

HYDROGÉOLOGIE DU CENTRE DE LIÈGE (*)

par A. MONJOIE (**)

(19 fig. dans le texte et 2 hors-texte)

RÉSUMÉ

La nappe alluviale de la Meuse a été étudiée dans le centre de Liège par 108 piézomètres et deux puits de pompage avec programme complet de tests. Ces recherches ont permis de localiser des axes de drainage préférentiel, des secteurs à fort gradient piézométrique, des zones de réalimentation. Leurs influences sur les captages, les travaux de génie civil, le régime de la nappe, etc, ont été chiffrées.

ABSTRACT

The alluvial water table of the Meuse has been studied in the centre of Liège. A complete programme of tests was applied using 108 piezometers and two wells. The axes of preferential drainage have been localised, as have sectors with high water table slopes, and zones of recharging. The influence of these factors on water supply, civil engineering works, and variation of the water table, has been quantified.

La nappe alluviale de la Meuse, sise dans les graviers fluviaux, constitue une des importantes ressources aquifères de la Belgique. Les captages y sont nombreux, alimentant les réseaux de distribution en eau potable notamment à Anseremme (800 m³/j), Yvoir (10.000 m³/j), Ben-Ahin (30.000 m³/j), Amay (4.000 m³/j), Haccourt (1.000 m³/j), etc... Comme eau industrielle, elle est exploitée intensivement par les usines situées dans la plaine alluviale.

Elle est susceptible de fournir des débits élevés et elle offre généralement une eau de composition chimique plus favorable et dans tous les cas plus constante dans le temps que le fleuve (A. Monjoie [4]).

Sous la Ville de Liège, elle est fortement exploitée. En plus des deux captages, actuellement à l'arrêt, du Service des Eaux de la Ville de Liège, au parc de la Boverie et à Droixhe, plusieurs dizaines de puits alimentent de gros consommateurs d'eau (grands magasins, lavoirs, industries, entrepôts, hôtels, hôpitaux, etc...).

Outre son importance comme ressource en eau, la nappe alluviale joue un rôle notable en Géologie de l'Ingénieur. Elle exige des travaux spéciaux lors des fondations profondes et ses fluctuations engendrent des tassements différentiels dans les horizons de limons tourbeux et dans les secteurs présentant des variations notables de faciès (graviers, sables et silts). (L. Calembert, [3]).

Toute modification de son régime, notamment par rabattement ou par barrage à son écoulement, doit faire l'objet d'études précises si on veut éviter des mécomptes.

(*) Communication présentée le 7 novembre 1972, manuscrit déposé le 26 juillet 1973.

(**) Maître de conférence, Université de Liège, Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences Appliquées, place du Vingt-Août 7, B-4000 Liège.

L'étude du régime hydrogéologique de cette nappe dans la région liégeoise a débuté il y a une dizaine d'années. Les reconnaissances réalisées pour le projet du Métro ont donné une impulsion nouvelle à cette étude (*). Dans cette note, nous bornerons à décrire le secteur du Centre de Liège où 38 sondages carottés équipés en double piézomètre (l'un dans la nappe alluviale, l'autre dans le bed rock), 70 piézomètres implantés dans la nappe alluviale et 2 puits de pompage avec programme complet de tests ont été réalisés (**).

1. *Allure générale de la nappe alluviale.*

La couche graveleuse située entre le bed rock houiller peu perméable et les limons fluviatiles pratiquement imperméables, présente de nombreuses variations de faciès (îlot de graviers, bras remblayés du fleuve, ...) qui engendrent des zones de circulation préférentielle de l'eau ou créent des secteurs de plus faible perméabilité.

La nappe est normalement alimentée par son impluvium direct, très réduit en ville, et surtout par les versants et elle se déverse dans le fleuve. A Liège, en raison des travaux (régularisation du fleuve, affaissements miniers, digues, captages, stations de démergement, etc...), le niveau du fleuve est supérieur à celui de la nappe alluviale et il alimente partiellement l'aquifère. De ce fait, l'écoulement de la nappe se fait vers l'aval plus ou moins parallèlement au fleuve avec des irrégularités fonction des caractéristiques de la nappe et de ses conditions limites.

Toutes les variations de perméabilité et de puissance de l'aquifère, l'existence de zones d'alimentation ou de drainage se traduisent nettement dans les surfaces piézométriques de la nappe.

En effet, la loi générale d'écoulement déduite de la loi de DARCY $v = k.i.$, $Q = k.i.s.$ montre qu'à égalité de débit et de puissance de l'aquifère, le gradient de la nappe est inversement proportionnel à la perméabilité du terrain, que des diminutions de section entraînent des variations inverses de gradient et que des variations de débit créent des fluctuations proportionnelles du gradient.

Si on étudie la surface piézométrique de la nappe alluviale du Centre de Liège, on observe clairement (voir fig. 1 hors-texte)

- que la nappe est captive sous les limons fluviatiles
- qu'il existe un fort gradient sur le versant traduisant le rôle de zone d'alimentation que joue celui-ci
- qu'un sillon de rabattement se dessine suivant l'axe rue de l'Official — rue Hors-Château; le gradient latéral est net, le gradient axial faible et témoigne d'une perméabilité élevée
- que vers l'Est existe une zone de perméabilité réduite se raccordant à la zone de suralimentation due à la Meuse.

Pour déterminer les caractéristiques de ces différents secteurs hydrogéologiques, 2 puits de pompage ont été réalisés, l'un rue de l'Official, dans l'axe de drainage, l'autre à St Georges, dans le secteur à perméabilité réduite.

(*) Nous remercions le Ministère des Communications — Service de Promotion des Transports Urbains et le Service des Transports Intercommunaux Liégeois qui nous ont confié cette étude.

(**) Travaux exécutés par la firme SOLETANCHE.

2. Essais de pompage.

Des essais complets ont été réalisés à différents paliers de débit avec enregistrement des rabattements en fonction du temps.

L'interprétation des tests a été faite par les formules de non équilibre de THEIS, simplifiée par la formule d'approximation logarithmique.

— En phase de pompage

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{x^2 S}$$

Δ = rabattement dans le piézomètre

Q = débit de pompage

T = transmissivité de l'aquifère, c'est-à-dire perméabilité \times épaisseur de l'aquifère

t = temps écoulé depuis le début du pompage

S = coefficient d'emmagasinement de la formation

x = distance piézomètre — puits

— En phase de remontée

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

t = temps écoulé depuis le début du pompage

t' = temps écoulé depuis l'arrêt du pompage

— Allure du cône de rabattement

$$\Delta = \frac{0,366 Q}{T} \log \frac{R}{x}$$

$$R = \text{rayon d'action du puits} = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}}$$

a. Puits de la rue de l'Official.

1. Caractéristiques du puits

Cote d'origine : 63,70 m

Profondeur : 12,30 m

Diamètre de perforation : 560 mm

Diamètre de tubage : 350 mm

Filtre : couronne de 10 cm de gravier 4,8 mm

Crépine entre 4 m et 12,30 m : diamètre 350 mm

2. Coupe géologique

Les terrains recoupés sont :

de 0,00 à 3,00 m : remblais

de 3,00 à 4,50 m : limon

de 4,50 à 8,00 m : gravier propre avec de 5 m à 5,30 m une passée sableuse

de 8,00 à 11,00 m : galets

de 11,00 à 12,30 m : bed rock houiller : schistes

3. Tests effectués

Les essais de pompage ont comporté (fig. 2 hors-texte) :

- pompage court au débit maximum (34 litres/sec) puis pompages caractéristiques à quatre paliers courts (2,2 litres/sec, 18,4 litres/sec, 20,8 litres/sec, 32 litres/sec) avec courtes remontées entre paliers et remontée complète à la fin (essais réalisés du 18 avril à 13 h au 19 avril à 7 h).
- pompage au débit 31,4 litres/sec, 22 litres/sec du 19 avril à 7 h au 19 avril à 23 h — arrêt pour incident technique —, courbe de remontée jusqu'au 21 avril à 6 h.
- pompage au débit de 30 litres/sec, 19,6 litres/sec du 21 avril à 6 h au 21 avril à 22 h, courbe de remontée jusqu'au 26 avril à 11 h.

La figure 3 donne la courbe caractéristique du puits. Les figures 4, 5 et 6 représentent quelques exemples de courbes de rabattement et de remontée, pour le puits et différents piézomètres.

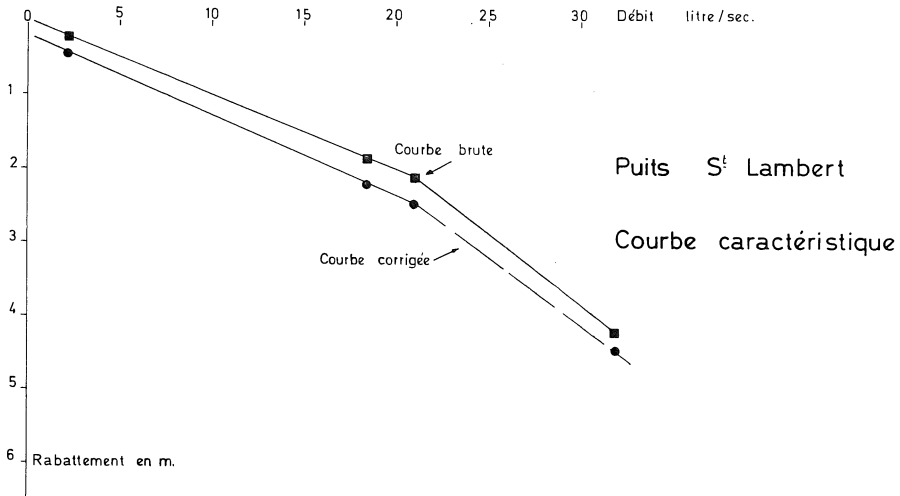


Fig. 3

Les valeurs de perméabilité calculées sont données au tableau I.

On constate, au premier pompage du 19-4-1972, une valeur maximum de transmissivité ($T = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$ — perméabilité $K = 5 \text{ à } 9 \cdot 10^{-3} \text{ m/sec}$) sur 1.7, 1.8, S 10, S 11, S 15, S 16, plus faible ($T = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$ et $K = 3 \text{ à } 4 \cdot 10^{-3} \text{ m/sec}$) ailleurs. De plus, à long terme, la transmissivité des secteurs plus perméables diminue pour se situer vers $1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$. L'allure du cône de rabattement donne une valeur moyenne de transmissivité de $0,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$, un coefficient d'emménagement $S = 2,2 \%$, un rayon d'influence moyen de 180 m (fig. 7).

Au pompage du 27-4-1972, les mêmes phénomènes se marquent mais de façon plus accentuée. Les transmissivités sont de l'ordre de $2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$ près du puits mais tombent à $0,50 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$, à long terme. Les courbes de remontée donnent une transmissivité moyenne de $0,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sec}$, un coefficient d'emménagement $S = 1,1 \%$, un rayon d'influence moyen de 220 m (fig. 8).

TABLEAU I

1 ^{er} pompage			2 ^e pompage	
	Rabattement	Remontée	Rabattement	Remontée
Puits			$2,16.10^{-2}$ m ² /sec	$1,7.10^{-2}$ — $0,2.10^{-2}$ m ² /sec
14	$2,5.10^{-2}$ à $1,7.10^{-2}$ m ² /sec		2.10^{-2}	
16	$1,05.10^{-2}$ m ² /sec		1.10^{-2} — $0,5.10^{-2}$	$0,2.10^{-2}$
17	$2,4.10^{-2}$ m ² /sec		$2,16.10^{-2}$	$0,25.10^{-2}$
18	$2,5.10^{-2}$ m ² /sec		$1,24.10^{-2}$	$0,1.10^{-2}$
19	$1,5.10^{-2}$		$0,81.10^{-2}$ — $0,6.10^{-2}$	$1,7.10^{-2}$ — $0,1.10^{-2}$
S10	$2,54.10^{-2}$		$2,16.10^{-2}$	$1,7.10^{-2}$
S11	$2,54.10^{-2}$ — $0,85.10^{-2}$		$1,7.10^{-2}$ — $0,5.10^{-2}$	$0,96.10^{-2}$ — $0,2.10^{-2}$
S12	$1,29.10^{-2}$		$1,24.10^{-2}$	$0,96.10^{-2}$ — $0,2.10^{-2}$
S13	$1,47.10^{-2}$		$2,16.10^{-2}$ — $0,8.10^{-2}$	$0,96.10^{-2}$ — $0,2.10^{-2}$
S14	$1,72.10^{-2}$		$0,8.10^{-2}$	$0,96.10^{-2}$ — $0,2.10^{-2}$
S15	$2,54.10^{-2}$ — $0,85.10^{-2}$		$1,4.10^{-2}$ — $0,6.10^{-2}$	$0,5.10^{-2}$ — $0,2.10^{-2}$
S16	$2,54.10^{-2}$		$2,16.10^{-2}$	$0,48.10^{-2}$
H5	$1,3.10^{-2}$		$2,9.10^{-2}$ — $0,4.10^{-2}$	
H6	$1,3.10^{-2}$			
H7	$1,3.10^{-2}$			
H8	$1,3.10^{-2}$		$2,9.10^{-2}$ — $0,4.10^{-2}$	

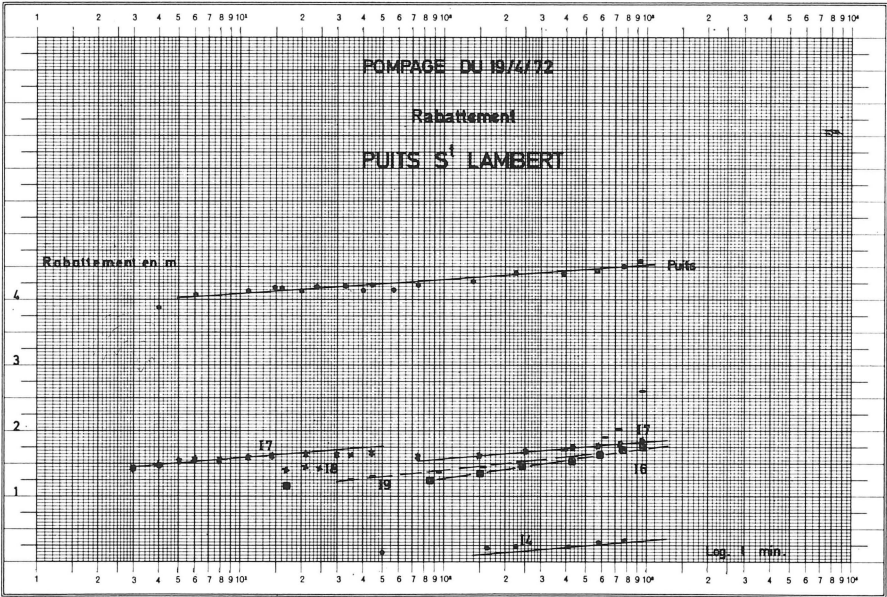


Fig. 4

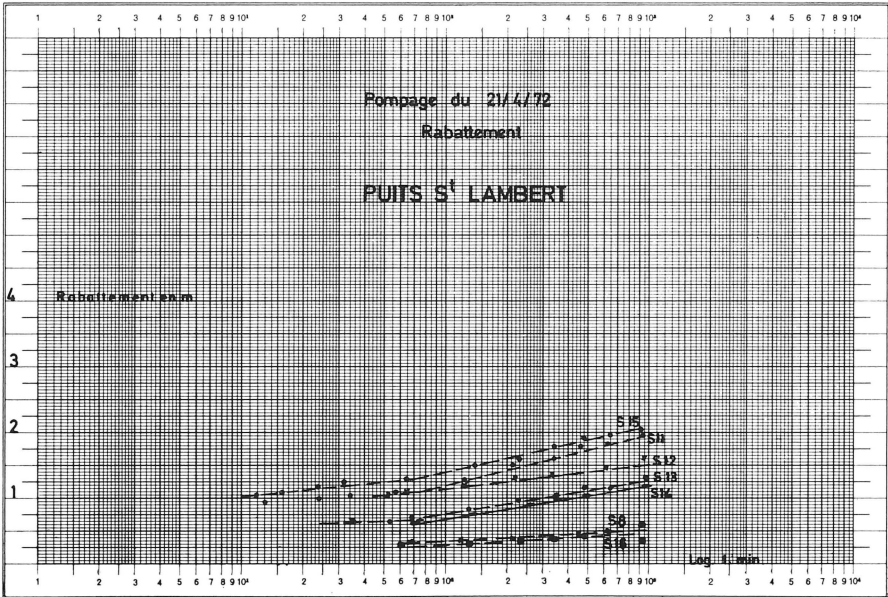


Fig. 5

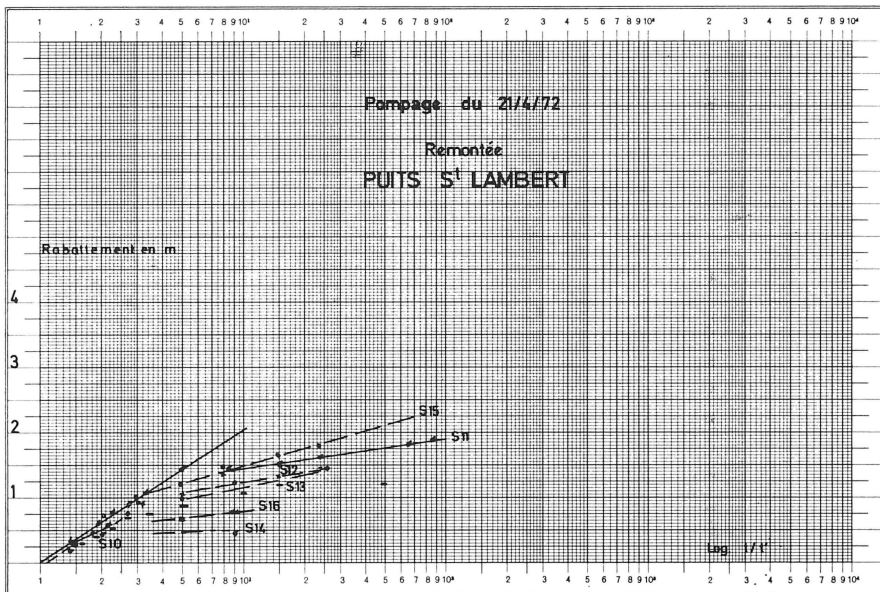


Fig. 6

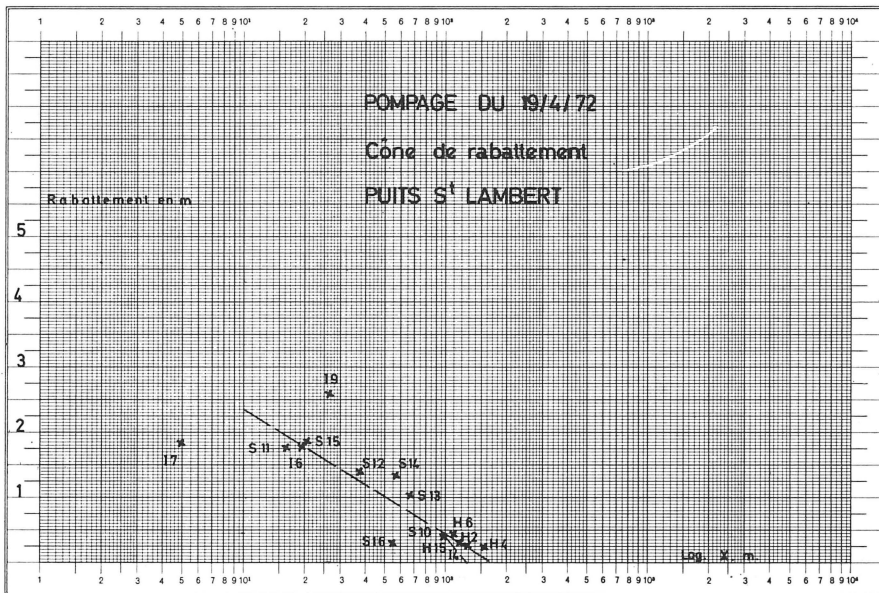


Fig. 7

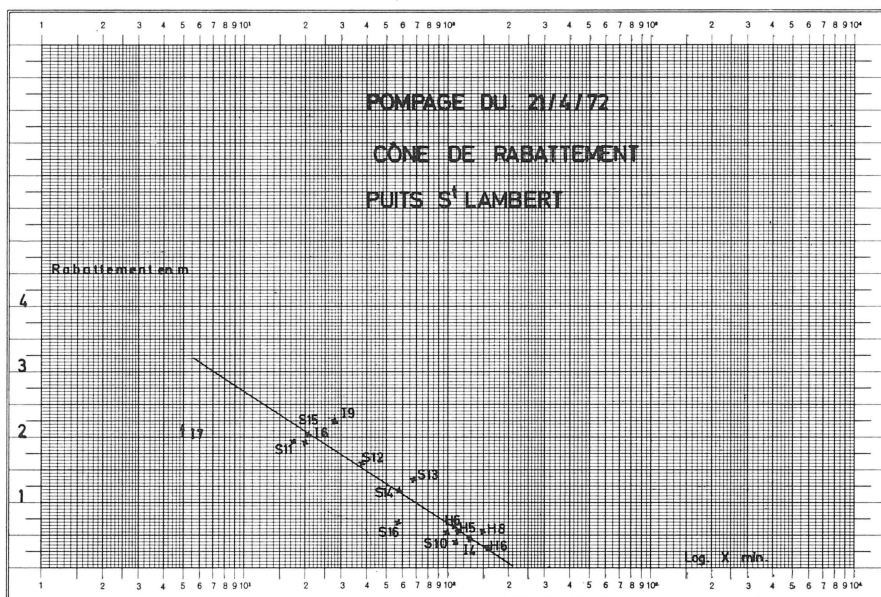


Fig. 8

En résumé, la nappe des alluvions présente un lit drainant dans le secteur du puits (1.7, 1.8, S 11, S 15). Le coefficient d'emménagement 1 à 2 % est faible car la nappe est captive en de nombreux endroits.

L'allure de la surface piézométrique en fin de pompage (fig. 9) et en fin de remontée (fig. 10) confirme ces caractéristiques. En pompage, le cône se déforme en direction des secteurs perméables. L'alimentation vient principalement du Nord et de l'Est, avec une barrière peu perméable au Sud (H5). En fin de remontée, le lit drainant, mal alimenté par les zones moins perméables qui l'entourent, n'a pas encore rétabli l'équilibre initial. Le secteur de H5 reste également déprimé. Il est à noter à ce sujet qu'après l'arrêt du pompage, le niveau du sondage S 8 continue à baisser, par drainage vers le cône de rabattement.

Quant à la nappe du bed rock, au repos, elle est légèrement en charge par rapport à la nappe des alluvions (+ 0,10 à 0,20 m) sauf en ST 10 (0 m) et en ST 13 (- 0,10 m). Sa surface piézométrique au repos est très plane à la cote 58,90 m, inclinant légèrement vers ST 10 (58,68 m). Lors du pompage, la nappe du bed rock réagit rapidement mais avec des rabattements de l'ordre de 50 % de ceux de la nappe des alluvions. Le cône de rabattement de la nappe du bed rock est assez régulier (fig. 9).

Analyses d'eau

L'eau du puits a fait l'objet de 9 *prélèvements* durant les tests (voir tableau II).

La composition chimique varie peu. Seule la teneur en matières en suspension diminue en cours de pompage ce qui est parfaitement normal.

Les teneurs en ions sont élevées : la dureté totale varie de 65,6 à 58,8° F, la dureté permanente varie de 57,6 à 40,4° F, la dureté varie de 7 à 23,4° F, la dureté calcique varie de 37,8 à 49,1° F, la dureté magnésienne varié de 15,7 à 21° F. Cl est assez stable : 8,1 à 85,2 mg/l et SO₄ également : 202 à 265 mg/l.

TABLEAU II

				mg/l	en degrés français							mg/l			
				pH	mat. susp.	Th	P	Th-P	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	TA	TAC	Cl ⁻	SO ₄ =	
Es P ₁	18.04.72	15 h 05	niveau 5.41	7,6	26,8	64,8	48,8	16,0	37,8	27,0	0	21,4	80,9	265,1	
	18.04.72	16 h 00	6.88	8,1	53,6	64,8	51,0	13,8	44,3	20,5	0	15,0	78,1	210,8	
	18.04.72	18 h 15	7.00	8,0	591,8	65,6	57,0	8,6	43,5	22,1	0	18,1	78,1	247,0	
	18.04.72	21 h 27	9.40	8,1	55,0	64,8	57,6	7,2	46,3	18,5	0	23,0	78,1	223,2	
	19.04.72	6 h 58	9.35	7,7	27,9	64,8	40,4	24,4	43,8	21,0	0	26,0	81,7	228,9	
(après 9 h 20 de pompage)		16 h 20	9.64	8,1	12,1	66,1	42,0	19,6	44,7	16,9	0	27,5	85,2	202,2	
	21.04.72	6 h 00	9.61	7,8	9,6	61,0	49,2	11,8	43,9	17,1	0	15,0	82,4	214,1	
	21.04.72	16 h 00	10.66	7,7	1,9	59,0	48,0	11,0	43,2	15,8	0	26,0	80,9	207,1	
	21.04.72	22 h 00	10.20	7,3	0,2	58,8	51,8	7,0	49,1	15,7	0	26,0	82,4	211,7	

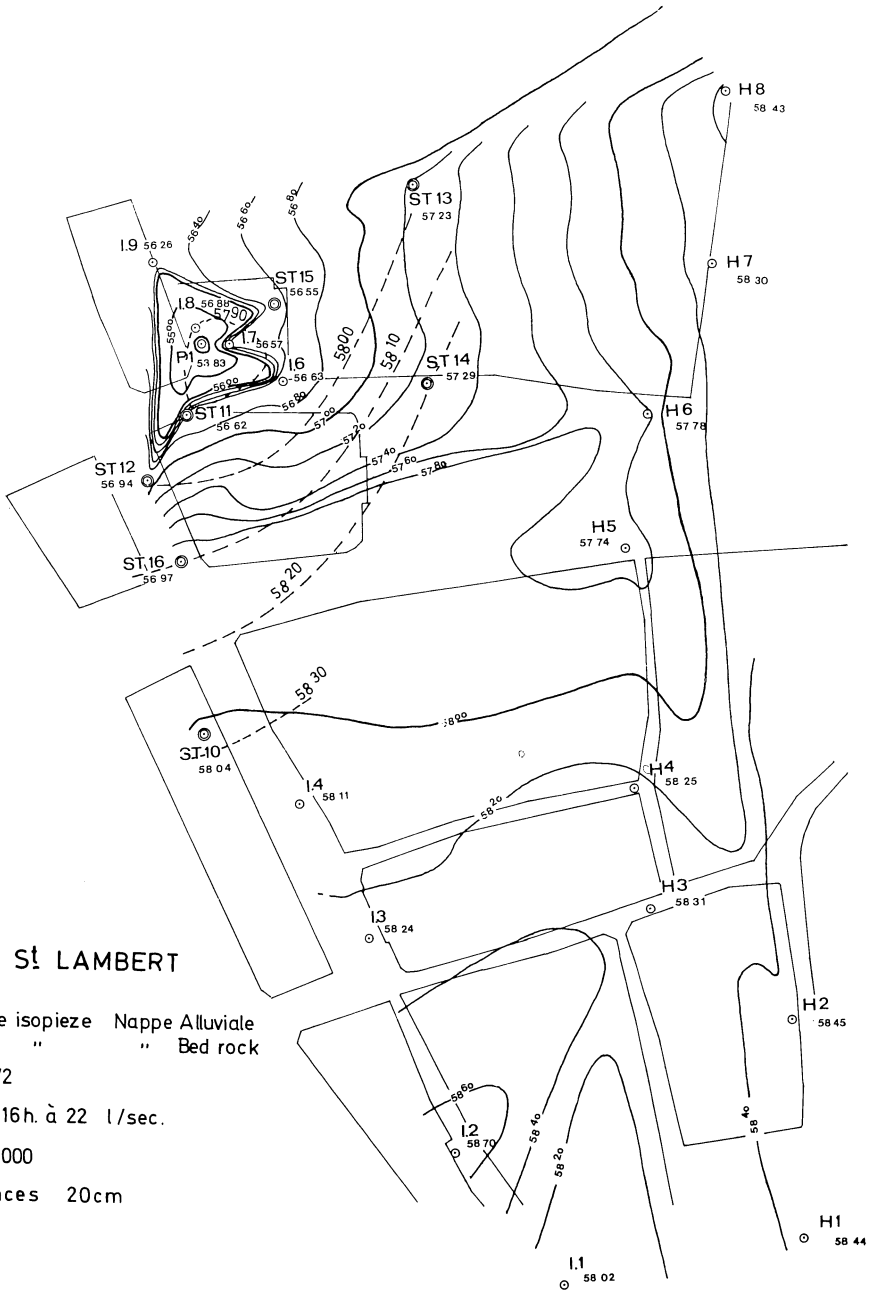


Fig. 9

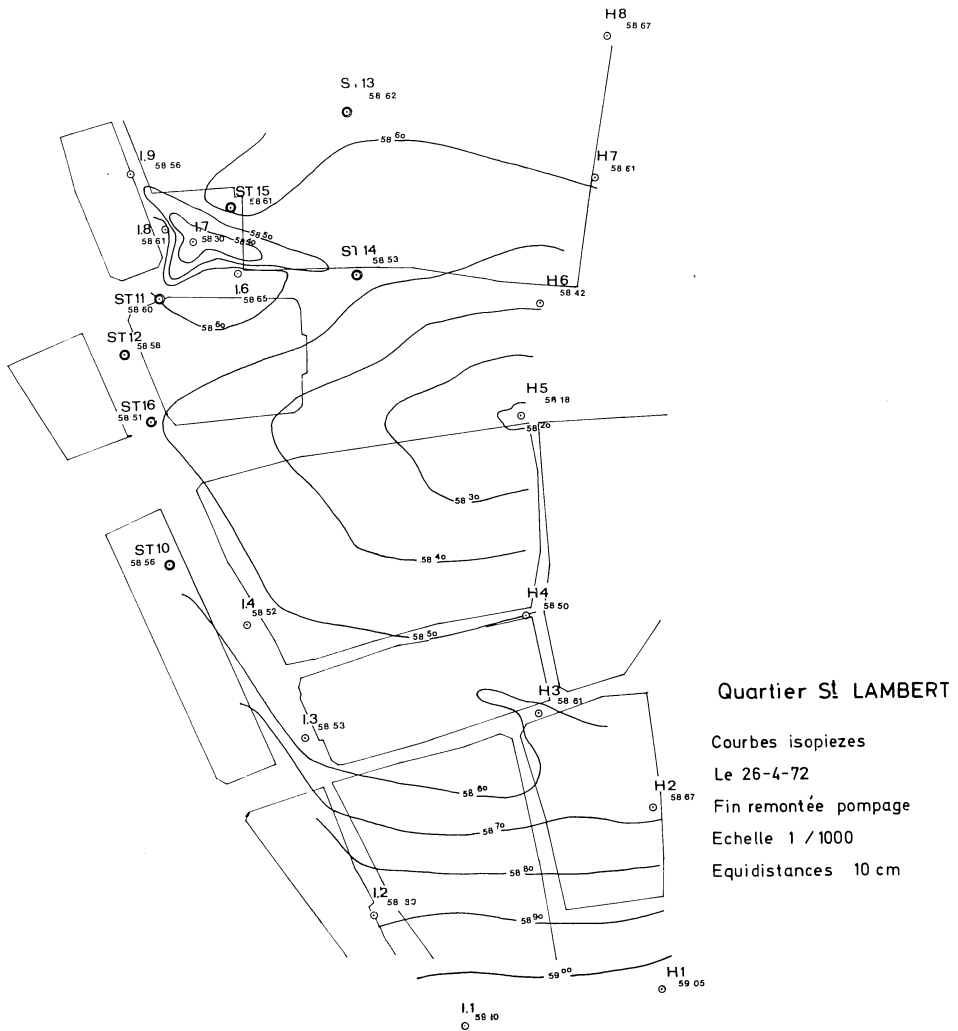


Fig. 10

On a donc affaire à une eau assez chargée en ions comme c'est généralement le cas en nappe alluviale sur substratum houiller, en bordure de versants et loin du fleuve.

b. Puits St Georges.

1. Caractéristiques du puits

Cote d'origine : 63,15 m

Profondeur : 9,50 m

Diamètre de perforation : 560 mm

Crépine entre 4 et 7,80 m : diamètre 350 mm

2. Coupe géologique

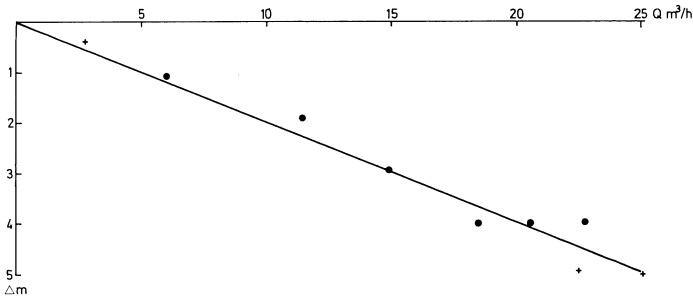
Les terrains recoupés sont les suivants :

- de 0,00 à 2,10 m : remblais
- de 2,10 à 5,60 m : limons
- de 5,60 à 6,00 m : sables fins
- de 6,00 à 8,80 m : alluvions graveleuses
- de 8,80 à 9,50 m : schistes (sommet du bed rock)

3. Tests effectués

- a. — pompage à 6 m³/h (débit corrigé 8,6 m³/h) durant 30 minutes; le 1-4-1972 : enregistrement de la courbe de remontée
 - pompage caractéristique à 6 m³/h (8,6), 14,9 m³/h (2,16), 22,8 m³/h (33,8), 20,5 m³/h (31); le 2-4-1972 : enregistrement de la courbe de remontée
- b. — pompage au débit moyen de 18,4 m³/h (débit moyen corrigé 26,7 m³/h) durant 44 heures les 3, 4 et 5-4-72, du 3-4 à 14 h 55' au 5-4 à 10 h 47'
 - Enregistrement de la courbe de remontée
 - Curage du puits permettant de redescendre la pompe d'environ 1 m : seconde phase des tests.
- c. — pompage caractéristique à 2,75 m³/h (3,27), 11,5 m³/h (13,7) et 24,7 m³/h (29,3)
 - Enregistrement de la courbe de remontée
- d. — pompage au débit moyen de 22,6 m³/h (26,4 m³/h) durant 12 heures le 8-4.
 - Enregistrement de la courbe de remontée

La figure 11 donne la courbe caractéristique du puits.



Courbe caractéristique du puits St GEORGES

Fig. 11

Les figures 12, 13, 14, 15, 16, 17 donnent quelques exemples des courbes

$$\Delta = \lg t, \quad \Delta = \lg \frac{t}{t'}, \quad \Delta = \lg x$$

pour les puits et les piézomètres.

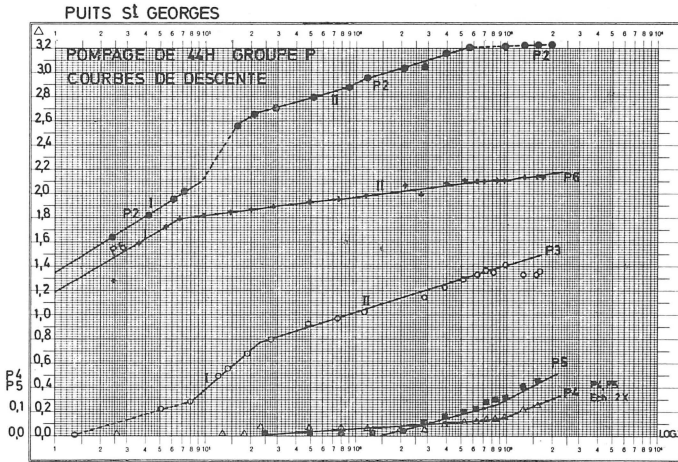


Fig. 12

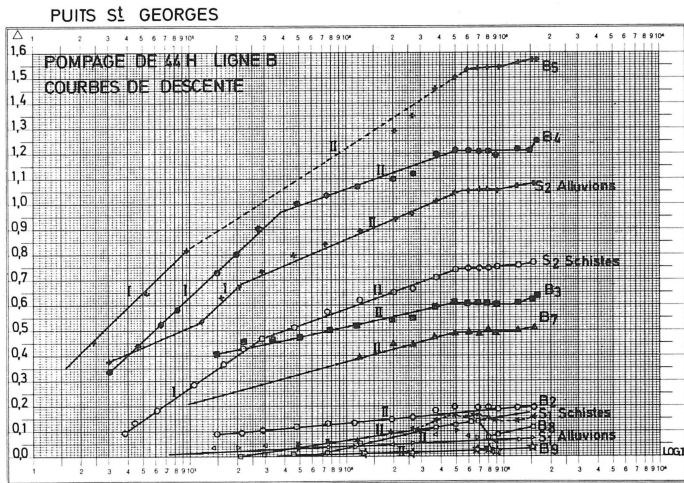


Fig. 13

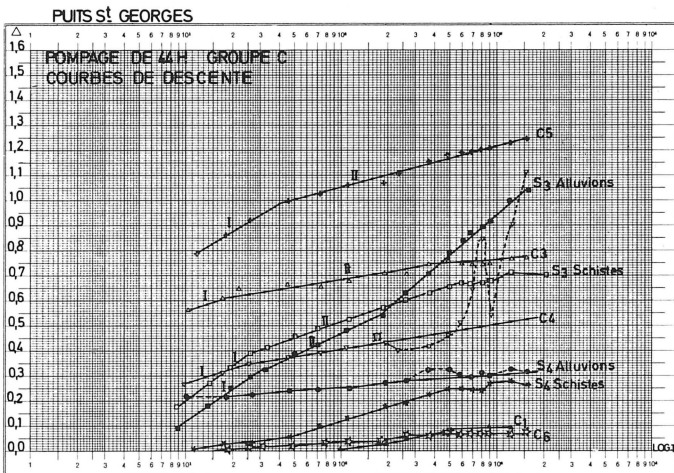


Fig. 14

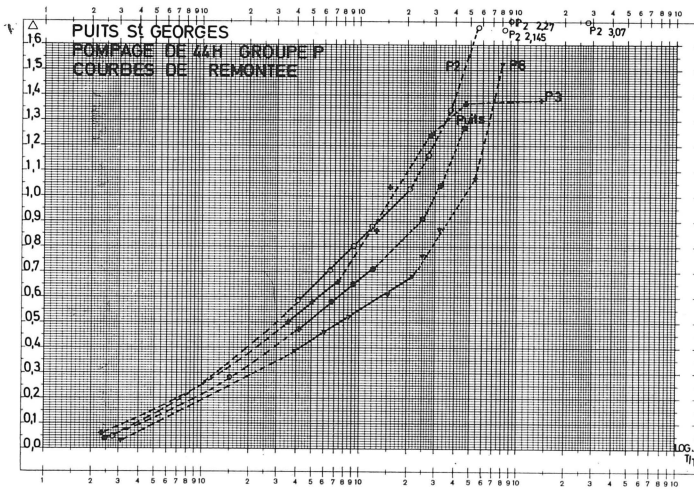


Fig. 15

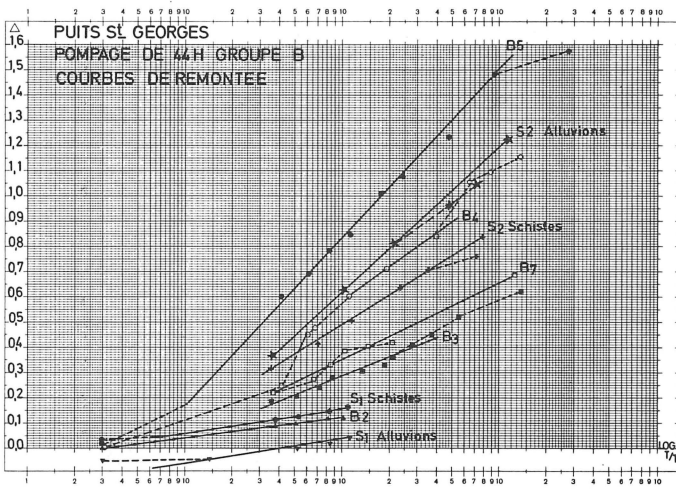


Fig. 16

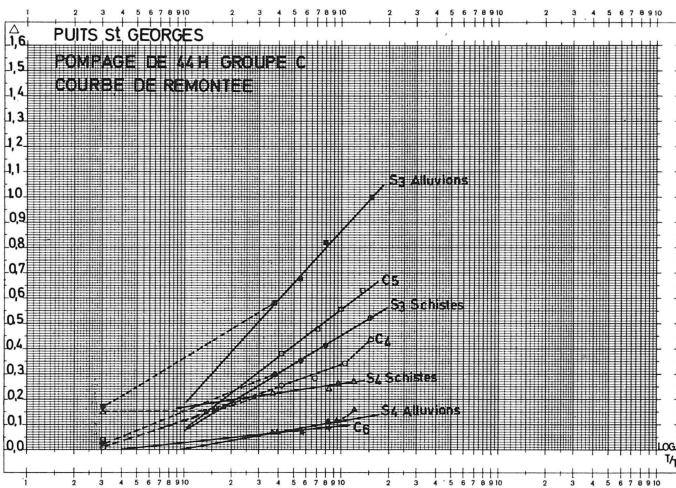


Fig. 17

Les valeurs de perméabilité calculées sont données aux tableaux III, IV, V, VI et VII.

On constate principalement que :

— la nappe alluviale est *captive* dans le secteur étudié. Elle le reste en cours de pompage, sauf dans le voisinage du puits.

La figure 18 donne les valeurs moyennes des perméabilités obtenues par interprétation des droites caractéristiques des différents piézomètres. Ces valeurs ne sont pas ponctuelles mais représentatives du massif compris entre le puits et le piézomètre. L'examen de la carte montre que le secteur étudié se divise en trois zones :

- en bordure de la Meuse, la perméabilité est de l'ordre de $20 \text{ à } 40 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}$.
- au centre de l'îlot St Georges, la perméabilité est faible : $4 \text{ à } 10 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}$.
- vers la rue Féronstrée, la perméabilité augmente : $10 \text{ à } 20 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}$ et semble particulièrement élevée vers l'axe de drainage ($100 \text{ à } 150 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec}$) mais les valeurs sont peu sûres, les rabattements n'étant pas assez importants par rapport aux fluctuations naturelles de la nappe. Le coefficient d'emmagasinement de $0,1 \text{ à } 0,01 \%$ indique une nappe captive.

Gare S^t GEORGES-FERONSTRÉE
 Courbes isopiezées - Niveau moyen
 13-1-1971 à 14h.30

Echelle: 1/1000
 Equidistance: 5 cm
 Piézomètres: 0 D1

Perméabilité des alluvions en 10^{-4} m/sec .

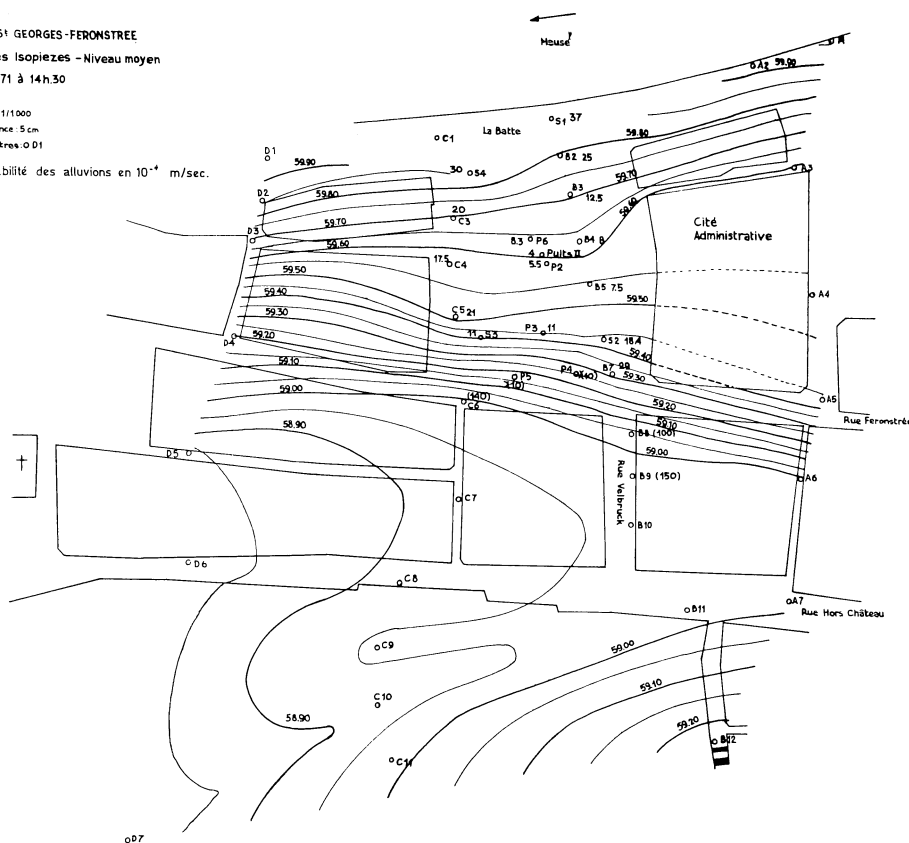


Fig. 18

TABLEAU III

iers pompages caractéristiques

		1 ^{er} palier		2 ^e palier			3 ^e palier		4 ^e palier		
		descente remontée		descente		remontée	descente	remontée	descente		remontée
		Q = 6 m ³ /h, 6 m ³ /h Q cor = 8, 6 m ³ /h		6 m ³ /h 8,6 m ³ /h	14,9 m ³ /h 21,6 m ³ /h	14,9 m ³ /h 21,6 m ³ /h	22,8 m ³ /h 33,8 m ³ /h		I 20,57 30,7	II 20,57 30,7	
Puits	T	9,6.10 ⁻⁴	1,34.10 ⁻³	1,85.10 ⁻³	1,05.10 ⁻³	1,24.10 ⁻³		1,32.10 ⁻³			1,47.10 ⁻³
	K	3,4.10 ⁻⁴	4,8.10 ⁻⁴	4,5.10 ⁻⁴	3,75.10 ⁻⁴	4,43.10 ⁻⁴	Dénoyé	4,71.10 ⁻⁴	Dénoyé		5,25.10 ⁻⁴
P2 x = 5 m	T	1,5.10 ⁻³	2,2.10 ⁻³	5.10 ⁻⁴	1.10 ⁻³	1,000.10 ⁻³	1,58.10 ⁻³	1,32.10 ⁻³	1,51.10 ⁻³	2,17.10 ⁻³	1,39.10 ⁻³
	K	5,2.10 ⁻⁴	8,0.10 ⁻⁴	5,43.10 ⁻⁴	1,79.10 ⁻⁴	3,57.10 ⁻⁴	5,62.10 ⁻⁴	4,71.10 ⁻⁴	5,41.10 ⁻⁴	7,75.10 ⁻⁴	4,96.10 ⁻⁴
	S	0,2 %	—	0,2 %	—	—	0,0795 %	—	0,075 %	—	—
P6 x = 8 m	T	5,4.10 ⁻³	3,4.10 ⁻³	2,2.10 ⁻³	1,45.10 ⁻³	—	3,36.10 ⁻³	1,18.10 ⁻³			
	K	1,6.10 ⁻³	1,10 ⁻³	6,66.10 ⁻⁴	4,39.10 ⁻⁴	—	1,02.10 ⁻³	3,44.10 ⁻³			
	S	0,1 %	—	0,009 %	—	—	—	—			

TABLEAU IV
2ds pompages caractéristiques

		1 ^{er} palier	2 ^e palier		3 ^e palier	Remontée
Q		2,75	11,5/13,7		24,7	Q = 25 m ³ /h
Q cor		3,27	I	II	29,3	
Puits	T	3,08.10 ⁻⁴	2,76.10 ⁻⁴	7,6.10 ⁻⁴	Dénoyé	9,35.10 ⁻⁴
	K	1,1.10 ⁻⁴	9,85.10 ⁻⁴	2,7.10 ⁻⁴		3,34.10 ⁻⁴
P2 x = 5 m	T	6,4.10 ⁻⁴	2,4.10 ⁻⁴	9,05.10 ⁻⁴	1,55.10 ⁻³	9,55.10 ⁻⁴
	K	2,3.10 ⁻⁴	8,6.10 ⁻⁴	3,23.10 ⁻⁴	5,55.10 ⁻⁴	3,41.10 ⁻⁴
	S	0,5 %	—	—	—	—
P6 x = 8 m	T	6,64.10 ⁻⁴	3,5.10 ⁻⁴	1,48.10 ⁻³	1,32.10 ⁻³	8,54.10 ⁻⁴
	K	2.10 ⁻⁴	1,06.10 ⁻⁴	4,5.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	2,59.10 ⁻⁴
	S	0,14 %	—	—	—	—

TABLEAU V

DROITE N°		Pompage de 44 h.			Pompage de 12 h.			
		Descente		Remontée	Descentes			Remontée
		I	II		I	II	III	
(m ³ /h) Q moyen		19,4	18,4	18,4	23,7	22,6	22,6	25 m ³ /h
Q moyen corr.		28,8	26,7	26,7	27,9	26,4	26,4	
Puits	T			2,56.10 ⁻³				1,34.10 ⁻³
	K	Dénoyé	Dénoyé	9,15.10 ⁻⁴	Dénoyé	Dénoyé	Dénoyé	4,8.10 ⁻⁴
P2 x = 5 m	T	1,9.10 ⁻³	3,48.10 ⁻³	6,8.10 ⁻³	1,08.10 ⁻³	1,81.10 ⁻³	5,85.10 ⁻³	1,155.10 ⁻⁴
	K	6,8.10 ⁻⁴	1,24.10 ⁻³	2,44.10 ⁻³	3,85.10 ⁻⁴	6,5.10 ⁻⁴	2,09.10 ⁻³	4,13.10 ⁻⁴
	S	0,046 %	—	—	0,053 %	—	—	—
P3 x = 36 m	T	1,36.10 ⁻³	3,57.10 ⁻³	2,66.10 ⁻³	1,42.10 ⁻³	2,24.10 ⁻³	3,84.10 ⁻³	1,12.10 ⁻³
	K	6,47.10 ⁻⁴	1,7.10 ⁻³	1,27.10 ⁻³	6,75.10 ⁻⁴	1,065.10 ⁻³	1,83.10 ⁻³	5,8.10 ⁻⁴
	S	0,095 %	—	—	1,425 %	—	—	—
P4 x = 57 m	T	—	2,47.10 ⁻²	—	—	—	—	—
	S	—	3,42 %	—	—	—	—	—
P5 x = 55 m	T	—	1,94.10 ⁻²	—	—	—	—	—
	S	—	15,9 %	—	—	—	—	—
P6 x = 8 m	T	2.10 ⁻³	8,48.10 ⁻³	3,44.10 ⁻³	—	6,7.10 ⁻³	—	1,79.10 ⁻³
	K	6,06.10 ⁻⁴	2,57.10 ⁻³	1,04.10 ⁻³	—	2,04.10 ⁻³	—	5,43.10 ⁻⁴
	S	0,015 %	—	—	—	—	—	—

TABLEAU VI

DROITE N°		Pompage de 44 h.			Pompage de 12 h.		
		Descente		Remontée	Descente		Remontée
		I	II		I	II	
Q moyen		19,4	18,4	18,4	23,7	22,6	25 m³/h
Q moyen corr.		22,8	26,7	26,7	27,9	26,4	
S1 Alluv.	T	—	5,43.10 ⁻²	1,43.10 ⁻²	—	2,69.10 ⁻²	2,12.10 ⁻²
x = 60 m	K	—	6,95.10 ⁻²	1,84.10 ⁻³	—	3,45.10 ⁻³	2,72.10 ⁻³
	S	—	0,5 %	—	—	0,04 %	—
B2	T	—	2,34.10 ⁻²	1,6.10 ⁻²	—	1,49.10 ⁻²	1,495.10 ⁻²
x = 45 m	K	—	3,44.10 ⁻³	2,36.10 ⁻³	—	2,19.10 ⁻³	2,2.10 ⁻³
	S	—	0,08 %	—	—	0,12 %	—
B3	T	—	1,045.10 ⁻²	5,54.10 ⁻³	7,3.10 ⁻³	7,06.10 ⁻³	5,52.10 ⁻³
x = 30 m	K	—	1,835.10 ⁻³	9,7.10 ⁻⁴	1,28.10 ⁻³	1,24.10 ⁻³	9,7.10 ⁻⁴
	S	—	0,003 %	—	0,04 %	—	—
B4	T	2,57.10 ⁻³	6,3.10 ⁻³	1,775.10 ⁻³	2,4.10 ⁻³	5,36.10 ⁻³	2,29.10 ⁻³
x = 18 m	K	5,85.10 ⁻⁴	1,43.10 ⁻³	4,03.10 ⁻⁴	5,45.10 ⁻⁴	1,22.10 ⁻³	5,2.10 ⁻⁴
	S	0,14 %	—	—	0,1 %	—	—
B5	T	2,46.10 ⁻³	3,39.10 ⁻³	2,04.10 ⁻³	2,18.10 ⁻³	2,92.10 ⁻³	1,85.10 ⁻³
x = 26 m	K	7,7.10 ⁻⁴	1,06.10 ⁻³	6,37.10 ⁻⁴	6,8.10 ⁻⁴	9,12.10 ⁻⁴	5,8.10 ⁻⁴
	S	0,003 %	—	—	0,03 %	—	—
S2 alluv.	T	2,48.10 ⁻³	5,22.10 ⁻³	2,34.10 ⁻³	—	4,34.10 ⁻³	2,22.10 ⁻³
x = 47 m	K	1,38.10 ⁻³	2,9.10 ⁻³	1,3.10 ⁻³	—	2,41.10 ⁻³	1,23.10 ⁻³
	S	0,04 %	—	—	—	0,004 %	—
B7	T	—	6,79.10 ⁻³	4,45.10 ⁻³	—	7,9.10 ⁻³	4,1.10 ⁻³
x = 62 m	K	—	3,4.10 ⁻³	2,22.10 ⁻³	—	3,95.10 ⁻³	2,05.10 ⁻³
	S	—	0,02 %	—	—	0,009 %	—
B8	T	—	1,04.10 ⁻²	—	—	4,75.10 ⁻²	2,12.10 ⁻²
x = 88 m	K	—	4,17.10 ⁻³	—	—	1,79.10 ⁻²	8,5.10 ⁻³
	S	—	1,36 %	—	—	8,3 %	—
B9	T	—	6,79.10 ⁻³	—	—	2,69.10 ⁻²	4,24.10 ⁻²
x = 107 m	K	—	2,34.10 ⁻²	—	—	9,28.10 ⁻³	1,47.10 ⁻³
	S	—	5,35 %	—	—	1,59 %	—

TABLEAU VII

		Pompage de 44 h.				Pompage de 12 h.			
		Descente			Remontée	Descente			Remontée
		I	II	III		I	II	III	
Q moyen Q moyen corr.		19,4 28,8	18,4 26,7	18,4 26,7	18,4 26,7	23,7 27,9	22,6 26,4	22,6 26,4	25 m ³ /h
C1	T	—	1.10 ⁻²	—	—	—	—	—	—
x = 69,5 m	S	—	4,45 %	—	—	—	—	—	—
S4 alluv.	T	—	3,02.10 ⁻²	—	1,23.10 ⁻²	—	1,29.10 ⁻²	—	9,45.10 ⁻³
x = 48 m	K	—	5,5.10 ⁻³	—	2,24.10 ⁻³	—	2,32.10 ⁻³	—	1,72.10 ⁻³
	S	—	—	—	—	—	0,003 %	—	—
C3	T	5,97.10 ⁻³	1,36.10 ⁻²	—	Recouvert	—	—	—	—
x = 43 m	K	1,25.10 ⁻³	2,84.10 ⁻³	—	de	—	—	—	—
	S	0,004 %	—	—	déblais	—	—	—	—
C4	T	7,5.10 ⁻³	1,36.10 ⁻²	—	6,16.10 ⁻³	—	2,91.10 ⁻³	—	4,75.10 ⁻³
x = 41 m	K	1,875.10 ⁻³	3,4.10 ⁻³	—	1,54.10 ⁻³	—	7,3.10 ⁻⁴	—	1,18.10 ⁻³
	S	0,04 %	—	—	—	—	0,098 %	—	—
C5	T	3,96.10 ⁻³	8,23.10 ⁻³	—	2,86.10 ⁻³	5,65.10 ⁻³	2,5.10 ⁻³	1,79.10 ⁻²	2,2.10 ⁻³
x = 47 m	K	1,32.10 ⁻³	2,74.10 ⁻³	—	9,55.10 ⁻⁴	1,89.10 ⁻³	8,35.10 ⁻⁴	5,95.10 ⁻³	7,3.10 ⁻⁴
	S	0,004 %	—	—	—	4,6.10 ⁻⁵ %	0,014 %	—	—
S3 alluv.	T	3,4.10 ⁻³	4,6.10 ⁻³	2,58.10 ⁻³	1,995.10 ⁻³	2,58.10 ⁻³	4,34.10 ⁻³	2,065.10 ⁻³	1,5310 ⁻³
	K	1,26.10 ⁻³	1,7.10 ⁻³	9,55.10 ⁻⁴	7,4.10 ⁻⁴	9,7.10 ⁻⁴	1,61.10 ⁻³	7,45.10 ⁻³	5,7.10 ⁻⁴
	S	0,18 %	—	—	—	0,085 %	—	—	—
C6	T	—	3,02.10 ⁻²	—	2,09.10 ⁻²	—	3,36.10 ⁻²	—	1,6.10 ⁻²
x = 74 m	K	—	1,68.10 ⁻²	—	1,16.10 ⁻²	—	1,87.10 ⁻²	—	8,9.10 ⁻³
	S	—	0,995 %	—	—	—	0,32 %	—	—

TABLEAU VII (suite)

		Pompage de 44 h.				Pompage de 12 h.			
		Descente			Remontée	Descente			Remontée
		I	II	III		I	II	III	
Q moyen		19,4	18,4	18,4	18,4	23,7	22,6	22,6	25 m ³ /h
Q moyen corr.		28,8	26,7	26,7	26,7	27,9	26,4	26,4	
S1 schistes <i>x</i> = 60 m	T S	— —	1,36.10 ⁻² 1,5 %	— —	1,43.10 ⁻² —	— —	8,95.10 ⁻³ 0,84 %	— —	1,09.10 ⁻² —
S2 schistes <i>x</i> = 47 m	T S	3,48.10 ⁻³ 0,078 %	6,03.10 ⁻³ —	— —	2,9.10 ⁻³ —	— —	4,8.10 ⁻³ 0,016 %	— —	1,77.10 ⁻³ —
S3 schistes <i>x</i> = 46 m	T S	3,29.10 ⁻³ 0,121 %	6,45.10 ⁻³ —	— —	3,57.10 ⁻³ —	3,28.10 ⁻³ 0,073 %	7,26.10 ⁻³ —	— —	2,74.10 ⁻³ —
S4 schistes <i>x</i> = 48 m	T S	— —	7,55.10 ⁻³ 1,51 %	— —	1,51.10 ⁻² —	4,06.10 ⁻³ 1,03 %	7,45.10 ⁻³ —	— —	1,16.10 ⁻² —

L'étude de l'évolution de la surface piézométrique en cours de pompage montre les mêmes phénomènes. Au repos, la nappe est cylindrique et se déverse vers l'axe de drainage de la rue Hors-Château avec un gradient particulièrement accusé dans le secteur de S3, P4 et P5. Du fait du pompage, le sens d'écoulement est renversé dans ce secteur et il se forme entre le puits et l'axe de drainage une crête de partage qui migre en fonction du débit et du temps de pompage (fig. 19 et 20). Le cône de rabattement, très serré dans le secteur central peu perméable, s'étale et se déforme vers les zones perméables. Le rayon d'influence est de 60 à 70 m vers la Meuse (limité par le front de suralimentation du fleuve) et s'étend de 100 à 150 m vers l'axe de drainage et l'aval.

Gare St Georges Ferontrée

Surface piézométrique après 12 h. de pompage
 au débit moyen de 22,6 m³/h.

8/4/1971 à 20 h.

Echelle: 1/1000

Equidistance: 0,25 m

Courbes isopièzes: nappe des alluvions: ———
 nappe du bed rock: - - - - -

Piezomètre: ● D1

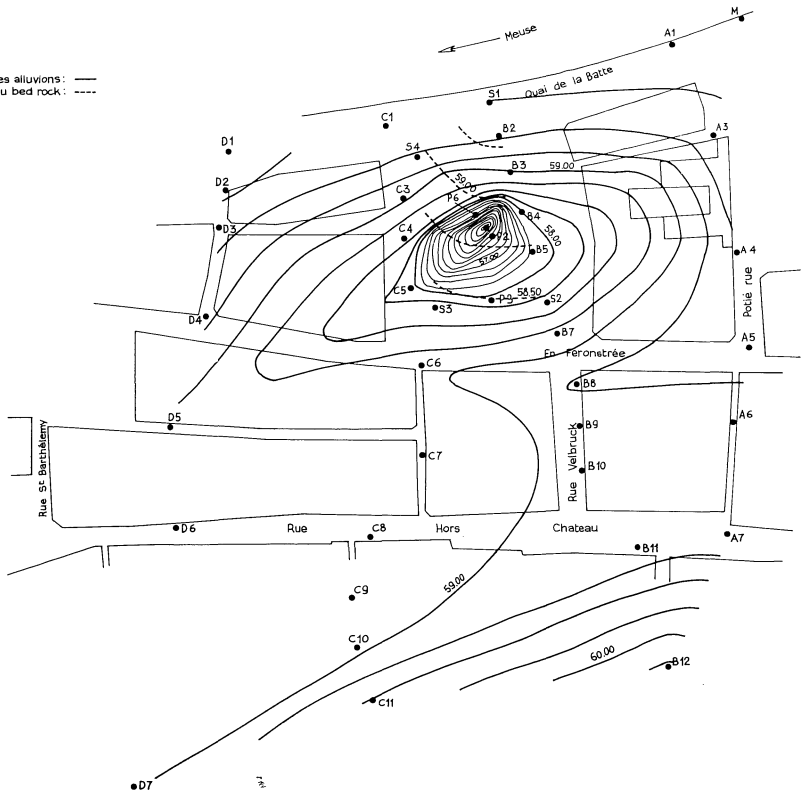


Fig. 19

Si l'on examine l'évolution des rabattements dans les piézomètres en fonction du temps, on constate en général sur les diagrammes rabattement-log temps, deux portions de droites, la première d'inclinaison élevée et donnant une perméabilité faible, la seconde de pente plus faible et à laquelle correspond une perméabilité plus forte. C'est le signe que le cône de rabattement débute dans un secteur de faible perméabilité (secteur central) puis s'étend dans des zones plus perméables (bordure

de Meuse et rue Féronstrée). Cependant, les piézomètres S3, P4, P5 et C5 situés dans les zones à gradient initialement élevé vers l'axe de drainage, ont un comportement inverse. En effet, lorsque le cône de rabattement atteint cette zone, elle n'est plus alimentée et est drainée vers le puits et l'axe de drainage : il en résulte un accroissement du rabattement donnant une droite de pente plus accentuée sur le diagramme. Le phénomène bien marqué sur la ligne C, n'apparaît pas sur la ligne B, la crête de partage subsistant.

Gare St Georges Féronstrée

Surface piézométrique après 25 h. de pompage
au débit moyen de 18,4 m³/h

4/4/1971 à 16 h.

Echelle: 1/1000

Equidistance: 0,25 m

Courbes isopiezés : nappe des alluvions ———

nappe du bed-rock - - - - -

Piezomètre: ● D1

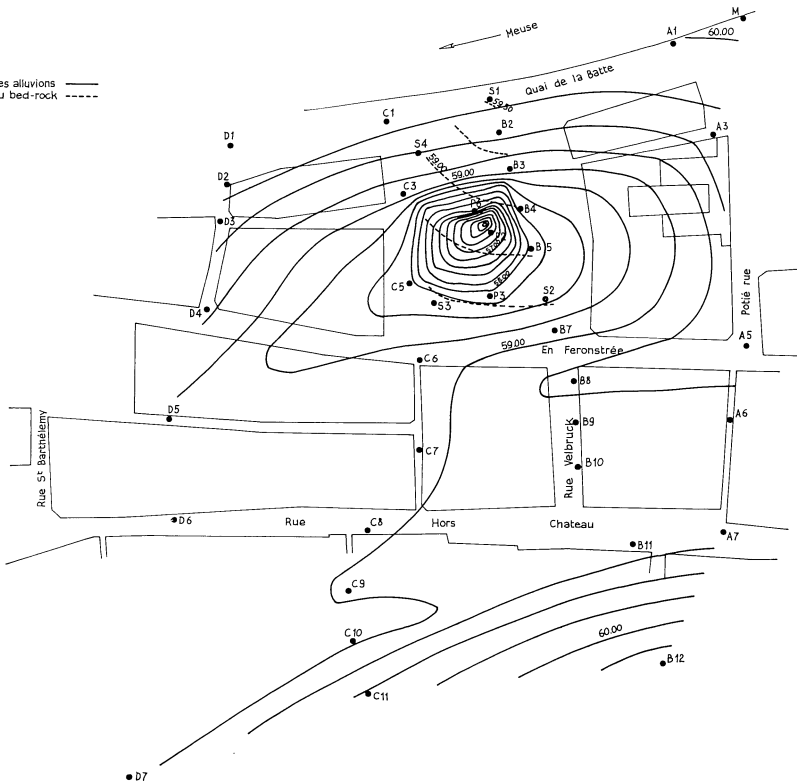


Fig. 20

Dans les courbes de remontée, les mêmes phénomènes s'observent. D'une façon générale, on enregistre une droite à faible pente, puis à pente plus forte (mise en pression de la nappe captive) tandis qu'en S3, P4, P5 et C5 la seconde droite a une pente plus faible : à partir d'une certaine remontée, l'écoulement reprend vers l'axe de drainage et le cône de remontée n'est plus que faiblement alimenté par ce secteur.

La carte de résistivité (fig. 21) montre des eaux très conductrices (2.000 à 3.000 micromhos/cm) dans le secteur central où les circulations d'eau sont plus lentes, des eaux conductrices caractéristiques de nappe alluviale urbaine (1.000 à 1.600 micromhos/cm) vers l'axe de drainage, et très peu conductrices en bordure de la

Meuse (500 à 700 micromhos/cm) sous l'influence directe du fleuve (400 à 560 micromhos/cm).

Gare St GEORGES-FERONSTREE
Courbes isopiezes - Niveau moyen
15-1-1971 à 14h.30

Echelle: 1/1000
Equidistance: 5 cm.
Piezomètres: 0 D1

Résistivité de l'eau en micromhos/cm

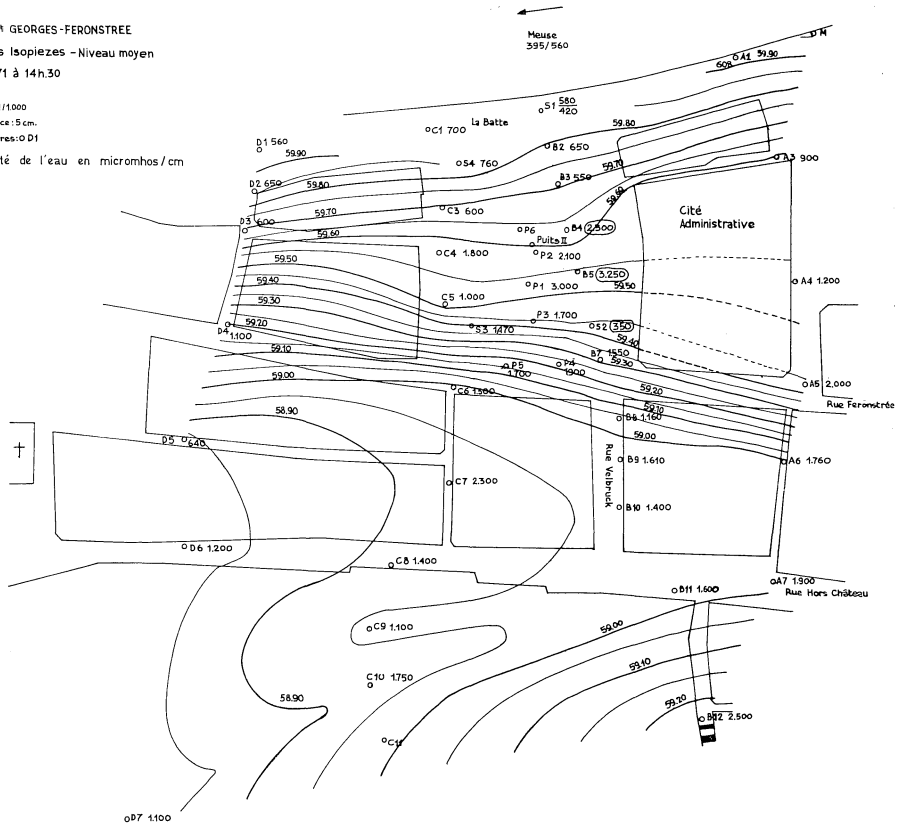


Fig. 21

Les analyses chimiques de l'eau du puits (tableau VIII) sont trop espacées pour indiquer les différences significatives dues au drainage de zones particulières et l'eau pompée provient du mélange des eaux drainées vers le cône de rabattement.

De ces résultats, nous retiendrons que la composition de l'eau est très constante. Dureté totale varie de 27,5 à 29° F

Dureté permanente varie de 18 à 27 °F

Dureté temporaire varie de 2 à 12,5 °F

Dureté calcique varie de 23,5 à 25 °F

Dureté magnésienne varie de 3 à 4,5 °F

Cl est stable à 50 mg/l

SO³ varie de 55 à 65 mg/l

Les variations semblent indépendantes du temps et des débits.

Les mesures de pH donnent des résultats très constants.

La température de l'eau, fonction de la température extérieure, s'est maintenue entre 10 et 15 °C durant la période de mesure.

TABLEAU VIII

Date : 1971	31/3	2/4	2/4	3/4	4/4	4/4	5/4	7/4	7/4	7/4	8/4	8/4
Heure :				17 h 55	6 h	17 h 25	10 h 20	8 h 48	9 h 26	9 h 50	8 h 35	20 h 15
Débit :		6 m ³ /h	14,8	18,4	18,4	18,4	18,4	2,75	11,55	24,7	22,6	22,6
D. tot.	28	27,5	28,5	29	29	29,5	29	28,5	27,5	28	28,5	29
D. perm.	20	18	21,5	27	18	23	—	19	15	24	23	22
D. temp.	8	9,5	7	2	11	6,5	—	9,5	12,5	4	5	7
D. Ca	24,5	23,5	25	24,5	24,5	25	25	24,5	24,5	24	24	24,5
D. mg.	3,5	4	3,5	4,5	4,5	4,5	4	4	3	4	4,5	4,5
Cl.							50 mgr					
SO ₄	65	55	65	62	58	63	61	58	59	57	53	55

Enfin, la réponse de la nappe du *bed rock* sous la sollicitation du pompage est assez particulière. La nappe au repos a un niveau piézométrique inférieur à la nappe alluviale et présente un gradient vers l'aval. En cours de pompage (fig. 19 et 20), les rabattements sont beaucoup plus faibles que dans la nappe alluviale et le gradient subsiste mais s'oriente en direction de la rue Féronstrée et de l'axe de drainage indépendamment du cône de rabattement de la nappe alluviale. Il semble donc que, privée par le pompage d'une alimentation suivant les bancs (remontant vers la Meuse), la nappe du *bed rock* soit rabattue vers l'axe de drainage.

3. *Nappe du bed rock.*

En ce qui concerne le *bed rock*, on y observe une nappe aquifère logée dans les fissures. Elle a été testée par essais Lugeon réalisés en sondages tous les 5 m dans les schistes et grès du Houiller. On observe généralement une perméabilité élevée voire des pertes totales jusqu'à 20 à 25 m de profondeur. En dessous, la perméabilité est généralement élevée (100 u.L.) dans les grès de Wash-Out (grès sur Cerisier, grès sur Pestay). Elle est réduite à nulle dans les schistes.

CONCLUSIONS

La nappe alluviale de la Meuse dans le Centre de Liège présente une allure assez différente du schéma théorique.

On y observe des circulations d'eau préférentielles très marquées, des écoulements tantôt parallèles, tantôt perpendiculaires au fleuve, des zones très peu perméables à fort gradient et faible débit, des caractéristiques chimiques variables suivant les endroits.

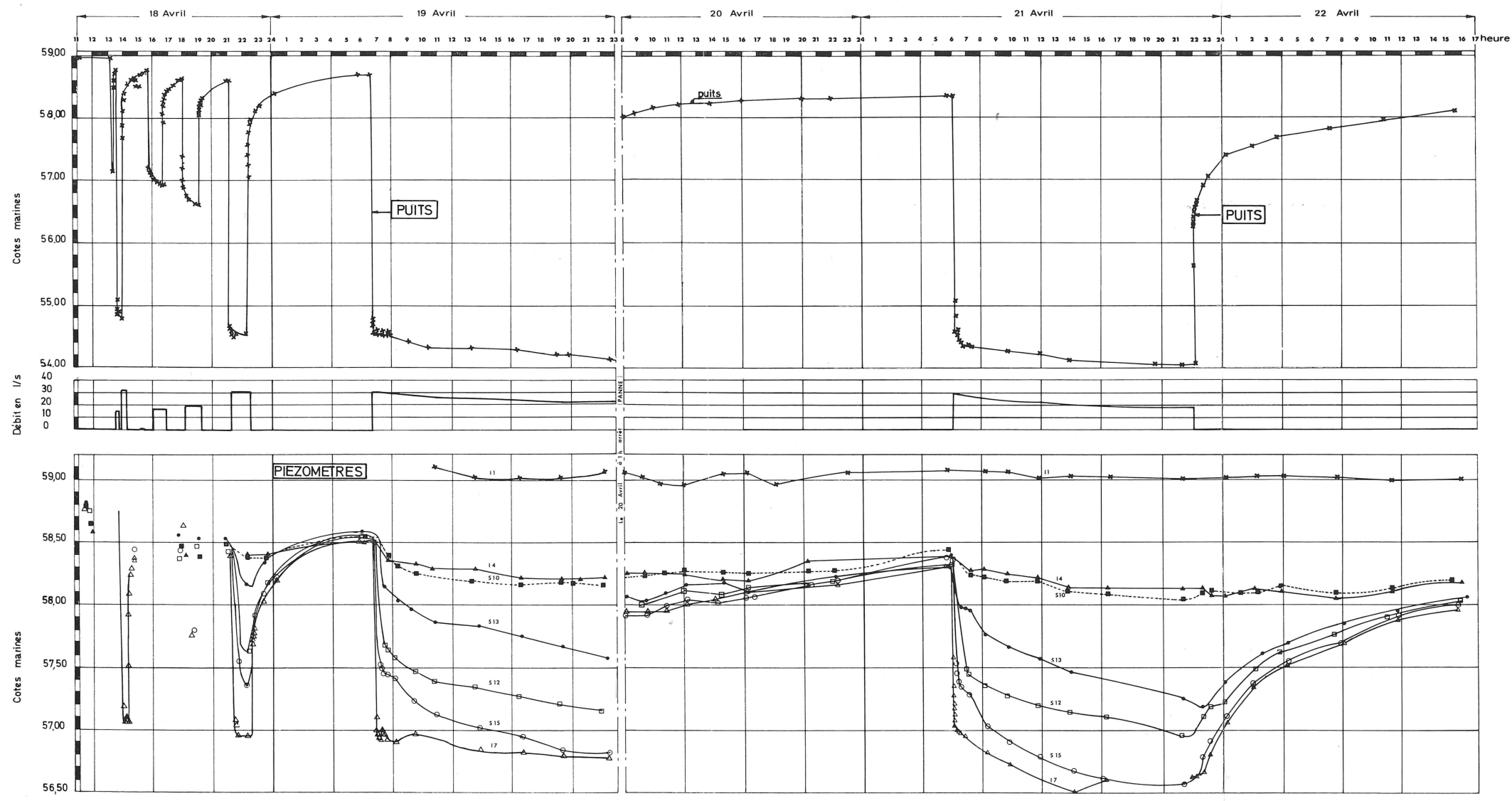
Ces données permettent de définir :

- les secteurs optimum de captage, les débits possibles et les rabattements induits, les cônes d'influence et la qualité des eaux pompées
- les fluctuations de la nappe
- les conditions de réalisation des travaux sous le niveau aquifère, l'influence de ceux-ci sur les régimes de la nappe, leur disposition optimale, les précautions à prendre pour éviter de perturber l'équilibre hydrogéologique ou pour le rétablir dans les meilleures conditions possibles.

*Université de Liège,
Laboratoire de Géologie de la Faculté des
Sciences Appliquées.*

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- [1] CALEMBERT, L. — Observations dans la plaine alluviale de la Meuse en aval de Liège, *Publ. Serv. Géol. du Luxembourg*, vol. XIV, pp. 115-135, 1964.
- [2] CALEMBERT, L., MONJOIE, A., SCHROEDER, CH., WATHELET, J. C. — La géologie de l'ingénieur au site de la gare souterraine St-Georges à Liège. *Bull. A.I.G.I.*, n° 4, décembre 1971.
- [3] CALEMBERT, L., MONJOIE, A., LAMBRECHT, L. — Géologie du centre de Liège. *A.S.G.B.*, t. 96, sous presse.
- [4] MONJOIE, A. — La nappe alluviale de la Meuse à Tihange. *Mémoires du C.E.R.E.S.*, nouvelle série, n° 29, décembre 1969.





St Lambert St Georges

Surface piezométrique le 6/7/72

