

Etude de la nappe phréatique de la vallée du Bas-Rhône: essais de pompage et mesures géo-physiques

Autor(en): **Ott, J.-C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **99 (1973)**

Heft 22: **SIA spécial, no 4, 1973**

PDF erstellt am: **27.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-71707>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Etude de la nappe phréatique de la vallée du Bas-Rhône

Essais de pompage et mesures géo-physiques¹

par J.-C. OTT, ingénieur conseil, Genève

I. But de l'étude

Le « Syndicat d'étude du Bas-Rhône », constitué par « Electrowatt » et la « Compagnie d'études de travaux publics » (CETP), a été le promoteur de l'étude de la nappe du Rhône entre Saint-Maurice et le lac Léman.

Nous avons été chargés de façon plus particulière d'examiner les relations entre le Rhône et la nappe dans la situation actuelle et dans la situation future dans le cas d'une surélévation des digues aux deux emplacements de Vouvry et Port-Valais, envisagés entre autres comme site des usines au fil de l'eau à créer pour l'aménagement hydro-électrique du Bas-Rhône.

A cet effet, en plus d'une campagne de mesures des niveaux phréatiques, deux essais de pompage à grande échelle ont été organisés dans la plaine, au voisinage de l'axe des usines-barrage.

Il est généralement admis que, par suite du colmatage du lit, les eaux superficielles s'écoulant dans un fleuve sont relativement indépendantes des eaux phréatiques contenues dans le remplissage alluvionnaire. On sait beaucoup moins comment se font les échanges d'eau entre le fleuve et la nappe phréatique et dans quelle mesure ils peuvent être influencés par les surélévations de digue projetées.

Il s'agissait donc de fournir les bases pour déterminer les débits échangés entre le Rhône et la nappe, compte tenu des dénivellations actuelles et futures du plan d'eau de la nappe.

Nous allons indiquer les méthodes utilisées pour la résolution de ce problème particulier, certaines d'entre elles classiques, d'autres peu usuelles. Nous donnerons quelques résultats typiques des mesures et le parti qu'on en peut tirer.

II. Configuration de la nappe phréatique

La vue aérienne (fig. 1) montre la plaine du Rhône entre Saint-Maurice et le lac Léman. Mieux qu'une carte, elle fait apparaître les étranglements successifs de la plaine, dont le dernier au droit de la Porte-de-Scex est particulièrement accusé.

Sur le profil en long (fig. 2) du fleuve de forme parabolique régulière, on a fait figurer les niveaux de crue et d'étiage.

Les lignes équipotentielles de la nappe phréatique reportées sur la figure 3 ont servi à construire le profil en long de la nappe phréatique au voisinage immédiat du Rhône.

On constate que la nappe s'incline plus fortement au droit de la Porte-de-Scex, probablement à cause du resserrement de la section de passage, ce qui augmente la

perte de charge. Cette constatation a été faite pour d'autres fleuves, en particulier sur la Durance [4]². Il en résulte que la surface de la nappe passe tantôt en dessus tantôt en dessous du niveau du fleuve lorsqu'on se déplace le long du cours.

Au site de Vouvry, le niveau du Rhône est toujours situé en dessus de la nappe, aussi bien en crue qu'en étiage [6]. Au contraire, au site de Port-Valais, le Rhône est tantôt plus haut, tantôt plus bas que la nappe phréatique.

Sur la coupe en travers de la vallée du Rhône à Vouvry (fig. 4) et sur la vue (fig. 1) apparaissent les deux ouvrages de drainage qui gouvernent le niveau de base de la nappe phréatique, sur R.D. le « Grand-Canal », sur R.G. le canal « Stockalper ». Ceux-ci provoquent un appel transversal des lignes de courant, bien visible aussi sur la figure 4. On doit attirer l'attention sur le fait que le point de culmination ne coïncide pas avec le Rhône dans ce secteur.

III. Méthode d'essai et de mesure

Les deux stations d'essai de pompage à Vouvry et Port-Valais se présentent sous la forme de trois puits filtrants alignés au pied des digues du Rhône selon la disposition classique. Elles jouent en quelque sorte le rôle d'un tronçon de canal de drainage latéral calé en dessous du niveau phréatique, appelant à la fois l'eau du Rhône et celle qui circule dans les alluvions.

Il était donc nécessaire de mesurer non seulement les débits prélevés par pompage et la dépression de la surface piézométrique en plusieurs points, comme le permettaient

² Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.



Fig. 1. — La plaine du Rhône entre Saint-Maurice et le lac Léman. Les emplacements des stations d'essai de Port-Valais et Yverne sont indiqués par des flèches.

¹ Exposé donné dans le cadre des Journées de printemps, à Neuchâtel, le 2 mai 1969, organisées par la Société suisse de mécanique des sols et des travaux de fondation, texte remis à la Rédaction du BTSR en 1973.

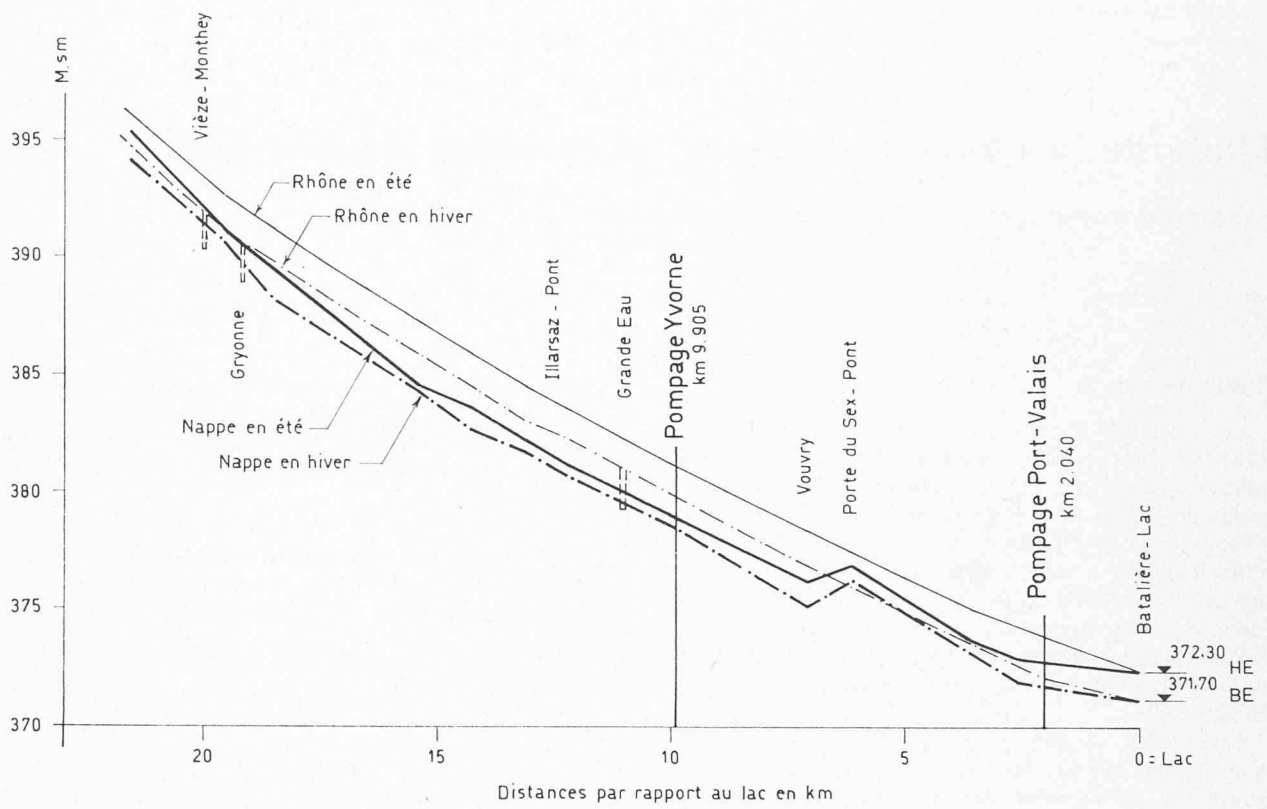


Fig. 2. — Profil en long du Rhône et de la nappe aquifère entre km 22 et le lac.

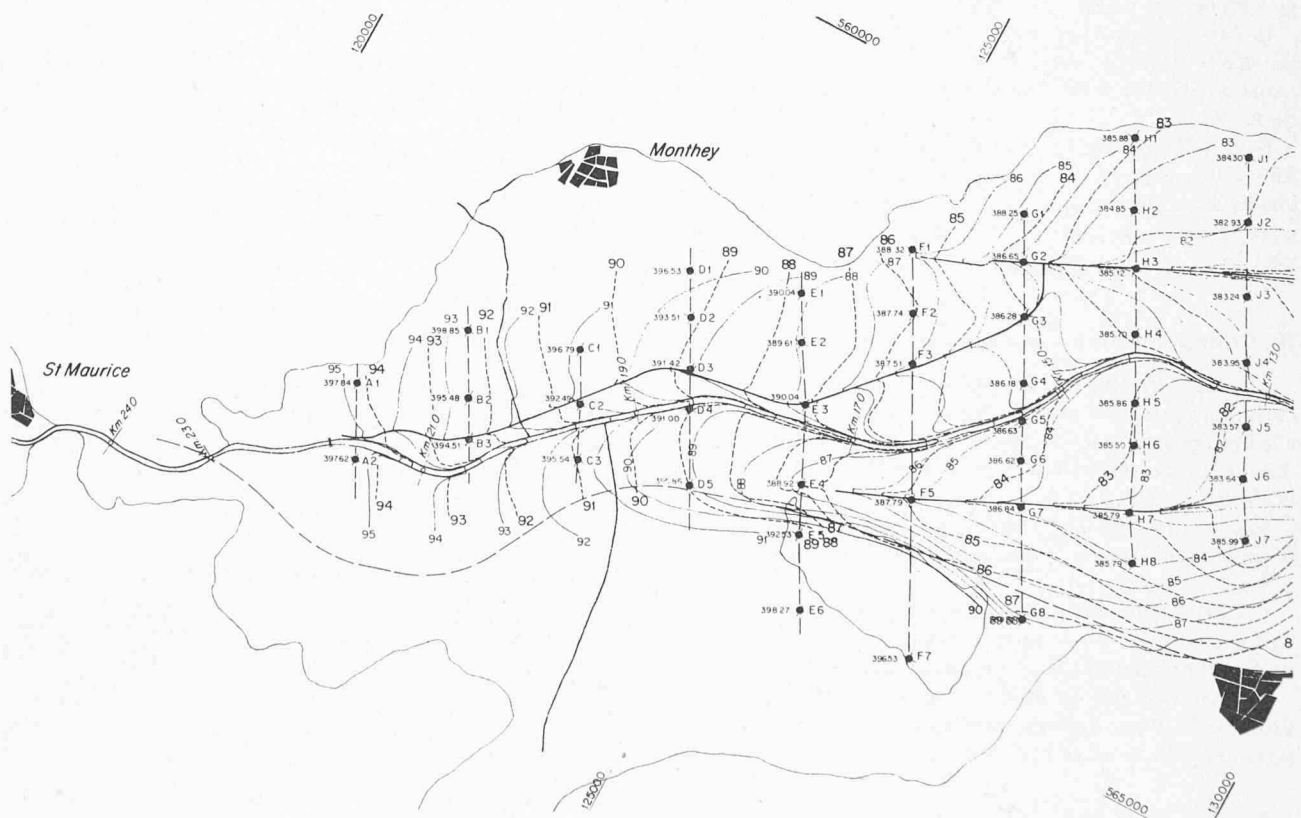


Fig. 3. — Nappe phréatique en hiver et en été 1964.

les tubes disposés en croix dans un rayon de 200 m (fig. 5) — ce qui suffit lorsqu'on veut connaître les débits qui peuvent fournir une nappe; il fallait encore trouver le moyen d'identifier l'origine de l'eau et si possible de calculer la proportion provenant respectivement du fleuve et de la nappe souterraine.

Nous avons alors proposé de procéder aux mesures suivantes (avant, pendant et après les pompages pour les séries 1, 3, 4) :

1. Niveau piézométrique en relation avec les niveaux du Rhône (toutes les heures).
2. Jaugeage des débits dans les puits.
3. Températures avec la sonde « Géoconsult » à couple thermo-électrique.
4. Résistivité de l'eau.
Ces deux séries de mesures étaient prises :
dans tous les piézomètres à différentes profondeurs (nappe phréatique);
dans les bacs de jaugeage;
dans le Rhône.
5. Vitesses ascensionnelles dans les puits de pompage avec le procédé « Solétanche ».
6. Détermination des vitesses nettes de circulation par injection de sel.
7. De plus, nous avons examiné à l'emplacement des essais de pompage dans de petites tranchées de reconnaissance, les caractéristiques de la couche tapissant le lit du fleuve, à savoir :
perméabilité sur échantillons intacts;
densité du sol « in situ »;
granulométrie des alluvions sur carottes de sondage.

8. Degré de saturation et porosité du sol en dessus de la nappe, essai exécuté sur prélèvements en tranchée (au site d'Yvorne seulement) (fig. 19).

IV. Résultats généraux des essais et mesures hydrologiques

Les essais et mesures s'étendent sur les deux mois de : août - septembre, octobre - novembre, respectivement à Yvorne et à Port-Valais (fig. 6).

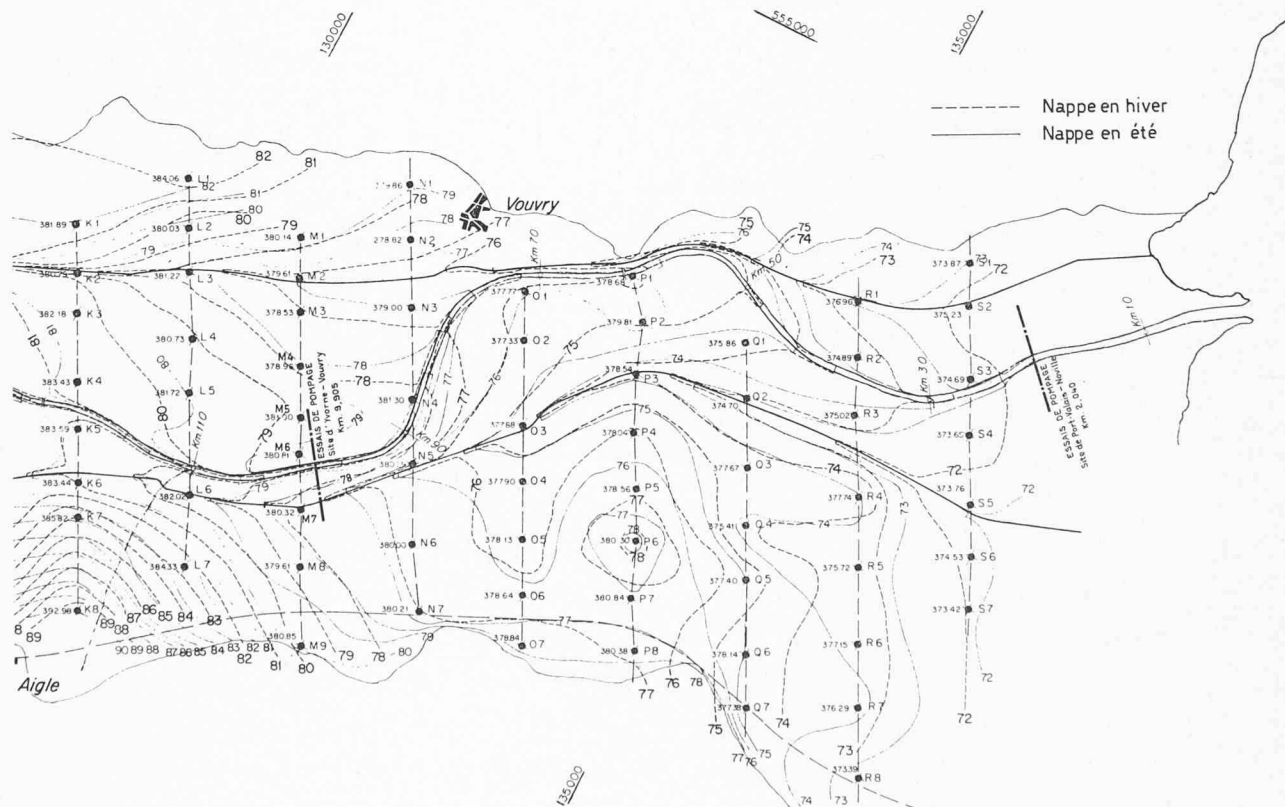
Le rabattement de nappe imposé à l'intérieur des puits filtrants en réglant le débit des pompages était de 2,85 à 3,00 m et 1,95 à 2,00 m respectivement à Vouvry et Port-Valais. Dans ces conditions, on obtenait rapidement un débit stabilisé total de 42 l/sec à la station d'essai de Vouvry et 62 l/sec à Port-Valais.

En établissant ainsi un régime quasi permanent d'écoulement, l'entonnoir de dépression s'agrandissait progressivement, en fin d'essai le niveau aux piézomètres les plus éloignés ne variant plus de façon sensible (± 1 cm).

L'observation des niveaux de la nappe phréatique une fois par heure au moyen de tubes « Symalène » de 1 1/2' perforés sur toute leur hauteur de 10 m et foncés dans le sol par battage.

Plus de 30 000 mesures ont été nécessaires. Pour savoir si l'influence du rabattement de nappe se faisait sentir également sur l'autre rive du Rhône, nous avons placé dans le profil en travers des piézomètres supplémentaires qui sont en dehors des limites de la figure 5.

La figure 8 montre, à une échelle très déformée, les profils en travers en direction perpendiculaire au Rhône des nappes primitives avant pompage, puis déprimées pro-



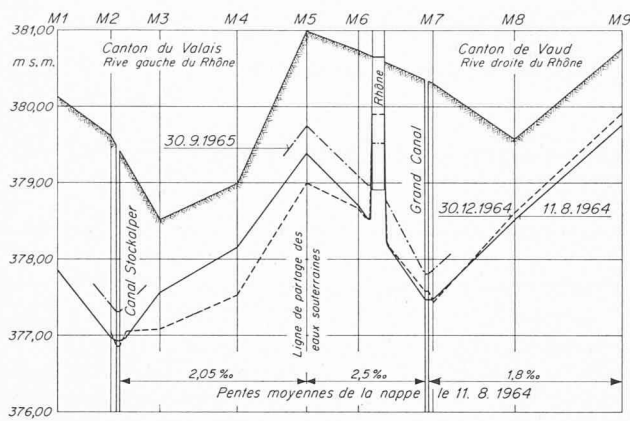


Fig. 4. — Profil en travers de la nappe phréatique dans la région d'Yvorne-Vouvry.

gressivement. Les digues et le fond du lit du Rhône ont été tracés.

Station d'essai d'Yvorne

Le lit du Rhône est surélevé par rapport à la plaine et alimente la nappe « en parapluie ». Le raccordement de la nappe avec le Rhône est très brutal, avec une forte courbure. Malgré cela, le pompage provoque un rabattement de nappe à environ 50 m sur la rive vaudoise, de l'autre côté du Rhône. Cette observation très importante montre qu'il y a peu de relation entre la nappe et le Rhône. Cette constatation est corroborée par le fait que le Rhône (voir fig. 4) n'est pas le point de culmination entre les deux canaux latéraux. C'est donc l'alimentation par les pluies et non celle par les fuites au travers du lit qui impose de

façon prépondérante la configuration de la surface de la nappe phréatique.

On verra plus loin une confirmation de ce fait au moyen des mesures de résistivité. Une couche de limon fin de 3 m d'épaisseur qui sépare le lit des alluvions grossières perméables (voir fig. 11) en est la cause.

Station d'essai de Port-Valais

A Port-Valais, au contraire, rien de tel ne se produit. L'effet du rabattement ne se fait pas sentir de l'autre côté du fleuve sur la rive valaisanne. Le lit du Rhône coule directement sur des alluvions grossières, comme on a pu le vérifier lors du creusement des puits et dans les tranchées creusées en période de basses eaux (fig. 15).

Le profil en long de la nappe rabattue (fig. 7) a une forme très classique, où l'on remarque la dissymétrie que provoque l'écoulement général de la nappe avec sa pente de $0,3 \text{ ‰}$, à Port-Valais.

Le débit de chaque puits est légèrement décroissant d'amont en aval (puits A : 25 l/sec ; puits B : 19,5 l/sec ; puits C : 18 l/sec).

Mesure des perméabilités étagées [10]

Le procédé préconisé par Solétanche consiste à mesurer les vitesses ascensionnelles à différents niveaux dans un puits filtrant au moyen d'un moulinet à axe vertical (fig. 10). Cela tout d'abord à l'état initial naturel sans apport d'eau, ensuite en provoquant soit une absorption soit un soutirage d'eau, à un débit constant bien déterminé et relativement faible.

On trace le diagramme (fig. 11), avec en abscisse la vitesse ascensionnelle et en ordonnée la profondeur du forage. Il permet immédiatement de calculer la perméabilité à chaque profondeur au moyen de la pente du diagramme.

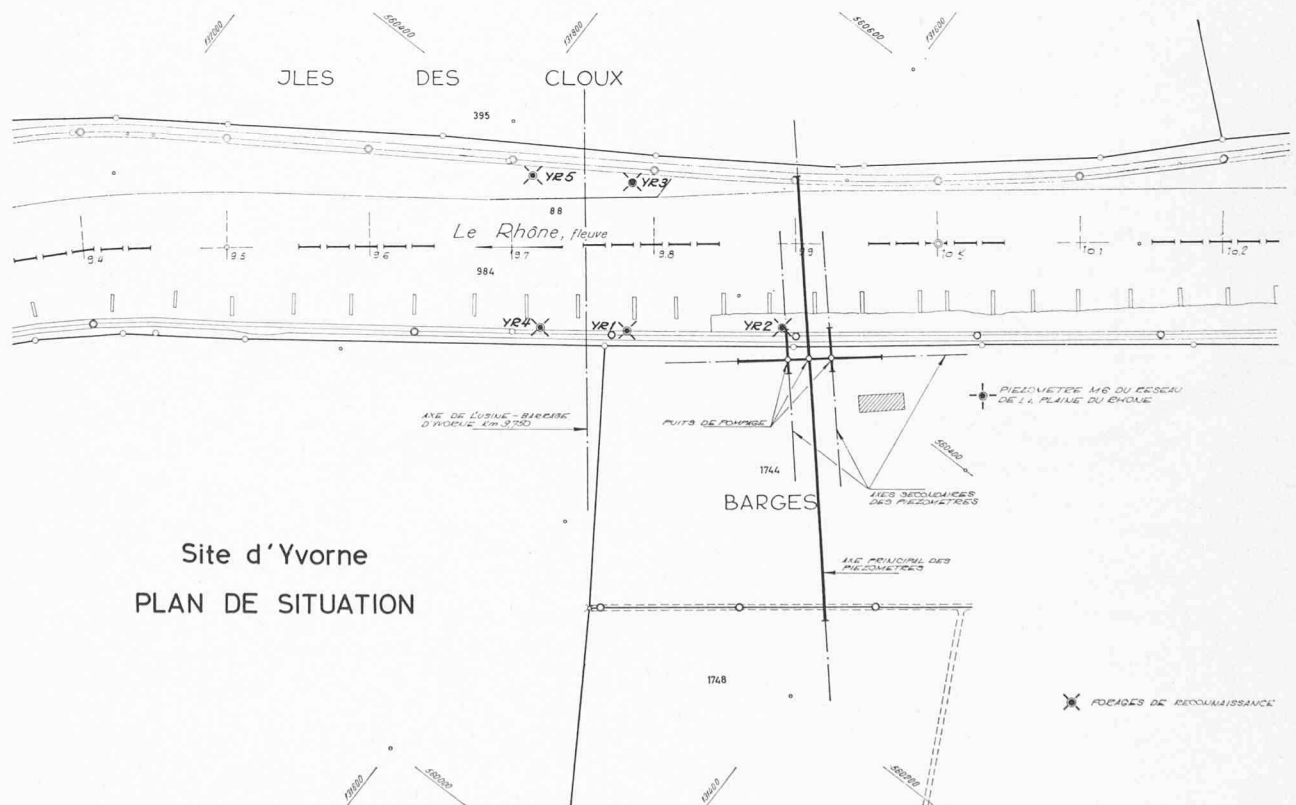
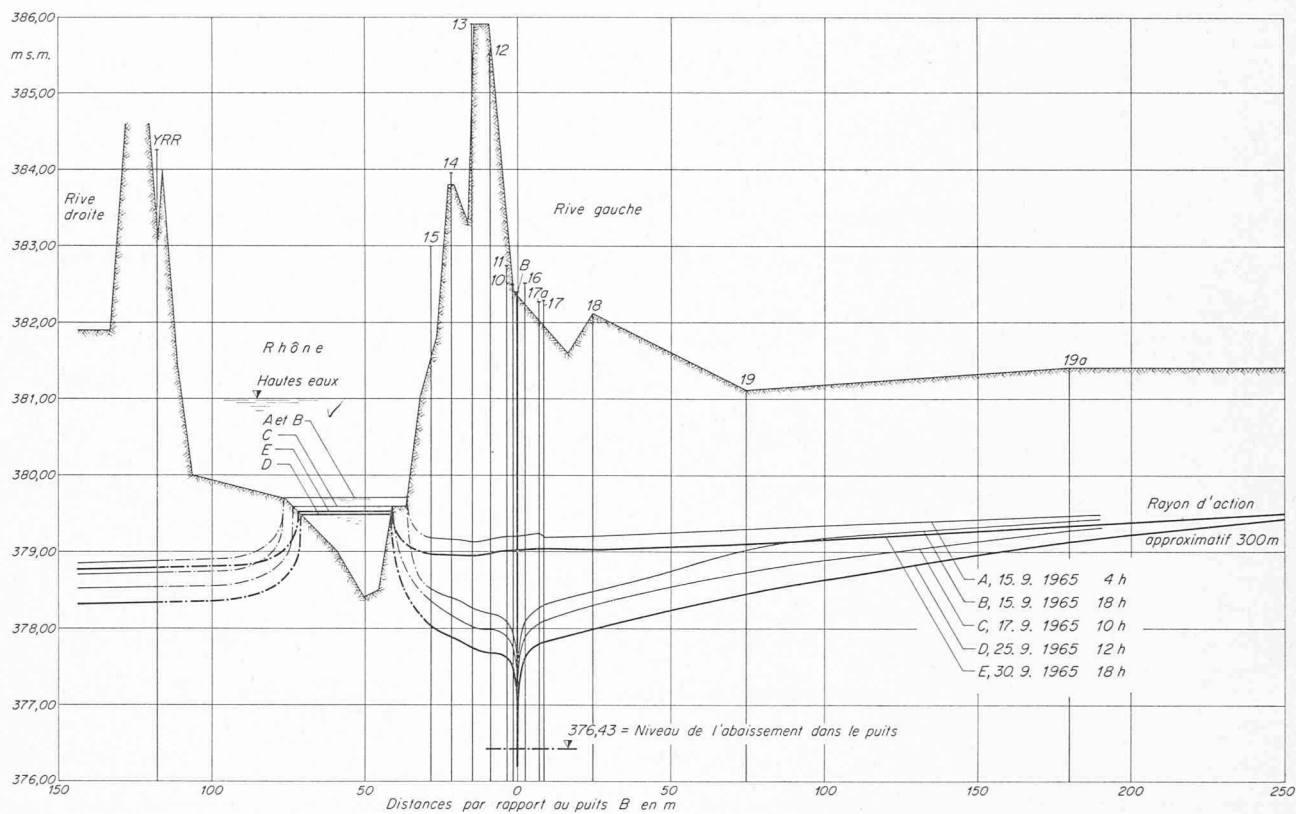


Fig. 5. — Essais de pompage au site d'Yvorne. Disposition de la station d'essai et des piézomètres.

Site d'Yverne



Site de Port-Valais

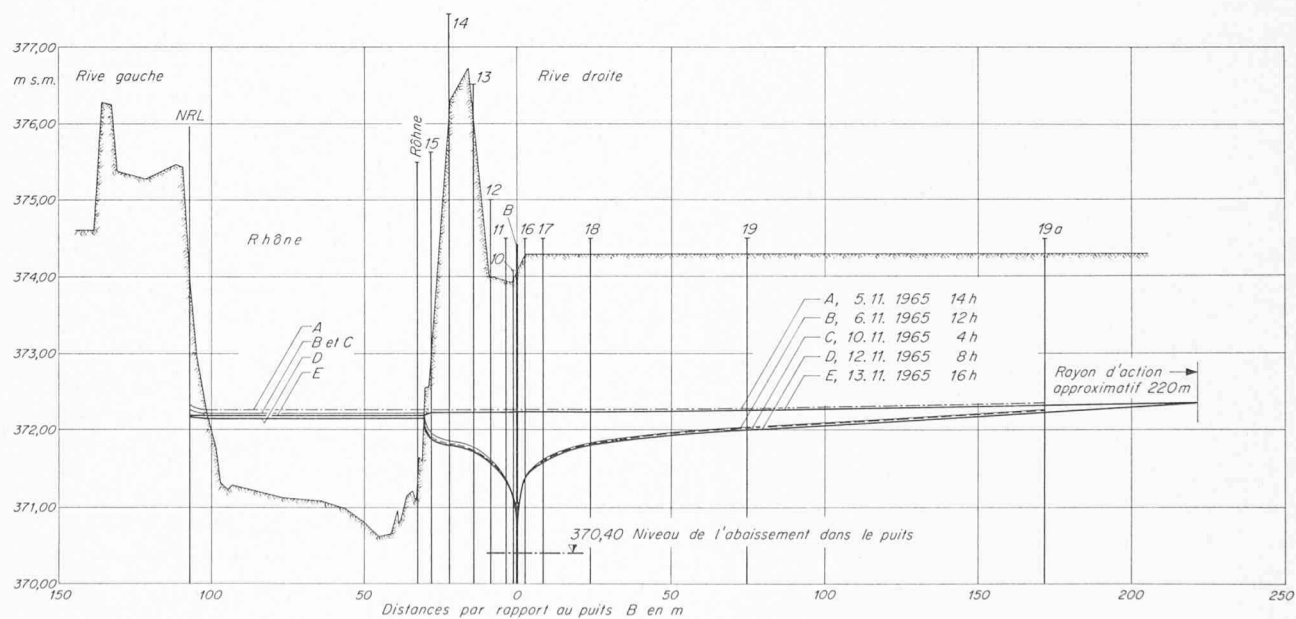


Fig. 8. — Profil en travers de la nappe aux stations d'essai d'Yverne et de Port-Valais — avant et après pompage. Remarquer la réaction du piézomètre sur rive opposée (R.D.) à Yverne.

Tableau comparatif des perméabilités

		Perméabilités moyennes k calculées en partant de la mesure de la forme de la nappe (niveaux des piézomètres) et du débit d'un puits selon la formule de Dupuit			Perméabilités moyennes k calculées à partir des vitesses ascensionnelles mesurées au moulinet dans les puits par Solexpert
Site	Puits	Profil	k_1 m/sec au voisinage du puits	k_2 m/sec dans un large rayon	k_1 m/sec dans le rayon du puits
VOUVRY	A	vers l'amont transversal	$1,39 \cdot 10^{-3}$ $1,49 \cdot 10^{-3}$	$3,10 \cdot 10^{-3}$ $2,88 \cdot 10^{-3}$	mesures après pompage $2,10 \cdot 10^{-3}$
	B	—	—	—	$1,50 \cdot 10^{-3}$
	C	vers l'amont transversal	$1,51 \cdot 10^{-3}$ $1,52 \cdot 10^{-3}$	$2,35 \cdot 10^{-3}$ $2,16 \cdot 10^{-3}$	$1,20 \cdot 10^{-3}$
PORT-VALAIS	A	—	—	—	mesures avant pompage 3×10^{-3}
	B	vers l'amont vers l'aval transversal	$2,22 \cdot 10^{-3}$ $2,21 \cdot 10^{-3}$ $2,22 \cdot 10^{-3}$	$10,2 \cdot 10^{-3}$ $7,4 \cdot 10^{-3}$ $7,5 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$
	C	—	—	—	$2,0 \cdot 10^{-3}$

Fig 9. — Tableau comparatif des perméabilités des alluvions déterminées par diverses méthodes.

En effet, pompons un débit Q dans le puits filtrant assez faible pour que la perte de charge dans le tubage soit négligeable par rapport au rabattement Z . La mesure des vitesses verticales au micromoulinet fournit le débit Q_i par tranche d'épaisseur E_i . La perméabilité de cette tranche du terrain est :

$$K_i = \frac{Q_i \ln \cdot R/r}{2\pi E_i Z} \quad \text{où } Q_i = v_i S$$

avec Z = rabattement lors du pompage

R = rayon d'action

r = « rayon efficace » du puits

\ln = logarithme népérien

S = section du puits

v_i = vitesse ascensionnelle dans la tranche i

Q_i = débit dans une tranche

Le logarithme du rapport R/r qui intervient varie dans des limites assez étroites et on admet généralement :

$$R = 500 r, \text{ soit approximativement : } \ln R/r \cong 2\pi$$

d'où :

$$K_i \cong \frac{Q_i}{E_i Z} = \frac{S v_i}{E_i Z}$$

Ces mesures, répétées avant et après pompage ont montré : que la nappe phréatique est *unique sans échanges verticaux* ; que les alluvions ont une perméabilité

qui varie passablement avec la profondeur à Yverne et peu à Port-Valais.

Ils ont également permis un contrôle du calcul des perméabilités à partir d'une autre méthode.

Comparaison des résultats pour la perméabilité

Les valeurs moyennes de la perméabilité des alluvions, à l'exclusion du lit du Rhône, ainsi que les écarts des valeurs obtenues par différentes méthodes ressortent du tableau 9 ci-après.

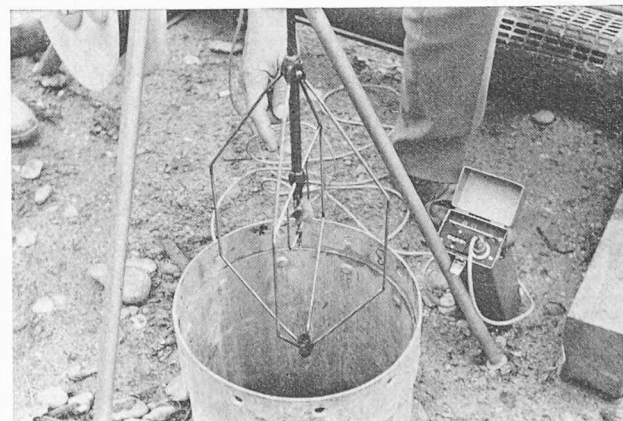


Fig. 10. — Micromoulinet à axe vertical à compte-tours électronique pour la mesure des vitesses ascensionnelles dans les puits de pompage (Solétanche).

Puits aval C (rive gauche)

(28 Septembre 1965)

$$Q = 6.35 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Z = 0.91 \text{ m}$$

$$S = 68.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

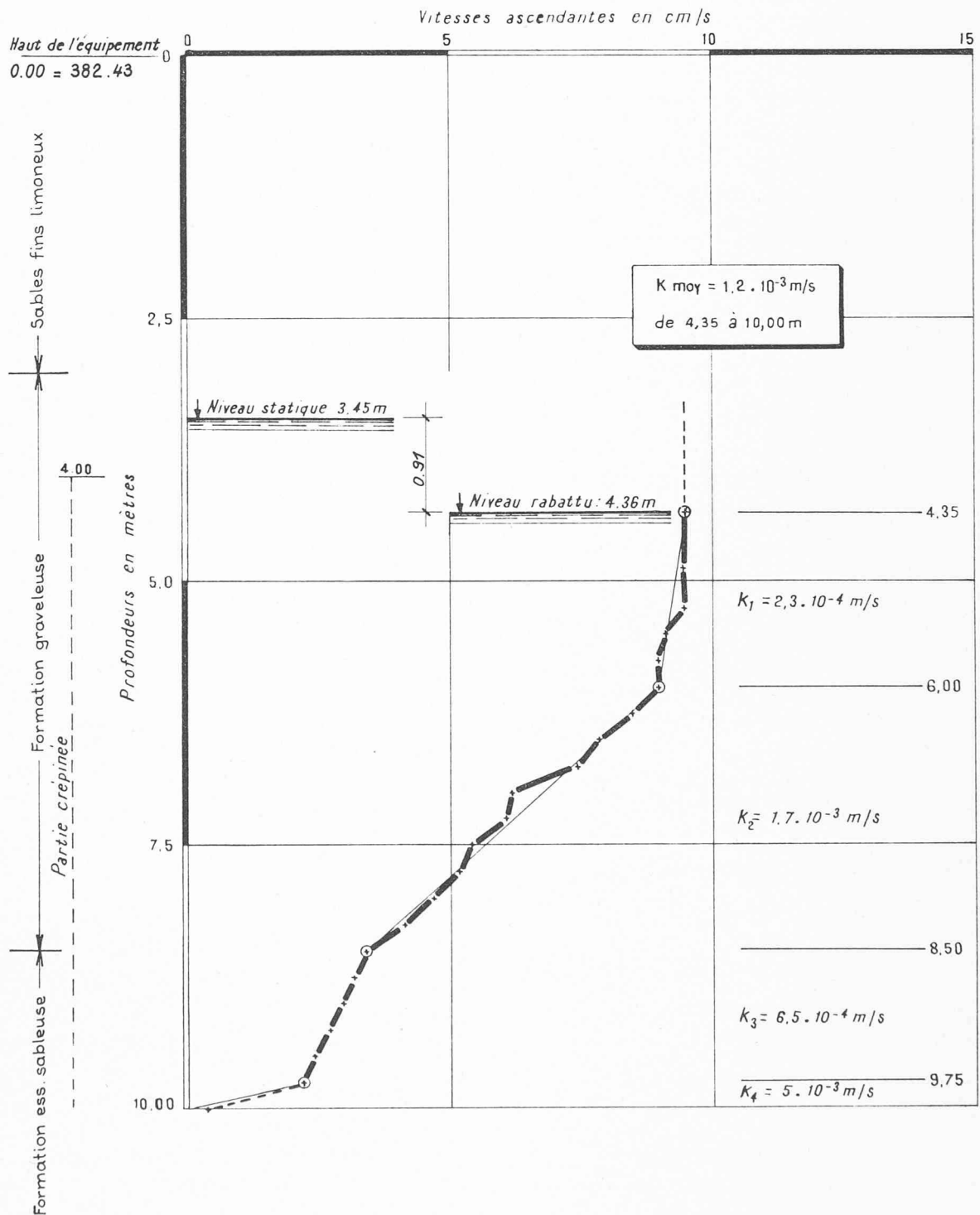


Fig. 11. — Diagramme des vitesses ascensionnelles dans le puits aval C' à la station d'essai d'Yvorne.

Mesure de la résistivité [7 et 8]

La méthode de mesure mise au point par « Géoconsult » consistait à descendre une sonde dans chaque piézomètre (fig. 12) et à mesurer « in situ » la résistivité et en suivre l'évolution avant et pendant les pompages, voire après.

L'inverse de la résistivité, c'est-à-dire la conductivité, caractérise la minéralisation de l'eau. Faible pour de l'eau glacière du Rhône, elle augmente dans le sol d'autant plus que l'eau circule plus lentement. Il n'est donc pas étonnant que d'un piézomètre à l'autre il y ait des variations sensibles.

Pour chaque profil on a calculé la valeur moyenne pondérée de la résistivité qui résulte de la distance entre les points de mesures. Celle-ci est reportée sur divers profils en travers et en long. Ces profils (voir fig. 13), à leur tour, permettent de calculer par intégration la résistivité moyenne de l'eau souterraine comprise dans le bloc de terrain délimité par la zone d'appel d'eau que l'on a calculée compte tenu de la porosité du sol et du volume d'eau extrait depuis le début du pompage. On constate que la conductivité, c'est-à-dire la minéralisation, baisse au voisinage des puits filtrants.

Nous avons donc songé à utiliser ce contraste, comme l'avait suggéré Herder [2], en mesurant la conductivité de l'eau pompée qui est un mélange de l'eau du Rhône et de l'eau de la nappe.

Soit : C_0 = conductivité de l'eau dans les puits de pompage à la station de jaugeage ;

C_1 = conductivité moyenne de l'eau souterraine ;

C_2 = conductivité de l'eau du Rhône ;

Y = proportion venant du Rhône ;

$X = 1 - Y$ = proportion venant de la nappe phréatique.

En admettant que le mélange est entièrement dissocié, c'est-à-dire qu'il ne provoque ni précipitation ni dégagement ou absorption gazeuse, ce qui n'est pas toujours le cas, on obtiendra :

$$X = \frac{C_0 - C_2}{C_1 - C_2} \quad \text{et} \quad Y = 1 - X = \frac{C_0 - C_1}{C_1 - C_2}$$

Application : Prenons les données du 25.9.65 ci-dessous.

$C_0 = 1/82$ mélange au bac

$C_1 = 1/66$ nappe phréatique

$C_2 = 1/197$ Rhône

$$X = \frac{0,012 - 0,005}{0,015 - 0,005} = 7/10.$$

La nappe fournit les 7/10 du débit total.

Yvorne - Vouvry

Date	Mélange au bac ρ Ohm \times m	Nappe moyenne pondérée ρ 1 Ohm \times m	Rhône ρ 2 Ohm \times m	Observations
15.9.65	84	67	197	Début pompage
16.9.65	82	77	210	Début pompage
20.9.65	80	72	193	Pendant pompage
25.9.65	82	66	197	Fin pompage

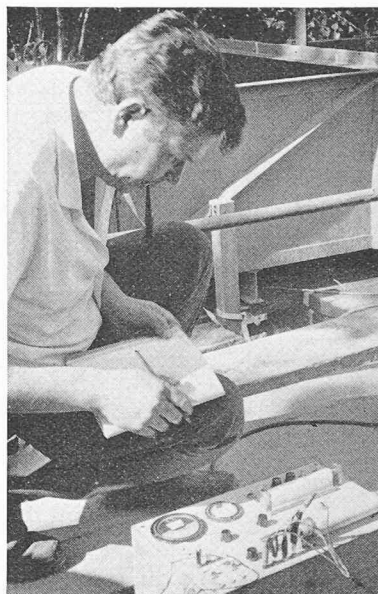


Fig. 12. — Mesure de la résistivité des eaux souterraines par « Géoconsult » (R. Treyvaud).

Port-Valais - Noville

Date	Mélange au bac ρ Ohm \times m	Nappe moyenne pondérée ρ 1 Ohm \times m	Rhône ρ 2 Ohm \times m	Observations
14.10.65	—	63	120 (11.10)	Avant tout pompage
25.10.65	94	62,7	136 (23.10)	Fin pompage B
10.11.65	94	54,3	140 (11.11)	Pendant pomp. A + B + C
29.11.65	—	50	142	Après tout pompage

Sans attacher une valeur trop absolue aux chiffres trouvés, on peut dire que les débits qui parviennent aux pompes provenaient donc peu du Rhône à Yvorne (1/4 à 1/3) et beaucoup du Rhône à Port-Valais (2/3 à 3/5).

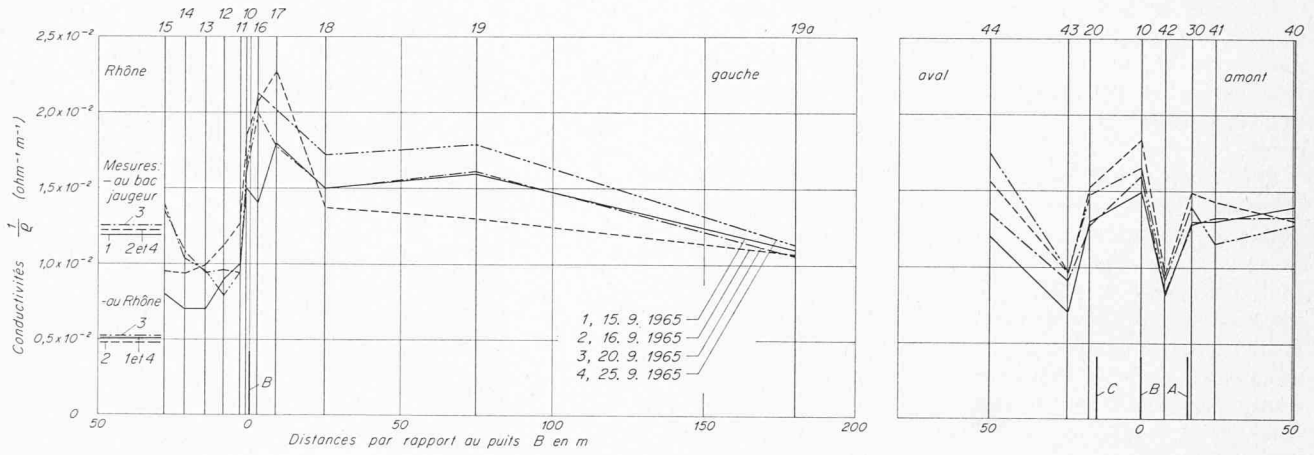
Cette conclusion confirme bien les observations mentionnées précédemment quant au colmatage du lit.

Si nous traitons plus en détail ces résultats, c'est que nous pensons que la méthode a fourni dans le cas particulier des résultats tout à fait intéressants. Il faut toutefois prendre garde aux variations saisonnières, qui peuvent perturber les calculs si les mesures ne sont pas suffisamment proches dans le temps.

Il est également confirmé, comme l'avait signalé A. Mornod [9], que la minéralisation de la nappe augmente à mesure qu'on s'éloigne du Rhône, ce qui indique que le Rhône participe bien à l'alimentation de la nappe souterraine.

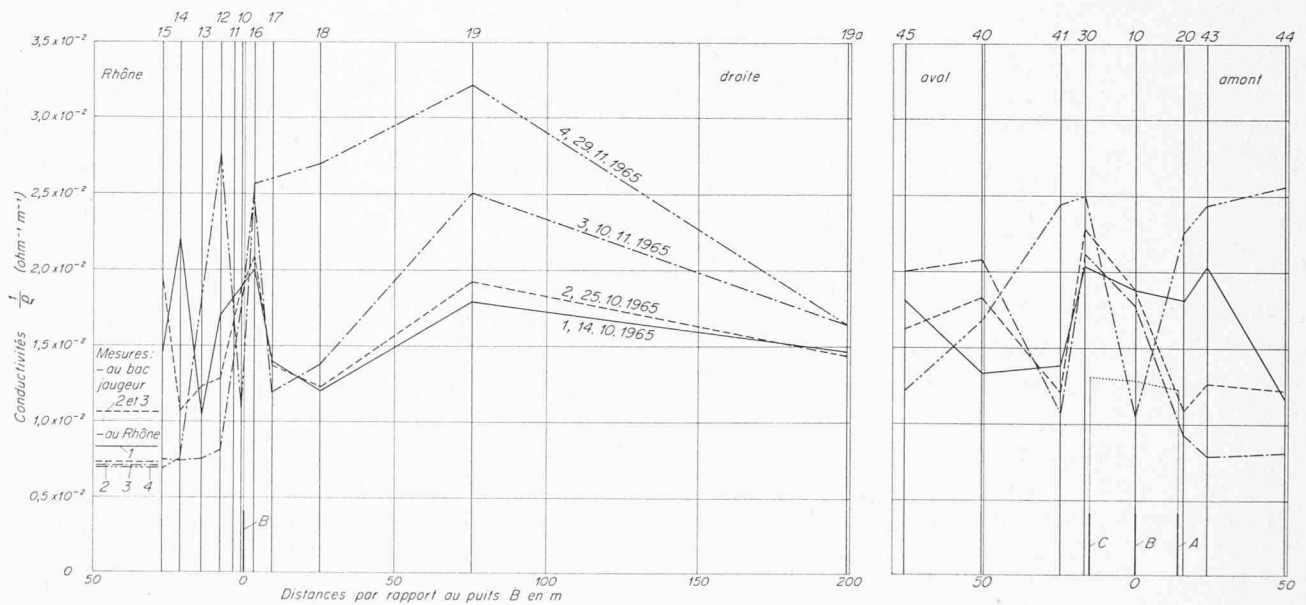
Les mesures de résistivité échelonnées de mètre en mètre dans les piézomètres à Port-Valais ou ailleurs ont montré que la minéralisation est plus forte en surface. C'est l'effet de l'évaporation superficielle qui se manifeste ainsi avant les pompages. Après la conductivité est identique à tous les niveaux, probablement sous l'effet du brassage.

Site d'Yverne



- 1 : Mesures au 1^{er} jour de pompage dans les puits A, B et C
- 2 : Mesures au 2^e jour de pompage dans les puits A, B et C
- 2 : Mesures au 6^e jour de pompage dans les puits A, B et C
- 4 : Mesures au 11^e jour de pompage dans les puits A, B et C

Site de Port-Valais



- 1 : 14. 10. 1965 Mesures avant tout pompage
- 2 : 25. 10. 1965 Mesures au 10^e jour de pompage dans puits B
- 3 : 10. 11. 1965 Mesures au 5^e jour de pompage dans puits A, B et C
- 4 : 29. 11. 1965 Mesures au 17^e jour après fin de pompage

Fig. 13. — Diagramme des conductivités dans les profils à Yverne et à Port-Valais.

Mesures de température [7 et 8]

Bien qu'une campagne complète de mesure ait été faite dans le même but que les mesures de résistivité à diverses profondeurs (tous les 1 m) dans les piézomètres, il a fallu bien vite constater que le contraste était trop faible pour permettre de déterminer les proportions d'eaux d'origines différentes. Nous indiquons, à titre d'orientation, quelques valeurs calculées à partir des observations.

Température extérieure annuelle moyenne à Bâle, 317 m.

Période 1910-1950 9°3

Yvorne — les 14 et 15 septembre 1965

Surface de la nappe	max.	15°
	min.	10°
	moyenne	12°55 (28 mesures)
Fond des piézomètres	max.	11°7
	min.	9°1
	moyenne	9°66 (28 mesures)
Gradient de		
0 à 3 m sous nappe		-2,9°, soit 0,97°/ml
3 à 6 ou 7 m sous nappe		0,12°/ml
Rhône		9°4 (le 14 septembre) et 10°35 (le 15 septembre)

Port-Valais — Après essais de pompage le 29 novembre 1965

Surface de la nappe	max.	10°4
	min.	7°8
	moyenne	9°46
Fond des piézomètres long. 10 m	max.	10°
	min.	9°1
	moyenne	9°48
8,5 m dans la nappe		
Température du Rhône		3°2 le 29.11.65 4°9 le 11.11.65
Température de l'eau pompée le 11.11.65		9°7

L'influence de la température extérieure est prépondérante. Le degré géothermique varie avec la saison. Il est négatif en septembre (chaud) ; la surface de la nappe est alors plus chaude que le fond, dont la température est voisine à 0,4° près de la moyenne annuelle à Bâle. Les variations thermiques saisonnières de l'atmosphère se font sentir jusqu'à une profondeur de 3 à 4 m en dessous de la surface de la nappe à Yvorne, soit à une profondeur de 4,50 à 5,50 sous la surface du sol.

Entre la mi-septembre et fin novembre, la température superficielle de la nappe a baissé de 3°1 et celle en profondeur de 0,2° seulement.

Bien que d'après les déterminations faites au moyen des mesures de résistivité le Rhône livre la plus grande partie de l'eau pompée à Port-Valais, la température de celle-ci (9°7) est très supérieure à celle du Rhône (4°9). On devrait donc admettre que l'eau du fleuve se réchauffe assez rapidement dans le sol.

Les mesures de température dans le cas particulier se prêtent mal à la détermination des proportions respectives d'eaux d'origines diverses.

Le cadre réservé à cet exposé nous interdit de donner de façon détaillée les résultats complets de ces mesures qui, à d'autres égards, peuvent présenter un grand intérêt.

Perméabilité des terrains formant le lit du fleuve

Pour obtenir un dernier recoupement des observations, nous avons procédé, en basses eaux, à l'examen des couches formant le lit du fleuve.

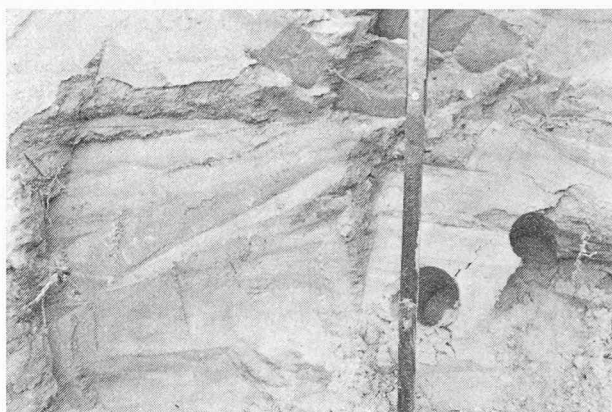


Fig. 14. — Prélèvement dans le limon pour essai de perméabilité sur échantillon non dérangé.

Alors qu'à Yvorne le lit est formé de limons ou de graviers à granulométrie étendue, nous avons trouvé à Port-Valais des couches de graviers, à structure ouverte, très perméables (fig. 15) dans le lit même.

Les résultats d'essais de perméabilité sur échantillons intacts prélevés (fig. 14) par carottage sont résumés dans la figure 18.

On constate que les matériaux tapissant le lit sont beaucoup plus étanches que les alluvions profondes.

Le limon qui se dépose en période de décrue se superpose aux graviers qui sont charriés en pleine crue et forment des lits alternés souvent érodés par la crue suivante (fig. 16). Il n'est pas exclu que les eaux de nappe qui retournent au Rhône à Port-Valais seulement en période de basses eaux contribuent à l'érosion des couches de matériaux fins plus étanches et empêchent, dans une certaine mesure, le colmatage du lit.

Corrélations entre les fluctuations du niveau du Rhône et celui de la nappe phréatique

Les niveaux piézométriques et ceux du Rhône sont soumis à des variations saisonnières. Nous avons tenté en vain d'établir une corrélation étroite sur les mesures d'ensemble faites pendant deux saisons par CETP.

Par contre, aux emplacements des stations d'essai de pompage, les mesures très serrées ont permis de tracer les variations des piézomètres en fonction du temps (1 mesure par heure) et de constater certaines relations (fig. 17).



Fig. 15. — Structure ouverte perméable dans les alluvions tapissant le lit du Rhône (Port-Valais).



Fig. 16. — Destruction par érosion d'une couche de limon déposée par la décrue précédente (Port-Valais).

Site	Lit du Rhône (détermination sur éprouvettes)		Alluvions encaissantes de la plaine (détermination par pompage)
	Fond	Entre épis ou haut de digue	
Yvorne (automne 1965) Port-Valais (printemps 1966)	(pas accessible)	$4,6 \times 10^{-5}$	2 à 3×10^{-2}
	6×10^{-4}	2 à 5×10^{-5}	7 à 10×10^{-2}

Fig 18. — Tableau. Comparaison des perméabilités des alluvions aux sites d'Yvorne et de Port-Valais.

Les ondes provoquées par les variations de charge périodiques de l'usine de Lavey durant quelques heures se manifestaient dans le Rhône puis se transmettaient dans la nappe de façon de plus en plus amortie à mesure que les piézomètres étaient plus éloignés de la berge.

Un déphasage, pratiquement nul à Vouvry, était appréciable à Port-Valais.

On peut tenter d'expliquer cette différence par le fait que la hauteur d'ascension capillaire en dessus de la nappe phréatique est de l'ordre de $\frac{1}{2}$ m à Vouvry (fig. 19) et presque nulle à Port-Valais.

Tant que les ondes dans le Rhône ont une hauteur inférieure à l'épaisseur de la nappe capillaire, les différences de pressions se transmettent sans mouvement d'eau appréciable et quasi instantanément.

L'étude des variations de nappe en régime transitoire sous l'effet d'onde artificielle créée dans le Rhône aurait pu être un procédé élégant pour déterminer indirectement la transmissivité du sol entre le Rhône et les alluvions en bordure.

Ce problème a été traité par J. G. Ferris [5] et résolu pour des ondes sinusoïdales, telles que les marées.

Soit, avec les notations de Castany [12]

$t_0/2$ = durée de passage de l'onde dans le fleuve,

h_0 = la hauteur de l'onde par rapport au niveau moyen du fleuve,

h_x = la hauteur de l'onde souterraine mesurée à la distance x du fleuve dans un piézomètre,

t_x = le temps de propagation de l'onde souterraine à partir du temps de passage du maximum dans le fleuve (entre la berge et le piézomètre à la distance x)

on a

$$h_x = 2h_0 e^{-x\sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}}$$

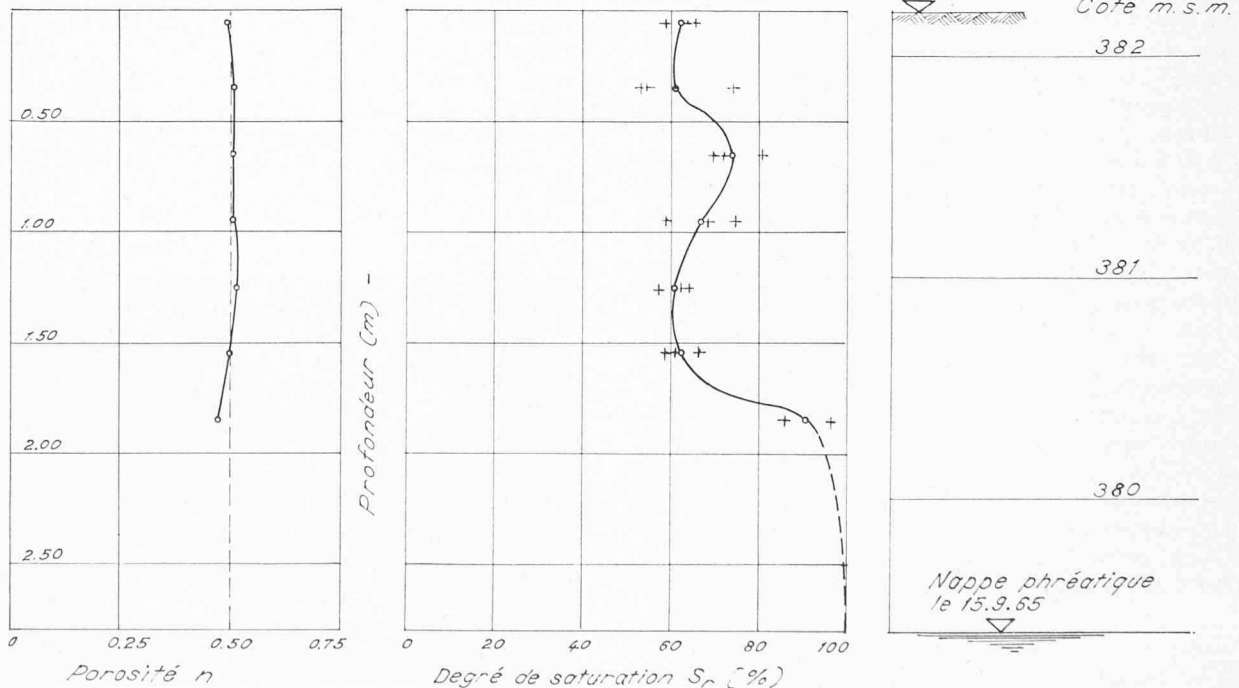
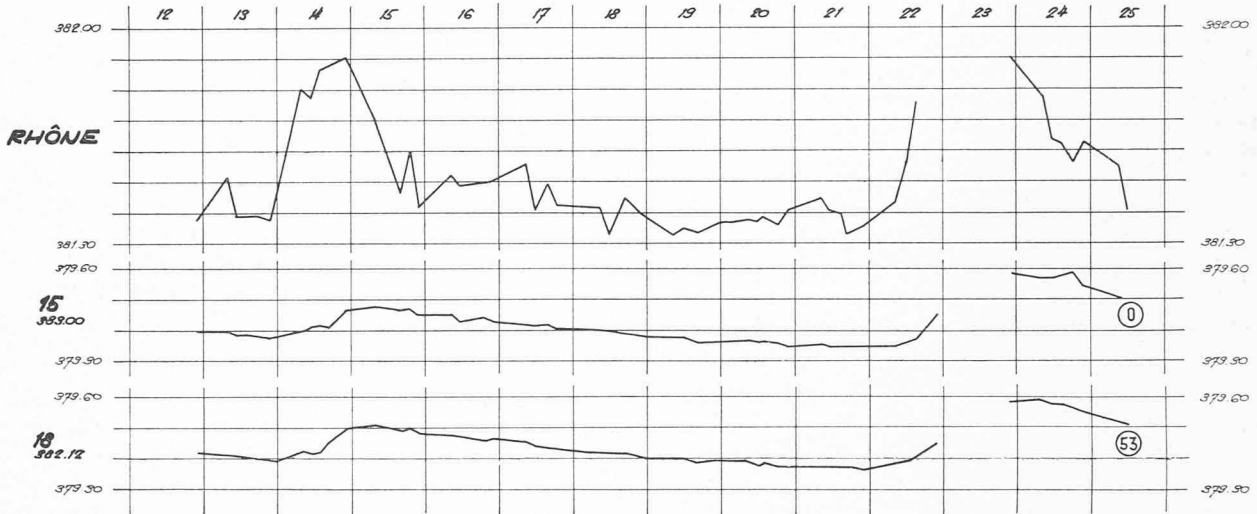


Fig. 19. — Porosité et degré de saturation du sol en dessus de la nappe au site d'Yvorne.

SITE D'YVORNE

AOUT 1965



SITE DE PORT-VALAIS

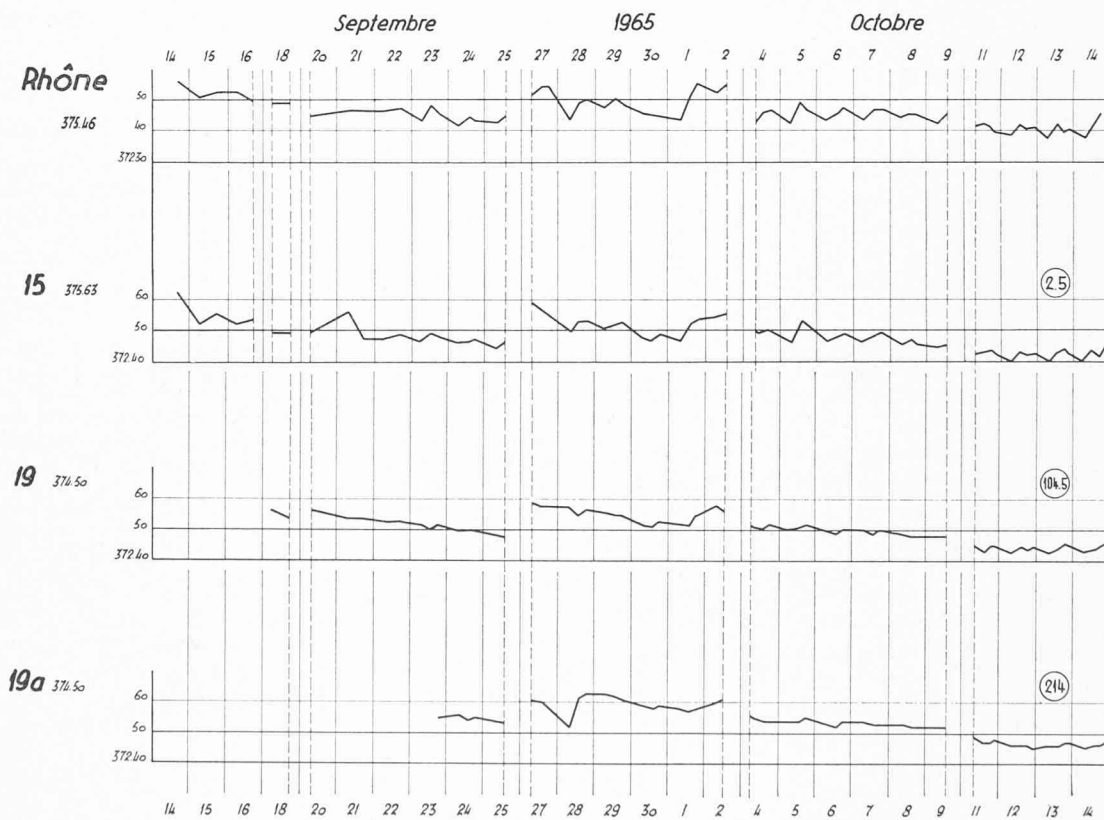


Fig. 17. — Corrélation entre les variations du niveau du Rhône et celles de la nappe à distance croissante du fleuve. Sites d'Yvorne et de Port-Valais.

$$t_x = x \sqrt{\frac{t_0 S}{4\pi T}}$$

Connaissant t_0 , h_0 , x et h_x on peut calculer, en se donnant une valeur approchée du coefficient d'emmagasinement S , la valeur du coefficient de transmissivité $T = KH$.

Les valeurs h_0 , t_0 et h_x peuvent être relevées sur des diagrammes analogues à ceux de la figure 17.

V. Conclusions

Les essais de pompage effectués en automne 1965 ont permis de compléter les études antérieures concernant la nappe phréatique. Les essais ont en effet apporté des renseignements fondamentaux sur la relation qui existe entre le Rhône et la nappe.

Ces essais ont montré notamment que :

- le lit du Rhône et la nappe sont séparés par une couche d'alluvions semi-perméables plus ou moins colmatés, mais dont la perméabilité est généralement beaucoup moins grande que celle des terrains alluvionnaires de la plaine du Rhône dans laquelle circule la nappe ;
- dans des terrains de limon fin, la frange capillaire saturée a une épaisseur de l'ordre d'un mètre ; elle est surmontée d'une couche de terrain dont les pores retiennent encore une forte proportion d'eau ;
- en été, le niveau de la nappe est en tous points plus bas que le plan d'eau du Rhône, alors qu'en hiver son niveau s'élève sur certains tronçons au-dessus du niveau du Rhône ;
- dans les tronçons où le lit du Rhône est colmaté, le raccord de la nappe au plan du cours d'eau est brutal, il n'y a pas d'exhaussement progressif de la nappe lorsqu'on s'approche des berges.

Il en résulte que les oscillations du plan d'eau du Rhône sont généralement amorties en se transmettant sur la nappe, sauf pour de petites oscillations qui n'entraînent pas de déplacement d'eau dans la frange capillaire.

Par ailleurs, l'indépendance relative du Rhône et de la nappe dans un tronçon colmaté a été mise en évidence par l'observation sur une rive d'un abaissement de la nappe pendant le pompage sur l'autre rive.

En outre, les coefficients de perméabilité respectifs des différentes couches ont pu être déterminés, ce qui permettra le calcul des débits de fuite lors de l'établissement du projet d'exécution.

Enfin, par des mesures géoélectriques des eaux en présence, on a déterminé dans les pompages la proportion respective des eaux d'origines diverses. Ces mesures permettront au besoin d'estimer la quantité d'eau livrée par le Rhône à la nappe.

Les données qui précèdent permettent de préciser les précautions qu'il faudra prendre pour construire les retenues projetées. Il s'agira en effet simplement d'empêcher le plan d'eau de la nappe souterraine de monter au voisinage des digues surélevées et, éventuellement, de réaligner la nappe dans le cas d'envasement progressif de la retenue (Yvorne).

Les essais de pompage, dont les puits filtrants disposés en file parallèle à la berge matérialisent en quelque sorte un contre-canal latéral, ont montré qu'il est possible de commander le niveau phréatique dans la plaine. La meilleure preuve en est donnée par un des essais dont le rayon d'action s'étend par-dessous le lit du Rhône sur la rive opposée. Nous avons estimé sommairement le débit de

fuite du Rhône surélevé par les retenues. Ce débit ne conduirait pas à des contre-canaux de dimensions inacceptables.

Nous ne voudrions pas manquer de souligner que le Bureau d'études de l'aménagement du Bas-Rhône, qui a assumé la charge financière d'essais très coûteux, contribue à servir l'intérêt général des populations riveraines et à l'avancement de l'hydrologie en nous autorisant à en publier les principaux résultats.

Il convient de l'en remercier ici.

La direction des essais était assumée par M. M. Urech, ingénieur auprès d'Electrowatt.

Le dispositif des pompages et le choix des sites ont été déterminés par H. B. de Cérenville, ingénieur-conseil, et J. Norbert, géologue.

Les puits filtrants et les pompages ont été exécutés par « Swissboring » en collaboration avec « Solexpert international », qui a mis son personnel et ses appareils à disposition pour les mesures au micromoulinet.

Les méthodes de mesures thermiques et électriques ont été mises au point et exécutées par « Géoconsult », Lausanne.

Le Bureau Rey-Bellet, à Saint-Maurice, a reporté les niveaux piézométriques sur les diagrammes au fur et à mesure des essais.

L'auteur de ces lignes s'est vu chargé de la supervision et de l'interprétation d'ensemble des campagnes de mesures et d'essais, tâche délicate qui lui a été facilitée par la parfaite collaboration des personnes et des organismes mentionnés ci-dessus.

Les conclusions auxquelles il a abouti quant à l'effet d'une surélévation du plan d'eau du Rhône sur la nappe souterraine figurent « in fine » dans l'exposé de M. Urech et M. Rescher [6], ce qui le dispense de les mentionner ici.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] F. SOEIRO : *Contribution à l'étude du mouvement de l'humidité dans les milieux poreux isothermes.*
- [2] Dr W. HERDER : *Über Erscheinungen und Veränderungen des Grundwassers in der Zone Wettingen-Baden nach dem Aufstau der Limatt.* Wasser und Energie Wirtschaft N° 11, 1965.
- [3] H. CAMBEFORT : *Contribution à l'étude du rabattement des nappes aquifères.*
- [4] H. CAMBEFORT : *L'alimentation des nappes d'eau par les rivières.*
- [5] J. G. FERRIS : *Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissibility.* Ass. Internat. d'Hydrologie. Sc. gén., Bruxelles, II, p. 148-155 (1951).
- [6] O. J. RESCHER et M. URECH : *Aménagement du Bas-Rhône. Contribution à l'étude de la nappe phréatique.* Bulletin technique de la Suisse romande, n° 17, 22 août 1970.
- [7] *Etude géothermique et géoélectrique dans les sondages sur la rive gauche du Rhône en aval d'Illarsaz*, 7 octobre 1963. « Géoconsult » (document interne non publié).
- [8] *Rapport sur une campagne de mesures géophysiques effectuées dans les forages de Port-Valais*, 5 décembre 1969. « Géoconsult » (document interne non publié).
- [9] A. MORNOD, hydrologue : *Carte des caractéristiques chimiques de la nappe phréatique du Rhône*, établie pour le Bureau de l'autoroute N 3 (document non publié).
- [10] *Mesure des vitesses d'écoulement dans les puits A¹, etc.* « Solexpert International », 13 octobre 1965 (document interne non publié).
- [11] J. NORBERT, géologue : *Aménagement du Bas-Rhône. Essais de pompage Yvorne et Noville.* Géologie, décembre 1965 (document interne).
- [12] CASTANY : *Traité des eaux souterraines.* Ed. Dunod.

Adresse de l'auteur :

J.-C. Ott, ingénieur-conseil,
Chemin Rieu 13, 1208 Genève.