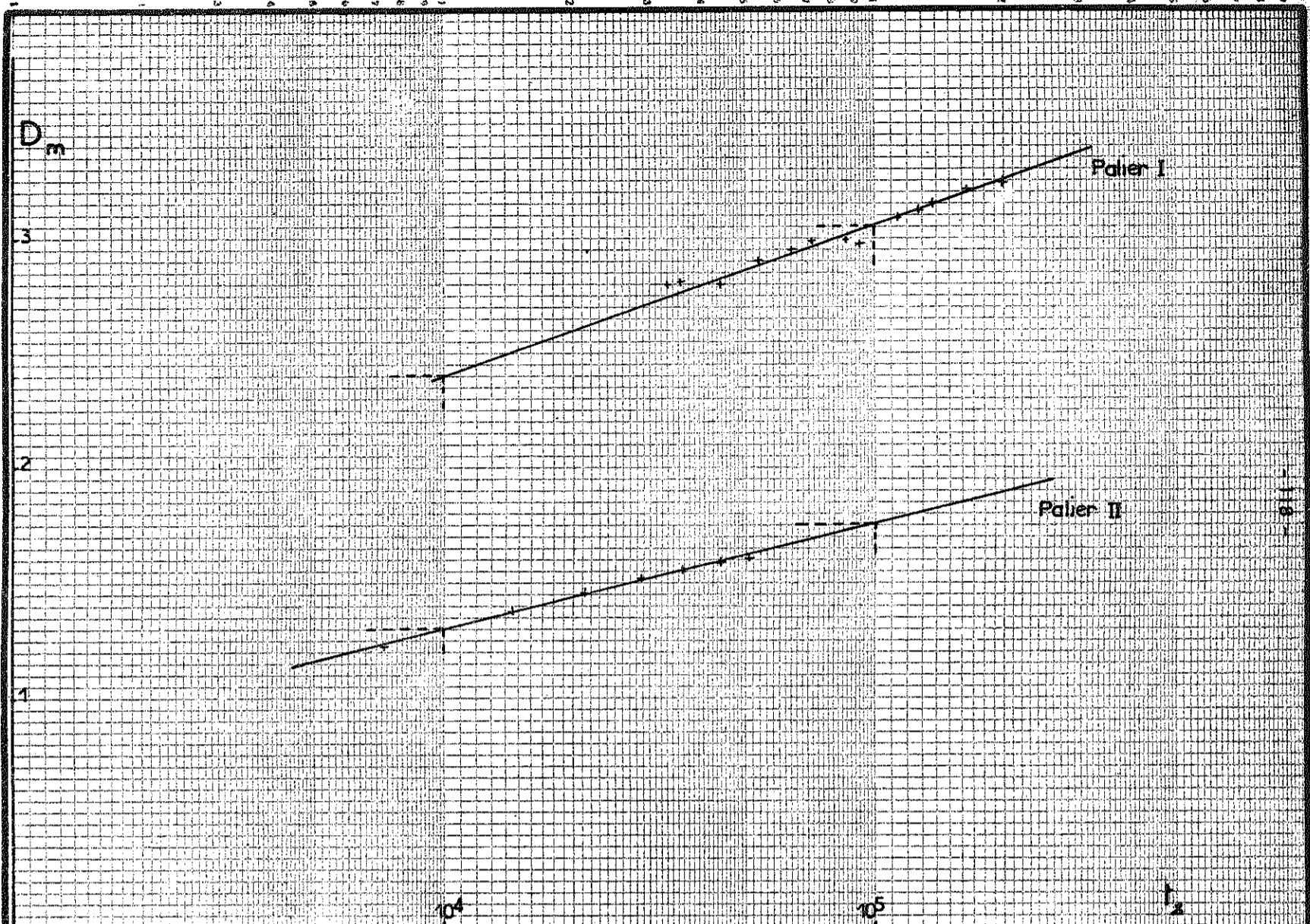


Fig 22 ESSAI n°1 COURBES DE DESCENTE

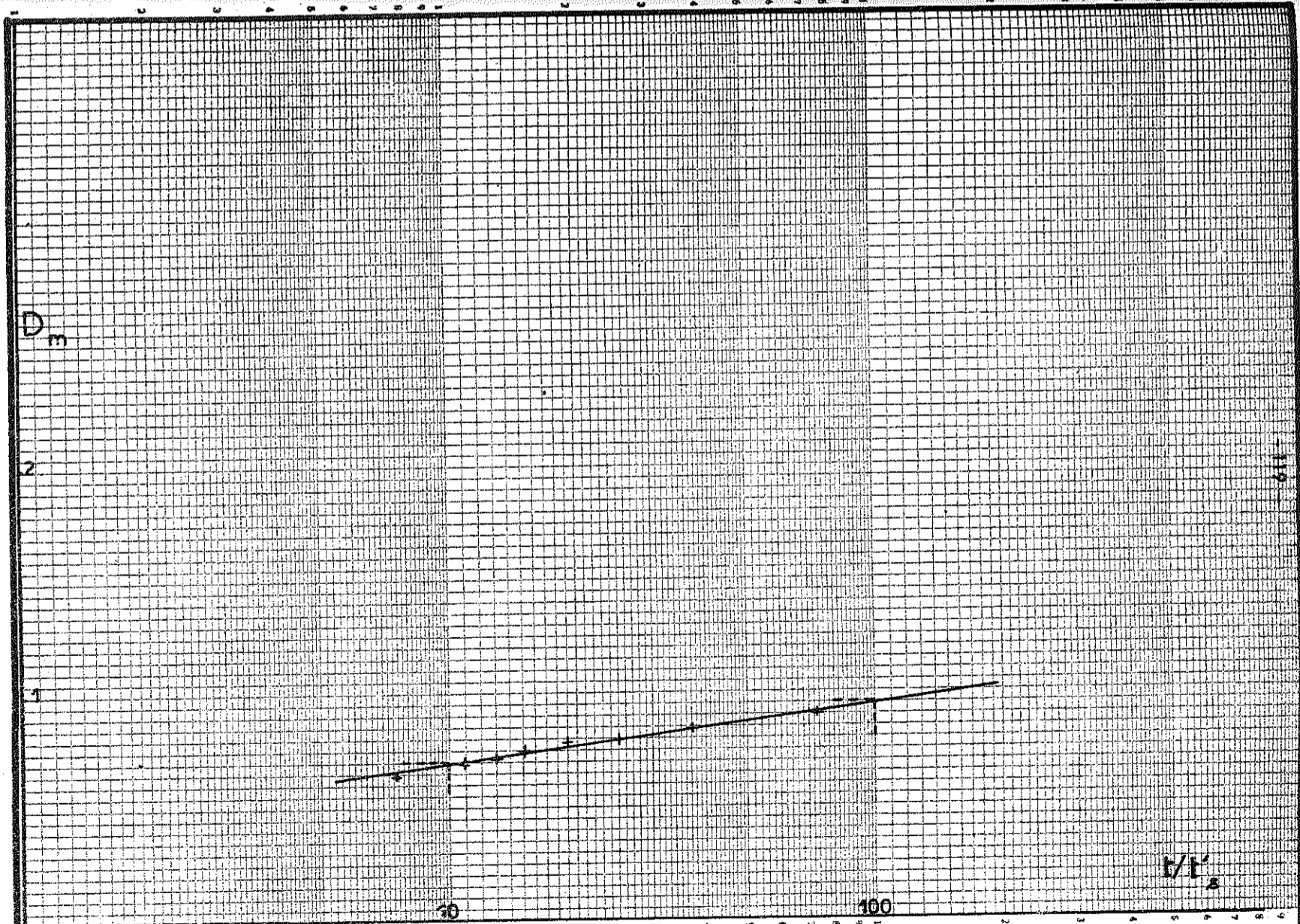


Fig 23 ESSAI n°1 COURBE DE REMONTEE

On obtient une représentation linéaire, à partir de laquelle il est possible de calculer le cycle c' :

$$c' = 1,75 - 1,30 = 0,40$$

Or

$$Q = 340 \text{ m}^3/\text{h} \text{ soit } 0,095 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'où

$$T = 4,35 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

et

$$K = 2,17 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

c) Courbe de remontée (voir fig. n° 23)

Au temps t", le pompage est arrêté. La courbe de remontée effectivement mesurée correspond donc à la superposition suivante :

- la continuation des deux paliers précédents, que l'on suppose de durée illimitée,

- l'addition d'un pompage de débit négatif 310 m³/h de manière à avoir au total un débit nul.

On portera donc sur un quadrillage semi-logarithmique, en abscisse log t/t", et en ordonnées D", différence entre D', obtenu en extrapolant les données des interprétations précédentes, et le rabattement effectivement mesuré.

On obtient là encore une représentation linéaire ; ce qui permet de calculer le nouveau cycle c" :

$$c'' = 0,94 - 0,69 = 0,25$$

Or

$$Q = 310 \text{ m}^3/\text{h} \text{ soit } 0,086$$

D'où

$$T = 6,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

et

$$K = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

2. Essai n° 2

Cet essai diffère du précédent par le fait qu'il présente des niveaux constants pour les différents paliers de débit. Nous sommes donc dans le cas d'un essai en régime permanent. Aussi, la courbe de descente pourra s'exploiter à partir des hypothèses de DUPUIT ; quant à la courbe de remontée, par essence en régime transitoire, elle nécessitera l'application de la formule de THEIS.

a) Courbe de descente (voir fig. n° 24)

La courbe caractéristique du puits $D = f(Q)$ peut être construite. Elle permet d'obtenir le rabattement en fonction du débit imposé. C'est en principe une courbe représentative d'une fonction parabolique de second degré.

Par ailleurs, la formule de DUPUIT permet de connaître les caractéristiques du terrain dans le secteur du puits de pompage.

En prenant les valeurs suivantes :

$$Q = 120 \text{ m}^3/\text{h} \text{ soit } 0,033 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 13,50 \text{ m}$$

$$h = 12,84 \text{ m}$$

$$R = 1100 \text{ m}$$

$$r = 0,20 \text{ m}$$

nous obtenons :

$$K = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

et

$$T = 9,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s.}$$

b) Courbe de remontée (voir fig. n° 25)

En portant en coordonnées semi-logarithmiques le logarithme du temps en fonction du rabattement, nous obtenons une représentation linéaire qui permet de calculer le cycle c :

$$c = 0,13 - 0,10 = 0,03$$

Or

$$Q = 0,083 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'où

$$T = 5,1 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$

et

$$K = 3,7 \cdot 10^{-2} \text{ m/s.}$$

3. Essai n° 3

Cet essai de débit se présente sous la même forme que le précédent : niveaux stables pour les divers paliers de débit. Mais il présente l'avantage que des observations supplémentaires ont été faites sur un forage situé à 7 mètres du puits de pompage. Ainsi, les données de cet essai seront plus complètes.

a) Courbe de descente (voir fig. n° 24)

Le régime permanent étant atteint pour chaque palier de débit, la courbe caractéristique, fonction parabolique du deuxième degré, peut être construite, tant pour le puits que pour le forage.

L'application de la formule de DUPUIT pour le puits de pompage, donne la valeur de K suivante, compte tenu des données :

$$Q = 180 \text{ m}^3/\text{h} \text{ soit } 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 14,60 \text{ m}$$

$$h = 13,95 \text{ m}$$

$$R = 300 \text{ m}$$

$$r = 1,90 \text{ m}$$

D'où

$$K = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

et

$$T = 5,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s.}$$

Pour avoir ces valeurs dans la direction du forage d'observation il suffit de remplacer h par la valeur du rabattement observé dans le forage, et r par la distance du puits au forage.

On trouve alors :

$$K = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

et

$$T = 6,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s.}$$

b) Courbe de remontée (voir fig. n° 25)

Sur diagramme semi-logarithmique, le calcul de l'accroissement du rabattement dans un cycle c nous amène à la connaissance du coefficient de perméabilité K.

+ Pour le puits,

Nous avons :

$$c = 0,525 - 0,29 = 0,235$$

$$Q = 0,05 \text{ m}^3/\text{s.}$$

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

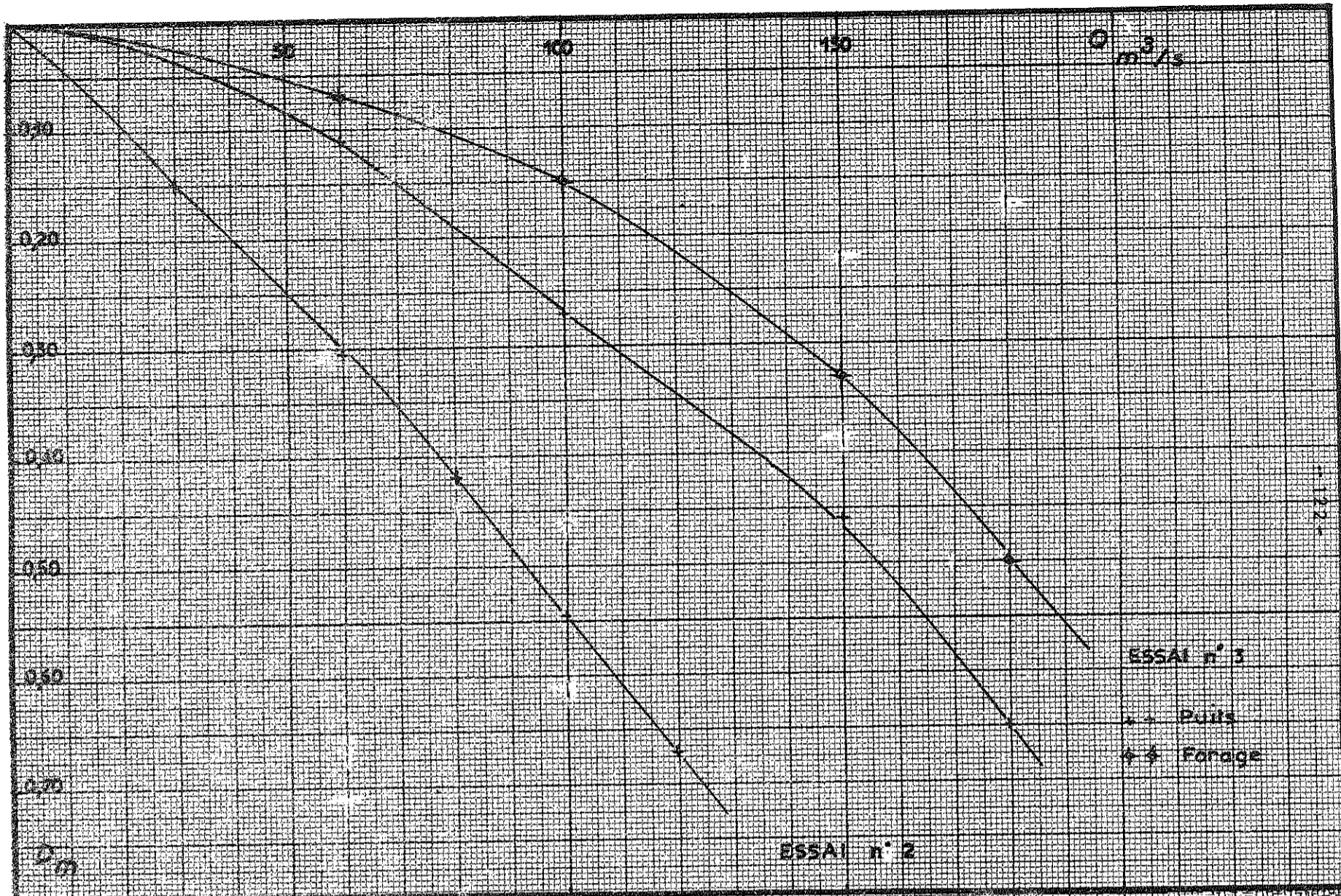


Fig 24 ESSAIS n°2 & 3 COURBES DE DESCENTE

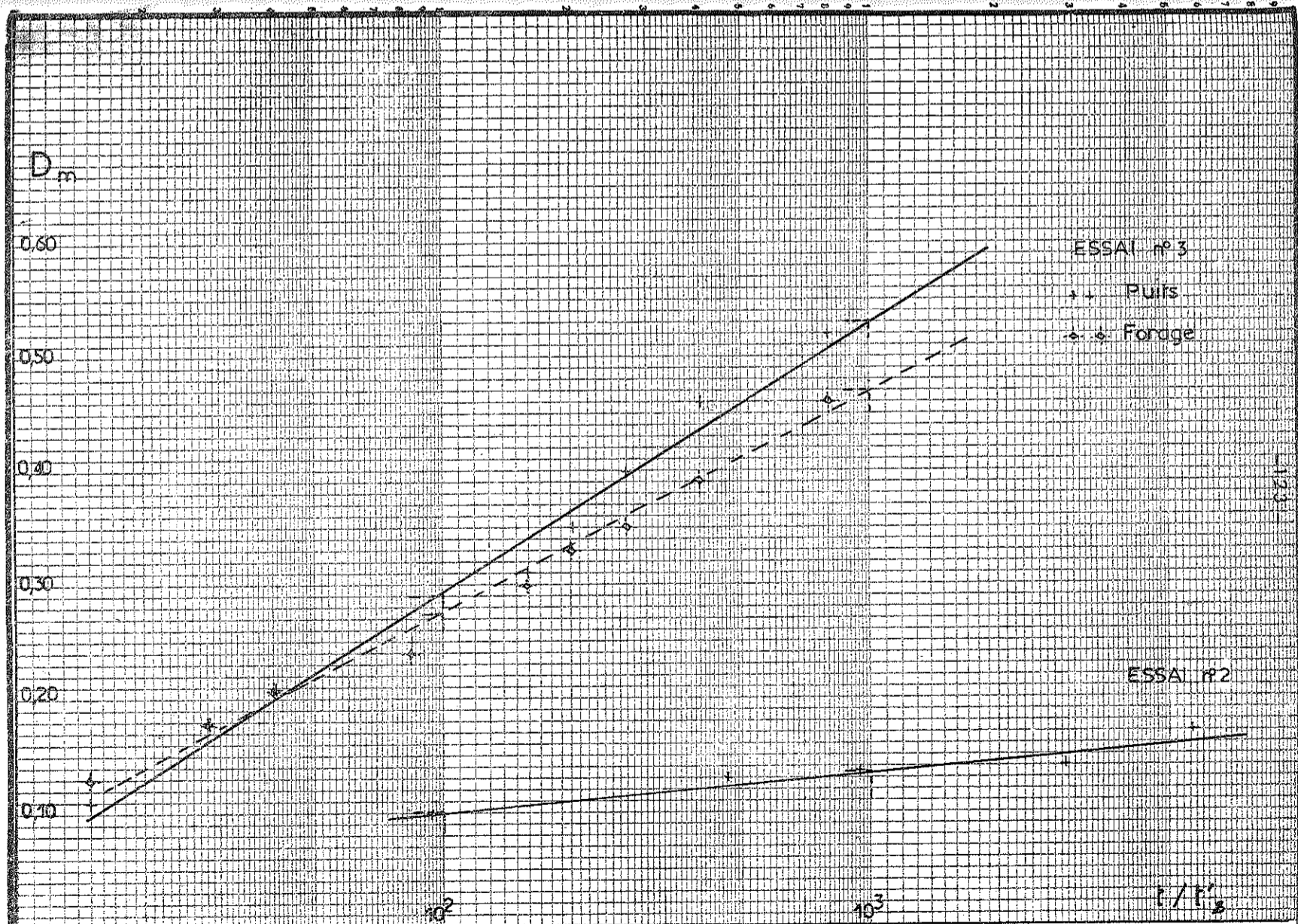


Fig 25 ESSAIS n°2 & 3 COURBES DE REMONTEE

D'où $T = 3,9 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
 et $K = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

+ Pour le forage,

Nous avons : $c = 0,48 - 0,27 = 0,21$

D'où $T = 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
 et $K = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

4. Conclusion

L'interprétation de ces essais de pompage montre donc en définitive que les perméabilités du terrain sont comprises dans la plaine de Péage-de-Roussillon entre $2,1 \cdot 10^{-3}$ et $8,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ et dans la plaine de Saint-Michel-du-Rhône entre $3,5 \cdot 10^{-3}$ et $7,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. On constate en outre que pour chaque point de pompage étudié, les valeurs de T et K se correspondent sensiblement pour les divers paliers de débit, les différences entrant en jeu n'excédant jamais le millième. Elles peuvent être attribuées à de légères différences dans le tracé des courbes semi-logarithmiques.

On peut également remarquer que pour un même essai de débit, l'interprétation de la courbe de remontée donne des valeurs toujours supérieures à celles de la courbe de descente. On peut attribuer cette différence à des pertes de charge.

Enfin, il faut souligner que ces résultats sont ceux qui donnent les valeurs les meilleures des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe. En effet, ces essais intéressent un "volume" de terrain donné, d'autant plus grand que le débit pompé est élevé. Donc, ce sont eux qui permettent le mieux d'avoir une valeur de la perméabilité moyenne des alluvions. On peut donc considérer que cette dernière peut être comprise entre $2 \cdot 10^{-3}$ et $2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ compte tenu des résultats précédents, à quelques exceptions locales près, où elle peut atteindre des valeurs de l'ordre de 10^{-5} m/s .

C. ESSAI DE PREVISION DE L'ETAT DE LA NAPPE APRES LES TRAVAUX

L'un des problèmes les plus aigus posés par le futur aménagement est la réalimentation des puits industriels situés dans la plaine de Péage-de-Roussillon.

Le canal projeté traverse en effet le champ des deux groupes de puits délimitant ainsi deux zones : l'une orientale, l'autre occidentale.

1. Zone orientale

Cette zone inclut des puits qui seront situés entre le canal de dérivation et la terrasse würmienne dont le talus domine la plaine actuelle d'une hauteur de quinze à vingt mètres.

Le niveau d'eau dans le canal étant prévu à une cote supérieure à celle du terrain naturel, les apports venant de la terrasse, ainsi que ceux provenant de la percolation à travers les digues du canal, ne feront que rehausser le niveau de la nappe.

Donc quelle que soit la valeur de ce rehaussement, l'alimentation de ces puits n'en sera que meilleure, à condition toutefois que la percolation des eaux du Rhône n'entraîne pas de pollution chimique ou bactériologique, puisqu'une partie de ces puits sert à l'alimentation humaine.

Si par pollution on entend un accroissement exagéré de teneurs en certains éléments, il semble a priori qu'un tel phénomène soit peu probable : en effet, la composition chimique des eaux du Rhône présente dans son ensemble des caractéristiques relativement satisfaisantes, même en ce qui concerne les éléments dits "toxiques ou indésirables".

Par contre, la pollution éventuelle risque de se traduire par des modifications sensibles de variables comme la dureté, le T. A. C., ou la résistivité, par exemple. Cette pollution pourrait alors, selon les cas, réduire les usages industriels de l'eau.

La seconde conséquence qui pourrait résulter de ce phénomène serait des dommages aux sols cultivés. En tout état de causes, le réseau de drainage prévu, qui, même s'il s'avérait insuffisant, pourrait être renforcé, éliminera ce risque.

La situation de cette zone ne pose donc pas de problèmes majeurs, la transmissivité du terrain, assez forte, permettant d'envisager une réalimentation aisée des puits. Le seul risque à retenir est celui d'une pollution chimique éventuelle.

2. Zone occidentale

A l'opposé de la précédente, cette zone, qui inclut les puits situés entre le canal de dérivation et le Rhône mort, pose le problème de la réalimentation de ces puits.

L'étude qui suit a pour but de préciser l'influence qu'auront sur le niveau de la nappe, à la fois la baisse de niveau du Rhône, niveau de base dans le secteur, et le niveau imposé du plan d'eau dans le canal.

Cette étude a été réalisée à partir des données d'un essai de débit effectué sur le puits le plus proche du Rhône. Nous sommes donc placés dans le cas le plus pessimiste, puisque, en supposant le terrain homogène, c'est là que la baisse du niveau du Rhône sera la plus sensible, et l'influence du canal la moins forte.

Cet essai a montré que le régime permanent était atteint très rapidement, et que pour un débit pompé de $900 \text{ m}^3/\text{h}$, le rabattement dans le puits était de 5,50 m.

Considérons ce rabattement comme positif, puisqu'il est effectivement mesuré dans le puits. La formule de DUPUIT est applicable, et avec les données suivantes :

- $Q = 900 \text{ m}^3/\text{h}$ soit $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H = 10,20 \text{ m}$
- $h = 4,70 \text{ m}$
- $R = 560 \text{ m}$
- $r = 1,90 \text{ m}$

on aboutit à la valeur de K suivante : $K = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

et $T = 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

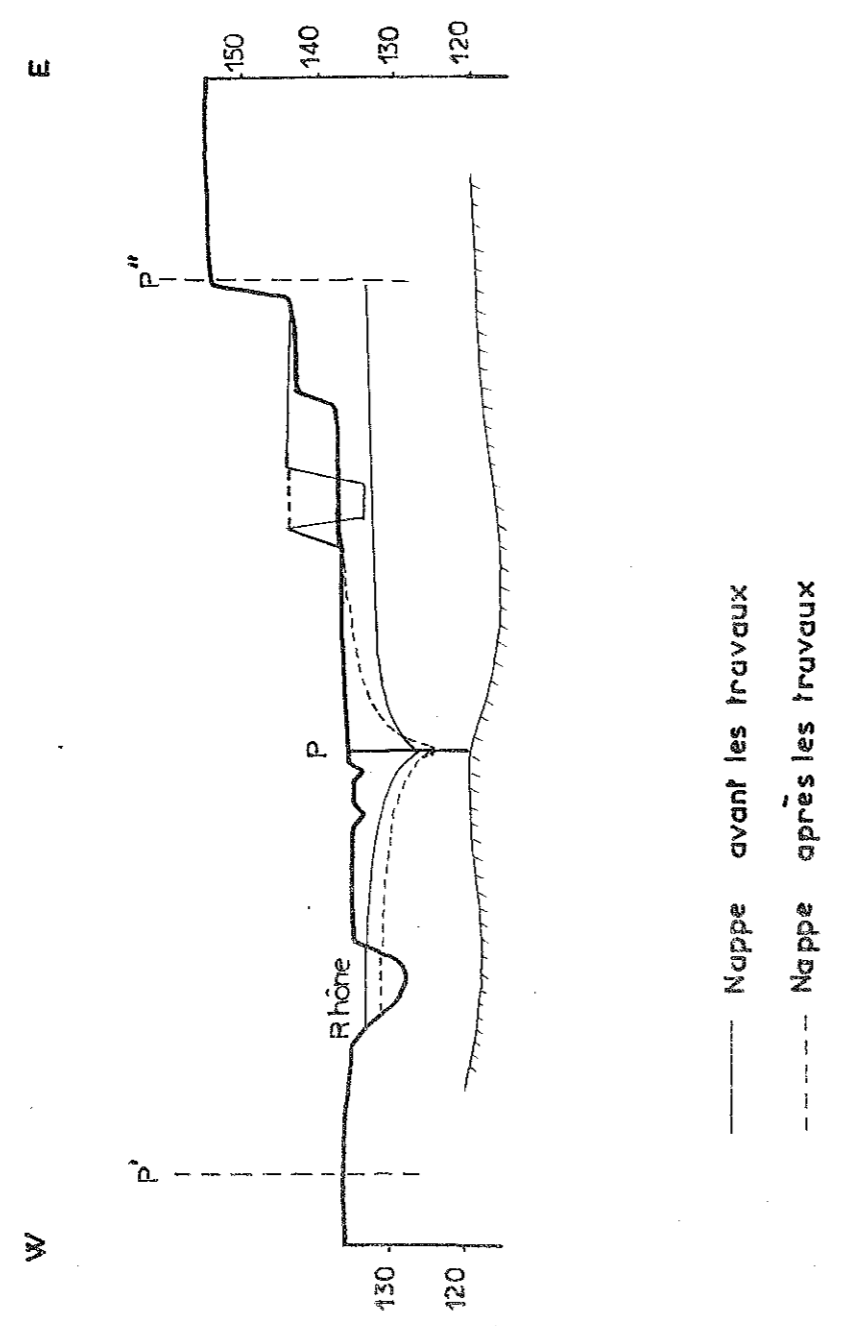
A partir de ces données, il est possible de calculer le nouveau rabattement dans le puits en fonction des modifications imposées aux conditions aux limites de cette équation.

Les phénomènes d'écoulement étant superposables ; il convient donc dans un premier temps de définir le rabattement supplémentaire qu'imposerait un puits de pompage fictif d'où l'on extrairait le même débit, situé symétriquement au premier par rapport à la berge du Rhône. Ainsi, on ne modifie pas la condition à maintenir : le niveau du Rhône.

Les données de l'équation de DUPUIT sont maintenant :

- $Q = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$
- $H = 11,90 \text{ m}$ (cette valeur correspond à une baisse de niveau du Rhône de 3,50 m sur les eaux moyennes).

Echelles | H 1/20 000 | V 1/10 000



ETAT DE LA NAPPE APRES LES TRAVAUX

Fig 26

- h = inconnue
- R = 1 120 m
- r = 1,90 m
- K = 5,3.10⁻³ m/s.

Le résultat est :

h = 6,80 m

soit

D = H - h = 5,10 m.

Ceci est un rabattement positif, puisqu'il va dans le même sens que le précédent. Il s'y ajoute.

Dans un deuxième temps, nous appliquons le même raisonnement à l'égard de la deuxième condition imposée : le niveau d'eau dans le canal.

Les données de l'équation de DUPUIT sont à présent :

Q = 0,25 m³/s

H = 16,80 m (cette valeur a été prise en considérant l'eau de cette nappe au niveau du terrain naturel, en pied de digue)

- h = inconnue
- R = 1 250 m
- r = 1,90 m
- K = 5,3.10⁻³ m/s

Il résulte :

h = 13,60 m

soit :

D = H - h = 3,20 m

Cette valeur correspond donc à un rabattement négatif qui va dans le sens d'une remontée du niveau d'eau.

Il reste donc à faire la somme algébrique de ces différents rabattements. Le résultat global donne, comme rabattement dans le puits d'essai, la valeur de 7,40 m, ce qui représente, par rapport au résultat du premier essai, un rabattement supplémentaire de 1,90 m.

3. Conclusion

L'étude théorique de ce cas précis montre que dans la zone occidentale, la conséquence de l'aménagement sur les puits sera un rabattement supplémentaire d'environ deux mètres, au plus près du Rhône.

Il importe d'insister sur le fait que ce résultat est en quelque sorte "mathématique". L'homogénéité du terrain, les variations de perméabilité, l'horizontalité du substratum imperméable, les valeurs exactes des cotes NGF qui seront imposées par l'aménagement, sont autant d'hypothèses (et il en existe d'autres, comme celles mêmes de la formule utilisée) qui pourront faire varier le résultat avancé. Toutefois, cette variation devrait être assez faible, et l'ordre de grandeur respecté.

Soulignons enfin que pour ce calcul, il n'a pas été tenu compte de l'influence des autres pompages ; déjà sensibles sur l'essai qui a servi de base à ces hypothèses, elle ne devrait pas s'accroître et modifier de manière très importante le rabattement d'autant plus que les autres puits seront plus proches du canal, donc auront une réalimentation plus aisée.

Enfin, en ce qui concerne la zone orientale, la réalimentation des puits ne craint pas de souffrir d'un manque d'eau. Mais il importerait d'en surveiller la qualité chimique et physico-chimique.

CONCLUSIONS GENERALES

Rédigé en principe à la fin de la phase des études relatives à l'aménagement de Péage-de-Roussillon, ce mémoire avait pour but de replacer dans leur cadre général les données en possession de la C. N. R., et d'en faire la synthèse. Ces données ont été obtenues à la suite de deux campagnes de reconnaissance géologique, de diverses analyses de sols, de nombreux relevés hydrogéologiques, et d'une campagne de prospection hydrochimique. En outre, à partir des points acquis, et compte tenu des objectifs à atteindre, un programme de reconnaissance complémentaire a été préparé.

Les conclusions de cette étude intéressent donc trois domaines : la géologie du site, la structure et la perméabilité des alluvions, et l'hydrogéologie de ce secteur de la vallée.

A. - GEOLOGIE

Vu sous un aspect général, ce tronçon de la vallée du Rhône a fait l'objet de nombreuses publications traitant principalement, soit des terrains cristallins du Massif Central, soit des relations fluvio-glaciaires des nappes et terrasses quaternaires, soit de l'origine et de la structure de la vallée.

C'est pourquoi, l'exploitation bibliographique a été entreprise en premier lieu, en vue de replacer dans leur contexte général les différents terrains susceptibles d'intervenir sur les travaux d'aménagement.

Nous avons consacré un développement particulier à l'étude de la pétrographie et de la fracturation de quelques pointements granitiques, montrant que sous leur couverture alluvionnaire, ces paléo-reliefs ont subi la marque de phénomènes tectoniques, accusant ainsi une topographie probablement préfigurée (pointements de la Petite Gorge et de Saint-Alban-du-Rhône).

En ce qui concerne l'incidence de ces terrains cristallins sur les travaux, elle sera en principe nulle sauf dans la région de Condrieu, suivant l'implantation exacte du drain projeté. L'étude de cette éventualité sera l'un des buts de la reconnaissance complémentaire par sondages mécaniques.

Si les terrains anciens du Massif Central occupent une place réduite, l'essentiel du substratum sous-alluvial est formé par les marnes bleues pliocènes. Nous avons montré, à partir des données de surface que cette formation d'une épaisseur totale minimale de 300 mètres a subi un surcreusement quaternaire important : 80 mètres environ.

Notre étude du modelé du substratum anté-quaternaire a mis en évidence de nombreuses irrégularités dans le profil d'un chenal dont la position est assez peu différente de celle du Rhône actuel, sauf dans la région du Péage où il se divise en deux bras. La représentation précise en courbes de niveau du toit des marnes n'a été possible que dans le secteur du barrage, grâce au grand nombre de forages exécutés par la C. N. R. Au niveau de l'usine, les sondages futurs permettront de préciser un relief qui apparaît pour l'instant plus complexe qu'au droit du barrage.

Nous avons également montré que cette formation marneuse réputée marine et homogène s'est révélée dans le secteur de Péage-de-Roussillon, plus saumâtre (dépôt en milieu euxinique) par ses caractères lithologiques.

La fondation du groupe de l'usine sur les marnes pliocènes pose un problème géotechnique intéressant que nous ne pouvions résoudre totalement au stade actuel des études, par manque des caractéristiques mécaniques. Nos conclusions actuelles se limitent à l'observation du degré de saturation élevé de ces marnes (95 %) et à la prévision de tassements sous la surcharge importante de l'usine (consolidation). On peut également prévoir, grâce aux réalisations antérieures de la C. N. R. que les marnes ne seront pas aussi homogènes que les affleurements et les sondages indiquent. En particulier, on peut s'attendre à trouver des niveaux localisés, plus sableux.

Notre étude de la structure des alluvions à partir des affleurements naturels (alluvions anciennes) ou artificiels (alluvions récentes) principalement et des relevés de sondages (alluvions récentes) a mis en évidence l'hétérogénéité de détail de ces formations en opposition à l'homogénéité d'ensemble de la formation.

En outre, elle a permis de préciser que en général, les formations récentes ont une granulométrie plus homogène et plus fine que les formations anciennes. Toutefois, il faut souligner à cet égard que les interprétations basées sur les

relévéés de sondages peuvent ne pas refléter la réalité avec fidélité, en raison du mode de prélèvement et de la nature des terrains rencontrés. L'une des conséquences de cet inconvénient est le manque de données sur d'éventuels chenaux de perméabilité élevée, dont la connaissance présenterait un intérêt en particulier pour l'écoulement de la nappe.

B. - HYDROGEOLOGIE

La partie hydrogéologique de ce mémoire a été effectuée dans le but principal d'étudier, d'une part l'écoulement et la composition chimique des eaux de la nappe avant les travaux, et d'autre part, le problème hydrodynamique de la réalimentation des puits industriels de la région de Péage, qui seront touchés par les aménagements. Cette étude a donc surtout porté sur la nappe de la rive gauche du Rhône.

La forme de l'écoulement montre que trois facteurs influent celui-ci : le fleuve lui-même, les versants et les pompages. La délimitation et la représentation de ces différentes zones d'influences était l'un des buts pratiques assignés à ce travail.

L'influence du fleuve est le facteur dominant : son action se manifeste, soit par un effet de drainage, marqué surtout quand la basse plaine se rétrécit, ou que l'épaisseur de la nappe alluviale diminue, soit par un effet d'alimentation au voisinage plus ou moins immédiat des stations de pompage, suivant l'importance des débits pompés et la proximité des puits au Rhône. Cette conclusion tirée de l'étude piézométrique (cartes de nappes et profils de variation du niveau piézométrique) a été confirmée par l'étude géochimique de la nappe.

Nous avons pu également grâce à ces deux moyens d'étude, conclure à une influence des apports de versants, importante en rive gauche (avancée des eaux de la nappe de terrasse jusqu'au milieu de la plaine par endroits), très réduite en rive droite. Les apports les plus importants viennent de la Bièvre-Valloire.

Enfin, les pompages industriels eux-mêmes interviennent sur la configuration de la nappe, leur alimentation se faisant, tant à partir du Rhône que de la nappe de terrasse.

Le groupe de Péage-de-Roussillon, le plus important, montre que l'influence de ces pompages se fait sentir assez loin vers l'amont, alors qu'à l'aval, lui succède une zone relativement plate, où les apports latéraux (Rhône et versants) sont prépondérants.

En ce qui concerne la répercussion de l'aménagement sur la nappe, et les puits en particulier, il a été possible de définir, par rapport au futur canal, une zone orientale où il importerait principalement de surveiller les qualités physico-chimiques, et éventuellement bactériologiques des eaux à usages industriels et humains, et une zone occidentale où, à la suite de la baisse du niveau du Rhône un rabattement supplémentaire d'environ deux mètres affectera les puits industriels de cette région.

Qu'il s'agisse des apports du Rhône ou de ceux des versants, nous avons vu que l'étude entreprise était plus qualitative que quantitative. En outre, devant le manque de données précises principalement sur les apports latéraux, il est apparu aléatoire de dresser un bilan précis de la nappe dans ce secteur. Il serait possible de préciser l'importance de ces apports par une étude du niveau de la nappe étendue vers l'Est de Péage-de-Roussillon, sur la terrasse du Würm.

C. - PERMEABILITE DES ALLUVIONS

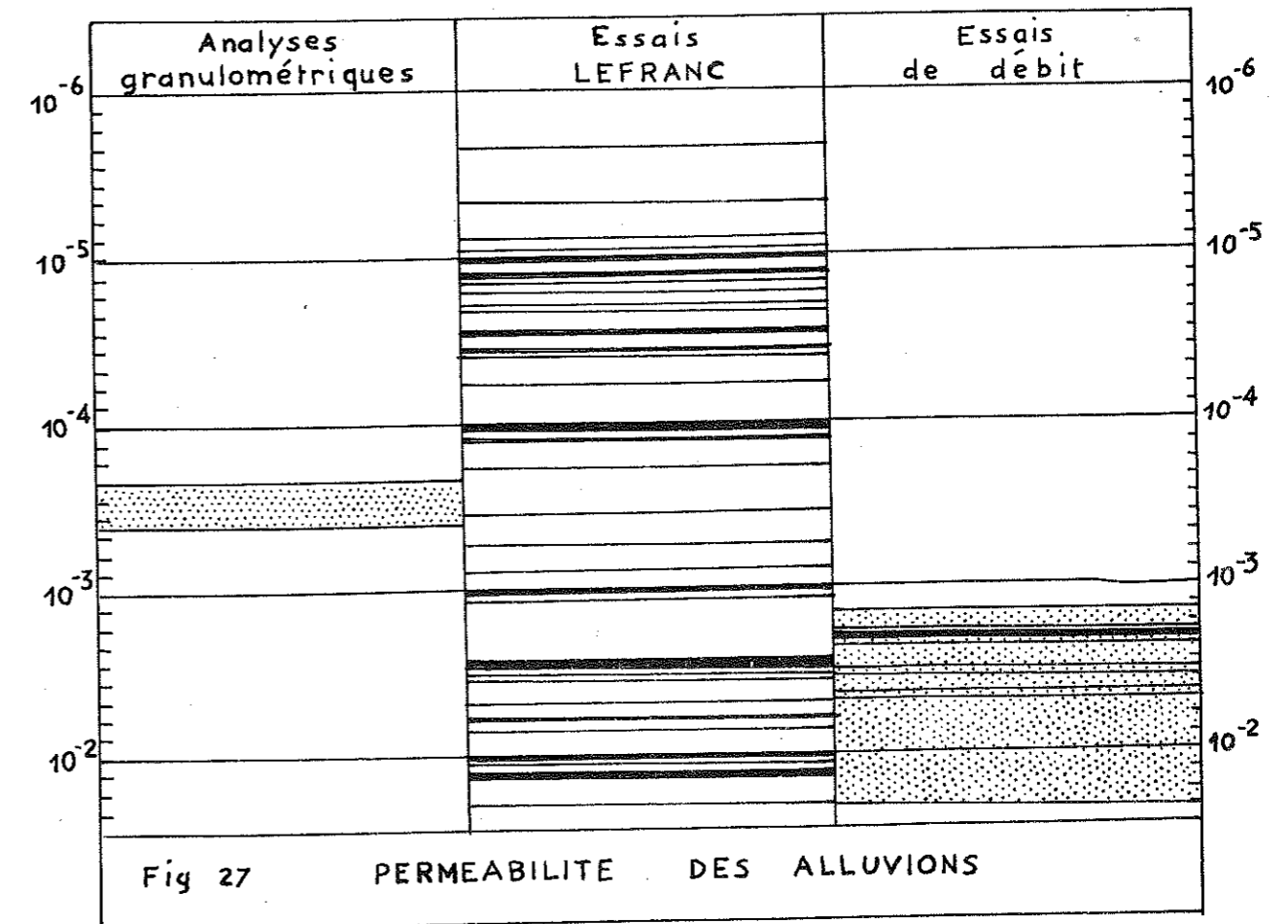
Les alluvions récentes intervenant sur le programme de l'aménagement, à des titres divers, soit comme milieu aquifère, soit comme matériau de constitution des digues, nous avons abordé l'étude de leur perméabilité avec le souci de donner une valeur ou une fourchette de valeurs la plus étroite possible, qui caractérise au mieux ces formations dans leur ensemble.

Il est bien entendu que cette valeur moyenne n'est sans doute pas applicable à l'ensemble de la vallée dans le secteur considéré. Les travaux réalisés antérieurement on en effet montré qu'il existe en dehors des niveaux hétérogènes dont il a été question plus haut, des zones où les alluvions sont dans leur ensemble beaucoup plus argileuses qu'ailleurs, ce qui se traduit par une modification de la perméabilité. En outre, l'étude des variations du niveau de la nappe a confirmé qu'inversement il existait des zones de perméabilité plus forte.

Toutefois, au stade actuel des études, ces hypothèses ne peuvent être vérifiées avec certitude ; c'est pourquoi nous nous limitons aux résultats bruts de cette étude.

Des différentes mesures effectuées, soit en laboratoire, soit "in situ" (voir fig. n° 27, où un trait horizontal représente une mesure), nous retiendrons que ce sont les essais de débit qui malgré les hypothèses de départ nécessaires au calcul, donnent les meilleurs résultats. En effet, ce type d'essai a l'avantage par rapport aux autres essais, sur échantillons remaniés, ou ponctuels, d'être représentatif d'un certain volume de terrain : environ cinq mille mètres cubes au minimum.

Les valeurs données par l'exploitation de tels essais sont incluses dans une fourchette de $2 \cdot 10^{-3}$ à $3 \cdot 10^{-2}$ m/s ; ce qui nous a conduit à adopter dans les différents calculs précédents, la valeur de $7 \cdot 10^{-3}$ m/s comme coefficient de perméabilité moyenne du milieu aquifère.



BIBLIOGRAPHIE

D. C. N. R. = Documentation fournie par la C.N.R.

- ACHTEN (A.), 1965. - Le captage des eaux souterraines. Le Livre de l'Eau, vol. 2, CEBEDOC, Liège.
- AIT SAADI (D.), 1968. - Etude géologique des terrains cristallins de la région de Maclas (Loire). Doc. Labo. Géologie, Lyon, n° 26.
- ALIMEN (H.), 1948. - Sur les relations fluvio-glaciaires dans la vallée du Rhône. C. R. S. S. G. F. du 21-6-1948.
- ATHY (L.F.), 1930. - Density, porosity and compaction of sedimentary rocks. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, Vol. 14, n° 1.
- AVIAS (J.), 1956. - Sur les phénomènes de corrosion et de concrétionnement polarisé des galets des formations alluviales de l'Est de la France. B.S.G.F., série VI, t. 6.
- BARBIER (R.), 1967-68. - Cours de Géologie Appliquée au Génie Civil et de Géologie des barrages. Faculté des Sciences de Grenoble.
- 1968. - Projet d'aménagement hydroélectrique de Péage-de-Roussillon. Rapport géologique préliminaire (inédit) D.C.N.R.
- BAULIG (H.), 1928. - Le plateau central de la France et sa bordure méditerranéenne. A. Colin, Paris.
- 1929. - A propos des rivages pliocènes sur la rive gauche du Rhône. Etudes rhodaniennes, t. 5, n° 2.
- BAZIN (F.), 1968. - Cours d'Hydrodynamique souterraine. Faculté des Sciences de Grenoble.
- BENTALL (R.), 1963. - Méthodes d'étude des nappes souterraines. Geological Survey, Water Supply Paper, n° 1544 H.
- BLANCHARD (R.), 1911. - Sur les phases glaciaires du seuil de Rives. C.R.A.S., t. 152.
- BOGOMOLOV (G.), 1962. - Hydrogéologie et notions de géologie d'ingénieurs. Ed. de la Paix, Moscou.
- BOUCHER (A.), CHAMBOREDON (M.), AGARD (J.), DELATTRE (P.), 1962. - Le Rhône. D.C.N.R.
- BOURDIER (F.), 1958. - Le Bassin du Rhône au Quaternaire. Thèse, Paris. Ed. C.N.R.S.
- BRAVARD (Y.), 1958. - Une étude de Sédimentologie sur le Bas-Dauphiné. R.G.A., t. 46.
- BREUSSE (J.J.), 1963. - La prospection géophysique des eaux souterraines. La Houille Blanche, n° 4.
- BULLETIN annuel de la Commission Météorologique Départementale du Rhône. Ed. Conseil Général du Rhône.
- BUSSE (J.F.), 1962. - Les formations quaternaires de la région de Valence. Etude hydrogéologique d'une partie des formations quaternaires de la région de Valence. D.E.S., Grenoble, deux sujets.
- CAMBEFORT (H.), 1951. - Les alluvions graveleuses feuilletées et à structure ouverte. IVe congrès des Grands Barrages, New-Dehli, C.5.
- 1953. - L'alimentation des nappes d'eau par les rivières. IIIe congrès de Mécanique des Sols, Zurich, vol. 2, session 8.
- 1965. - Curiosités des massifs alluvionnaires et des nappes d'eau. Ann. I.T.B.T.P., n° 211-212.
- 1966. - Forages et sondages. Leur emploi dans les travaux publics. Eyrolles, Paris.
- CAMPUS (F.), 1965. - Les ouvrages de Génie Civil. Le Livre de l'Eau. CEBEDOC, Liège.
- CARFANTAN (J.C.), 1964. - Relations entre le fossé rhodanien et la bordure orientale du Massif Central, entre Tournon et la Voulte. Thèse, Grenoble.

CARIDROIT (Y.), 1968. - Etude géologique et hydrogéologique de la région d'Avignon. Thèse, Grenoble.

CASTANY (G.), 1963. - Traité pratique des eaux souterraines. Dunod, Paris.

CHAPOTAT (G.), 1935. - La vallée du Rhône de Vienne à Tain. Note de morphologie. Etudes rhodaniennes, t. 11, n° 4.

CHENEVOY (M.), 1962. - L'extrémité septentrionale du Massif du Pilat. B.S.C.G.F., n° 269, T. LIX.

--- 1963. - Nouvelles données cartographiques sur les terrains cristallophylliens du flanc nord du Mont Pilat. B.S.C.G.F., n° 277, T. LX.

CHENEVOY (M.) et RAVIER (J.), 1963. - Mise en évidence d'accidents cassants dans la série cristallophyllienne du Mont Pilat. C.R.A.S., t. 256.

CHILDS (E.) et COLLIS (N.), 1950. - The permeability of porous materials. Proc. R. Soc., London, serv. 1, vol. 201.

C. N. R. 1968. - Aménagement de la chute de Péage-de-Roussillon. Mémoire descriptif. D.C.N.R.

COUTAGNE (A.), 1935. - Le déficit d'écoulement et l'évaporation dans la région lyonnaise. Etudes rhodaniennes, t. 11, n° 3.

DAVID (L.), 1959. - Quelques considérations sur la topographie anté et post-vindobonienne dans la région du Bas Dauphiné. C.R.A.S., t. 249.

--- 1967. - Formations glaciaires et fluvio-glaciaires de la région lyonnaise. Doc. Labo. Géologie, Lyon, n° 22.

DEMAY (A.), 1945. - Sur les grandes lignes de la tectonique antéstéphanienne du Massif Central. C.R.A.S., t. 220.

--- 1931. - Les nappes cévenoles. Mém. expl. carte géologique de France.

DENIZOT (G.), 1939. - Problème des terrasses rhodaniennes. Etudes rhodaniennes, t. 15, n° 1, 2 et 3.

--- 1948. - Sur les relations fluvio-glaciaires dans la vallée du Rhône. C.R.S. S.G.F.

--- 1952. - Le Pliocène dans la vallée du Rhône. Etudes rhodaniennes, t. 27.

DEPERET (Ch.), 1895. - Aperçu sur la structure générale et l'histoire de la formation de la vallée du Rhône. Ann. de Géographie, sér. IV.

DE WIEST (R.), 1965. - Geohydrology. John Wiley, New-York.

DUBUS (J.) et FOURNEAUX (J.C.), 1967. - Etude des ressources en eau de la vallée de l'Isère. 1re partie : Plaine du Grésivaudan. Doc. Serv. du Génie Rural des Eaux et Forêts.

FONTANNES (F.), 1883. - Note sur l'extension et la faune de la mer pliocène dans le Sud Ouest de la France. B.S.G.F., sér. III, t. 11.

FOURMARIER, 1939. - Hydrogéologie. Masson, Paris.

FOURNEAUX (J.C.), 1968. - Hydrogéologie du Grésivaudan. Thèse, Grenoble.

FREY (R.), 1933. - Les analyses d'eau et leur interprétation géologique. Mém. Service des Mines et de la Carte Géologique du Maroc, n° 26.

GEMAEHLING (C.), 1967. - La chute de Pierre Bénite sur le Rhône. "Travaux" oct. 1967, n° 391.

GEMAEHLING (C.), BONNIER (J.), ARCHAMBAULT (J.), 1968. - Pollution des eaux de la nappe alluviale du Rhône dans la banlieue sud de Lyon. Revue de l'Institut Pasteur, Lyon, t. 1, n° 2.

GIDON (P.), GIDON (M.), LUNSKI (S.), 1966. - Un procédé d'identification des failles cachées sous une couverture de terrains meubles. A.C.E.S., Chambéry.

GIGNOUX (M.), 1910. - Terrasses fluvio-glaciaires de la Bièvre-Valloire et de la basse Isère. B.S.G.F.

--- 1936. - Les nappes d'eau souterraine profonde dans les alluvions des vallées alpines. T.L.G., t. 26.

GIGNOUX (M.) et BARBIER (R.), 1955. - Géologie des Barrages. Masson, Paris.

GIGOUT (M.), 1960. - Sur le Quaternaire fluvio-glaciaire de la Bièvre-Valloire. C.R.A.S., t. 250.

GOGUEL (J.) et FRIEDEL (E.), 1944. - La prospection géophysique du Bas-Dauphiné. Ann. des Mines et Carburants, 6e livr. de 1944, Paris 1945.

GORON (L.), 1951. - Les systèmes fluvio-glaciaires de la Bièvre-Valloire et leur raccordement aux terrasses rhodaniennes. R.G.A., t. 39, fasc. 4.

GUELPA (J.P.), 1966. - Etude géologique, pétrographique et structurale des terrains cristallins sis au Nord Ouest d'Annonay. Doc. Labo. Géologie, Lyon, n° 14.

GUILLEN (J.), 1969. - Etude géologique et géotechnique des aménagements du Canal de Provence entre Rians et Saint-Maximin. Thèse, Grenoble.

HENRY (M.), BONNIER (J.), MATHIAN (J.), 1954. - Nappe de la plaine alluviale de la rive gauche du Rhône entre Donzère et Mornas. D.C.N.R. La Houille Blanche.

HERGUEZ (C.), 1965. - Etude analytique des eaux de rivière de la région Rhône-Alpes. Thèse, Lyon.

HOUDAILLE (A.) et MARSILLY (G.), 1969. - Débits soustraits à une rivière par pompage effectué dans une nappe alluviale. "L'Eau", n° 1.

KILIAN (W.) et GIGNOUX (M.), 1911. - Les formations fluvio-glaciaires du Bas-Dauphiné. B.S.C.G.F., t. 21, n° 129.

KOSINSKY (V. de), 1965. - Le transport de l'eau en canaux et rivières. Le Livre de l'Eau, vol. 2, CEBEDOC, Liège.

LAMOTHE (L. de), 1921. - Les anciennes nappes alluviales de la vallée du Rhône en aval de Lyon. B.S.G.F., sér. IV, t. 21.

MARTEL, 1913. - Sur l'étude des températures des eaux souterraines dans les captages pour l'alimentation publique. C.R.A.S., t. 156.

MAUCHAMP (A.), 1963. - Basses eaux du Rhône en 1962. D.C.N.R.

MAZENOT (G.), 1950. - Feuille Lyon au 1/50 000. B.S.C.G.F., t. XLVIII, n° 231.

MEGNIEN (C.), 1959. - Observations hydrogéologiques sur le Sud Est du Bassin de Paris. Thèse, Paris.

MILLOT (G.), 1964. - Géologie des Argiles. Masson, Paris.

MUNTZ (A.) et LAINE (E.), 1915. - Etude sur la formation des limons et leur charriage par les cours d'eau dans les Alpes françaises et les Pyrénées. C.R.A.S., t. 160.

PALMER (C.), 1911. - The geochemical interpretation of water analysis. U.S. Geological Survey Bull., vol. 479.

PARDE (M.), 1925. - Le régime du Rhône. Etudes rhodaniennes, 2 volumes.

PLOTNIKOV (N.A.), 1962. - Ressources en eaux souterraines. Gauthier Villars, Paris.

POGGI (J.P.), 1968. - Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine alluviale du Rhône entre Beaucaire et Arles. Thèse, Montpellier.

RAVIER (F.), 1954. - Méthode d'investigation basée sur la mesure des résistivités des eaux courantes. La Houille Blanche, n° A.

REMENIERAS (G.), 1960. - Hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles, Paris.

REUSSNER (A.), 1956. - Trois exemples de reconnaissance hydrogéologique d'alluvions dans le département du Jura. B.S.G.F., sér. VI, t. 6.

RIVE (M.), 1968. - Etude géologique des terrains cristallins situés au Sud d'Annonay. Doc. Labo. Géologie, Lyon, n° 26.

ROCHE (M.), 1963. - Hydrologie de surface. Gauthier Villars, Paris.

RODIER (J.), 1960. - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. 2e Ed., Dunod, Paris.

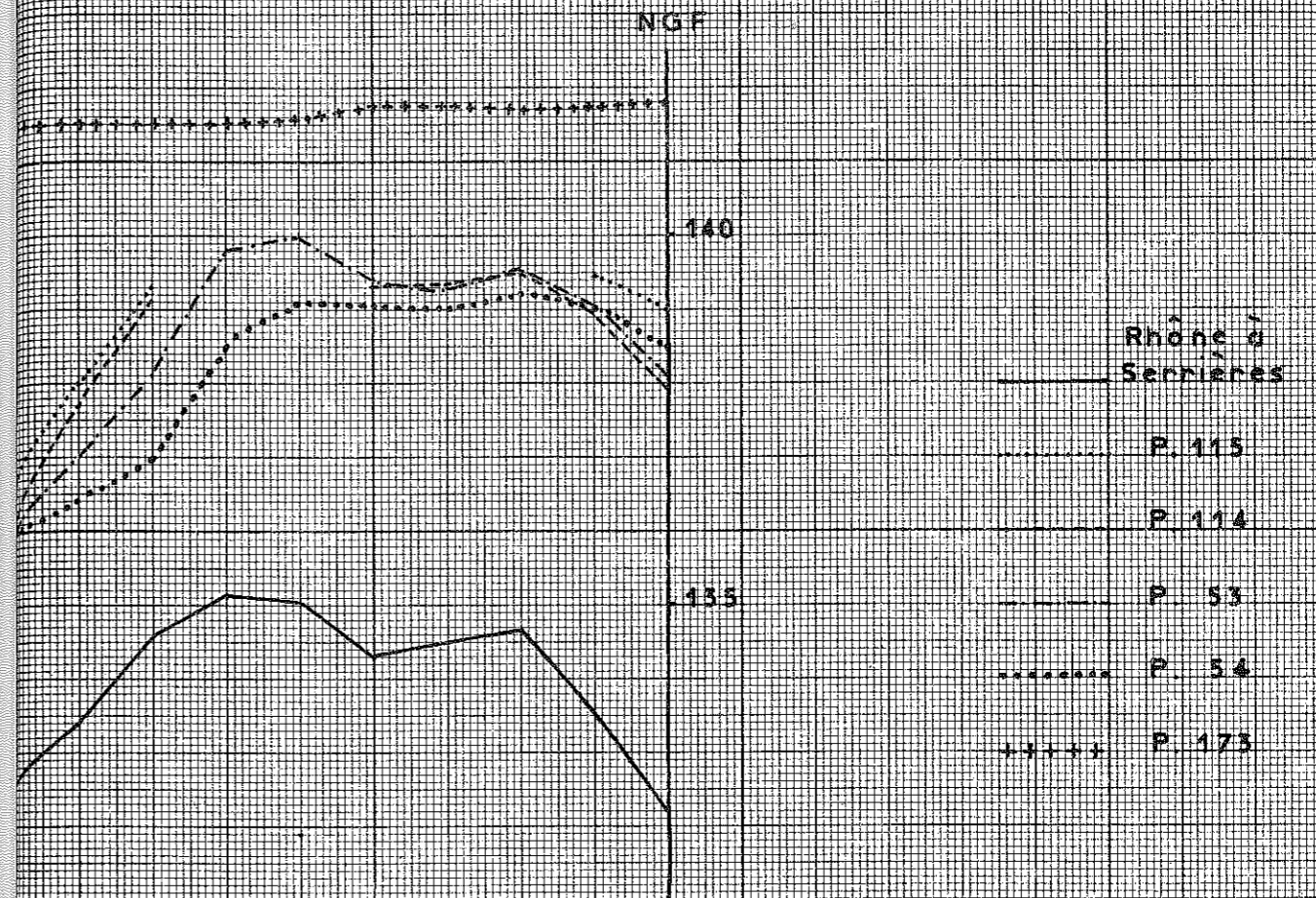
RORABAUGH (M.), 1963. - Stream-bed percolation in development of water supplies. Geological Survey, Water Supply Paper, n° 1544-H.

SARROT-REYNAULD (J.), 1968. - Cours d'Hydrogéologie. Faculté des Sciences, Grenoble.

PRINCIPAUX ERRATA

Pages	Lignes	Au lieu de :	Lire :
20	34	Mesures isolées	valeurs isolées
35	dernière	Incidences sur les aménagements	Incidences sur les grandes lignes de l'aménagement
37	première	Incidences de la structure géologique	Incidences à petite échelle de la structure géologique
37	dernière	Propagation des sismiques	Propagation des ondes sismiques
46	9	de la façon suivante	de la façon suivante (voir pl. hors texte n°3)
67	28	m/s et mètres	cm/s et cm
67	30	10^{-6}	10^{-4}
67	32	10^{-5}	10^{-3}
114	16	$Q = K \frac{H^2 - h^2}{\text{Log}(R/r)}$	$Q = \pi K \frac{H^2 - h^2}{\text{Log}(R/t)}$
115	14	$D = \frac{Q}{4 T} \dots$	$D = \frac{Q}{4 \pi T}$
131	30	Caractères lithologiques	Caractères micropaléontologiques

Fig A1 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 1

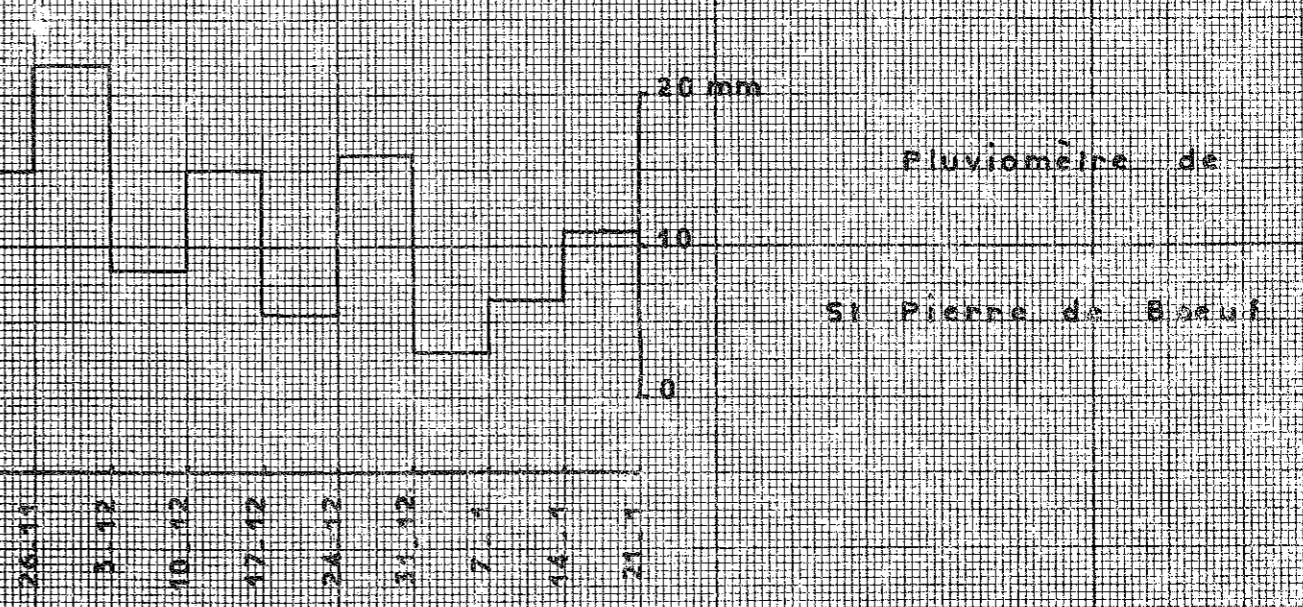


Fig A2 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 2

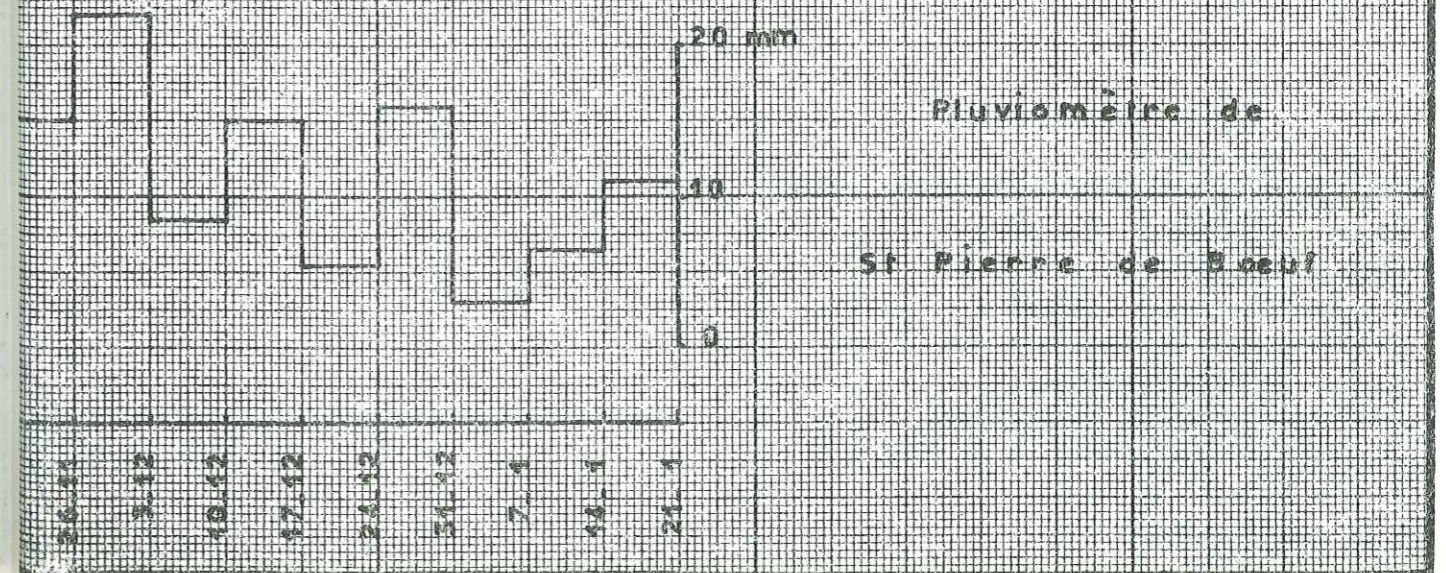
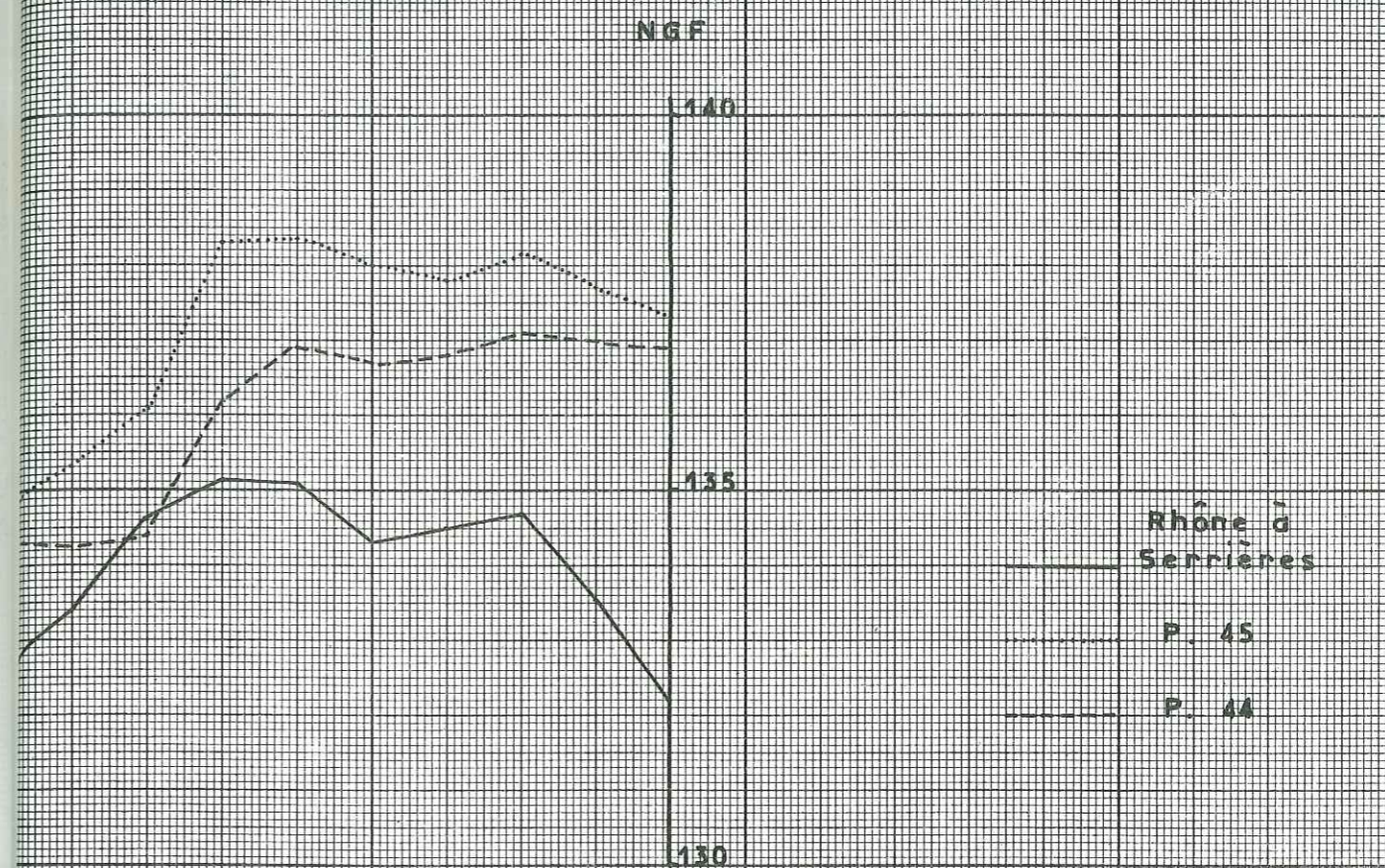
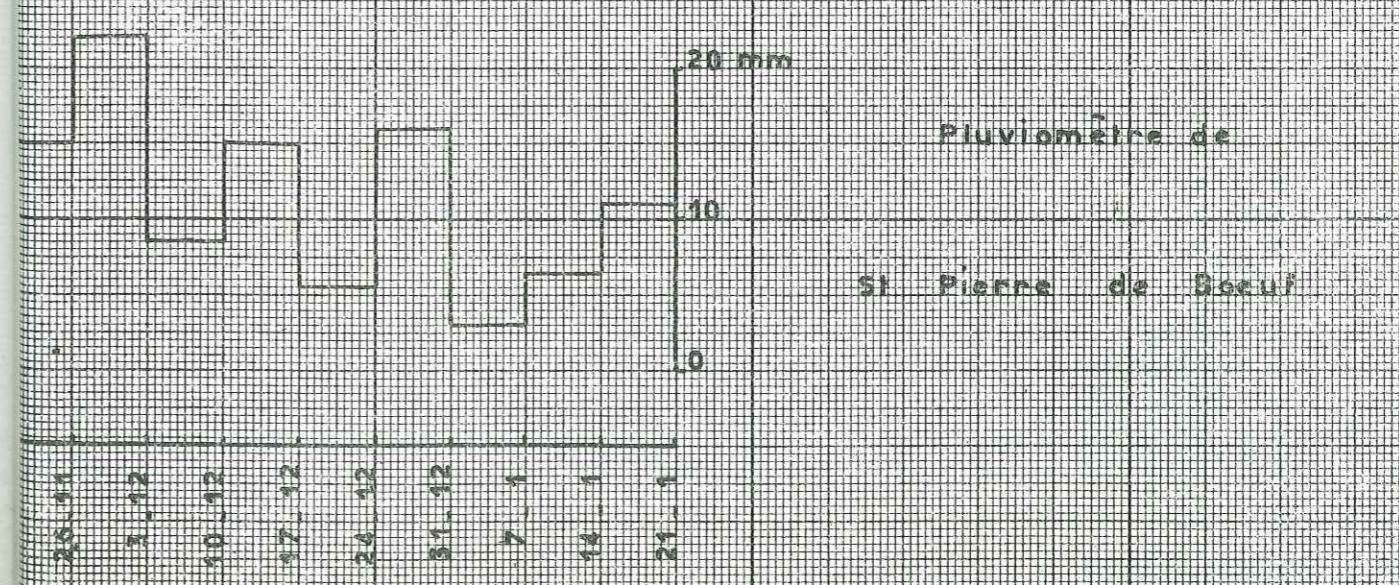


Fig A3 VARIATIONS DE LA NAPPE

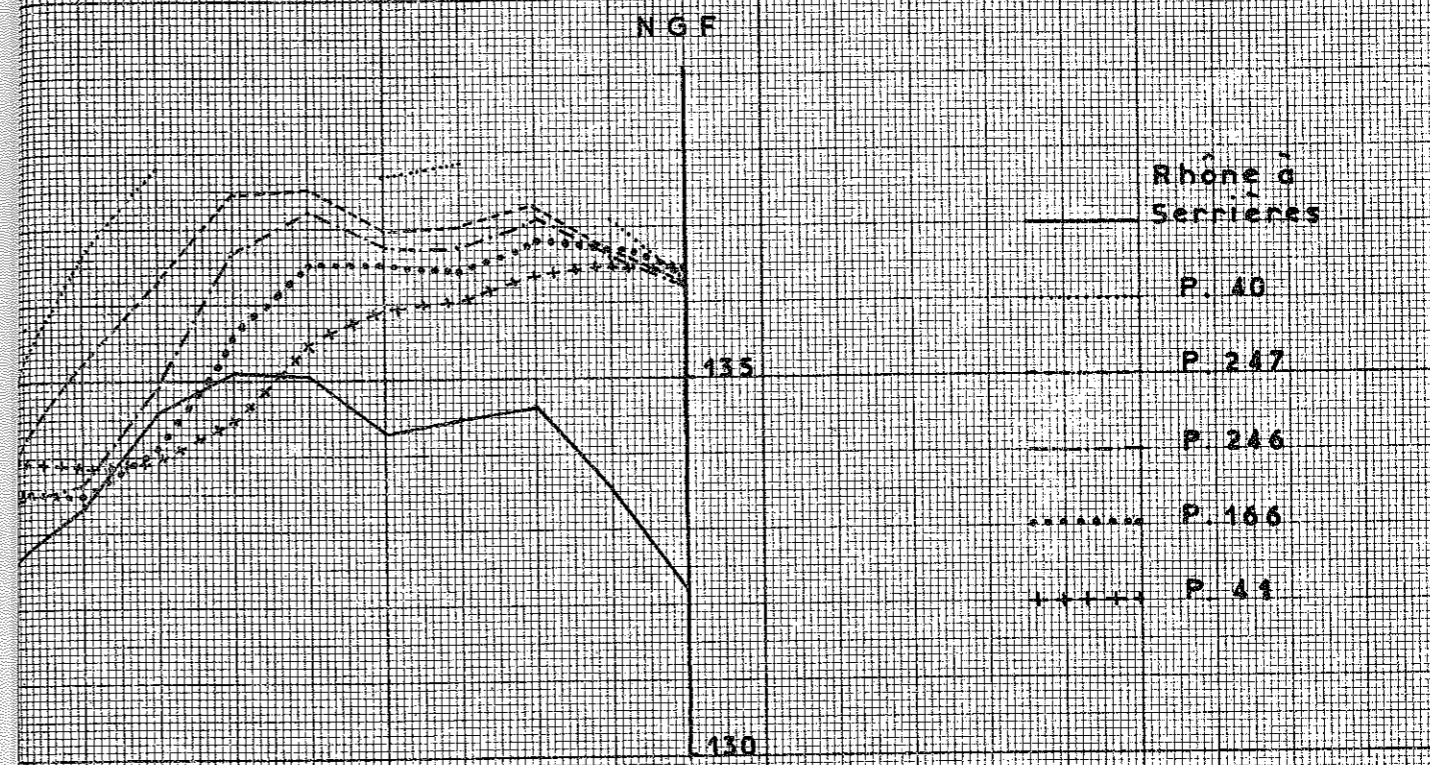


PROFIL 2 bis



26.11
1.12
10.12
17.12
24.12
31.12
7.1
14.1
21.1

Fig A4 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 3

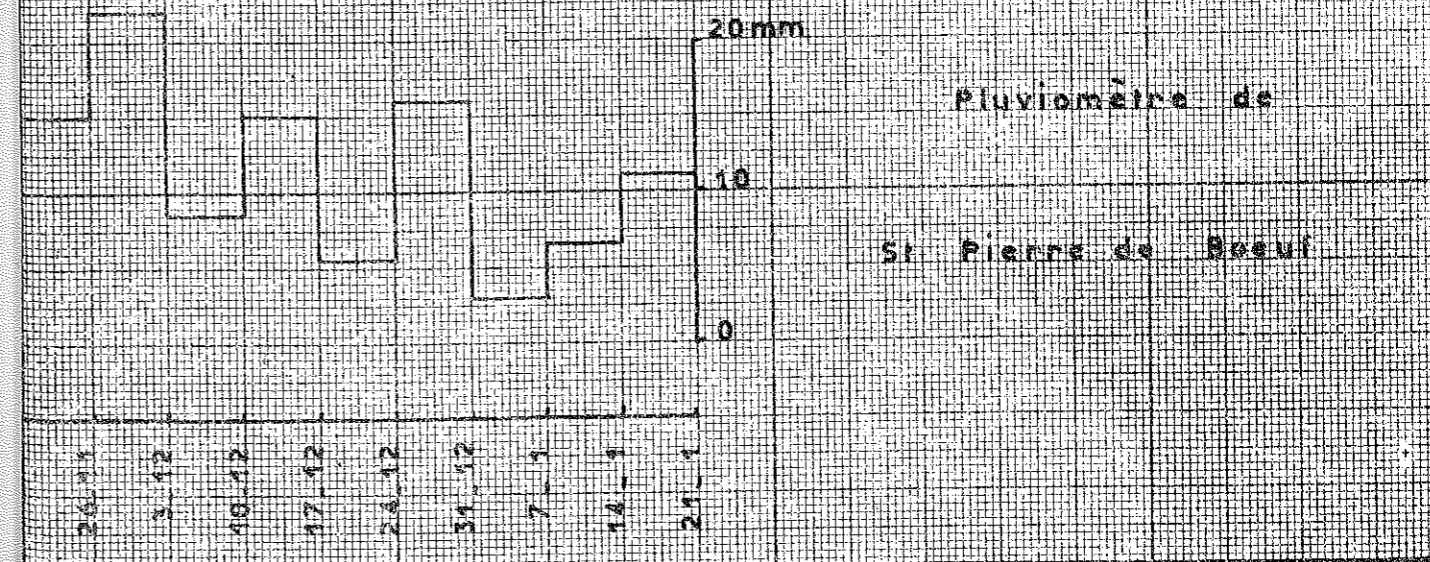


Fig A5 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 4

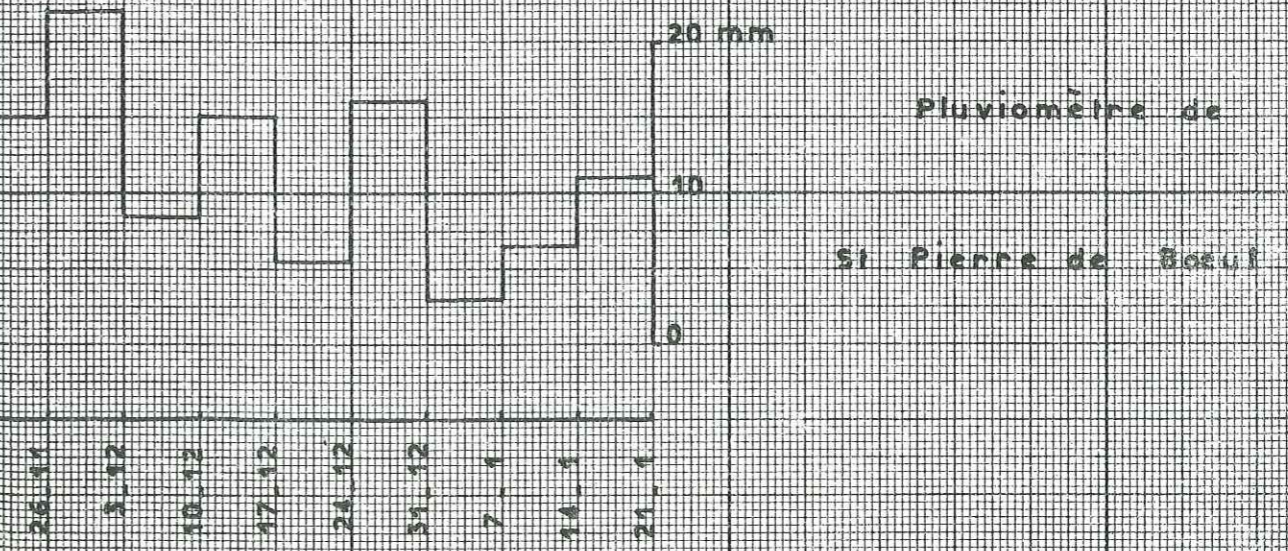
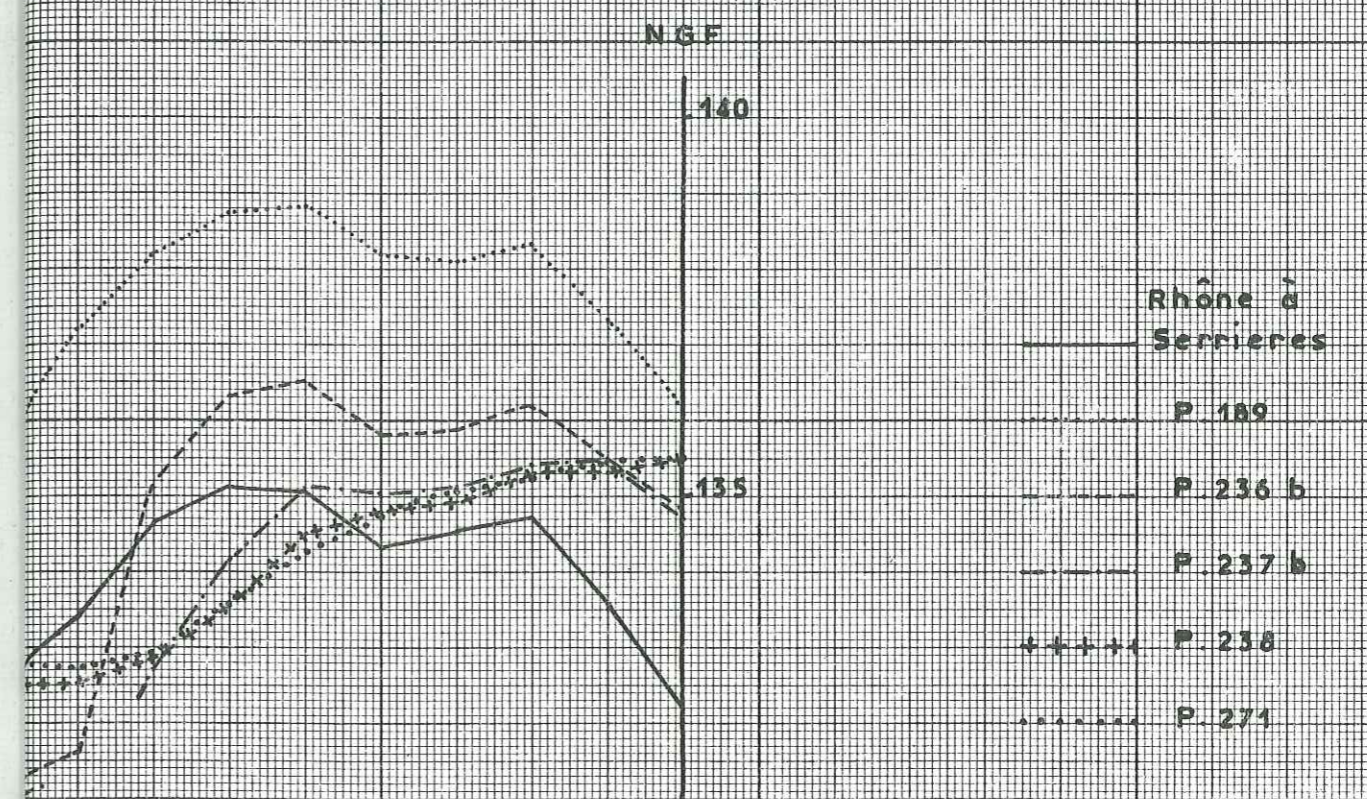


Fig A6 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 5

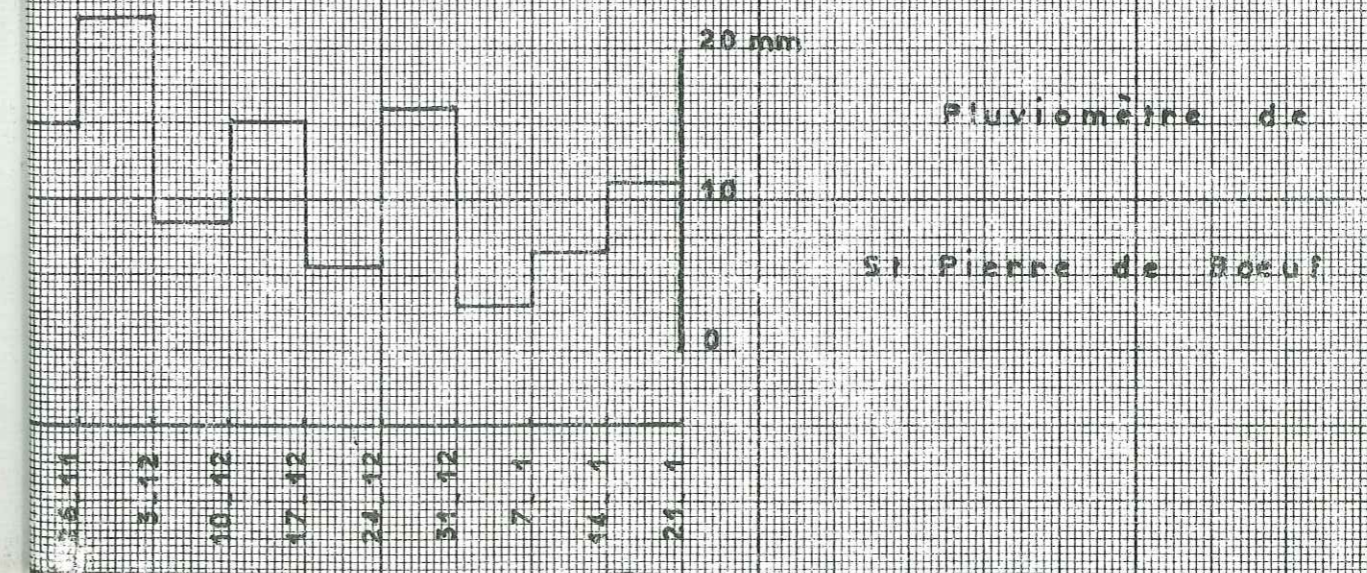
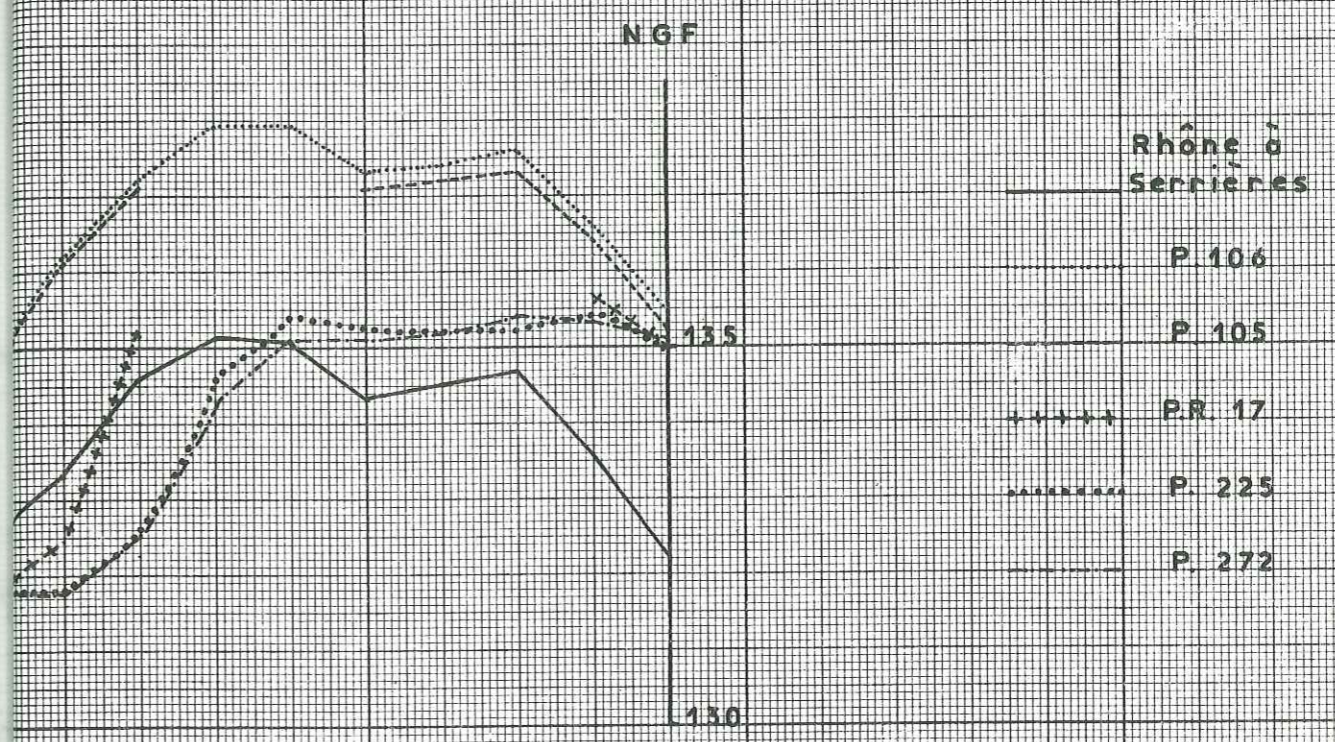


Fig A7 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 6

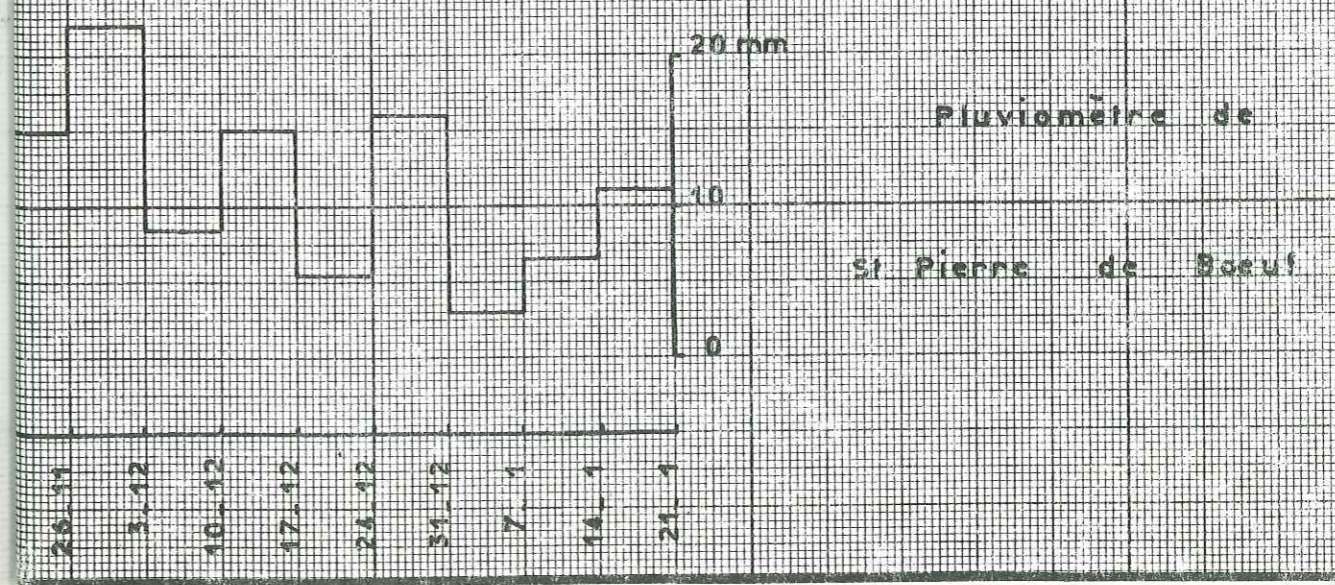
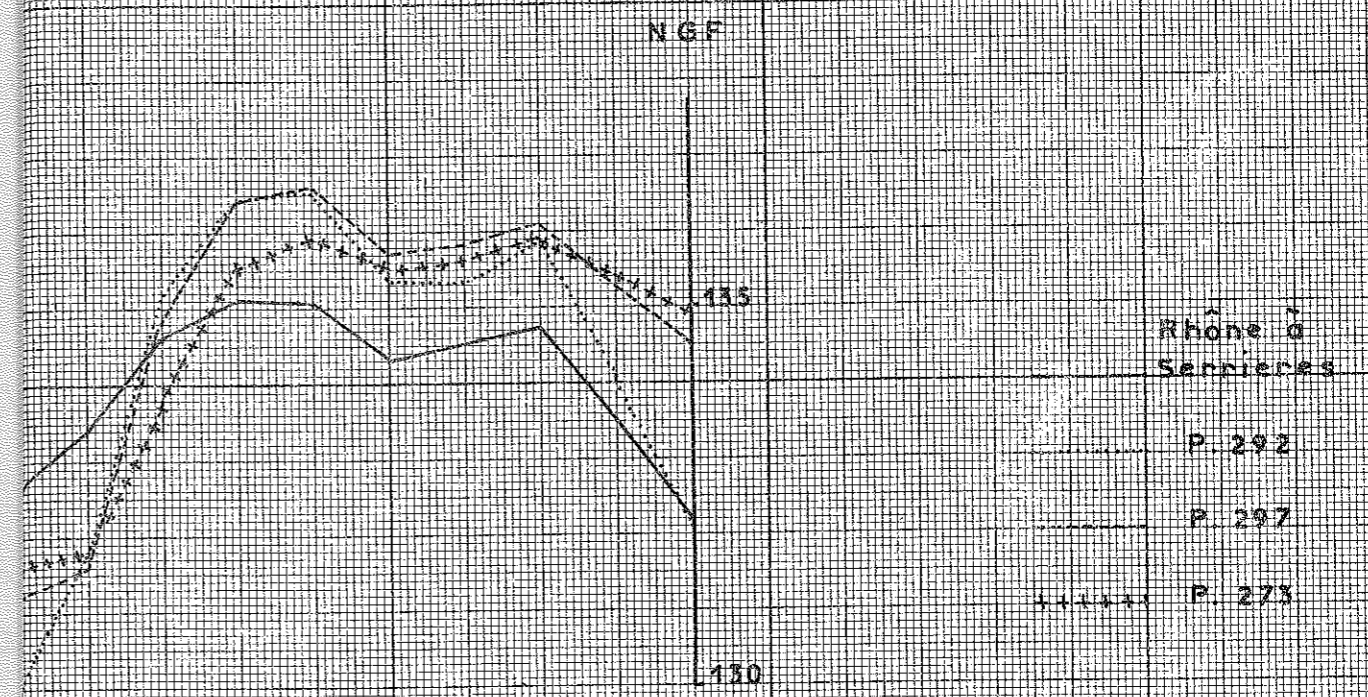


Fig A8 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 7

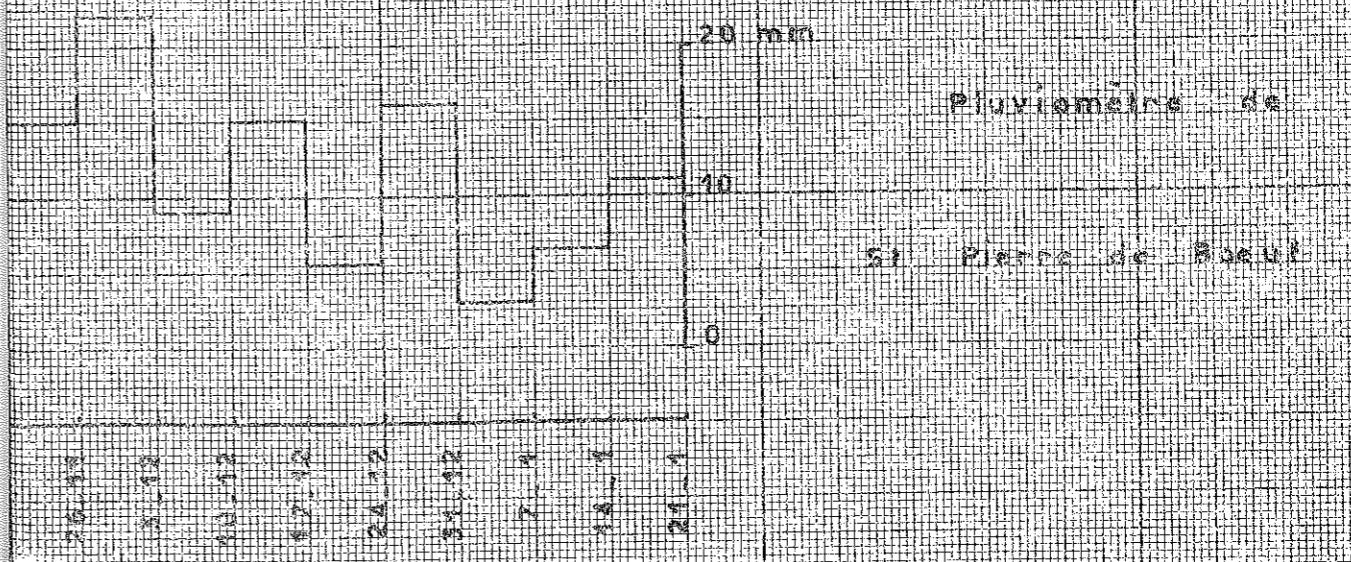
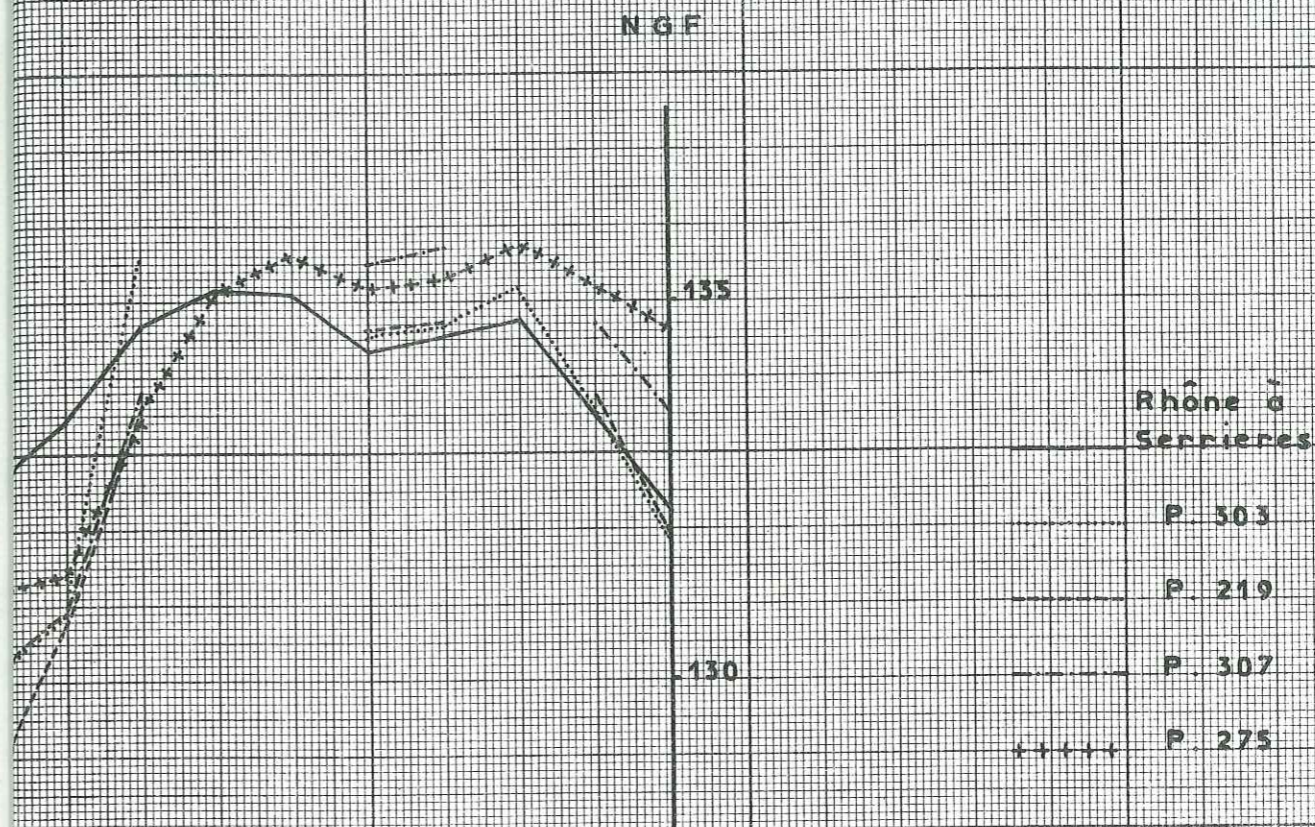


Fig A9 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 8

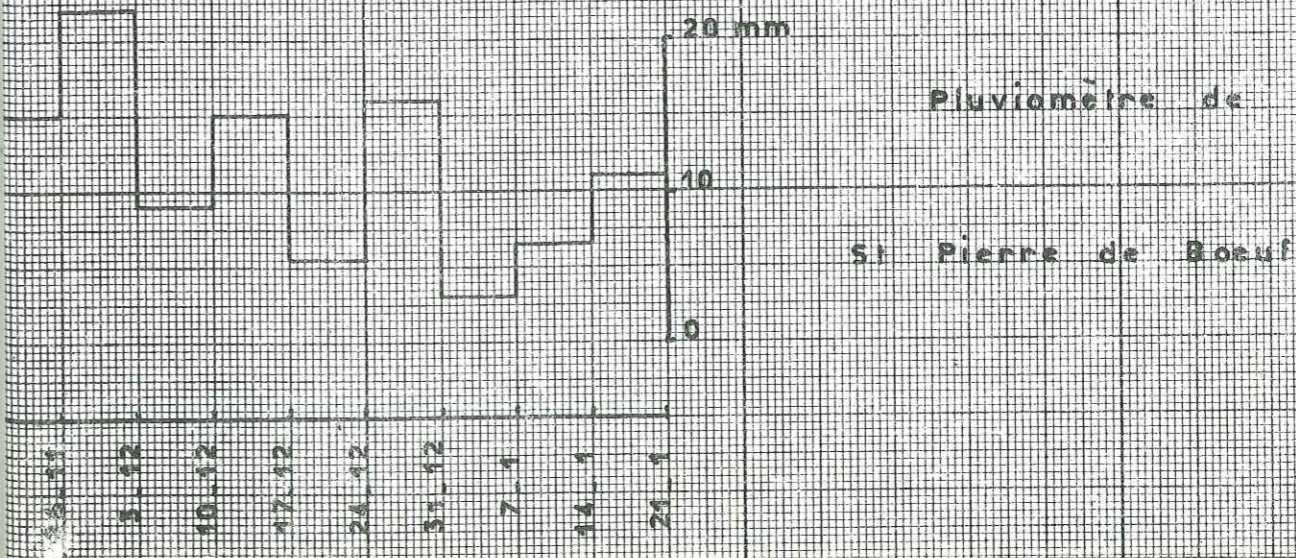


Fig A 10 VARIATIONS DE LA NAPPE

PROFIL 8 bis

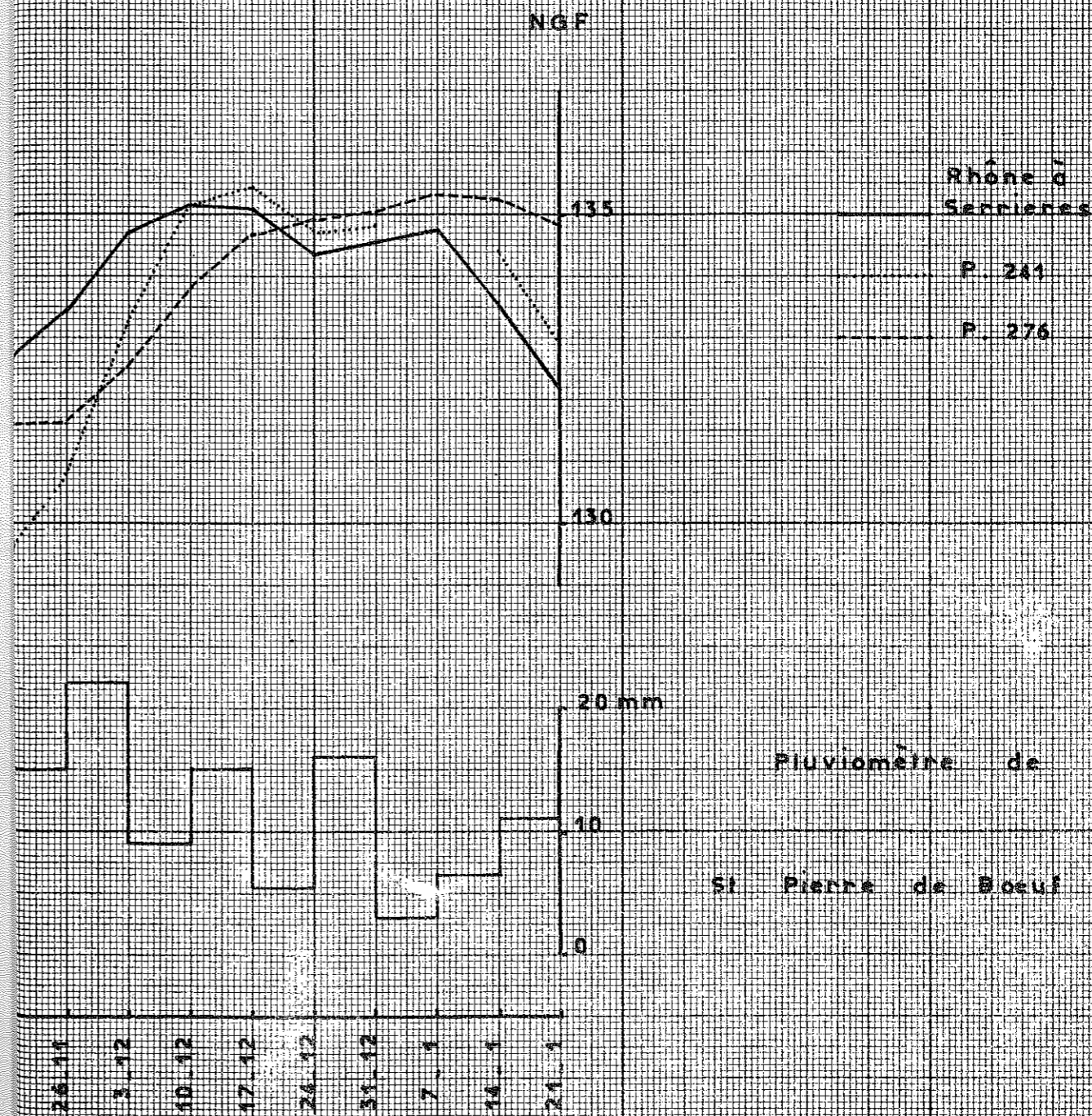
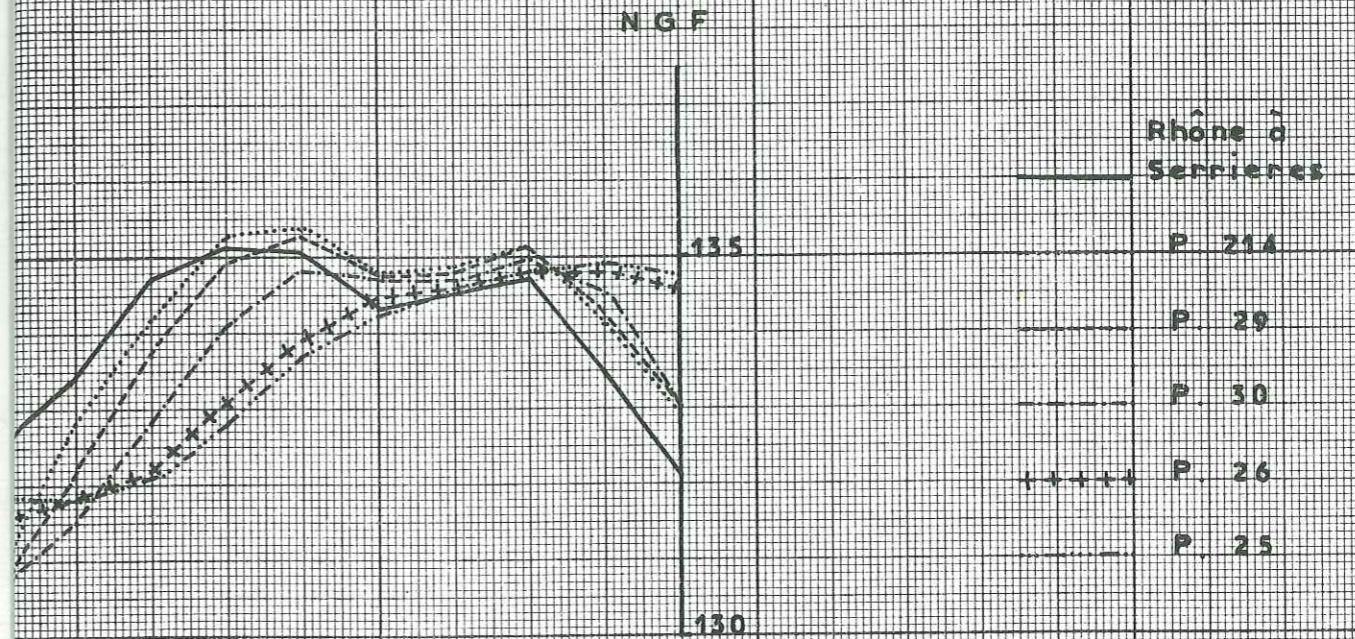


Fig A11 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 9

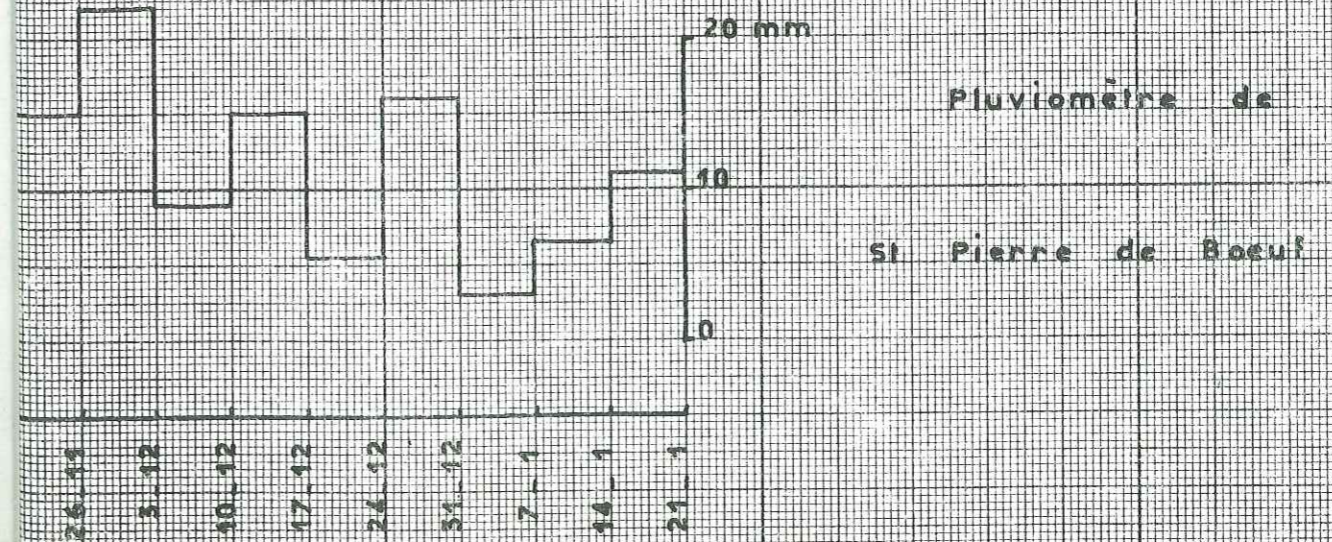


Fig A 12 VARIATIONS DE LA NAPPE

PROFIL 9 bis

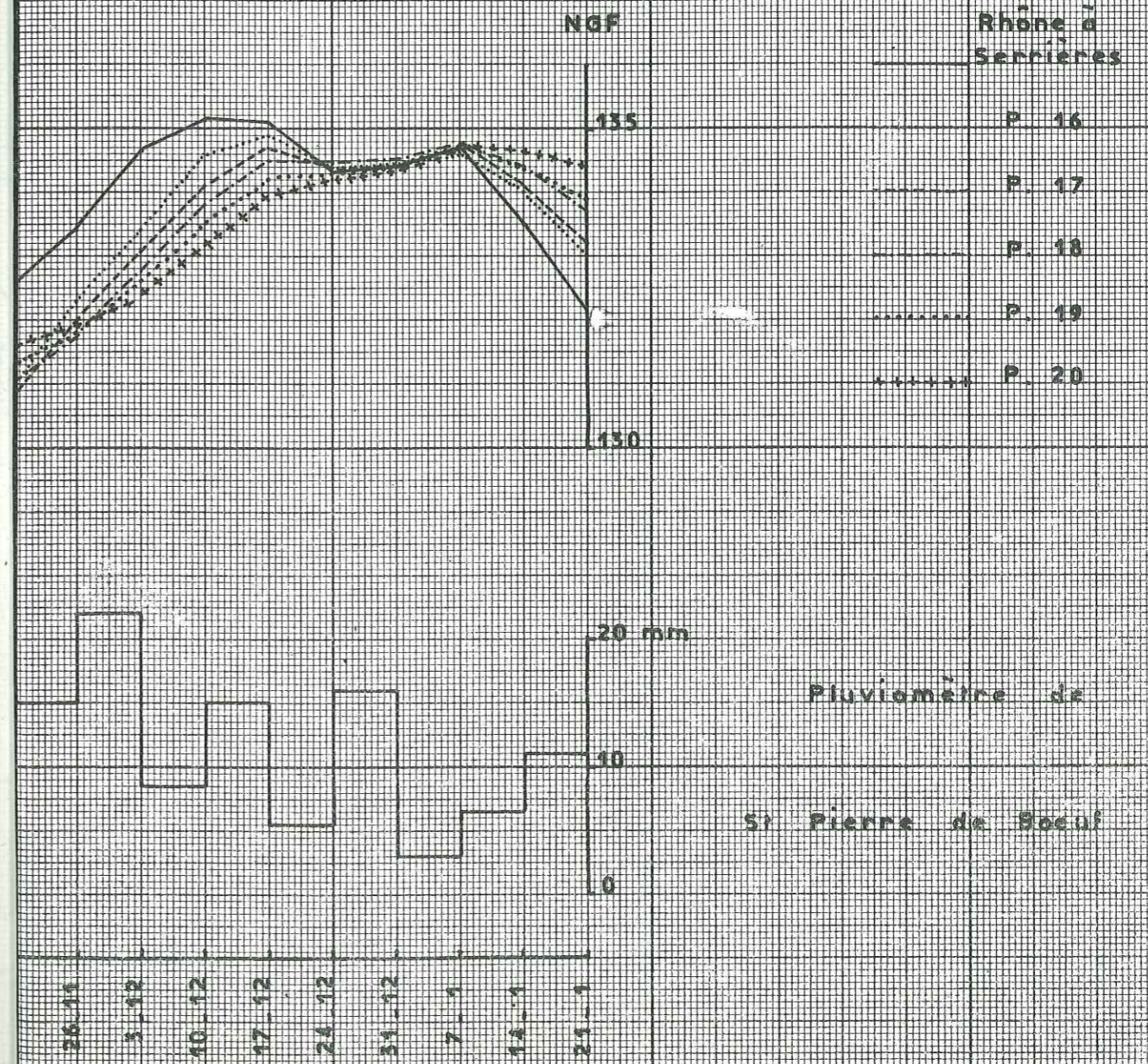
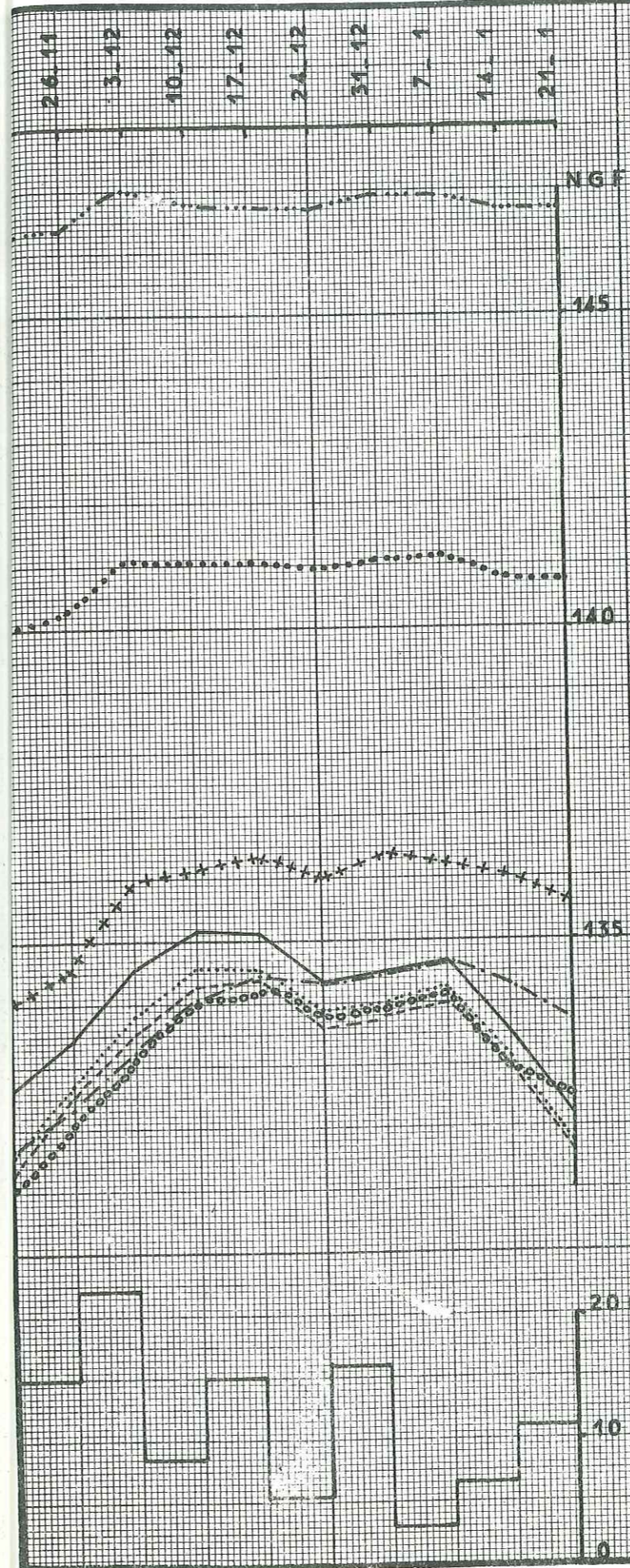


Fig A13

VARIATIONS DE LA NAPPE



Rhône à
Serrières

P. 99

137

P. 8

P. 9

P. 10

P. 11

P. 253

PROFIL 10

20 mm

Pluviomètre de

St Pierre de Boeuf

10

0

Fig A 14

VARIATIONS DE LA NAPPE



Rhône à
Serrisnes

P.R. 1

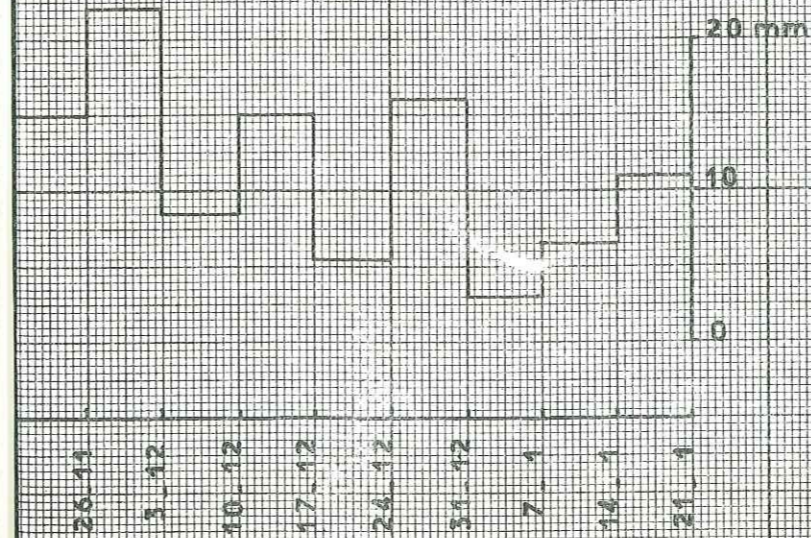
P. 14

P. 15

P. 250

P. 251

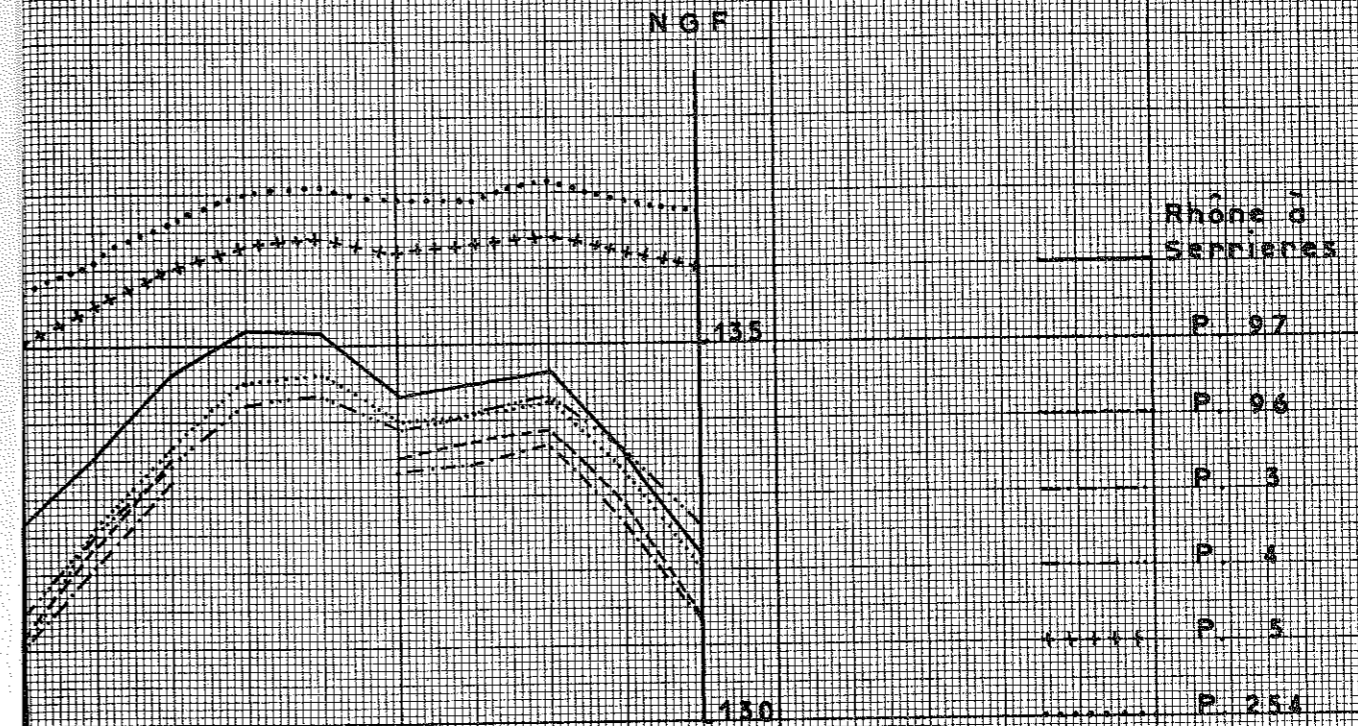
PROFIL 10 bis



Pluviomètre de

St Pierre de Saucy

Fig A15 VARIATIONS DE LA NAPPE



PROFIL 11

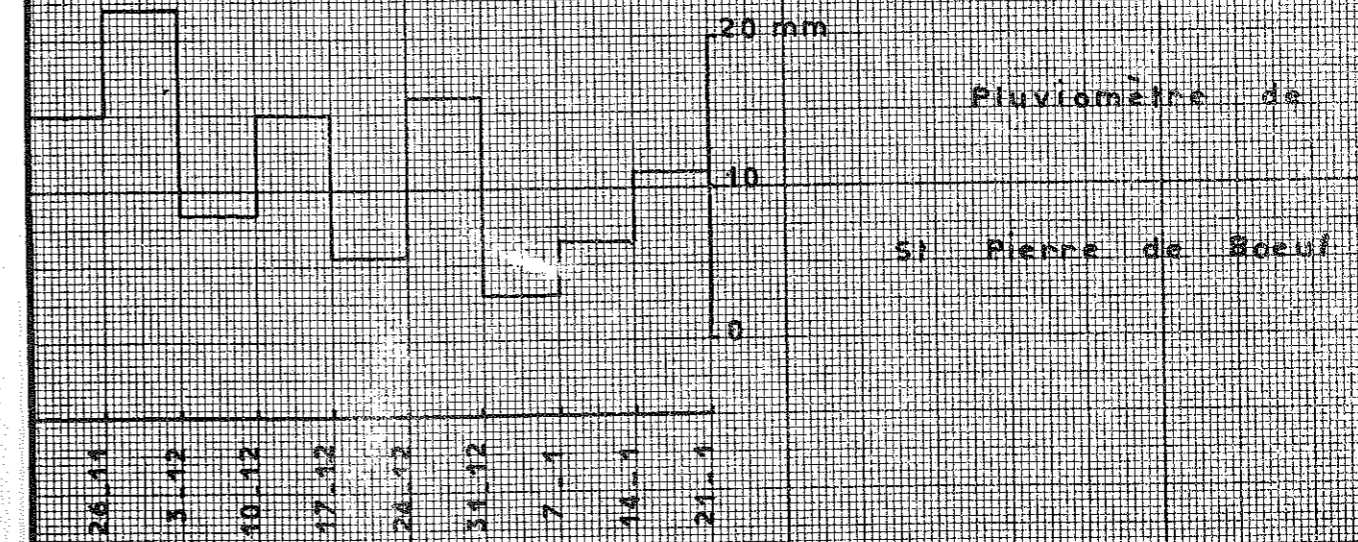
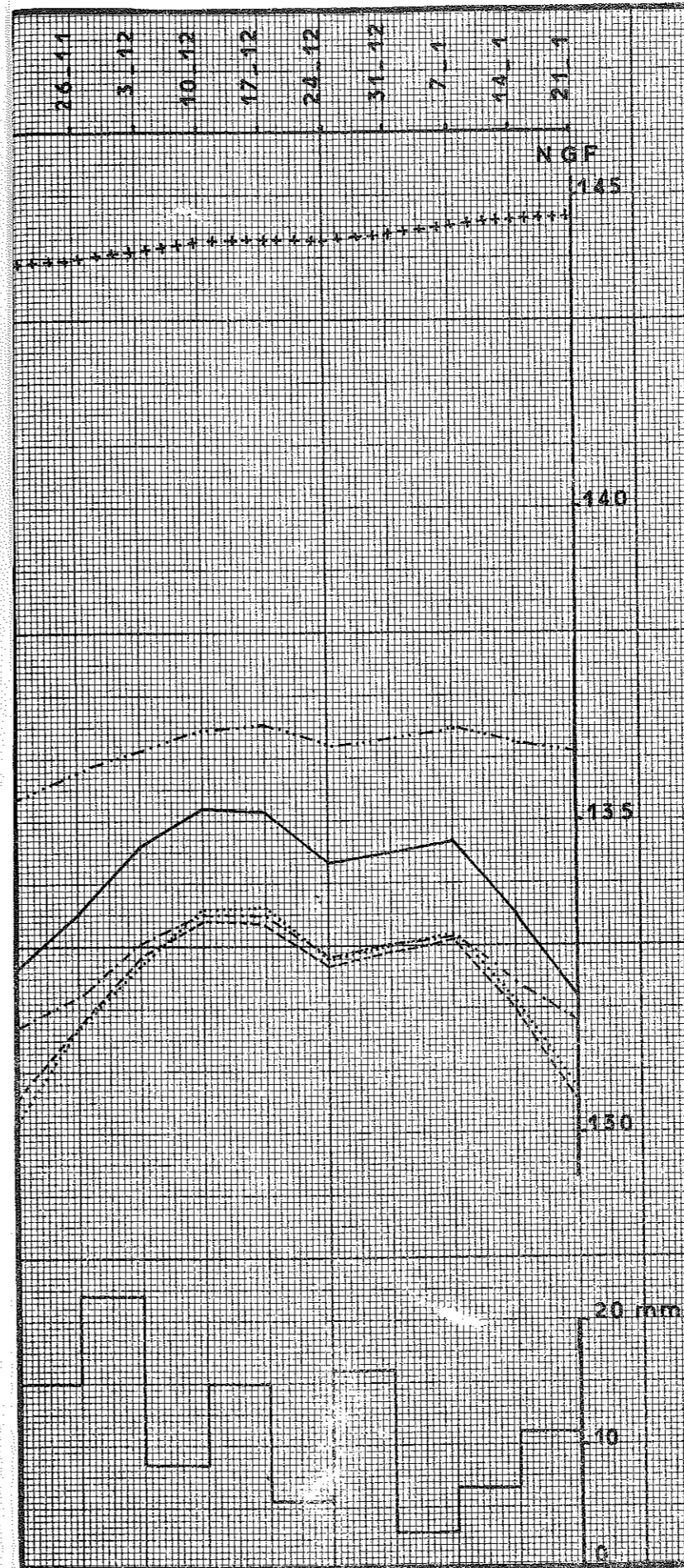


Fig A16

VARIATIONS DE LA NAPPE



Rhône à
Serrières

P. 92

P. 93

P. 255

P. 256

P. 257

PROFIL 12

Pluviomètre de

St Pierre de Boeuf

Vu,
Grenoble, le
Le Président de la thèse,

R. BARBIER

Vu,
Grenoble, le
Le Doyen de la Faculté des Sciences,

E. BONNIER

Vu, et permis d'imprimer
Le Recteur de l'Académie de Grenoble,

M. NIVEAU