

ÉTUDE
DES EAUX SOUTERRAINES DE LA CRAU

par **M. PORCHET**

Ingénieur en Chef du Génie rural
Docteur ès sciences mathématiques

INTRODUCTION

La Compagnie des Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée nous a demandé, en avril 1928, d'étudier au point de vue hydraulique les eaux souterraines de la Crau.

La documentation qu'il nous a été possible de réunir nous a indiqué que les études faites jusqu'à ce jour ne reposaient que sur des observations trop peu étendues et continues, soit dans le temps, soit dans l'espace.

Nombreuses étaient même les légendes fleurissant au sujet de la Crau. La plus ancienne, à notre connaissance, est celle racontée par Eschyle plus de 400 ans avant Jésus-Christ, lorsqu'il nous expose le combat d'Hercule et des Liguriens. C'est, d'après lui, à ce moment que le ciel aurait envoyé en faveur d'Hercule tous les cailloux de la Crau. Le moins que l'on puisse dire est que les munitions auraient été un peu trop largement envoyées.

Les légendes se sont succédées et la plus récente consiste à dire que, comme sous la direction d'un chef d'orchestre, les puits de la Crau montent ou baissent simultanément. Nous verrons, au cours de cette étude, quelle foi on peut attacher à cette affirmation.

Le premier travail à faire, pour étudier méthodiquement le régime des eaux souterraines de la Crau, consistait donc à surveiller d'une manière permanente, pendant un an, le plus grand nombre de puits possible sur la surface étudiée. Les observations ainsi faites peuvent être utilisées par des méthodes nouvelles que nous exposerons pour obtenir les éléments principaux caractérisant le régime de la nappe : fond hydraulique, coefficient de filtration, débits, etc...

La surveillance d'un grand nombre de puits dans une région aussi difficilement accessible que la Crau était matériellement un travail considérable. Les reports et l'utilisation méthodique des observations faites étaient également un long travail de patience. Aussi, avons-nous été particulièrement heureux de trouver, pour nous aider à accomplir cette tâche, de nombreux concours.

Nous remercierons tout d'abord le Service Agricole du P.L.M. et particulièrement MM. RAYBAUD et CANCEL. C'est ce Service qui a pris l'initiative de l'étude ; c'est lui qui nous a procuré la collaboration des autres Services de la Compagnie et qui nous a aidés pour de nombreux détails matériels.

Le Service de la Voie s'est obligeamment mis à notre disposition pour relever hebdomadairement tous les puits appartenant à la Compagnie et situés le long de la voie ferrée. Ces puits sont au nombre de 70 en ce qui concerne la zone étudiée.

La Compagnie P. L. M. a également mis à notre disposition ses laboratoires d'essais en vue de l'analyse des échantillons d'eaux prélevés dans la nappe souterraine.

La Compagnie agricole de la Crau, en la personne de MM. NUSSBAUM et de leur personnel, nous a donné communication des relevés hebdomadaires faits sur les puits appartenant à leur Compagnie. Les puits ainsi relevés sont au nombre de 39.

M. BECCAT nous a obligeamment communiqué les résultats des observations qu'il fait au Parc d'explosifs de Beausseuq ainsi que des essais de pompage qu'il a effectués dans divers puits de la Crau.

L'École d'Aviation d'Istres nous a fourni les relevés des mesures de profondeur et de température qu'elle effectue périodiquement dans ses puits.

Nous remercions tout particulièrement M. BRES qui a bien voulu mettre à notre disposition sa vieille expérience de Crau et n'a pas ménagé sa peine pour aller relever, dans la partie la plus inaccessible de la Crau, les hauteurs d'eau des puits des régions pour lesquelles aucun renseignement ne nous parvenait des sources indiquées ci-dessus.

Nous ne voudrions pas non plus oublier le sympathique garagiste M. FOUSSEY qui, sans peur de sa peine ni de celle de son auto, nous a fait faire quelques milliers de kilomètres sur les galets cravens.

Qu'il ne soit enfin permis de remercier mes collaborateurs directs de ma Circonscription et de la Station expérimentale d'Hydraulique agricole : M. COLAS, qui a entièrement réalisé les appareils dont nous avons conçu les plans en vue de notre étude ; Mademoiselle LACOUR, qui a assuré le travail fastidieux de tenir à jour les fiches et relevés de tous les puits et fait les calculs relatifs à la détermination du fond de la nappe, et enfin M. LOUIS, qui a exécuté les nombreux dessins accompagnant notre travail.

C'est parce qu'il nous a été donné de pouvoir réunir ce faisceau de bonnes volontés qu'il nous est possible de présenter ce travail moins de deux ans après notre première visite dans la Crau.

CHAPITRE PREMIER

OBSERVATIONS ET MESURES EFFECTUÉES

Les principales observations ont porté sur les variations du niveau de la surface libre de la nappe. Ce niveau a été observé dans divers puits dont l'énumération est donnée plus loin.

Il a été effectué, en vue de la détermination du coefficient de filtration, de nombreux essais de pompage.

En vue de la connaissance des qualités des eaux souterraines au point de vue de leur utilisation agricole, des mesures de température de ces eaux et des analyses chimiques ont été effectuées.

Des relevés pluviométriques ont été faits en vue de rechercher quelle pouvait être l'influence des pluies sur le régime de la nappe souterraine.

Enfin, en raison du rôle attribué à l'étang d'Entressen dans certains projets de mise en valeur de la Crau, il ne nous a pas paru inutile de faire un relevé méthodique du fond de cet étang.

A. — VARIATIONS DU NIVEAU DE LA SURFACE LIBRE DE LA NAPPE.

a) Puits étudiés par des relevés périodiques.

Pour ces puits, la mesure de la distance de l'eau à un repère fixe était faite quotidiennement, hebdomadairement ou mensuellement suivant les puits. Ces mesures étaient reportées sur des fiches du modèle ci-joint (fig. 1).

Les cotes du terrain naturel à l'emplacement des puits ont été, pour la plupart, prises sur la carte en courbes de niveau dressée par la Compagnie agricole de la Crau.

Pour certains d'entre eux, situés en dehors du périmètre de cette carte, nous avons utilisé les renseignements fournis par la carte d'Etat-Major en courbes de niveau au 1/40.000^e lorsqu'elle ne semblait pas présenter de trop grosses erreurs.

Les cotes des puits appartenant à la Compagnie P. L. M. nous ont été fournies par le Service de la Voie de cette Compagnie.

Enfin pour certains puits, nous avons été obligés de faire des nivellements spéciaux en vue d'obtenir quelques certitudes sur la valeur des cotes obtenues.

Emplacement:
Cote du terrain naturel (c):
Hauteur H_2 du repère R au-dessus (*) ou au-dessous (?) du terrain naturel:
Profondeur P des quils mesurée à partir du repère R:
Diamètre des quils:
Observations diverses:

[illegible]

Figure 1

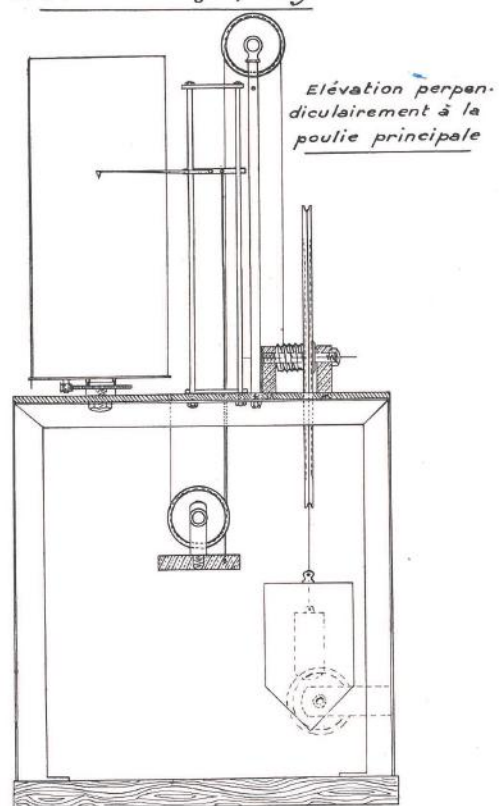


figure 2a.

Grand Limnigraphe fixe

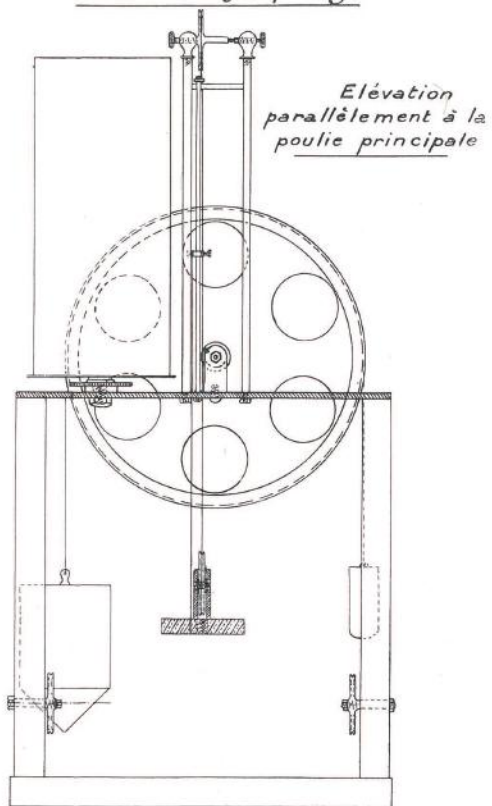


figure 2b.

Grand Limnigraphe fixe
Poulie principale

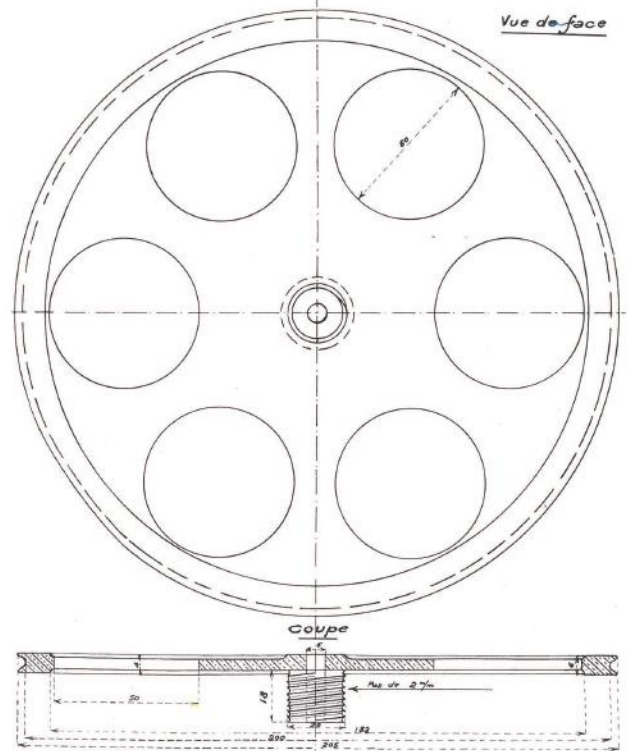


figure 2c.

Grand Limnigraphe fixe - Support de l'appareil

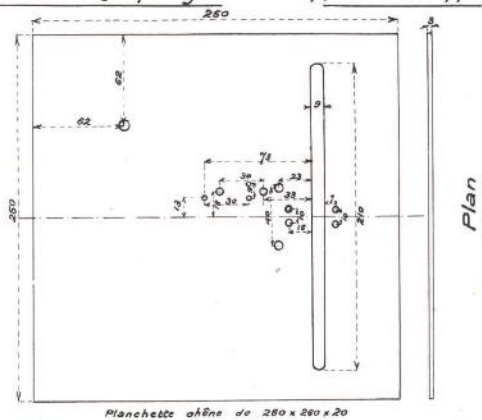
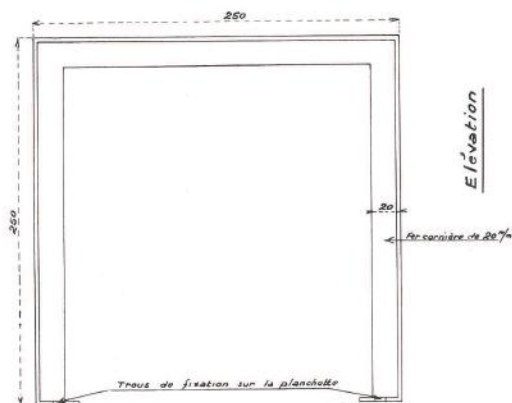


figure 2 f.



b) Puits étudiés à l'aide de limnigraphes enregistreurs.

Certains puits ont été suivis d'encore plus près à l'aide de limnigraphes enregistreurs.

Ces appareils, dont les dessins sont représentés aux figures 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, consistent essentiellement en une grande poulie de 20 cm. de diamètre sur laquelle passe un câble tressé en cuivre supportant à une extrémité un flotteur, et à l'autre extrémité un contrepoids. Sur l'axe de cette poulie et solidement avec elle, est montée une vis dont le diamètre, au fond de la gorge, est de 2 cm. Une fine tresse de cuivre est enroulée au fond de la gorge de cette vis et son déplacement est égal au $1/10^{\circ}$ du déplacement du flotteur. Cette petite tresse de cuivre est tendue sur une poulie de renvoi et une poulie mouflée avec contrepoids. Le déplacement de la poulie mouflée est donc égal au $1/20^{\circ}$ du déplacement du flotteur. La poulie mouflée entraîne dans son déplacement une tige et un curseur portant une aiguille. Cette aiguille inscrit sur le cylindre enregistreur les variations de niveau du flotteur. Le cylindre enregistreur de ces appareils fait un tour en une semaine ; les échelles des graphiques obtenus sont donc les suivantes :

Hauteur	1 cm. = 20 cm.
Temps	1 cm. = 6 heures

c) Répertoire et carte des puits étudiés.

Nous donnons ci-après le répertoire des puits étudiés avec indication pour chacun d'eux de leur numéro, de leur emplacement, de la fréquence des relevés effectués (M mensuel, H hebdomadaire, Q quotidien, E limnigraphe enregistreur), de la cote du terrain naturel et de la cote du fond.

NUMÉRO DU PAYS	EMPLACEMENTS	FREQUENCE des RELÈVES	COTE du FOND	COTE du TERRAIN
1	Entre Entressen et la Samatane.....	H	35.12	44.90
2	Grand Carton.....	H	7.90	18.80
3	Grosse du Nord.....	M	5.85	14.00
4	Maison agricole.....	M	3.20	8.80
5	Station de pompage du Retour des Aires.....	E ₁	— 1.16	4.90
6	Station de pompage de Panfarigoule.....	E ₂	0.30	6.59
7	Gare Lamanen.....	E ₃	106.40	111.00
8	Station pompage eaux Mallemort.....	E ₄	»	»
9	Prise en Durance à Mallemort.....	Q	»	»
10	Puits du Rat à Boivert.....	M	42.34	47.19
11	Pompe de secours du dépôt P. L. M. de Miramas.....	E ₅	31.23	41.26

NUMÉRO DU PUIS	EMPLACEMENTS	FRÉQUENCE des RELÈVÉS	COTE du FOND	COTE du TERRAIN
12	Poudrerie Miramas.....	M	31.40	45.20
13	Environ 1 km. Ouest Grand Carton..	M	1.02	15.80
14	Environ 1.500 mètres Sud Grand Carton.	M	5.00	16.50
15	Cabane de Négron.....	M	32.00	40.50
16	Mas Suffren.....	M	44.60	46.40
17	Ventillon.....	H	1.55	7.50
18	Maisonnelle de garde de Molières....	M	34.20	54.30
19	Toupinières.....	M	47.20	60.00
20	Petite ferme devant Beauchamp.....	M	48.04	61.70
21	Puits de berger au Nord de Beauchamp.	M	48.40	63.00
22	Deuxième puits de berger au Nord de Beauchamp.....	M	51.05	65.60
23	Ferme du Merle.....	M	50.05	68.80
24	Le Merle (ferme à gauche de la route d'Eyguières).....	M	49.58	68.00
25	Château du Merle.....	M	47.55	67.90
26	Le Petit Retour.....	H	-0.38	2.20
27	Le Retour des Aires.....	H	0.65	8.50
28	A environ 1.500 mètres au N.-E. du Retour des Aires.....	M	0.75	11.00
29	Coussou de Valigue.....	H	2.42	13.10
30	Brune d'Arles.....	H	10.85	17.90
31	Environ 100 mètres au Nord de la Brune d'Arles.....	H	1.02	18.20
32	Saint-Véran.....	H	9.58	25.50
33	A environ 800 mètres au N.-O. de Saint- Véran.....	M	14.25	25.60
34	Napoulou.....	M	99.70	114.00
35	Mas des Barres.....	M	97.25	106.00
36	Entre Curebourse et le chemin de fer d'Eyguières.....	M	94.97	97.50
37	Curebourse.....	M	*	96.50
38	Rive droite du Canal des Alpines en face Curebourse.....	M	93.30	95.70
39	Carrefour canal des Alpines et ligne Eyguières.....	M	77.52	85.20
40	Les Gabins.....	M	62.40	79.00
41	Limouse.....	H	12.70	21.50
42	Grosse du Levant.....	M	0.30	10.00
43	Grosse du Couchant.....	M	0.72	7.20
44	Mas de Borne.....	M	0.68	1.80

NUMÉRO DU PUIS	EMPLACEMENTS	FRÉQUENCE des RELÈVÉS	COTE du FOND	COTE du TERRAIN
45	L'Audience.....	M	0.00	2.00
46	La Feuillane.....	M	1.20	5.00
47	Entre la Feuillane et la Bergerie de la Crotte.....	M	1.67	7.20
48	Vers la Mariquette.....	M	2.02	8.50
49	Le Grand Pâté.....	M	1.90	9.00
50	Près des Tapiés.....	M	3.29	14.10
51	Entre Menudèle et la roubine de la Fossette, à environ 100 mètres de la roubine.....	M	3.92	13.80
52	Menudèle.....	M	3.70	15.10
53	Entre Menudèle et Valignette.....	M	1.20	11.90
54	Chemin de Valignette à Ventillon à environ 1 km. de Valignette.....	H	1.60	8.70
55	Gamadou.....	M	1.83	8.10
56	A 1 km. au Sud de la Grande Cabane....	M	4.19	9.00
57	A environ 600 mètres au Nord du pré- cédent.....	M	7.50	13.00
58	Le Village.....	M	7.35	13.20
59	Vergières.....	M	*	12.20
60	A environ 600 mètres au N.-O. du puits Demeau.....	M	6.60	10.50
61	Route de la Grosse du Couchant au Mas d'Icard.....	M	0.68	4.00
62	Mas d'Icard.....	M	0.27	1.85
63	Les Trinitaires.....	M	-0.10	2.10
64	Bergerie du Verry.....	M	29.35	36.50
65	Entre la Bergerie du Verry et Orsel....	M	27.35	32.50
66	Près d'Orsel.....	M	24.95	30.00
67	Jean Guiraud.....	M	19.40	26.20
68	Peyre Estève.....	M	17.35	24.10
69	Ruines du poste de douane.....	M	0.80	15.70
70	Couloubris.....	M	0.90	14.00
71	Entre Couloubris et Abondance.....	M	0.78	12.20
72	Abondance.....	M	1.05	11.00
73	Coussuro.....	H	0.63	10.50
74	Puits Nord Parc Beausseng.....	Q	19.98	25.66
75	Puits Sud Parc Beausseng.....	Q	17.20	21.75
76	Puits n° 8 Parc Beausseng.....	Q	16.10	20.75
77	Tremblant.....	M	54.66	70.30

NUMERO DU PUIS	EMPLACEMENTS	FREQUENCE des RELEVÉS	COTE du FOND	COTE du TERRAIN
78	La Petite Cabane.....	M	53.97	73.00
79	Société Hippique de Salon.....	M	68.44	73.20
80	A 20 mètres de la route des Bicus neufs, à environ 300 mètres de la route d'Arles à Salon.....	M	68.70	73.60
81	Campagne Marie-Thérèse.....	M	69.75	73.80
82	La Péronne.....	H	33.80	52.40
83	Bergerie de la Péronne.....	M	39.07	50.20
84	Le Luquier.....	H	42.92	52.00
85	Les Poulagères (bergerie).....	M	23.65	33.90
86	La Cabanasse.....	M	32.95	40.20
87	A environ 800 mètres au S.-O. du puits n° 1.....	M	32.86	42.80
88	Castel.....	M	54.44	62.30
89	Bergerie de la Jasse.....	M	64.47	71.00
90	Mas de Paulin.....	M	66.25	75.70
91	La Coupie.....	M	68.65	78.00
92	Mas de Raoux.....	M	76.14	80.00
93	Cousou de Gramoux.....	M	76.22	81.00
94	Bourdony.....	M	50.97	60.00
95	Archimbaud.....	M	55.83	62.00
96	Tout Manque.....	M	49.85	57.60
97	La Jasse.....	M	58.53	67.70
98	Le Grand Brahis.....	M	61.31	66.00
99	La Tapie.....	M	49.73	66.00
100	Grand Boisvert.....	M	30.55	60.00
101	Mas de Payan.....	M	49.80	59.00
102	La Samatane.....	H	33.69	47.50
103	La Croix de Crau.....	H	46.98	53.50
104	Maisonnée de cantonnier sur la route d'Arles, à environ 500 mètres à l'Est de la Croix de Crau.....	M	47.11	54.90
105	La Crotte.....	M	43.13	60.70
106	Les Molières.....	M	40.14	53.10
107	A environ 1 km. à l'Est du puits n° 39..	M	60.80	85.20
108	Le Pin.....	M	60.00	78.00
109	A environ 300 mètres au N.-O. de Granely.....	M	82.15	87.50
110	A environ 600 mètres du Merle, sur la route d'Eyguières.....	M	55.15	70.00
111	Cabane Saint-Jean.....	M	51.05	63.50

NUMERO DU PUIS	EMPLACEMENTS	FREQUENCE des RELEVÉS	COTE du FOND	COTE du TERRAIN	
112	Poseros.....	H	37.10	43.00	
113	Lamoureux.....	M	23.75	45.00	
114	A environ 900 mètres au N.-E. du Bouscayer.....	M	30.18	41.20	
115	Bonhomme.....	M	17.98	36.00	
116	Le Lion d'Or.....	M	13.10	19.40	
117	Laure.....	M	12.38	19.00	
118	Mas de Mailly.....	M	18.09	25.00	
119	Vaequières.....	M	14.79	25.00	
120	Chambremont.....	M	7.00	25.00	
121	Mas de Granier.....	M	11.40	25.00	
122	Mas de Paul.....	M	12.53	20.00	
123	Bergerie de Beausseuq.....	M	20.10	27.00	
124	Entonnoir d'explosion du Parc de Beausseuq.....	M	28.65	50.60	
125	Etang d'Entressen.....	M	"	37.32	
126	Ecole d'Aviation d'Istres, à l'Est de la façade est du casernement.....	"	10.98	24.20	
127	Entre Boucassou et les Tapies.....	M	4.36	17.20	
128	A environ 1 km. au Sud du Puits n° 14..	M	2.72	15.00	
129	A environ 1.500 mètres au S.-O. de Peyro Estève.....	H	10.23	21.50	
130	A environ 400 mètres au N.-E. du Retour des Aires.....	M	1.35	7.90	
131	Puits Demeau.....	M	2.76	10.00	
132	A environ 1.500 m. à l'Est du Gamadou.	M	2.99	4.80	
133	Ecole d'Aviation d'Istres, Puits du réservoir.....	M	9.65	24.00	
134	Ligne P. L. M. de Miramas à L'Estaque	K. 816.660 M.G. n° 4.....	H	"	31.80
135		K. 818.670 M.G. n° 5.....	H	"	29.68.
136		K. 819.060 M.G. n° 6.....	H	"	28.48
137		K. 820.010 M.G. n° 7.....	H	"	25.58
138		K. 820.625 M.G. n° 8.....	H	"	23.56
139		K. 820.650 Ancien bâtiment principal M.P.B. Istres.....	H	"	24.17
140		K. 820.735 Gare Istres.....	H	"	23.61
141		K. 821.570 M.G. n° 9.....	H	"	20.80
142		K. 822.620 M.G. n° 10.....	H	"	19.04
143		K. 822.955 Station de Rassau.....	H	"	18.62
144		K. 823.025 Côté voie 1.....	H	"	16.81
145		K. 823.025 Côté jardin voie 1.....	H	"	16.66
146		K. 823.300 M.G. n° 11.....	H	"	15.94
147		K. 824.485 M.G. n° 12.....	H	7.98	10.45

NUMÉRO DU PUIS	EMPLACEMENTS	FREQUENCE des RELEVÉS	COTE du FOND	COTE du TERRAIN
148	Petit Carton.....	H	12.85	23.90
149	Entre le Petit Carton et le Mas d'Amphoux.....	M	24.12	27.50
150	Mas d'Amphoux.....	M	30.30	32.20
151	Entre Menuéde et le Grand Pâté.....	M	2.60	12.60
152	A environ 500 mètres à l'Ouest de l'Abondance.....	M	0.31	10.30
153	Le Véry, devant la ferme (cimenté).....	M	32.67	35.40
154	Le Véry (derrière le château).....	M	32.10	35.40
155	La Carougnade (bergerie d'Archimbaud sur E.M.).....	H	45.88	53.70
156	Lamanon (propriété scierie vers route Senas).....	H	95.89	99.12
157	Lamanon (pyrotechnie).....	H	98.67	121.59
158	K. 49.462 M.G. n° 8.....	H	98.68	109.69
159	K. 52.254 M.G. n° 9.....	H	94.22	97.01
160	K. 53.150 M.G. n° 10.....	H	87.88	91.40
161	K. 54.720 M.G. n° 11.....	H	77.59	82.28
162	K. 55.822 M.G. n° 12.....	H	71.97	76.89
163	K. 56.449 M.G. n° 13.....	H	67.34	73.58
164	K. 57.992 M.G. n° 14.....	H	68.02	70.71
165	K. 59.282 M.G. n° 15.....	H	61.78	68.45
166	K. 61.871 M.G. n° 16.....	H	52.26	65.70
167	K. 64.223 M.G. n° 17.....	H	47.79	60.91
168	K. 65.255 M.G. n° 18.....	H	41.44	53.96
169	K. 65.820 M.G. n° 19.....	H	37.24	53.46
170	K. 780.084 M.G. n° 458.....	H	»	12.08
171	K. 781.302 M.G. n° 459.....	H	»	11.21
172	K. 782.631 M.G. n° 460.....	H	»	12.04
173	K. 784.011 M.G. n° 461.....	H	»	8.20
174	K. 784.937 Gare Raphaële.....	H	3.39	8.45
175	K. 786.240 Maison A.H.....	H	3.82	4.73
176	K. 787.930 Maison A.I. à droite route.....	H	5.64	6.84
177	K. 787.973 Maison A.I. à gauche route.....	H	»	7.47
178	K. 789.210 Maison A.J.....	H	»	14.94
179	K. 789.850 M.G. n° 462.....	H	»	18.97
180	K. 790.485 M.A.K.....	H	»	22.96
181	K. 791.990 Maison A.L.....	H	»	20.11

NUMÉRO DU PUIS	EMPLACEMENTS	FREQUENCE des RELEVÉS	COTE du FOND	COTE du TERRAIN
182	K. 792.518 Puits machine éléva- toire, gare Saint-Martin.....	H	»	22.41
183	K. 793.629 M.G. n° 464.....	H	»	29.91
184	K. 794.560 M.G. n° 465.....	H	»	25.31
185	K. 794.955 Maison A.M.....	H	»	26.71
186	K. 795.630 M.G. n° 466.....	H	»	27.19
187	K. 797.030 Maison A.N.....	H	»	29.94
188	K. 797.713 M.G. n° 467.....	H	»	31.11
189	K. 798.850 M.G. n° 468.....	H	»	32.63
190	K. 800.008 Maison A.V.....	H	»	34.78
191	K. 800.688 M.G. n° 469.....	H	»	35.95
192	K. 801.521 M.G. n° 470.....	H	»	37.80
193	K. 802.563 M.G. n° 471.....	H	»	40.06
194	K. 803.214 M.G. n° 472.....	H	»	40.70
195	K. 804.530 M.G. n° 473.....	H	»	42.30
196	K. 804.610 Gare Entressen.....	H	»	42.34
197	K. 806.920 Poste 1 gare Miramas.....	H	»	45.72
198	K. 807.689 Poste 2 gare Miramas.....	H	»	47.71
199	Ligne Miramas Salon P. L. M. K. 67.137 M.G. n° 20.....	H	»	49.09
200	Ligne Miramas L'Estaque P. L. M. K. 809.700 M.G. n° 1.....	H	»	50.07
201	Ligne Miramas L'Estaque P. L. M. K. 809.880 M.G. n° 2.....	H	»	50.55
202	Ligne Miramas L'Estaque P. L. M. K. 815.390 Station du Pâté.....	H	»	36.50
203	Magnau.....	H	24.90	28.60
204	Près des canaux jumeaux dans le terroir de la Péronne.....	H	41.46	49.00
205	Bergerie près le Luquier.....	H	42.95	51.50
206	A environ 400 m. à l'Est de Bourdony.....	H	45.03	51.40
207	A environ 1 km. à l'Est de la Bergerie d'Archimbaud.....	M	52.65	56.80
208	Bouscayer.....	H	26.18	39.30
209	Bergerie de Poseros.....	H	32.40	44.00
210	A environ 200 mètres à l'Est de 211.....	H	13.30	20.50
211	Brune d'Istres.....	H	11.67	20.30
212	Terme Blanc.....	H	2.39	14.40
213	Collongues.....	M	0.95	8.60
214	Campagne Baccellad.....	M	81.56	87.80

NUMÉRO DU PUIS	EMPLACEMENTS	PRÉFÉRENCE DES RELEVÉS	COTE du FOND	COTE du TERRAIN
215	A environ 300 mètres S.-O. 155.....	M	45.15	53.00
216	Bergerie de La Tapie.....	M	44.52	59.00
217	La Figuière.....	H	0.60	11.10
218	La Péronne Anciennes vignes.....	H	39.50	52.00
219	Carougnade Coussoul.....	H	37.48	47.70
220	La Ligne.....	H	22.30	34.40
221	Brune d'Istres Nord Bergerie.....	H	12.55	19.90
222	La Fossette.....	H	1.34	7.50
223	Coussou Crau.....	H	1.74	8.10
224	Cabanon rouge.....	H	-0.04	4.00
225	Retour Nord Coussous.....	H	0.87	6.00

L'emplacement de ces divers puits a été relevé sur la carte d'Etat-Major au 1/80.000^e ci-jointe (fig. 3).

Nous avons ensuite fait un tirage muet de cette carte sur lequel ne figurent que l'emplacement des voies ferrées (comme repère) et l'emplacement des puits. C'est sur cette carte muette qu'ont été faits tous les travaux ultérieurs. Le lecteur pourra par conséquent reporter facilement les indications des cartes suivantes sur la carte figure 3.

d) Graphiques des variations du niveau de l'eau dans les puits.

Les renseignements recueillis par les procédés indiqués ci-dessus nous ont permis de tracer pour chacun des puits observés le graphique des variations du niveau de l'eau.

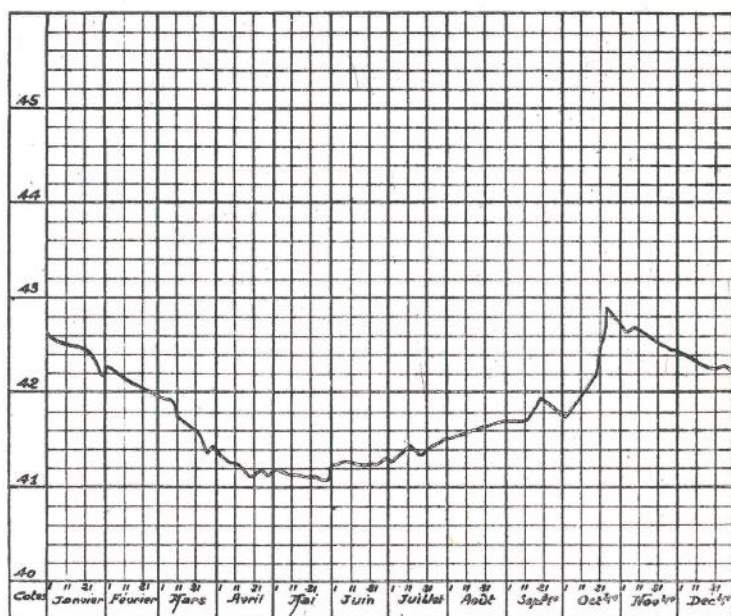
Nous donnons ci-joint (fig. 4) la copie d'un de ces graphiques en grandeur nature et dans les figures suivantes des réductions de tous les graphiques.

En ce qui concerne les puits observés quotidiennement, hebdomadairement ou à l'aide de limnigraphes enregistreurs, les graphiques ont été obtenus en joignant les divers points représentatifs des observations faites.

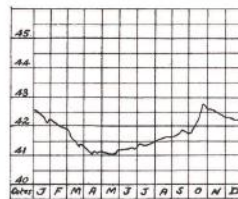
En ce qui concerne les puits relevés mensuellement, les points représentatifs des observations faites (figurés par un rond) ont été joints par une ligne pointillée tracée par analogie avec les graphiques des puits voisins et de même régime.

Les traits horizontaux pointillés mixtes indiquent la cote du fond des puits.

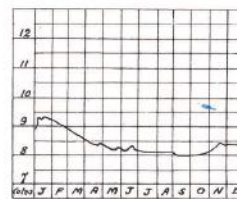
N° 1 Figure n° 4



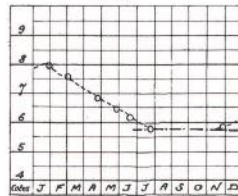
N° 1



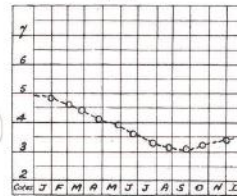
N° 2



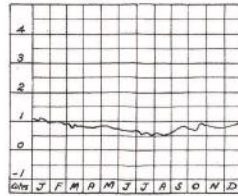
N° 3



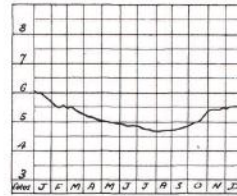
N° 4



N° 5



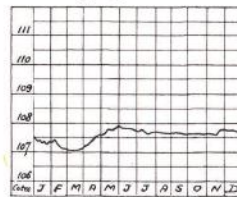
N° 6



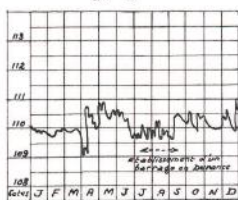
N° 7



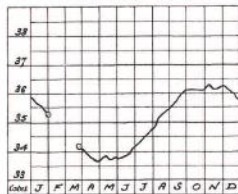
N° 8



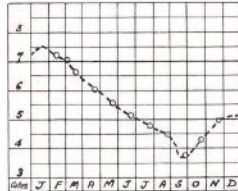
N° 9



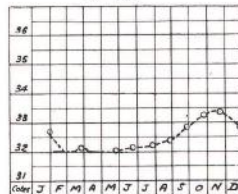
N° 11



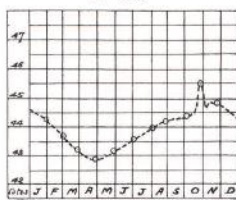
N° 13



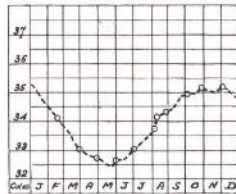
N° 15



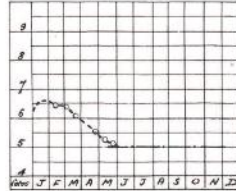
N° 10



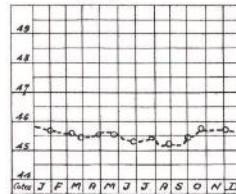
N° 12



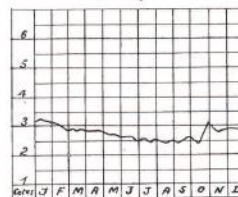
N° 14



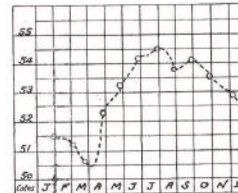
N° 16



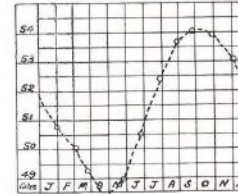
N° 17



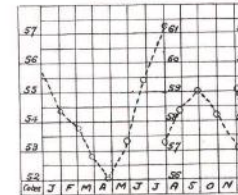
N° 19



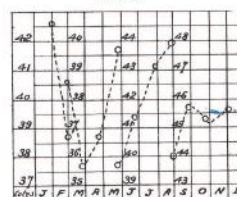
N° 21



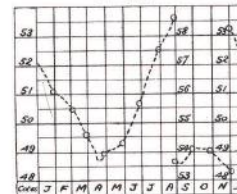
N° 23



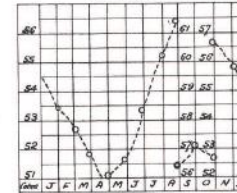
N° 18



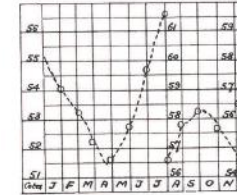
N° 20



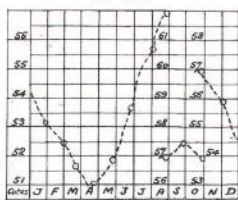
N° 22



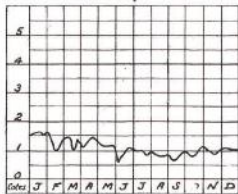
N° 24



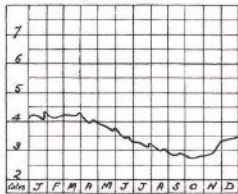
N° 25



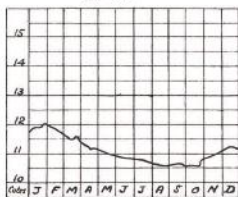
N° 27



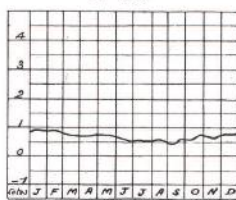
N° 29



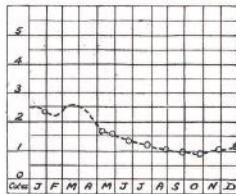
N° 31



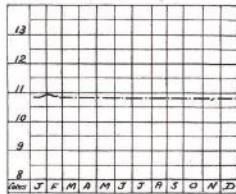
N° 26



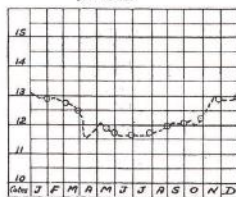
N° 28



N° 30



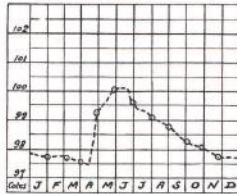
N° 32



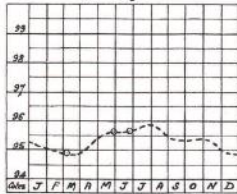
N° 33



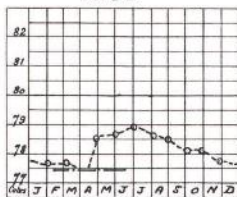
N° 35



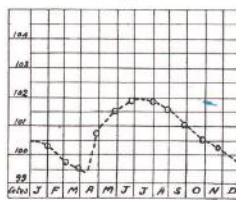
N° 37



N° 39



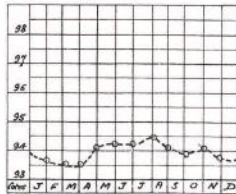
N° 34



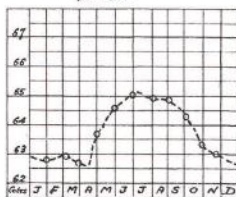
N° 36



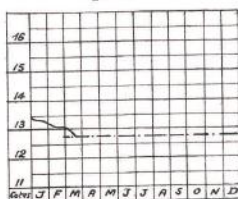
N° 38



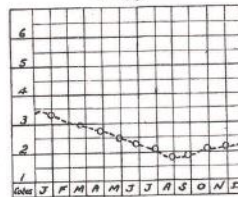
N° 40



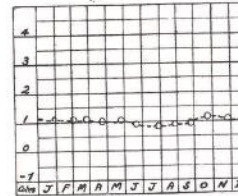
N° 41



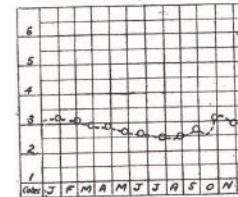
N° 43



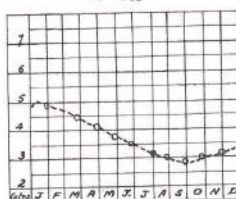
N° 45



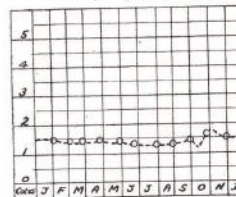
N° 47



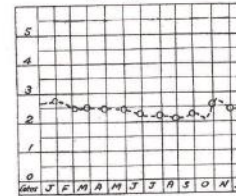
N° 42



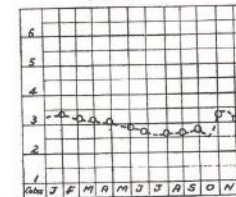
N° 44



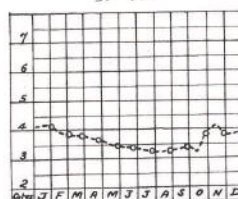
N° 46



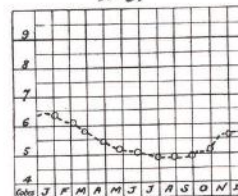
N° 48



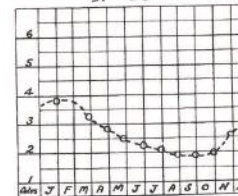
N° 49



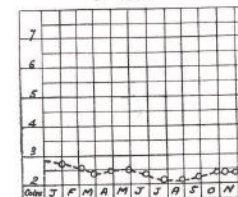
N° 51



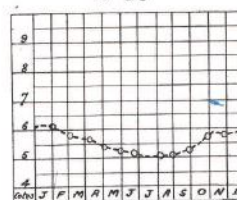
N° 53



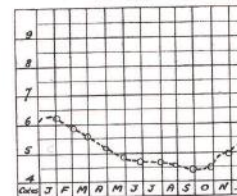
N° 55



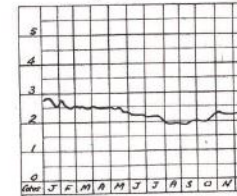
N° 50



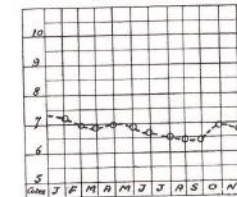
N° 52



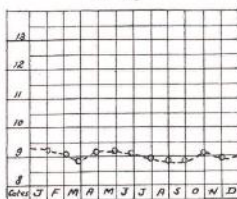
N° 54



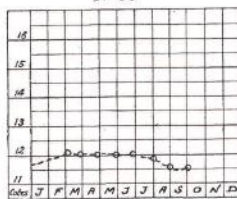
N° 56



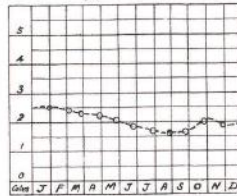
N° 57



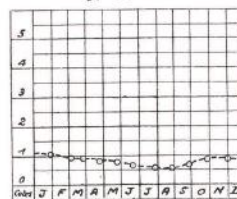
N° 59



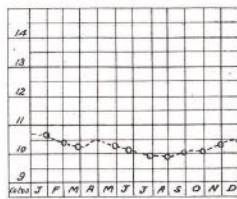
N° 61



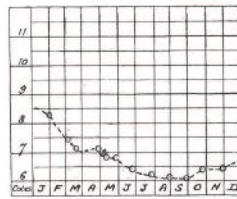
N° 63



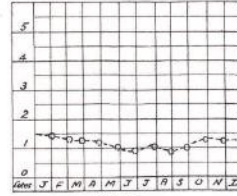
N° 58



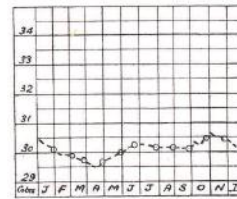
N° 60



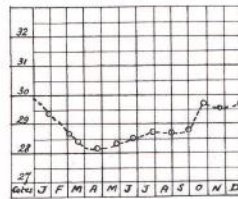
N° 62



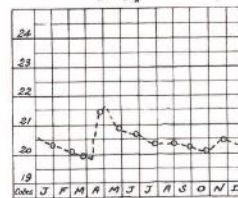
N° 64



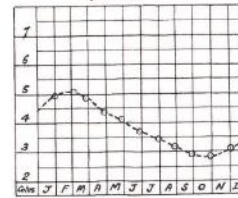
N° 65



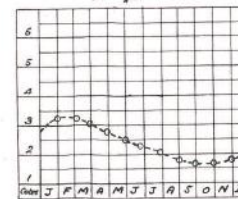
N° 67



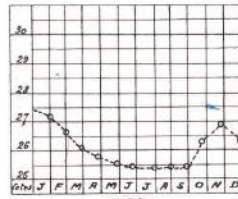
N° 69



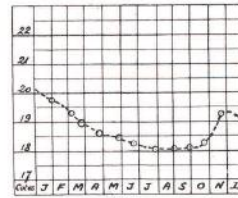
N° 71



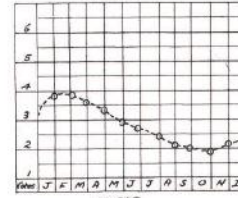
N° 66



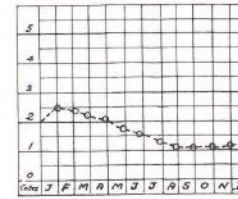
N° 68



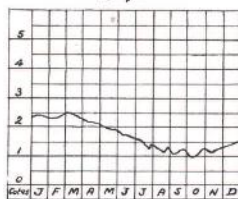
N° 70



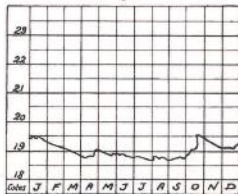
N° 72



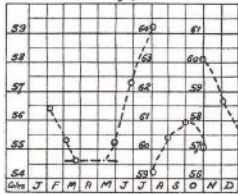
N° 73



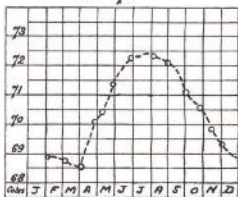
N° 75



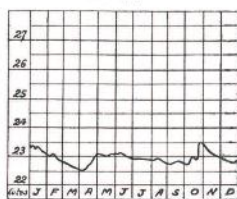
N° 77



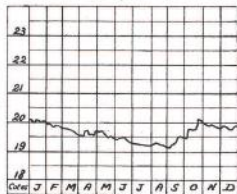
N° 79



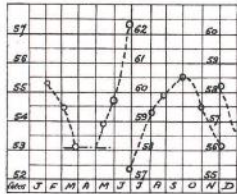
N° 74



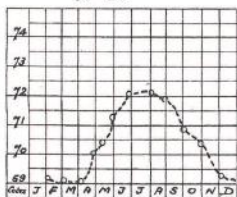
N° 76



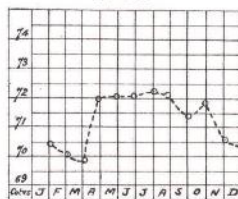
N° 78



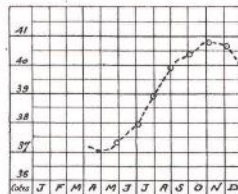
N° 80



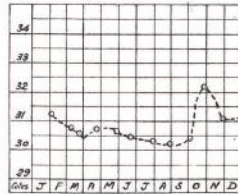
N° 81



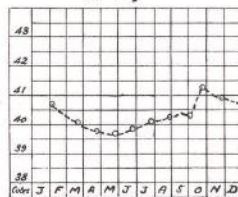
N° 83



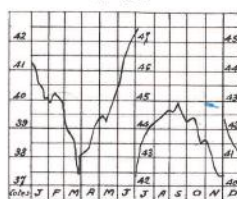
N° 85



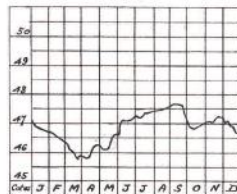
N° 87



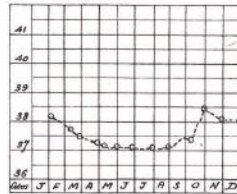
N° 82



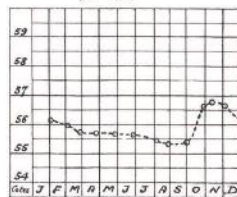
N° 84



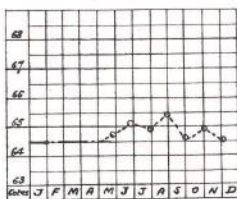
N° 86



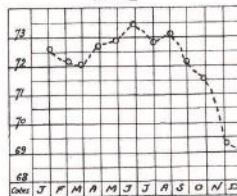
N° 88



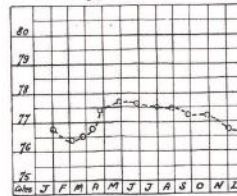
N° 89



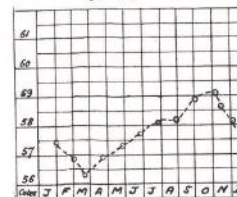
N° 91



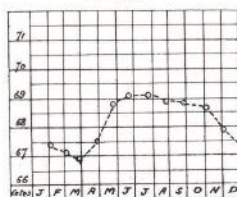
N° 93



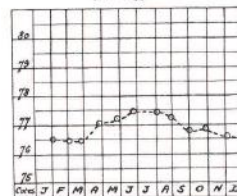
N° 95



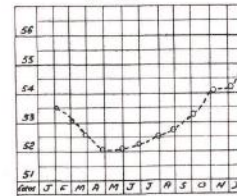
N° 90



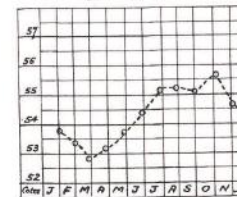
N° 92



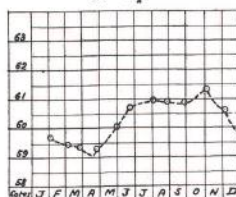
N° 94



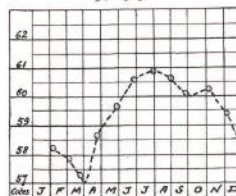
N° 96



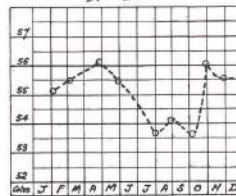
N° 97



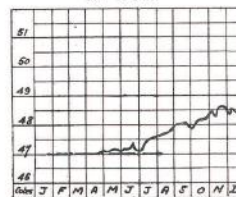
N° 99



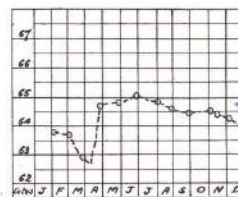
N° 101



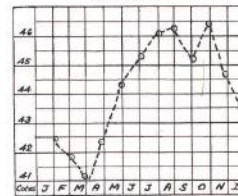
N° 103



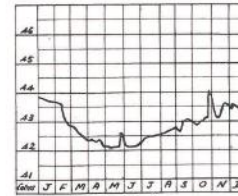
N° 98



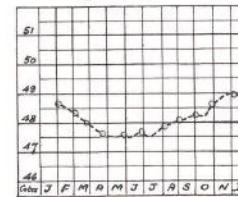
N° 100



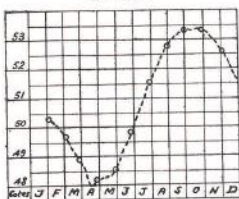
N° 102



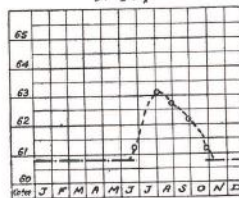
N° 104



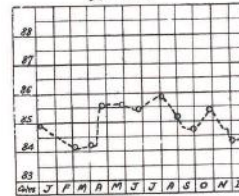
N°105



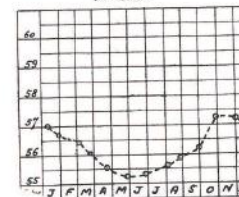
N°107



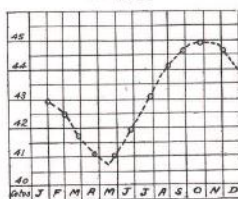
N°109



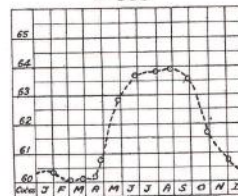
N°111



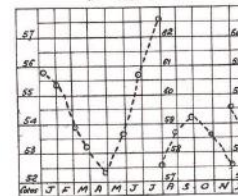
N°106



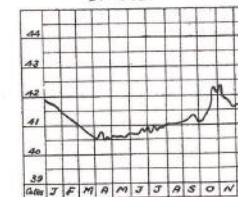
N°108



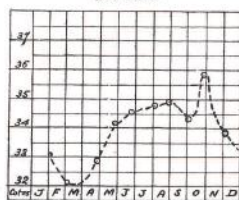
N°110



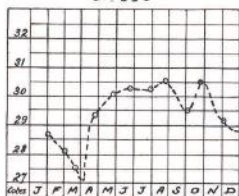
N°112



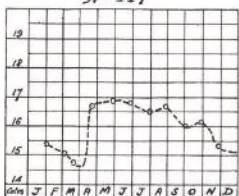
N°113



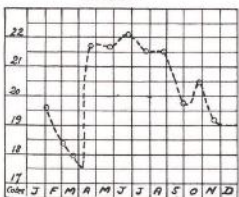
N°115



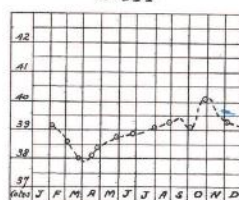
N°117



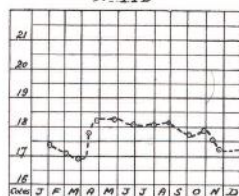
N°119



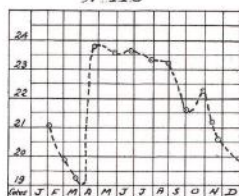
N°114



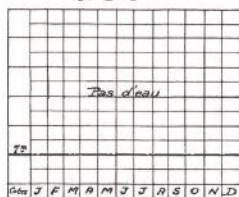
N°116



N°118

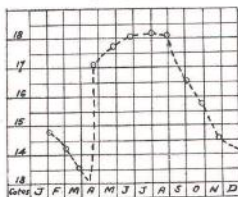


N°120

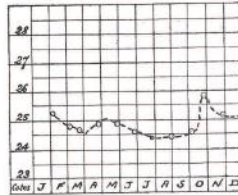


Pas d'eau

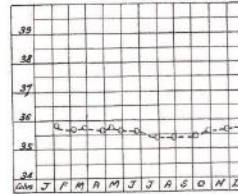
N° 121



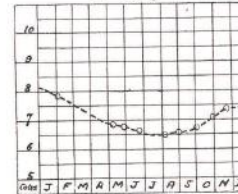
N° 123



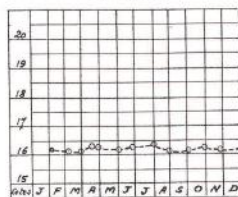
N° 125



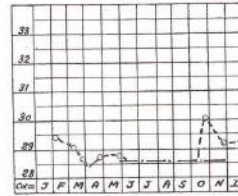
N° 127



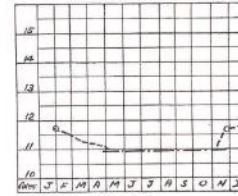
N° 122



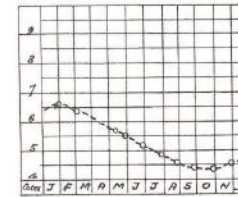
N° 124



N° 126



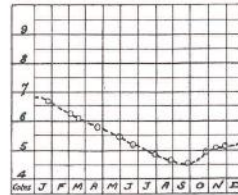
N° 128



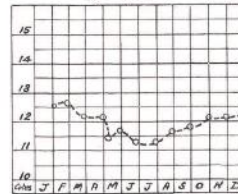
N° 129



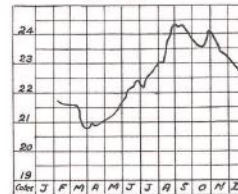
N° 131



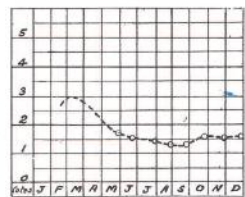
N° 133



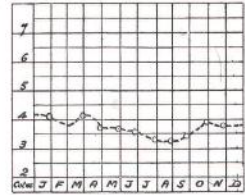
N° 135



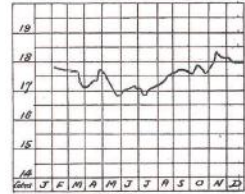
N° 130



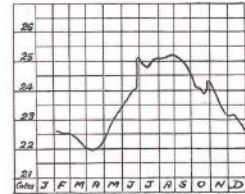
N° 132



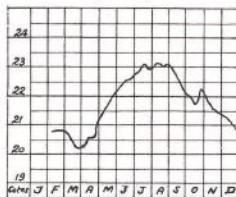
N° 134



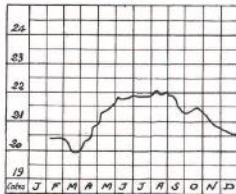
N° 136



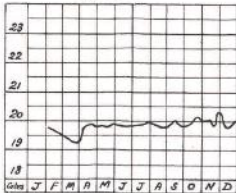
N° 137



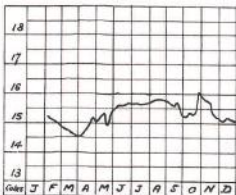
N° 139



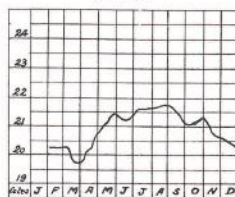
N° 141



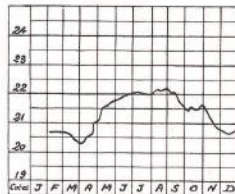
N° 143



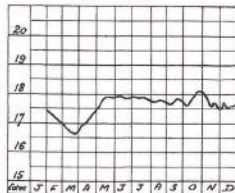
N° 138



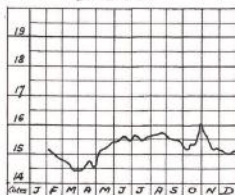
N° 140



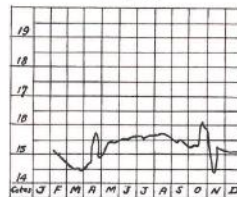
N° 142



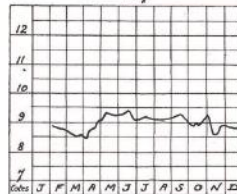
N° 144



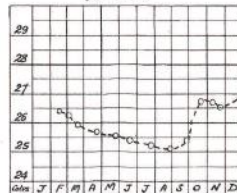
N° 145



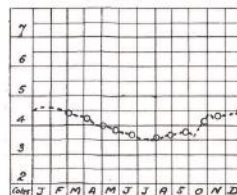
N° 147



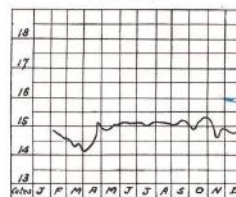
N° 149



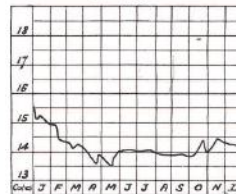
N° 151



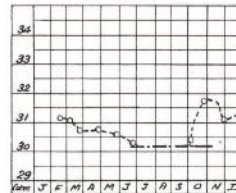
N° 146



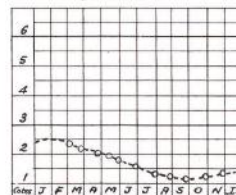
N° 148



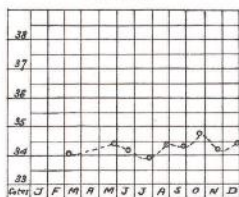
N° 150



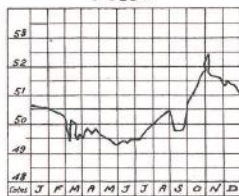
N° 152



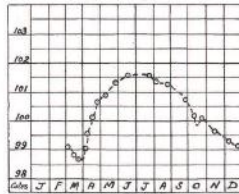
N° 153



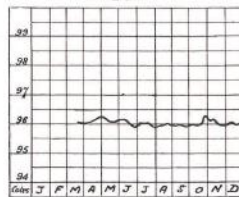
N° 155



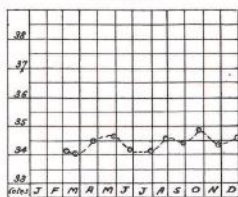
N° 157



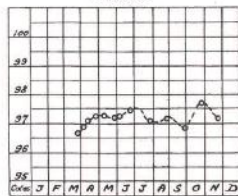
N° 159



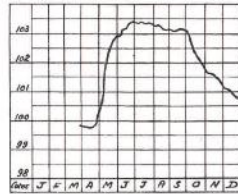
N° 154



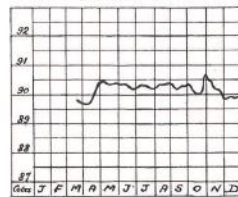
N° 156



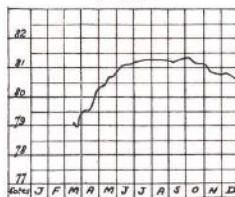
N° 158



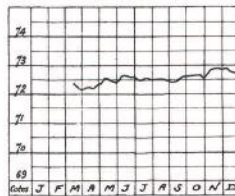
N° 160



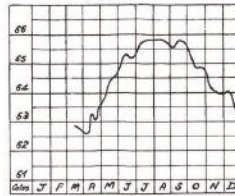
N° 161



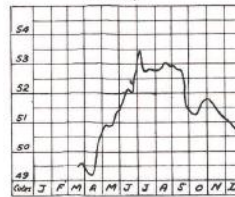
N° 163



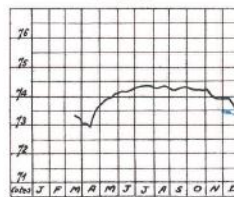
N° 165



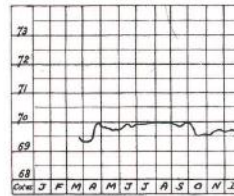
N° 167



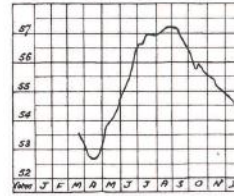
N° 162



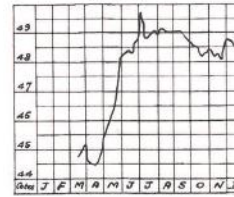
N° 164



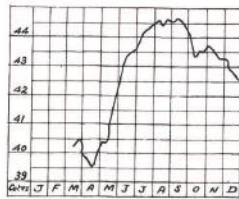
N° 166



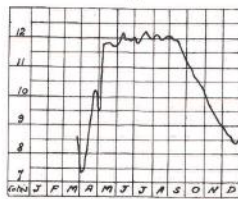
N° 168



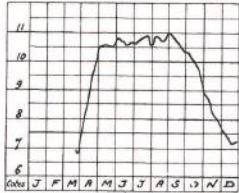
N° 169



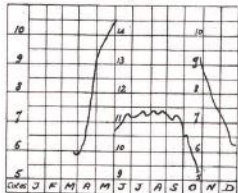
N° 170



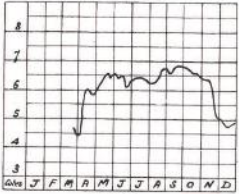
N° 171



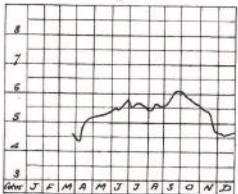
N° 172



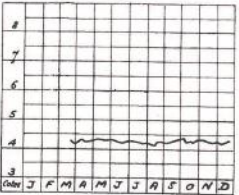
N° 173



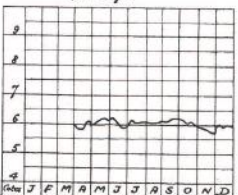
N° 174



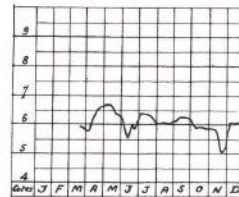
N° 175



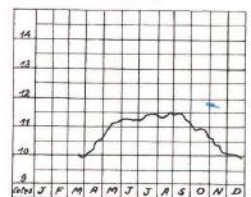
N° 176



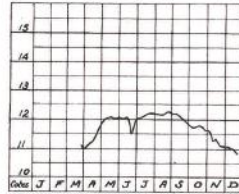
N° 177



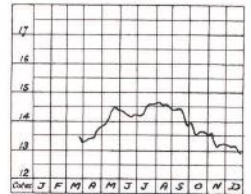
N° 178



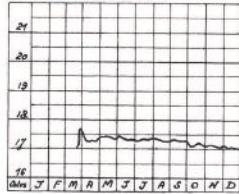
N° 179



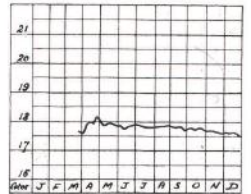
N° 180



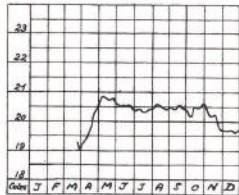
N° 181



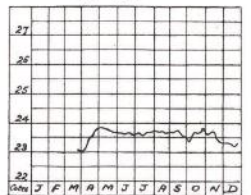
N° 182

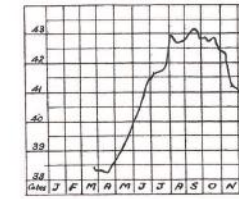
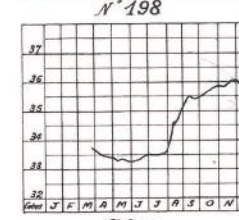
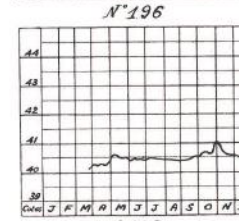
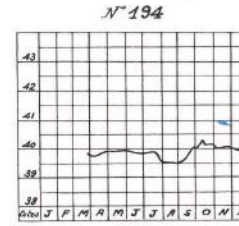
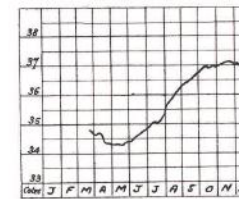
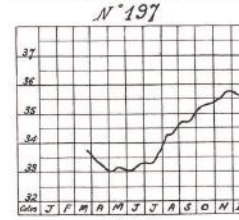
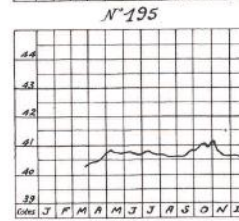
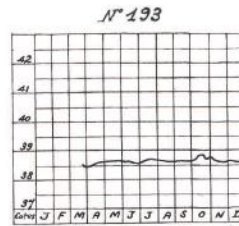
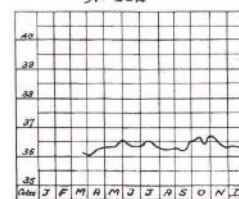
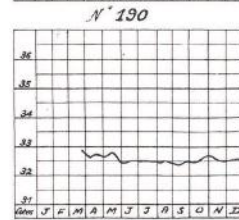
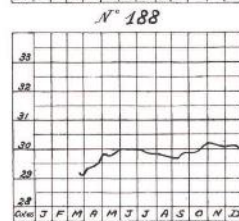
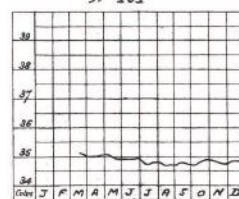
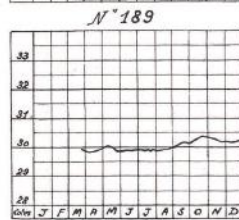
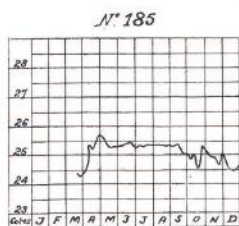


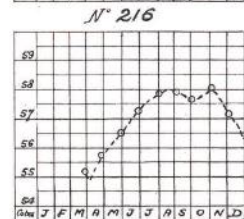
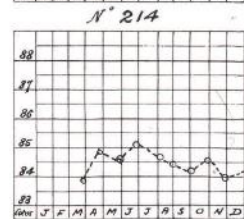
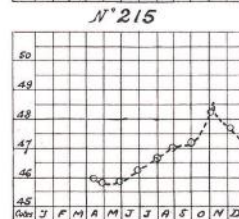
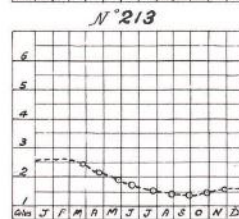
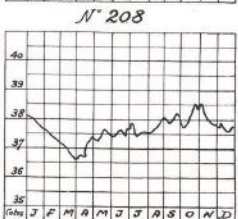
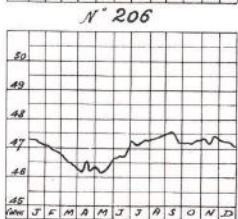
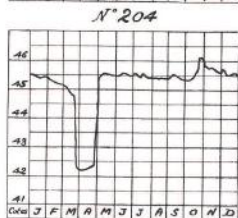
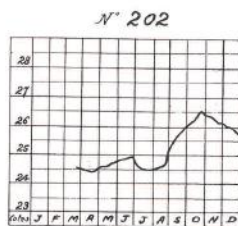
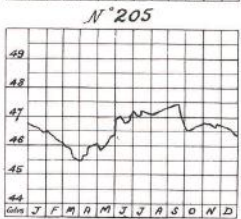
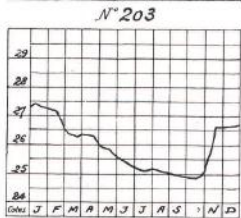
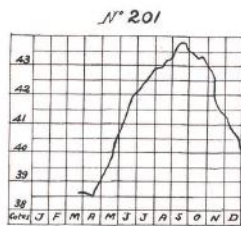
N° 183

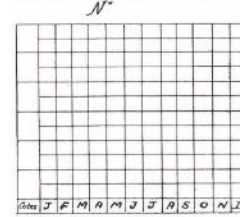
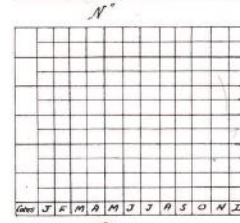
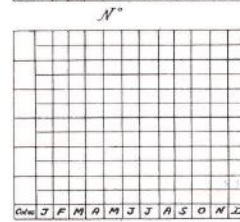
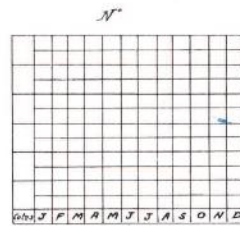
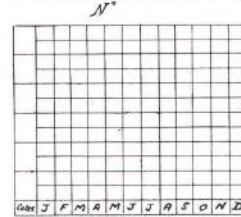
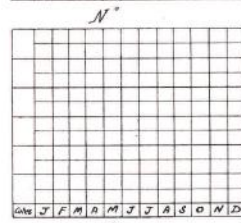
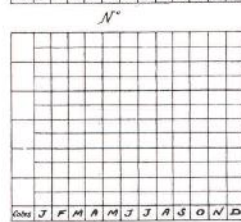
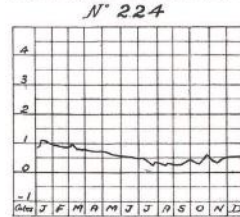
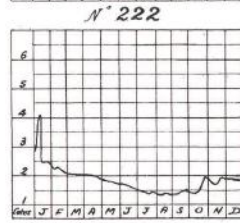
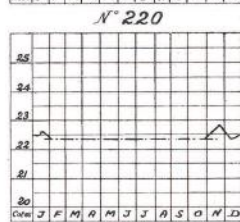
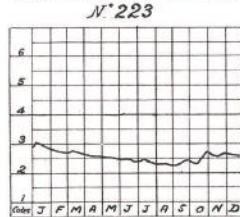
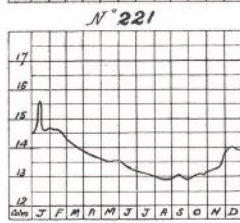
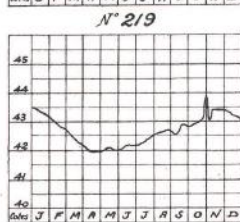
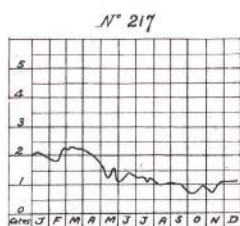


N° 184









B. — ESSAIS DE POMPAGE

a) Matériels et appareils employés

Lorsque les puits étaient équipés avec des pompes d'un débit suffisant, les essais ont simplement été faits en utilisant la pompe installée sur le puits.

Pour les puits non équipés, nous avons utilisé des groupes moto-pompes à essence d'un débit variant de 10 à 100 litres/seconde.

Ces groupes étant équipés avec des pompes centrifuges, la hauteur d'aspiration possible était assez limitée et a, de ce fait, restreint le nombre de puits qu'il était possible de choisir pour effectuer les essais.

Pendant les essais de pompage, les variations du niveau de l'eau dans les puits étaient observées à l'aide d'un petit limnigraphe enregistreur (fig. 6a et 6b).

Cet appareil se compose en principe d'une vis d'un pas de 4 mm. A l'extrémité de cette vis est monté concentriquement et solidement un tambour cylindrique moleté de 8 cm. de périphérie.

Un écrou se déplaçant sur la vis, et dont la rotation est empêchée par un système de guides, porte une plume inscrivait sur le cylindre enregistreur ses déplacements.

Sur le tambour passe un câble de cuivre tressé portant à une extrémité un flotteur et à l'autre extrémité un contrepoids.

Les déplacements de l'écrou, et par suite de la plume, sont donc le 1/20^e des déplacements du flotteur.

Le cylindre enregistreur peut faire, par changement de pignon, un tour en 13 minutes ou un tour en 25 minutes.

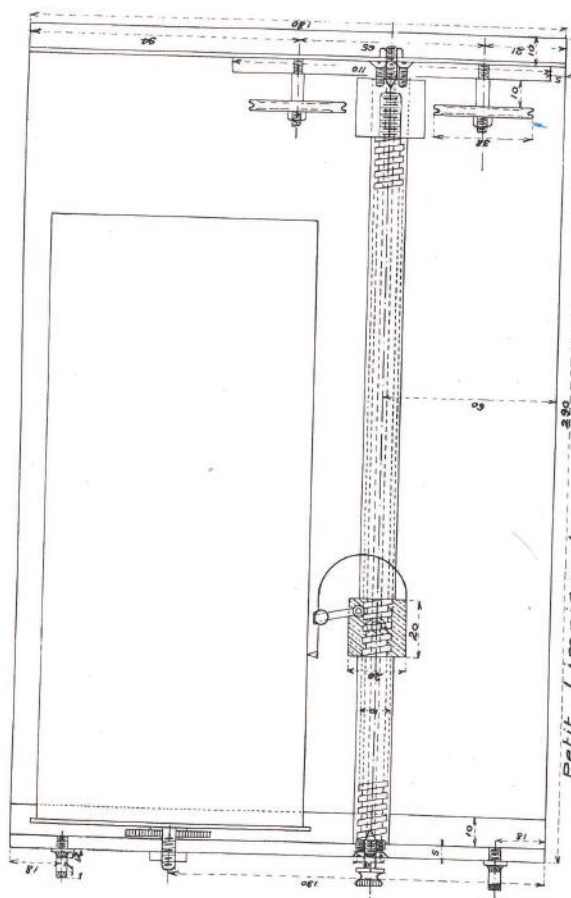
Les échelles des graphiques obtenus sont donc les suivantes :

Hauteur.....	1 cm. = 20 cm.
Temps	1 cm. = 26''7 ou 33''4.

b) Carte des emplacements où ont été effectués les essais.

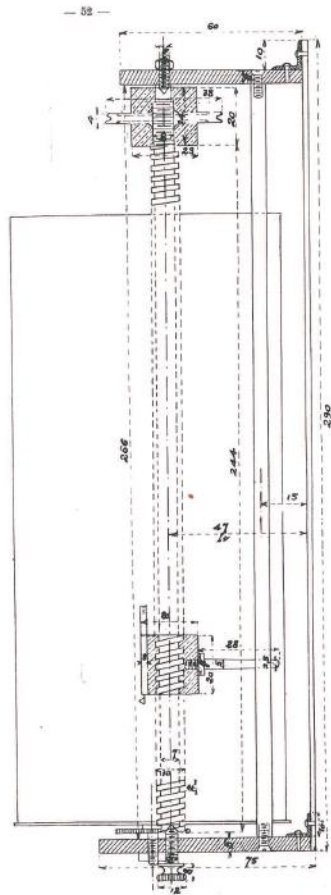
Les essais de pompage ont été effectués sur les puits n^{os} 5, 6, 7, 10, 11, 12, 17, 65, 68, 75, 76, 79, 86, 88, 93, 98, 101, 116, 118, 124, 132, 133, 147, 149, 153, 154, 155, 157, 174, 175, 176, 204, 207 et aux points suivants :

- P₁ (Saint-Paul).
- P₂ (Pescros), Nouvelle fouille exécutée par la Compagnie agricole de la Crau.
- P₃ Nouvelle fouille effectuée dans la région de Gamadou.
- P₄ Nouveau puits exécuté près de la Cabanasse.
- P₅ La Lieutenant.
- P₆ Nouveau puits exécuté par la Compagnie agricole de la Crau à la Carougnade.
- P₇ Puits dans la prairie du Mas de Payan.
- P₈ Puits de l'autodrome de Miramas.
- P₉ Puits situé dans le terroir de la Péronne, à 800 mètres environ au nord du puits 204.



Petit Limnigraphe portatif - Plan - figure 6a.

Petit Limnigraphie portatif - Coupe longitudinale - figure 6b



Nous avons assisté nous-mêmes à la plupart des essais et les avons contrôlés par un limnigraphe enregistreur.

Pour les seuls puits suivants : 116, 132, 157, P₁, P₂, P₃, P₄, P₅, nous avons calculé le coefficient de filtration d'après les résultats d'essais de pompages qui nous ont été communiqués.

La carte ci-jointe (fig. 7) donne l'indication des emplacements où ont été effectués les essais.

C. — TEMPÉRATURE DE L'EAU DE LA NAPPE SOUTERRAINE

Elle nous a été communiquée par la Compagnie agricole de la Crau, par l'École d'Aviation d'Istres et nous avons pris nous-mêmes à plusieurs reprises la température de l'eau des puits de la Crau.

L'ensemble des chiffres ainsi obtenus varie de 7° (température constatée dans le puits n° 3 en février 1929) à 17° (température constatée en avril 1929 dans le puits n° 12) ; mais il faut remarquer que la plupart de ces températures ont été prises dans des puits où il n'était effectué que rarement des puisages à faible débit. L'eau du puits avait donc une température tendant à se rapprocher plus de celle de l'air extérieur que de celle de la nappe souterraine.

Par ailleurs, certaines des températures qui nous ont été communiquées ne nous paraissent pas avoir été prises avec toutes les garanties d'exactitude désirables. Celles que nous avons prises nous-mêmes ont été mesurées à l'aide d'un thermomètre de marine.

Nous donnons dans le tableau ci-après l'indication de quelques chiffres pris avec des garanties d'exactitude suffisantes.

	PUITS N° 12	PUITS N° 133
Mars 1929	11°	11°
Avril 1929	17°	16°
Mai 1929	16°	16°
Juin 1929	16°	16°
Juillet 1929	16°	16°
Août 1929	16°	16°
Septembre 1929	12°	16°
Octobre 1929	16°	16°
Novembre 1929	16°	16°
Décembre 1929	15°	15°

D. — ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX

Le laboratoire de la Compagnie des Chemins de fer P. L. M. a fait l'analyse chimique de divers échantillons d'eau prélevés en décembre 1929 aux emplacements suivants :

- Échantillon n° 1 : Prise d'eau en Durancie, à Mallemort.
 - Échantillon n° 2 : Puits n° 7.
 - Échantillon n° 3 : Puits n° 90.
 - Échantillon n° 4 : Puits n° 23.
 - Échantillon n° 5 : Puits n° 11.
 - Échantillon n° 6 : Puits n° 6.
 - Échantillon n° 7 : Puits n° 123.
 - Échantillon n° 8 : Étang d'Entressen, à environ 3 mètres de profondeur.
- Les résultats de ces analyses sont consignés au tableau suivant.

	EAU DE L'ÉTANG d'Entressen	EAU DU PUITS de Beaussens n° 123	EAU DE LA STATION à Fontarigoule (puits n° 6)	EAU DE LA POMPE de source de la gare de Ximou	EAU DU PUITS de la source de la gare (puits n° 23)	EAU DU PUITS de la source de la gare (puits n° 90)	EAU DU PUITS de la source de la gare (puits n° 7)	EAU DE LA DURANCIE à la prise de Mallemort
Degré hydrotimétrique....	43	28	33	36	36	44	36	26
Poids du résidu sec par litre d'eau.....	877	337	456	469	492	615	648	356
Poids du résidu calciné par litre d'eau.....	839	310	438	448	461	577	582	332
Poids du résidu évalué en sulfates.....	893	389	530	528	547	679	647	404
Silice, alumine, oxyde de fer	9	10	11	10	10	13	8	19.8
Chaux.....	134.3	129.4	174.3	174.7	176.7	211.8	179.6	116.2
Magnésie.....	64.1	12.2	18.4	17.3	23.4	33.5	32.7	22.3
Alcalis.....	159.7	12.4	17.8	18.4	16.5	21.6	45.8	15.4
Chlore.....	177.7	14.1	17.6	17.6	17.6	22.9	47.5	14.1
Acide sulfurique.....	213.3	57.6	90.5	91.2	94	126.9	147.5	82.9
Acide carbonique combiné aux bases.....	55	81	108	107	112	134	80	70
Nitrates évalués en acide nitrique anhydre.....	traces	9	3	6.5	3	3	44	néant
P ³ O ⁵	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces

Il est intéressant de rapprocher ces chiffres de ceux obtenus antérieurement.

Lors de la création de la station de pompage de Fontarigoule, une analyse a été faite en 1912 et a donné les résultats suivants :

Degré hydrotimétrique.....	36° 1/2
Poids du résidu sec par litre d'eau.....	419
Poids du résidu calciné par litre d'eau.....	399
Poids du résidu évalué en sulfates.....	475

Composition du résidu.

	Quantité en milligrammes par 1 litre d'eau
Alumine, Oxyde de fer.....	4
Silice.....	12
Chaux.....	139
Magnésie.....	12.6
Alcalis.....	18
Chlore.....	21.3
Acide sulfurique.....	82.4
Acide carbonique combiné aux bases.....	93.4
Acide carbonique excédent.....	136.6
Matières organiques évaluées en O.....	0.4
Ammoniaque.....	0
Nitrates.....	0
Nitrites.....	00
Oxygène par litre à l'arrivée.....	10.1
Oxygène par litre après 8 jours.....	10.1

Composition probable :

Silice.....	12
Alumine, Oxyde de fer.....	4
Chlorure de Na.....	35.1
Sulfate de chaux.....	140
Carbonate de chaux.....	181
Carbonate de magnésie.....	26.4

E. — PLUVIOMÉTRIE

Le Service des Poudres nous a communiqué le relevé des chutes de pluies enregistrées au pluviomètre du Parc d'explosifs de Beaussensq.

Les chiffres communiqués sont relevés au tableau ci-après et le graphique (figure 8) donne la représentation des précipitations atmosphériques par demi-décade.

PLUIES 1929

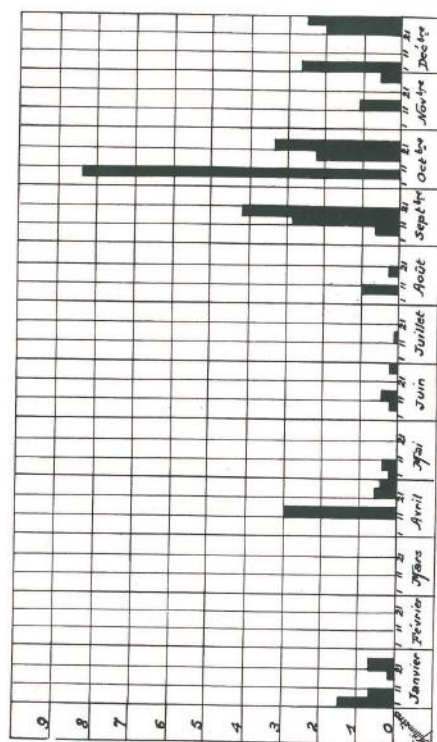


Figure 8

Pluies en Crau

DATES	PAR JOUR	PAR DÉCÉNNAIRE	PAR MOIS
1 ^{er} Janvier 1929.....	12.5		
2 —	1.7	14.5	
3 —	0.3		
6 —	0.9		28.5
7 —	5.4	6.3	
20 —	1.2	1.2	
21 —	1.6		
22 —	4.9	6.5	
12 Avril 1929.....	20		
13 —	10	30.0	
22 —	5.3	5.3	39.9
28 —	4.6	4.6	
2 Mai 1929.....	1.4		
3 —	0.3	1.7	
7 —	3.4		5.1
7 Juin 1929.....	1.3	1.3	
12 —	3.7	3.7	6.4
30 —	1.4	1.4	
14 Juillet 1929.....	0.7	0.7	0.7
7 Août 1929.....	10.0	10.0	12.0
19 —	2.0	2.0	
10 Septembre 1929.....	6.0	6.0	
11 —	21.0		
12 —	7.0	28.5	
13 —	0.5		76.0
16 —	13.5		
17 —	5.3		
18 —	22.6	41.5	
19 —	0.1		
6 Octobre 1929.....	82.0		
7 —	3.5	85.5	
18 —	14.8		140.9
20 —	7.2	22.0	
21 —	29.0		
25 —	4.4	33.4	
13 Novembre 1929.....	7.5		
14 —	3.7	11.2	
A reporter.....	320.7	320.7	309.5

DATES	PAR JOUR	PAR DEMI-DÉCADE	PAR MOIS
Reporte.....	320.7	320.7	309.5
28 Novembre 1929.....	5.5	5.5	16.7
1 ^{re} Décembre 1929.....	0.0	25.8	
5 —	19.8		
21 —	3.0		
22 —	14.0	20.0	70.8
23 —	3.0		
26 —	18.0	25.0	
27 —	7.0		
Totaux.....	397.0	397.0	397.0

F. — NIVELLEMENT DU FOND DE L'ÉTANG D'ENTRESSEN

Le nivellement du fond de l'étang d'Entressen a porté sur 33 points repérés des rives par triangulation et où la profondeur a été mesurée.

Ces mesures nous ont permis d'établir approximativement les courbes de niveau du fond de l'étang. Celui-ci se trouve à une cote moyenne de 29.90 avec minimum de 27.30.

Le niveau de l'eau s'est maintenu au cours de l'année 1929 entre les cotes 33.49 et 33.89. La profondeur moyenne de l'étang est donc d'environ 5 m. 80.

G. — IMPORTANCE DE LA DOCUMENTATION RÉUNIE

L'exposé ci-dessus montre que, rien qu'en ce qui concerne l'étude des variations de la surface libre de la nappe, 9 puits ont été suivis quotidiennement ou à l'aide d'appareils enregistreurs, 96 puits hebdomadairement et 120 puits mensuellement. Une année d'observations représente donc :

Pour les puits observés mensuellement :	
120 × 12	1.440
Pour les puits observés hebdomadairement :	
96 × 52	4.992
A reporter.....	6.432

Report..... 6.432

Et pour les puits observés quotidiennement ou à l'aide
d'appareils enregistreurs :

9 × 365

3.285

Soit au total 9.717 mesures

Si l'on ajoute les mesures effectuées pour les essais de pompages, les mesures de température, les analyses chimiques, la pluviométrie, on peut dire sans exagération que l'étude suivante est basée sur l'observation de plus de douze mille nombres.

CHAPITRE II

MÉTHODES EMPLOYÉES

Nous nous proposons dans ce chapitre d'exposer sommairement le principe et en détail les modalités d'application des méthodes nouvelles que nous avons mises au point pour l'étude des nappes souterraines.

A. — DÉTERMINATION DU FOND DE LA NAPPE PAR L'OBSERVATION DES VARIATIONS DE SA SURFACE LIBRE

a) Exposé général de la méthode.

Cette méthode a fait l'objet d'une étude faisant partie du fascicule 58 des Annales du Ministère de l'Agriculture (Direction générale des Eaux et Forêts).

En raison de la lenteur de parution de ces Annales, il n'a encore été publié qu'un tirage à part de cette étude. La pagination à laquelle nous nous référons sera donc celle de ce tirage à part.

Cette étude est intitulée : « Essais d'étude du fond d'une nappe souterraine par l'observation des variations de sa surface libre ». Par mesure de simplification, nous l'appellerons par la suite : « Étude des nappes souterraines ».

Nous donnons ci-après un résumé de cette étude tel qu'il est fait dans une note présentée à l'Académie des Sciences, le 14 janvier 1929, par M. CATELUX :

« Des méthodes que nous avons étudiées, discutées et appliquées dans notre étude sur l'écoulement souterrain des eaux (thèse de mathématiques soutenue en 1923 devant la Faculté des Sciences de l'Université de Paris) permettent de calculer la surface libre d'une nappe souterraine connaissant le fond imperméable sur lequel elle coule, son débit et les constantes du sol dans lequel elle circule.

« La méthode faisant l'objet de la présente note a pour but de résoudre un problème inverse du précédent : « Connaissant la surface libre d'une nappe, calculer « la surface du fond imperméable sur lequel elle coule ». La solution de ce problème présente une grande importance pratique pour les questions de prospection des nappes souterraines. Si l'on suppose connus le débit de la nappe et les constantes du sol dans lequel elle circule, ce dernier problème peut théoriquement se résoudre par l'application des méthodes ayant servi pour le premier, les calculs étant conduits en sens inverse.

« Mais une des difficultés pratiques, surtout pour une nappe de grande étendue, est la connaissance des constantes du sol dans lequel elle circule et principalement de son coefficient de filtration qui varie souvent beaucoup d'un point à un autre.

« La méthode proposée permet de s'affranchir de la connaissance de ce coefficient par l'observation de la surface libre de la nappe à deux époques correspondant à des débits différents.

« La méthode proposée conduit aux résultats suivants :

« Si l'on prend dans le plan horizontal de comparaison un point m et une direction $m x$ et si l'on considère une nappe qui, pour un débit Q_1 a une surface libre dont la cote au-dessus de m est y_1 , et la pente suivant $m x$, y'_1 et dont les mêmes éléments sont y et y'_2 pour un débit Q_2 , la cote y du fond imperméable sur lequel coule cette nappe est donnée par :

$$y_2 - y = m (y_1 - y_2) \quad (1)$$

$$m = \frac{y'_2 - \sqrt{15 y'_1^2 - (15 - 1) y'_1^2}}{y'_1 - y'_2} \text{ si } y'_1 \text{ différent de } y'_2 \quad (2)$$

$$m = B \text{ si } y'_1 = y'_2 \quad (3)$$

$$B = \frac{1}{1 - \frac{Q_1}{Q_2}} \quad (4)$$

« Ces formules sont pratiquement exactes sous les réserves suivantes :

« Permanence des régimes de la nappe correspondant aux débits Q_1 et Q_2 .

« Constance du coefficient de filtration du sol sur une même verticale.

« Faibles pentes de la nappe et du fond.

« Cette méthode a donné des résultats concluants pour l'étude des nappes d'assainissement dont les surfaces libres avaient été observées par M. le Professeur Diserens de Zurich. »

b) Modalités pratiques d'application dans le cas général.

Dans le cas général, c'est-à-dire lorsque la région à étudier comporte assez de puits d'observations pour que l'on puisse tracer les courbes de niveau des surfaces comportant tous les points de cote y_2 et tous les points de cote y_1 , le procédé d'application le plus exact consiste à tracer ces courbes de niveau et à mesurer, en utilisant ce tracé, les pentes y'_1 et y'_2 en chacun des points.

D'après la remarque faite page 7 de notre étude sur les nappes souterraines, les deux pentes doivent être mesurées suivant une même direction qui est celle de la plus grande pente de la surface de la nappe en régime R_1 , c'est-à-dire de la surface de cote y_1 .

Une fois ainsi obtenus les y_1 , y_2 , y'_1 et y'_2 en chaque point, les formules (1), (2), (3) et (4) serviront à calculer y .

Figure n° 9

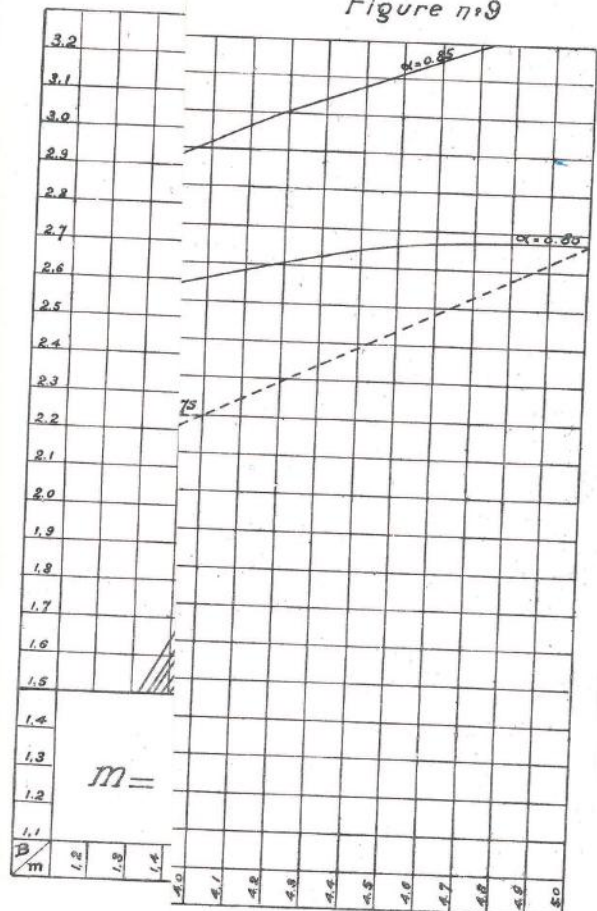
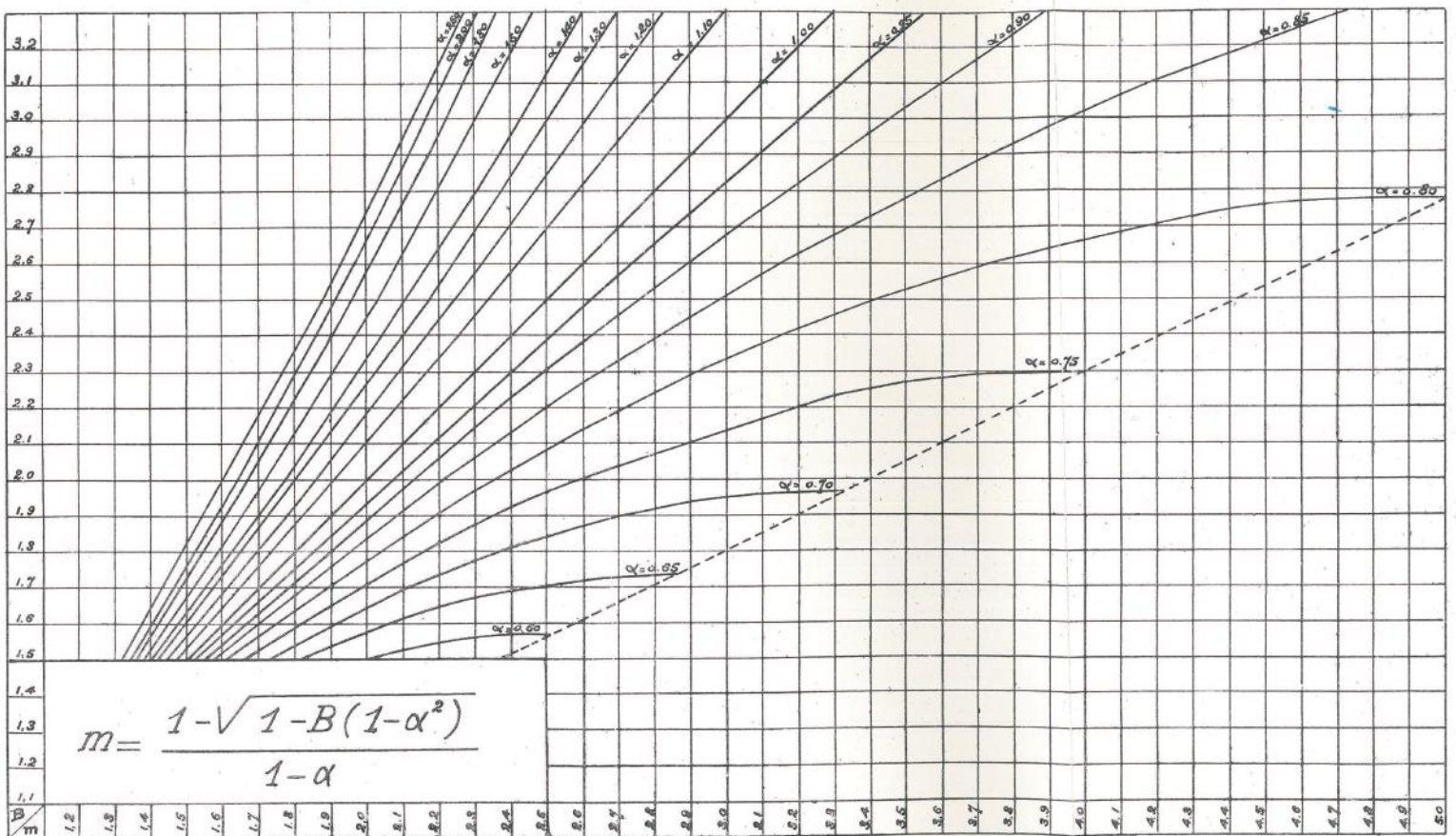


Figure n.9



Il peut pratiquement être apporté une assez grosse simplification à l'emploi de la formule 2.

En effet, si nous divisons le numérateur et le dénominateur par y'_2 et si nous posons,

$$\frac{y'_1}{y'_2} = \alpha \quad (5)$$

nous obtenons après simplification

$$m = \frac{1 - \sqrt{1 - B(1 - \alpha^2)}}{1 - \alpha} \quad (6)$$

Cette formule ne contient plus que 3 inconnues et peut facilement être traduite par un abaque.

C'est cet abaque que nous avons établi (fig. 9) pour les valeurs les plus courantes de B et de α .

La formule (6) appelle une remarque. Le terme sous le radical doit être positif si l'on ne veut pas attribuer à m des valeurs imaginaires. On doit donc avoir :

$$1 > B(1 - \alpha^2) \quad (7)$$

Pour

$$1 = B(1 - \alpha^2) \quad (8)$$

nous aurons

$$m = \frac{1}{1 - \alpha} \quad (9)$$

Portant la valeur de α tirée de (9) dans (8) il vient :

$$B = \frac{m^2}{2m - 1} \quad (10)$$

C'est la courbe représentative de l'équation (10) qui figure en pointillé sur l'abaque.

Il peut arriver que, par suite de légères erreurs dans les mesures de y'_1 et y'_2 et par suite de α ainsi que dans celles de B, le point représentatif tombe en dehors de la courbe limite. Dans ce cas, il convient pratiquement de considérer comme nulle la quantité sous le radical et d'adopter pour m la valeur $\frac{1}{1 - \alpha}$ donnée par l'égalité (9).

c) Modalités pratiques d'application dans des cas spéciaux.

Lorsque les puits observés sont situés sur une seule ligne ne permettant pas le tracé de courbes de niveau, le mode d'application indiqué ci-dessus ne peut plus être utilisé. On est amené à établir le profil en long de la nappe en régime R₁ et en régime R₂ suivant la ligne des puits observés. Les calculs seront alors conduits de la manière suivante.

Soient (fig. 10) deux points voisins A et B du profil pour lequel les cotes de la nappe en régime R₁₂ sont a_1 et b_1 et en régime R₂, et b_2 .

Nous étudierons l'emplacement du fond à un point C situé à égale distance de A et de B. Nous aurons pour ce point

$$y_2 = \frac{a_2 + b_2}{2}$$

$$y_1 = \frac{a_1 + b_1}{2}$$

$$y'_1 = \frac{a_1 - b_1}{A - B}$$

$$y'_2 = \frac{a_2 - b_2}{A - B}$$

$$\text{Par suite } \alpha = \frac{y'_1}{y'_2} = \frac{a_1 - b_1}{a_2 - b_2}$$

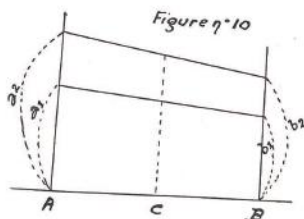
Une fois ces valeurs déterminées, le calcul sera conduit comme précédemment.

Une seule particularité peut se produire : y'_1 et y'_2 peuvent être de signes contraires car la pente est mesurée dans la direction du profil qui est quelconque. Dans ce cas, α est négatif.

Nous tombons dans le cas spécial indiqué page 4 de notre théorie sur les nappes souterraines et l'on doit par conséquent prendre :

$$m = \frac{1 + \sqrt{1 - B(1 - \alpha^2)}}{1 - \alpha} \quad (11)$$

au lieu de la valeur (6) indiquée ci-dessus.



B. — DÉTERMINATION DU DÉBIT D'UN PUIS

a) Exposé général de la méthode.

La méthode que nous avons utilisée pour la détermination du débit d'un puits est exposée dans le fascicule 56 des Annales du Ministère de l'Agriculture (Direction générale des Eaux et Forêts) pages 306 à 323.

Le résumé de cette méthode est le suivant.

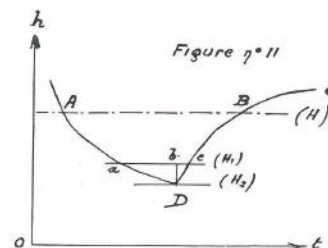
Supposons qu'il soit effectué dans un puits un pompage à un débit Q et que les variations du niveau de l'eau dans le puits soient données par un limnigraphe enregistreur traçant une courbe C (fig. 11).

Le débit q du puits pour un abaissement du plan d'eau correspondant à la cote H est

$$q = Q \frac{-\frac{dh_1}{dt}}{\frac{dh}{dt} - \frac{dh_1}{dt}} \quad (12)$$

$\frac{dh}{dt}$ étant la dérivée de la branche descendante AD de la courbe à la cote H et

$\frac{dh_1}{dt}$ la dérivée de la branche ascendante de la courbe à la même cote.



b) Modalités pratiques d'application.

Supposons le pompage effectué jusqu'au point D correspondant à la cote H_2 et arrêté à ce moment.

Le débit du puits au moment où l'on arrête le pompage sera donné par la formule (12).

Mais on a très sensiblement en menant l'horizontale H_1 située légèrement au-dessus de H_2 .

$$\frac{dh}{dt} = \frac{-bD}{aD} - \frac{dh_1}{dt} = \frac{+bD}{bc} \quad (13)$$

d'où l'on déduit :

$$q = Q \times \frac{ab}{ab+bc} = Q \times \frac{ab}{ac} \quad (14)$$

Cette formule présente l'avantage de pouvoir être utilisée sans connaissance exacte des échelles des graphiques. Il suffit de connaître avec exactitude le débit de la pompe employée.

C. — DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE FILTRATION DU SOL PAR DES ESSAIS DE POMPAGE

Pour déduire des essais de pompage la valeur du coefficient de filtration du sol, nous avons utilisé la méthode suivante dont nous publierons prochainement la théorie.

Solent (fig. 12) H_1 en mètres la hauteur d'eau dans le puits avant pompage.

h_1 la hauteur d'eau dans le puits correspondant à un débit q (mètres cubes par seconde).

s la section du puits (mètres carrés).

p son périmètre (mètres).

Posons

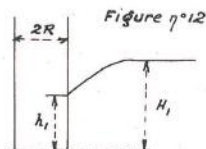
$$\rho = \frac{s}{p} \quad (15)$$

(Dans le cas d'un puits circulaire de rayon R on a : $s = \frac{\pi R^2}{2\pi R} = \frac{R}{2}$)

$$\begin{aligned} H &= H_1 + \rho \\ h &= h_1 + \rho \end{aligned} \quad (16)$$

On a approximativement pour la valeur de K (mètres par seconde).

$$K = \frac{3q}{H^2 - h^2} \quad (17)$$



CHAPITRE III

APPLICATION DES MÉTHODES EXPOSÉES

A. — ÉTUDE DU FOND HYDRAULIQUE DE LA NAPPE

a) Détermination des valeurs y_1 et y_2 permettant de tracer les enveloppes des positions de la surface libre de la nappe aux régimes R_1 et R_2 .

L'examen des graphiques donnant pour chaque puits les variations du niveau de l'eau au cours de l'année montre que les puits peuvent être divisés en deux catégories.

Une première catégorie, que nous appellerons (A), comprend les puits dont le graphique au cours de l'année a une allure sinusoïdale. Le puits n° 43, par exemple, appartient nettement à cette catégorie.

Une deuxième catégorie de puits (catégorie B) comprend les puits dont le régime est fortement influencé par les irrigations. Les graphiques de ces puits présentent au début du mois d'avril une très forte remontée. Le puits n° 7, par exemple, appartient nettement à cette catégorie.

Nous remarquerons également que, dans la région de Lamanon, les cotes trouvées au cours de l'année pour le niveau des eaux indiquent la présence de deux nappes superposées dont la distance verticale, en certains points, dépasse 20 mètres.

Nous diviserons donc les puits de la catégorie B en deux sous-catégories : B_1 et B_2 , la première correspondant aux puits situés dans la nappe inférieure et la seconde aux puits situés dans la nappe supérieure.

(Ces considérations montrent tout d'abord quelles erreurs grossières il est possible de faire en prenant pour déterminer l'allure de la nappe le niveau de l'eau dans tous les puits à la même date.

Nous avons eu entre les mains un travail donnant des profils en long et en travers de la nappe en août 1915 et en mars 1916.

Si nous considérons les graphiques obtenus au cours d'une année, nous verrons qu'au mois d'août certains puits, comme le n° 54, présentent un minimum, alors que d'autres, comme le n° 100, présentent un maximum. De même au mois de mars tous les puits de la catégorie B présentent un minimum, alors que le puits n° 69, par exemple, présente au mois de mars son maximum. Les profils présentés joignent donc des maximum pour certains puits et des minimum pour d'autres.)

En ce qui concerne les puits de la catégorie B, nous avons pris comme valeur de y_1 celle du minimum ayant lieu au début d'avril et pour valeur de y_2 celle du maximum consécutif.

Pour les puits de la catégorie A nous avons pris comme y_1 le minimum constaté au cours de l'année et comme y_2 le maximum précédent.

Il a pu se produire que certains de ces maximum ou minimum n'aient pas figuré sur les graphiques, soit parce qu'ils avaient eu lieu antérieurement à l'année observée, soit parce que les puits étaient à sec au moment où ils se sont produits. Dans ce cas, nous les avons déterminés par interpolation avec les résultats constatés sur des puits voisins et de même régime. (Nous avons d'ailleurs pour certains puits des observations antérieures au 1^{er} janvier 1929.)

Ces valeurs de y_1 et de y_2 nous ont permis de tracer en courbes de niveau les surfaces contenant tous les points de cote y_1 (fig. 13) et tous les points de cote y_2 (fig. 14).

Nous attirons l'attention sur ce fait que la surface libre de la nappe souterraine n'a en aucun moment coïncidé avec l'une quelconque des deux surfaces ainsi déterminées.

En effet, ces deux surfaces correspondent aux maximum et aux minimum de l'altitude de l'eau dans chaque puits. Or, ces maximum et ces minimum, ainsi que nous l'avons vu plus haut, ne se sont pas produits simultanément (Voir à ce sujet la remarque pages 6 et 7 de notre étude sur les nappes).

Au point de vue mathématique, les surfaces des figures 13 et 14 sont les enveloppes supérieure et inférieure des surfaces libres de la nappe au cours de l'année.

Les courbes de niveau de la figure 13 nous ont permis de déterminer en chaque point les pentes y'_1 . Ces pentes ont été mesurées perpendiculairement aux courbes de niveau.

De même, les courbes de niveau de la figure 14 nous ont permis de mesurer les pentes y'_2 , mais celles-ci ont été mesurées, non suivant une direction perpendiculaire aux courbes de niveau, mais suivant la même direction que celle adoptée pour les y'_1 (Voir remarque page 7 de notre étude sur les nappes).

Enfin, nous ferons remarquer que certains puits, présentant des graphiques à allure anormale, doivent être considérés comme ne pénétrant pas dans la nappe souterraine. Ce fait peut se produire, soit en raison de leur faible profondeur (puits n^{os} 59, 91, 101, 120 et 204), soit parce qu'ils sont creusés dans le massif imperméable d'Entressen (puits n^{os} 153, 154, 191, 192, 193, 194, 195 et 196).

6) Détermination du rapport du débit Q_1 de la nappe au régime R_1 au débit Q_2 de la nappe au régime R_2

et du terme $B = \frac{1}{1 - \frac{Q_1}{Q_2}}$

Les procédés indiqués précédemment ont permis de déterminer en chaque point y_1 , y_2 , y'_1 , y'_2 . Pour pouvoir calculer avec les formules (1), (2), (3), (4), la cote y du fond imperméable, il ne reste plus à déterminer que le terme B et par

suite le rapport $\frac{Q_1}{Q_2}$ du débit de la nappe au régime R_1 au débit de la nappe au régime R_2 .

En ce qui concerne les puits de la catégorie A, nous supposons que le fond imperméable de la nappe est dans la Basse Crau un plan horizontal de cote 0. Cette manière de faire est justifiée par le fait que, d'une part, le fond imperméable ne peut se trouver à une cote beaucoup supérieure à 0, puisque la nappe au régime R_1 est voisine de cette cote, et que, d'autre part, si la cote est inférieure à 0, la partie en dessous du niveau de la mer est occupée par de l'eau ne participant pas au mouvement, et par suite, constitue au plan horizontal θ_2 cote 0 un fond sur lequel coule la nappe.

Dans ces conditions, le débit au régime R_1 est, pour chaque puits de la Basse Crau, proportionnel à $y_1 y'_1$ et le débit au régime R_2 proportionnel à $y_2 y'_2$. On a donc :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{y_1 y'_1}{y_2 y'_2} \quad (18)$$

Les courbes de niveau de la figure 43 montrent qu'il existe dans la Basse Crau trois courants souterrains principaux : un à l'ouest, un à l'est et l'autre au centre.

Nous calculerons séparément pour chacun d'eux les valeurs moyennes de R. Notre calcul se limitera aux puits pour lesquels y_1 est inférieur à 5. Ces calculs sont résumés dans le tableau suivant.

PUITS	y_1	y'_1	y_2	y'_2	$y_1 y'_1$	$y_2 y'_2$	RAPPORT $\frac{y_1 y'_1}{y_2 y'_2}$		
							EST	CENTRE	OUEST
43	3.42	1.67	1.82	0.89	1.62	5.70	0.580		0.284
44	1.62	0.66	1.19	0.52	0.62	1.07			
53	3.94	1.25	1.88	0.78	1.47	4.92		0.299	
54	2.92	1.39	1.86	0.48	0.90	4.04		0.223	
61	2.58	1.04	1.65	0.57	0.94	2.68		0.234	0.285
70	3.90	1.79	1.96	0.83	1.63	6.99		0.247	
71	3.36	1.47	1.78	0.69	1.23	4.97		0.491	
72	2.47	0.89	1.13	0.96	1.08	2.20		0.238	
130	3.00	1.32	1.32	0.71	0.94	3.96		0.331	
132	2.50	0.69	1.20	0.47	0.57	1.72			0.446
213	2.60	0.76	1.39	0.63	0.88	1.97			
222	2.50	0.86	1.32	0.86	1.14	2.15		0.530	
225	1.98	1.32	1.02	0.71	0.73	2.62		0.278	
17	3.34	1.19	2.34	0.74	1.73	3.98	0.435		
29	4.60	1.19	2.77	0.78	2.16	5.35		0.404	
42	5.00	1.56	2.90	1.08	3.14	7.80			0.403
46	2.73	0.96	2.14	0.69	1.48	2.62	0.565		

PUITS	y_2	y'_2	y_1	y'_1	$y_1 y'_1$	$y_2 y'_2$	RAPPORT $\frac{y_1 y'_1}{y_2 y'_2}$		
							EST	CENTRE	OUEST
47	3.22	1.32	2.48	0.81	2.01	4.26	0.472		
48	3.40	1.00	2.58	0.68	1.75	3.40	0.514		
55	2.83	1.67	2.14	1.47	3.17	4.74			0.670
69	5.08	2.78	2.88	1.32	3.80	14.10		0.270	
212	4.10	5.00	2.53	3.12	7.90	20.50		0.385	
223	3.17	1.14	2.27	0.69	1.56	3.62		0.432	
4	4.90	1.92	3.10	1.25	3.88	9.43			0.412
13	7.60	2.68	3.70	1.56	5.80	15.80		0.365	
14	6.70	0.74	3.00	0.50	1.50	4.95		0.304	
49	4.18	1.31	3.25	1.25	4.07	5.48	0.743		
132	4.00	3.12	3.30	2.50	8.25	12.48			0.662
151	4.68	1.56	3.56	1.47	5.24	7.30	0.720		
6	6.09	1.39	4.79	1.39	6.66	8.47	0.788		
51	0.45	3.12	4.88	1.67	8.16	20.20	0.405		
52	6.40	2.50	4.38	2.50	10.95	16.00	0.684		
128	6.70	1.25	4.44	1.13	5.02	8.38		0.598	
131	6.90	2.50	4.53	2.78	12.60	17.25			0.730
Totaux.....							5.906	5.629	3.892
Moyennes.....							0.590	0.352	0.486

Ce tableau montre que pour les puits situés sur le courant est la valeur moyenne du rapport $\frac{y_1 y'_1}{y_2 y'_2}$ est de 0.590. On aura par suite :

$$B = \frac{1}{1 - 0.59} = 2.44$$

Nous désignerons par A_e les puits de la catégorie A situés sur le courant est.

En ce qui concerne le courant central (puits A_c), nous avons :

$$\frac{y_1 y'_1}{y_2 y'_2} = 0.352$$

Et par suite :

$$B = \frac{1}{1 - 0.352} = 1.54$$

Enfin, pour les puits du courant ouest (A_o), nous avons :

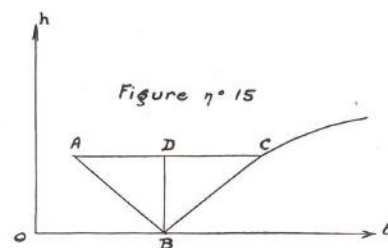
$$\frac{y_1 y'_1}{y_2 y'_2} = 0.486$$

Et par suite :

$$B = \frac{1}{1 - 0.486} = 1.94$$

En ce qui concerne les puits de la catégorie B, le calcul du rapport $\frac{Q_1}{Q_2}$ peut se faire d'après les considérations suivantes.

Soit (fig 15) A B C le graphique des variations du niveau de l'eau dans le puits aux environs du minimum B.



Les puits du régime B étant presque exclusivement influencés par les irrigations, on peut considérer que, dans la partie A B de la courbe, le débit est uniquement constitué par le cube d'eau correspondant à l'abaissement de la nappe.

Si l'on désigne par $\frac{dh_1}{dt}$ la vitesse d'abaissement de la hauteur en fonction du temps, le débit Q_1 par unité de surface horizontale sera proportionnel à $\frac{dh_1}{dt}$, c'est-à-dire à

$$\frac{DB}{AD}$$

A partir du point B, le débit provenant des irrigations entre en jeu et s'ajoute au débit Q_1 précédemment calculé pour donner le débit total Q_2 de la nappe au régime B.

Or, en désignant par $\frac{dh_2}{dt}$ la vitesse de remontée de l'eau dans la partie B C de la courbe, le débit dû aux irrigations est proportionnel à $\frac{dh_2}{dt}$, c'est-à-dire à

$$\frac{DB}{DC}$$

Le débit Q_2 (somme de Q_1 et du débit des irrigations) est donc proportionnel à

$$\frac{D B}{A D} + \frac{D B}{D C} = D B \times \left(\frac{1}{A D} + \frac{1}{D C} \right)$$

On a donc :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D B}{D B \left[\frac{1}{A D} + \frac{1}{D C} \right]} = \frac{D C}{A D + D C} \quad (19)$$

Et par suite :

$$B = \frac{1}{1 - \frac{Q_2}{Q_1}} = \frac{1}{1 - \frac{D C}{A D + D C}} = \frac{A D + D C}{A D} = \frac{A C}{A D} \quad (20)$$

C'est cette formule qui nous a permis de calculer les valeurs de B pour les puits des catégories B_1 et B_2 .

On remarquera que, pour des puits voisins appartenant aux catégories A et aux catégories B, les deux procédés de calculs donnent des valeurs de B comparables, ce qui confirme les méthodes employées.

c/ Calcul des cotes y du fond hydraulique de la nappe

Nous avons montré comment avaient été déterminés en chaque point tous les éléments nécessaires pour l'application de la méthode décrite au chapitre II.

Les deux tableaux ci-après donnent les calculs d'application.

Le premier est relatif aux puits pour lesquels il a été possible de tracer les courbes de niveau aux régimes R_1 et R_2 (b A chapitre II). Le deuxième a été calculé en utilisant des profils (c A chapitre II ci-dessus).

Ils donnent dans leur dernière colonne les cotes y du fond hydraulique de la nappe.

Les puits annotés O dans la colonne « Catégories » sont ceux non situés sur la nappe.

Tableau I

PUITS	catégorie	H_1	H_2	y'_1	y'_2	B	$\frac{y'_2}{y'_1} = x$	m	$y_1 - y_2$	(7) x (8)	$y - y_c(9)$
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	AO	42.95	41.08	2.08	1.39	1.94	0.67	3.03	1.87	5.67	37.28
2	AC	9.35	7.95	3.75	5.00	1.54	1.33	1.44	1.40	2.02	7.33
3	AC	8.00	5.40	2.50	1.25	1.54	0.50	2.00	2.60	5.20	2.80
4	AO	4.90	3.10	1.92	1.25	1.94	0.65	2.86	1.80	5.14	-0.24
5	AC	1.11	0.52	0.78	0.13	1.54	0.17	1.20	0.59	0.71	0.40
6	AE	6.09	4.79	1.39	1.39	2.44	=	2.44	1.30	3.17	2.92
7	BI	105.32	101.17	10.00	6.94	1.15	0.69	1.20	4.35	5.22	100.30

PUITS	catégorie	H_1	H_2	y'_1	y'_2	B	$\frac{y'_2}{y'_1} = x$	m	$y_1 - y_2$	(7) x (8)	$y - y_c(9)$
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Pompage Mallemort											
8											
9											
10	AO	44.82	42.90	2.50	2.08	1.94	0.83	2.19	1.72	3.77	40.85
11	AE	36.30	33.61	2.50	2.50	2.44	1.00	2.44	2.09	6.56	29.74
12	AE	35.58	32.50	2.28	3.13	2.44	1.37	2.00	3.08	6.44	29.14
13	AC	7.60	3.70	2.08	1.56	1.54	0.75	1.71	3.90	5.76	1.84
14	AC	6.70	3.00	0.74	0.50	1.54	0.68	1.83	3.70	6.77	-0.07
15	AE	33.25	31.85	4.17	3.13	2.44	0.75	4.00	1.40	5.60	27.65
16	AE	45.78	45.10	1.25	0.42	2.44	0.34	1.52	0.68	1.03	44.75
17	AO	3.34	2.34	1.19	0.74	1.94	0.62	2.64	1.00	2.64	0.70
18	BO	45.70	35.67	6.94	4.16	1.67	0.60	2.50	10.03	25.07	20.63
19	BO	54.60	50.50	3.12	3.58	1.45	1.15	1.57	4.10	6.44	48.16
20	BO	54.08	48.75	3.13	2.28	1.89	0.73	2.03	5.33	10.82	43.26
21	BO	54.18	48.40	3.38	1.92	1.67	0.54	2.17	5.78	12.54	41.64
22	BO	57.09	51.02	6.25	1.56	1.86	0.25	1.33	6.07	8.07	49.02
23	BO	59.07	52.13	2.78	1.92	1.50	0.69	1.74	6.94	12.07	47.00
24	BO	58.37	51.54	3.58	1.92	1.84	0.54	2.17	6.83	14.82	43.55
25	BO	57.51	50.96	3.13	0.54	1.78	0.17	1.30	6.55	7.86	49.65
26	AC	0.96	0.36	0.13	0.20	1.54	1.54	1.42	0.60	0.85	0.11
27	AC	1.73	0.61	0.78	0.13	1.54	0.17	1.20	1.12	1.34	0.39
28	AC	2.68	0.97	0.83	0.69	1.84	0.71	1.78	1.71	3.04	-0.36
29	AC	4.60	2.77	1.19	0.78	1.54	0.66	1.87	1.73	3.23	1.27
30	AE	10.99	9.60	5.00	6.25	2.44	1.25	2.24	1.39	3.62	7.97
31	AE	12.06	10.62	4.17	5.00	2.44	1.20	2.29	1.44	3.30	8.76
32	AE	13.18	11.62	2.08	2.08	2.44	1.00	2.44	1.56	3.81	9.37
33	AE	16.00	14.59	2.50	3.13	2.44	1.25	2.24	1.41	3.16	12.84
34	BI	101.98	99.40	2.78	0.89	1.12	0.32	1.47	2.58	3.79	98.19
35	BI	100.13	97.45	2.27	2.40	1.06	1.06	1.05	2.70	2.83	97.32
36	BI	97.78	95.42	2.27	2.40	1.08	1.06	1.06	2.36	2.50	95.28
37	AE	95.94	94.90	6.25	4.80	2.44	0.77	4.05	1.04	4.21	91.73
38	AE	94.53	93.50	8.81	4.80	2.44	0.55	2.22	1.03	2.28	92.25
39	BI	78.94	77.20	3.29	3.47	1.42	1.05	1.42	1.74	2.47	76.47
40	BO	65.08	62.50	3.58	8.84	1.11	2.47	1.07	2.58	2.76	62.32
41	AC	13.50	11.90	4.69	5.00	1.54	1.06	1.52	1.60	2.43	11.07
42	AO	5.00	2.90	1.66	1.08	1.94	0.69	3.25	2.10	6.82	-1.82
43	AO	3.42	1.82	1.67	0.89	1.94	0.53	2.14	1.60	3.42	0
44	AE	1.62	1.19	0.66	0.52	2.44	0.79	3.42	0.45	1.47	0.15
45	AE	1.32	0.83	1.14	1.14	2.44	1.00	2.44	0.49	1.19	0.13
46	AE	2.73	2.14	0.96	0.69	2.44	0.72	3.55	0.59	2.73	0.64

PUITS	DEBITS	y_2	y_1	y_2	y_1	B	$\frac{y_2}{y_1} = x$	m	$y_2 y_1$	$(7) \times (8)$	$y = y_2(9)$
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
47	AE	3.22	2.48	1.32	0.81	2.44	0.61	2.58	0.74	1.91	1.31
48	AE	3.40	2.58	1.00	0.68	2.44	0.68	3.12	0.82	2.55	0.85
49	AE	4.18	3.26	1.31	1.25	2.44	0.96	2.50	0.93	2.32	1.86
50	AE	6.22	5.00	1.92	1.39	2.44	0.72	3.57	1.22	4.35	1.87
51	AE	6.45	4.88	3.12	1.67	2.44	0.53	2.15	1.57	3.37	3.08
52	AE	6.40	4.38	2.50	2.50	2.44	"	2.44	2.02	4.93	1.47
53	AC	3.94	1.88	1.26	0.78	1.54	0.62	2.02	2.06	4.16	-0.22
54	AC	2.92	1.86	1.39	0.48	1.54	0.34	1.52	1.06	1.61	1.31
55	AO	2.83	2.14	1.67	1.47	1.94	0.88	2.10	0.69	1.45	1.38
56	AO	7.29	6.43	3.58	3.12	1.94	0.87	2.11	0.86	1.81	5.48
57	AO	9.40	8.80	2.50	3.58	1.94	1.43	1.72	0.60	1.03	8.37
58	AO	10.70	9.92	3.58	3.12	1.94	0.87	2.11	0.78	1.64	9.06
59	O	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
60	AO	8.70	6.05	2.88	2.78	1.94	0.96	1.98	2.65	5.25	3.45
61	AO	2.58	1.65	1.04	0.57	1.94	0.55	2.21	0.93	2.05	0.53
62	AO	1.50	0.93	1.04	0.96	1.94	0.92	2.03	0.57	1.18	0.34
63	AO	1.16	0.54	0.96	0.59	1.94	0.61	2.56	0.62	1.59	-0.43
64	AE	39.40	29.50	3.13	2.67	2.44	0.85	2.88	0.90	2.59	27.81
65	AE	39.00	28.16	3.68	3.12	2.44	0.87	2.80	1.84	5.15	24.85
66	AE	27.35	25.39	3.58	3.12	2.44	0.87	2.80	1.96	5.49	21.86
67	AE	20.62	19.78	4.17	3.12	2.44	0.75	4.00	0.84	3.36	17.26
68	AE	20.15	18.09	4.17	5.00	2.44	1.20	2.19	2.06	4.51	15.64
69	AC	5.08	2.88	2.78	1.32	1.54	0.47	1.90	2.20	4.18	0.90
70	AC	3.90	1.96	1.79	0.83	1.54	0.46	1.86	1.94	3.61	0.29
71	AC	3.36	1.78	1.47	0.69	1.54	0.47	1.88	1.58	2.97	0.39
72	AC	2.47	1.13	0.89	0.96	1.54	1.07	1.51	1.34	2.02	0.45
73	AC	2.51	0.95	0.69	1.14	1.54	1.65	1.40	1.56	2.18	0.33
74	AO	23.35	22.45	3.67	3.75	1.94	1.02	1.92	0.90	1.73	21.62
75	AO	19.50	18.66	3.67	3.75	1.94	1.02	1.92	0.84	1.61	17.89
76	AO	20.02	19.16	3.42	5.00	1.94	1.46	1.71	0.86	1.47	18.55
77	BO	60.96	53.65	2.08	3.98	1.64	1.72	1.46	7.31	10.67	50.29
78	BO	60.56	52.25	1.20	1.39	1.88	1.11	1.80	8.31	14.96	45.60
79	BI	72.44	68.52	4.46	4.80	1.20	1.07	1.15	3.92	4.51	67.93
80	BI	72.20	69.05	4.16	4.16	1.05	1.00	1.05	3.15	3.31	68.89
81	BI	72.26	69.85	3.67	3.67	1.08	1.00	1.08	2.41	2.60	69.66
82	BO	44.98	37.33	5.09	6.94	3.22	1.22	2.72	7.65	20.80	24.18
83	AE	39.00	37.00	2.50	3.13	2.44	1.24	2.17	2.00	4.34	34.66
84	AO	47.15	45.84	1.79	1.39	1.94	0.78	2.33	1.31	3.05	44.10
85	AO	31.25	30.31	2.08	1.39	1.94	0.67	3.03	0.94	2.85	28.40

PUITS	DEBITS	y_2	y_1	y_2	y_1	B	$\frac{y_2}{y_1} = x$	m	$y_2 y_1$	$(7) \times (8)$	$y = y_2(9)$
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
86	AO	38.17	37.08	2.50	2.50	1.94	1.00	1.94	1.09	2.11	36.06
87	AO	40.76	39.76	1.79	1.92	1.94	1.07	1.88	1.00	1.88	38.88
88	AO	56.17	55.40	2.78	1.39	1.94	0.50	2.00	0.77	1.54	54.63
89	BI	65.44	63.25	2.97	4.80	1.92	1.61	1.66	2.19	3.63	61.81
90	BI	69.10	66.89	3.12	4.46	1.40	1.43	1.32	2.21	2.92	66.18
91	O	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
92	BI	77.44	76.45	10.41	8.94	1.00	0.86	1.08	0.99	1.07	76.37
93	BI	77.73	76.40	6.94	10.41	2.00	1.51	1.75	1.33	2.33	75.40
94	AO	54.20	52.02	4.17	3.12	1.94	0.75	2.46	2.18	5.36	48.84
95	AO	57.70	56.37	1.79	1.39	1.94	0.78	2.33	1.33	3.10	54.60
96	AO	64.00	62.80	1.56	2.50	1.94	1.60	1.68	1.20	2.02	51.98
97	AO	60.00	59.10	2.08	2.50	1.94	1.20	1.81	0.90	1.63	58.37
98	BI	65.03	62.70	3.47	10.41	1.28	3.00	1.18	2.35	2.77	62.28
99	BO	66.94	57.02	3.90	5.69	1.33	1.45	1.26	3.92	4.94	56.00
100	BO	46.28	41.02	4.80	4.80	1.52	1.60	1.52	5.26	7.90	38.29
101	O	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
102	AO	43.86	42.09	1.56	1.19	1.94	0.76	2.42	1.77	4.28	30.58
103	AO	48.20	46.60	1.67	1.25	1.94	0.75	2.46	1.60	3.94	44.26
104	AO	48.80	47.56	3.12	2.50	1.94	0.80	2.26	1.24	2.80	46.00
105	AE	51.00	47.98	2.97	2.84	2.44	0.96	2.53	3.02	7.64	43.36
106	AE	43.20	40.70	2.97	2.84	2.44	0.96	2.53	2.50	6.32	36.88
107	BO	63.15	57.30	1.00	2.78	2.44	2.78	1.78	5.85	10.41	52.74
108	BO	63.97	60.00	1.78	3.13	1.66	1.75	1.05	3.97	4.17	59.80
109	BI	85.97	84.18	6.94	6.25	1.24	0.90	1.30	1.79	2.33	83.64
110	BO	59.32	52.38	2.50	2.50	1.50	1.00	1.50	6.94	10.41	48.91
111	AE	57.22	55.30	4.46	4.46	2.44	1.00	2.44	1.92	4.68	52.54
112	AO	42.00	40.48	1.67	1.56	1.94	0.93	2.02	1.52	3.07	38.93
113	BO	34.95	32.02	4.16	4.80	1.77	1.15	1.69	2.93	4.95	30.90
114	AO	39.30	37.97	1.19	1.67	1.94	1.40	1.73	1.33	2.30	37.00
115	BO	36.58	27.16	1.84	2.40	1.23	1.30	1.20	3.42	4.10	26.48
116	BO	18.32	16.98	1.19	2.50	1.08	2.10	1.06	1.34	1.42	16.90
117	BO	16.97	14.68	1.56	1.90	1.08	1.31	1.07	2.29	2.45	14.52
118	BO	23.96	19.02	1.69	3.12	1.07	1.84	1.05	4.94	6.19	18.77
119	BO	22.11	17.56	4.80	5.69	1.06	1.18	1.05	4.55	4.78	17.33
120											
121	BO	18.19	13.18	2.22	1.49	1.12	0.67	1.15	5.01	5.76	12.43
122	AO	16.37	16.02	3.47	2.40	1.94	0.69	3.23	3.35	1.13	15.24
123	AO	25.66	24.47	5.37	6.25	1.94	1.16	1.82	1.09	1.98	23.58
124	AO	29.60	28.39	2.67	4.17	1.94	1.56	1.69	1.30	2.20	27.40

Pas d'eau

PPTS	différent	y_1 (1)	y_2 (2)	y_3 (3)	y_4 (4)	B (5)	$\frac{y_1^2}{y_2^2} = x$ (6)	m (7)	$y_1 y_2$ (8)	(7) × (8) (9)	$y = y_1 y_2$ (10)
125	O	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
126	AE	11.76	10.25	2.28	1.56	2.44	0.68	3.13	1.61	4.73	7.03
127	AE	8.20	6.58	1.56	1.39	2.44	0.89	2.73	1.62	4.42	3.78
128	AC	6.70	4.44	1.25	1.13	1.54	0.90	1.58	2.26	3.57	3.13
129	AC	11.64	10.50	3.75	5.37	1.54	1.43	1.39	1.14	1.58	10.06
130	AC	3.00	1.32	1.32	0.71	1.54	0.54	2.16	1.68	3.63	-0.63
131	AO	6.90	4.53	2.50	2.78	1.94	1.11	1.85	2.37	4.38	2.52
132	AO	4.00	3.30	3.12	2.50	1.94	0.80	2.24	0.70	1.56	2.44
133	AE	12.80	11.37	3.42	2.08	2.44	0.61	2.56	1.43	3.66	9.14
134	AE	18.40	16.83	2.88	3.13	2.44	1.08	2.32	1.57	3.64	14.76
148	AC	16.15	13.57	10.41	17.80	1.54	1.71	1.39	2.58	3.59	12.56
149	AC	26.80	25.11	8.84	17.80	1.54	2.01	1.37	1.69	2.31	24.49
150	AO	31.50	30.00	3.42	5.00	1.94	1.46	1.71	1.50	2.56	28.94
151	AE	4.68	3.56	1.56	1.47	2.44	0.94	2.55	1.12	2.86	1.82
152	AC	2.50	1.20	0.69	0.47	1.54	0.68	1.81	1.30	2.35	0.15
153	O	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
154	O	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
155	AO	51.04	49.32	5.00	8.33	1.94	1.67	1.66	1.72	2.85	48.19
156	BI	97.79	96.69	6.25	3.47	1.18	0.56	1.29	1.10	1.42	96.37
157	BI	101.70	98.62	10.00	6.94	1.18	0.69	1.23	3.08	3.79	97.91
158	BI	103.49	99.85	2.78	0.89	1.06	0.32	1.14	3.64	4.15	99.34
159	BI	96.42	95.93	5.20	6.94	1.08	1.33	1.07	0.49	0.52	95.90
160	BI	90.70	89.64	5.20	12.50	1.08	2.40	1.05	1.06	1.11	89.59
161	BI	81.34	78.88	8.81	8.81	1.40	1.00	1.40	2.46	3.44	77.90
162	BI	74.30	72.85	2.50	2.71	1.29	1.08	1.28	1.45	1.86	72.44
163	BI	72.89	72.21	3.47	2.60	2.69	0.75	4.00	0.68	2.72	70.17
164	BI	69.97	69.29	3.47	4.80	1.13	1.38	1.11	0.68	0.75	69.22
165	BI	65.87	62.03	4.46	4.46	1.24	1.00	1.24	3.24	4.02	61.85
166	BO	57.29	52.69	2.50	2.50	1.78	1.00	1.78	4.60	8.19	49.10
167	BO	53.13	49.11	3.13	4.17	1.26	1.33	1.23	4.02	4.94	48.19
168	BO	49.10	44.41	5.35	5.69	1.17	1.02	1.17	4.78	5.59	43.60
169	BO	44.68	39.44	5.37	5.69	1.33	1.06	1.33	5.25	6.98	37.71
187	BO	28.44	26.71	2.50	2.28	1.75	0.91	1.83	1.73	3.16	25.28
188	BO	30.28	28.94	1.67	1.39	2.36	0.83	2.88	1.34	3.86	26.42
189	AO	30.20	29.81	2.28	3.58	1.94	1.57	1.69	0.39	0.66	29.54
190	AO	32.90	32.38	2.50	4.17	1.94	1.67	1.66	0.52	0.86	32.04
191	O	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
192	O	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
193	O	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
194	O	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

PPTS	différent	y_1 (1)	y_2 (2)	y_3 (3)	y_4 (4)	B (5)	$\frac{y_1^2}{y_2^2} = x$ (6)	m (7)	$y_1 y_2$ (8)	(7) × (8) (9)	$y = y_1 y_2$ (10)
195	O	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
196	O	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
197	AE	35.35	33.00	1.79	2.78	2.44	1.55	2.02	2.35	4.75	30.60
198	AE	35.08	33.24	1.79	2.78	2.44	1.55	2.02	2.34	4.73	30.85
199	AE	36.52	34.28	3.13	2.50	2.44	0.79	3.40	2.24	7.62	28.90
202	AE	25.80	24.38	4.17	4.17	2.44	1.00	2.44	1.42	3.46	22.34
203	AC	27.40	24.95	8.84	8.94	1.54	1.01	1.54	2.45	3.77	23.63
204											
205	AO	46.90	45.55	1.79	1.39	1.94	0.78	2.33	1.35	3.14	43.76
206	AO	47.38	46.13	1.78	2.67	1.94	1.50	1.70	1.25	2.12	45.26
207	AO	53.60	52.65	7.15	6.25	1.94	0.87	2.10	0.95	1.99	51.61
208	AO	38.10	36.70	3.33	2.08	1.94	0.63	2.70	1.40	3.78	34.32
209	AO	42.64	41.12	1.19	1.04	1.94	0.87	2.10	1.52	3.19	39.45
210	AE	14.97	13.80	4.17	3.42	2.44	0.82	3.11	1.17	3.64	11.33
211	AE	13.94	12.90	4.17	6.25	2.44	1.50	2.03	1.04	2.11	11.83
212	AC	4.10	2.53	5.06	3.12	1.54	0.62	2.01	1.57	3.15	6.95
213	AC	2.60	1.39	9.76	0.63	1.54	0.83	1.61	1.21	1.95	0.65
214	BI	83.14	83.86	8.94	10.41	1.10	1.16	1.09	1.28	1.39	83.75
215	AO	47.00	45.82	4.69	2.50	1.94	0.53	2.13	1.18	2.51	44.49
216	BO	58.00	54.90	3.90	5.20	2.03	1.33	1.82	3.10	5.64	52.36
217	AC	2.31	0.68	0.83	0.59	1.54	0.71	1.78	1.63	2.90	-0.59
218	AE	41.98	38.80	2.08	3.13	2.44	1.51	2.03	3.18	6.45	35.53
219	AO	43.51	41.95	1.39	1.14	1.94	0.82	2.20	1.56	3.43	40.08
220	AE	22.60	21.60	4.17	3.75	2.44	0.90	2.68	1.00	2.68	19.92
221	AE	14.74	12.90	4.17	6.25	2.44	1.50	2.03	1.84	3.73	11.01
222	AC	2.50	1.32	0.86	0.86	1.54	x	1.54	1.18	1.82	0.68
223	AC	3.17	2.27	1.14	0.69	1.54	0.60	2.13	0.90	1.92	1.25
224	AC	1.13	0.25	0.69	0.59	1.54	0.86	1.61	0.88	1.42	-0.29
225	AC	1.98	1.02	1.32	0.71	1.54	0.54	2.16	0.96	2.07	-0.09

Tableau II

POINTS	COTATIONS	x_1	y_1	VALEURS MOYENNES DES		DIFFÉRENCE DES		B	VALEURS MOYENNES de B	$x = \frac{6}{5}$	m	$y_2 - y_1$	(10) x (11)	$y = y_2 - (12)$
				y_1	y_2	$y_2 - y_1$	$y_1 - y_2$							
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
135	BO	24.48	20.77	24.86	21.36	+0.77	+1.19	6.00	3.91	+1.54	2.83	3.50	9.90	14.96
136	BO	25.25	21.96	24.23	21.08	-2.04	-1.76	1.83	1.95	+0.86	2.12	3.15	6.68	17.55
137	BO	23.21	20.20	22.51	19.98	-1.39	-0.43	2.08	2.29	+0.31	1.45	2.53	3.67	18.84
138	BO	21.82	19.77	21.94	19.83	+0.25	+0.13	2.50	2.30	+0.52	2.08	2.11	4.39	17.55
139	BO	22.07	19.90	22.16	20.11	+0.19	+0.42	2.11	1.79	+2.21	1.51	2.05	3.09	19.07
140	BO	22.26	20.32	21.39	19.77	-1.74	-1.10	1.47	1.38	+0.63	1.60	1.62	2.59	18.80
141	BO	20.52	19.22	19.34	17.93	-2.35	-2.58	1.30	1.48	+1.10	1.45	1.41	2.04	17.30
142	BO	18.17	16.64	17.14	15.58	-2.05	-2.12	1.67	1.61	+1.03	1.59	1.56	2.48	14.66
143	BO	16.12	14.52	16.13	14.49	+0.02	-0.06	1.55	1.62	-3.00	1.18	1.64	1.93	14.20
144	BO	16.14	14.46	16.15	14.46	+0.02	0.00	1.69	1.72	0.00	1.00	1.69	1.69	14.46
145	BO	16.16	14.46	16.15	14.30	-0.82	-0.32	1.76	1.50	+0.39	1.64	1.45	2.38	13.37
146	BO	15.34	14.14	12.38	11.31	-5.91	-5.66	1.25	1.22	+0.96	1.25	1.07	1.34	11.04
147	BO	9.43	8.48					1.20						
170	BO	12.23	7.35	11.62	7.94	-1.21	-0.61	3.00	2.23	+0.50	2.00	4.58	9.16	2.46
171	BO	11.02	6.74	11.23	6.29	+0.42	-0.89	1.46	1.40	-2.12	1.09	4.94	5.38	5.85
172	BO	11.44	5.85	9.16	5.13	-4.55	-1.44	1.35	1.29	+0.32	1.47	4.03	5.92	3.24
173	BO	6.89	4.41	6.48	4.38	-0.81	-0.09	1.06	1.11	+0.11	1.12	2.12	2.37	4.11
174	BO	6.08	4.32	5.26	4.26	-1.64	-0.12	1.17	1.55	+0.07	1.07	1.00	1.07	4.19
175	AO	4.44	4.20	5.38	4.98	+1.89	+1.56	1.94	1.94	+0.82	2.21	0.40	0.88	4.50
176	AO	6.33	5.76	6.52	5.78	+0.39	+0.05	1.94	1.61	+0.13	1.15	0.74	0.85	5.67
177	BO	6.72	5.81	9.16	7.80	+4.88	+4.18	1.29	1.60	+0.85	1.70	1.26	2.14	7.02
178	BO	11.60	9.99	11.95	10.49	+0.71	+1.01	1.83	1.83	+1.42	1.63	1.46	2.38	9.57
179	BO	12.31	11.60	13.49	12.18	+2.37	+2.37	1.75	1.81	+1.00	1.81	1.31	2.37	11.12
180	BO	14.68	13.37	16.06	15.17	+2.77	+2.61	1.87	1.90	+1.30	1.73	0.89	1.54	14.52
181	AO	17.45	16.98	17.72	17.30	+0.55	+0.64	1.94	1.94	+1.16	1.83	0.42	0.77	16.95
182	AO	18.00	17.62	19.48	18.27	+2.96	+1.31	1.94	2.30	+0.44	1.79	1.21	2.16	17.32
183	BO	20.96	18.93	22.41	20.95	+2.90	+4.05	2.67	2.25	+1.40	1.94	1.46	2.83	19.58
184	BO	23.86	22.98	24.82	23.61	+1.92	+1.27	1.84	1.71	+0.66	2.42	1.21	2.93	21.89
185	BO	25.78	24.25	26.16	24.70	+0.76	+0.99	1.58	1.54	+1.18	1.48	1.46	2.16	24.00
186	BO	26.54	25.15					1.50						
200	BO	43.20	38.20	43.55	38.32	+0.70	+0.25	1.16	1.13	+0.36	1.36	5.23	7.11	36.44
201	BO	43.90	38.45					1.11						

B. — ÉTUDE DU COEFFICIENT DE FILTRATION DU SOL

Nous avons appliqué aux 42 essais de pompages effectués dans la Crau la formule (17) indiquée ci-dessus.

Le tableau suivant résume les données des calculs et indique les valeurs trouvées pour le coefficient de filtration K en mètres par seconde.

NUMÉROS des puits	q (MÈTRES CUBES par seconde)	H MÈTRES	h MÈTRES	K MÈTRES SECONDE	OBSERVATIONS
5	0.180	3.16	2.80	0.0252	
6	0.065	7.04	6.48	0.0258	
7	0.00045	4.80	4.48	0.000455	
10	0.080	3.34	1.90	0.0322	
11	0.023	5.03	4.83	0.0350	
12	0.067	4.45	4.09	0.0655	
17	0.00725	1.07	0.92	0.0729	
65	0.000277	0.83	0.60	0.00121	Fonds du puits dans le substratum.
68	0.0003	2.20	0.60	0.000201	
75	0.0222	2.53	2.28	0.0554	
76	0.0333	4.13	3.42	0.0187	
79	0.00216	0.81	0.35	0.0122	
86	0.100	4.48	0.69	0.0153	
88	0.00142	2.78	1.45	0.000757	
95	0.0145	2.39	2.25	0.0668	
98	0.0003	3.72	2.59	0.000126	
101	0	6.42	5.48	0	
116	0.015	4.00	3.95	0.00535	Roubine de l'autre côté de la route.
118	0.000525	2.84	2.35	0.00062	
131	0.00215	3.25	2.82	0.00247	
132	0.015	3.40	0.13	0.00389	Fonds sur substratum.
133	0.01025	2.56	2.32	0.0262	
147	0.0175	1.19	0.42	0.0423	
149	0.00191	3.75	2.15	0.000606	
153	0.00078	1.57	0.10	0.000057	Puits cimenté
154	0.000213	2.29	0.43	0.000126	
155	0.000133	3.93	2.16	0.0000371	
157	0.0007	3.70	3.50	0.00146	
174	0.00354	1.47	0.63	0.00605	
175	0.00655	0.77	0.39	0.0446	
176	0.00072	0.50	0.23	0.0109	Puits cimenté.

NUMÉROS des puits	q (MÈTRES CUBES par seconde)	H MÈTRES	h MÈTRES	K MÈTRES SECONDE	OBSERVATIONS
204	0	4.89	3.96	0	
207	0	1.10	0.47	0	
P ₁	0.00015	17.03	11.38	0.0000028	
P ₂	0.120	2.97	0.97	0.0457	
P ₃	0.112	6.40	3.85	0.0128	Fonds sur le substratum. K diminue du nord au sud.
P ₄	0.116	4.80	0.50	0.0152	
P ₅	0.0270	13.69	12.00	0.00186	
P ₆	0.014	1.33	0.43	0.0266	
P ₇	0	6.42	5.48	0	
P ₈	0.011	1.92	1.78	0.0636	
P ₉	0	0.67	0.28	0	

L'extrême variabilité des valeurs trouvées (de 0 à 0.0729) montre l'hétérogénéité du sous-sol de la Crau.

A notre avis, on peut considérer celui-ci comme formé en principe de galets. Si les vides entre ces galets ne sont obstrués par aucun matériau, on obtient les coefficients de filtration élevés (de l'ordre de plusieurs centimètres par seconde). Mais les vides entre les galets peuvent être obstrués par des matériaux divers. Plus ces matériaux sont imperméables et plus diminue le coefficient de filtration. Ces matériaux peuvent être des graviers ou du sable assez gros, laissant encore un coefficient de filtration appréciable. Ce coefficient tombe à 0 lorsque les vides entre galets sont remplis par de l'argile ou par un ciment formant pondingue avec les galets.

C. — ÉTUDE DU COEFFICIENT DE PERMÉABILITÉ DU SOL

Le coefficient de perméabilité μ du sol peut se déduire de la connaissance du coefficient de filtration K, de la pente I de la nappe et de la vitesse V de déplacement de l'eau, par la relation

$$\mu = \frac{KI}{V} \quad (21)$$

Or, l'examen des graphiques permet d'apprécier approximativement la vitesse de l'eau.

C'est ainsi que le minimum du puits n° 10 s'est produit le 27 avril, alors que pour le puits 76, situé à 40.160 mètres en aval, il s'est produit le 1^{er} août. De même pour le puits 13, situé à 2.640 mètres en aval du puits 76, il s'est produit le 23 septembre.

La pente de la nappe peut également s'apprécier facilement en prenant les cotes des minimum dont nous avons utilisé les dates.

Le tableau ci-après résume les calculs aboutissant à la connaissance de la valeur de μ .

Pour les puits 10-76-13 et 12-6-44, nous avons utilisé les dates et les cotes des minimum observés.

Pour les puits 107-78-103-12, nous avons utilisé les dates et les cotes des maximum.

En ce qui concerne les coefficients de filtration K, nous avons pris, pour le tronçon compris entre les puits 10 et 76, la moyenne des coefficients de filtration constatés aux puits 10, P₂, 86 et 76.

Entre le puits 76 et le puits 13, nous avons appliqué le coefficient de filtration constaté au puits 16.

Entre 107 et 78, celui du puits 79.

Entre 78 et 103, la moyenne des puits 79 et 11.

Entre 103 et 12, la valeur trouvée pour 12.

Entre 12 et 6, la moyenne des valeurs trouvées à 12, P₂, 133 et 6.

Entre 6 et 44, la moyenne des valeurs trouvées en 6 et 17.

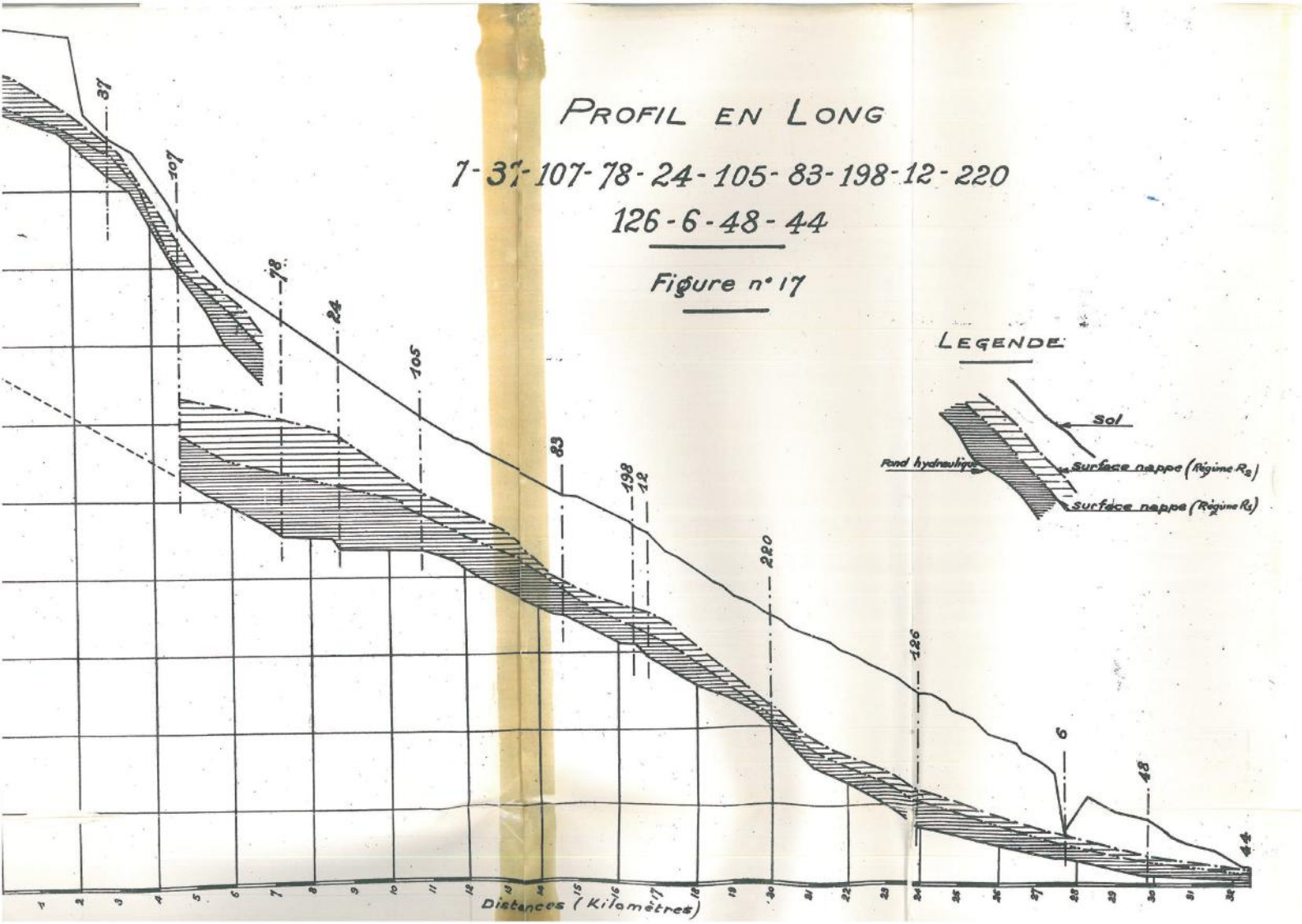
PUITS	DATES DES MAXIMUM ou DES MINIMUM	TEMPS		DISTANCES (mètres)	COTES du maximum ou du minimum	DIFFÉRENCES des cotes	PENTES ‰	VITESSES (millimètres par seconde)	K. (mètres par seconde)	μ
		jours	1.000 secondes							
10	27 Avril	96	8294	10.180	42.90	23.74	2.34	1.22	0.0280	0.054
76	1 ^{er} Août	53	4579	2.640	19.16	15.46	5.85	0.58	0.0187	0.189
13	23 Septembre				3.70					
12	21 Mai	61	5270	11.440	32.50	27.71	2.42	2.17	0.0122	0.014
6	21 Juillet	83	7171	4.800	4.79	3.60	0.75	0.67	0.0236	0.026
44	12 Octobre				1.19					
107	2 Août	60	5184	2.560	63.15	2.59	1.01	0.49	0.0655	0.135
78	1 ^{er} Octobre	28	2419	3.760	60.66	9.56	2.54	1.55	0.0453	0.074
103	29 Octobre				51.00					
12	1 ^{er} Décembre	33	2851	6.080	35.58	15.42	2.54	2.13	0.0493	0.059

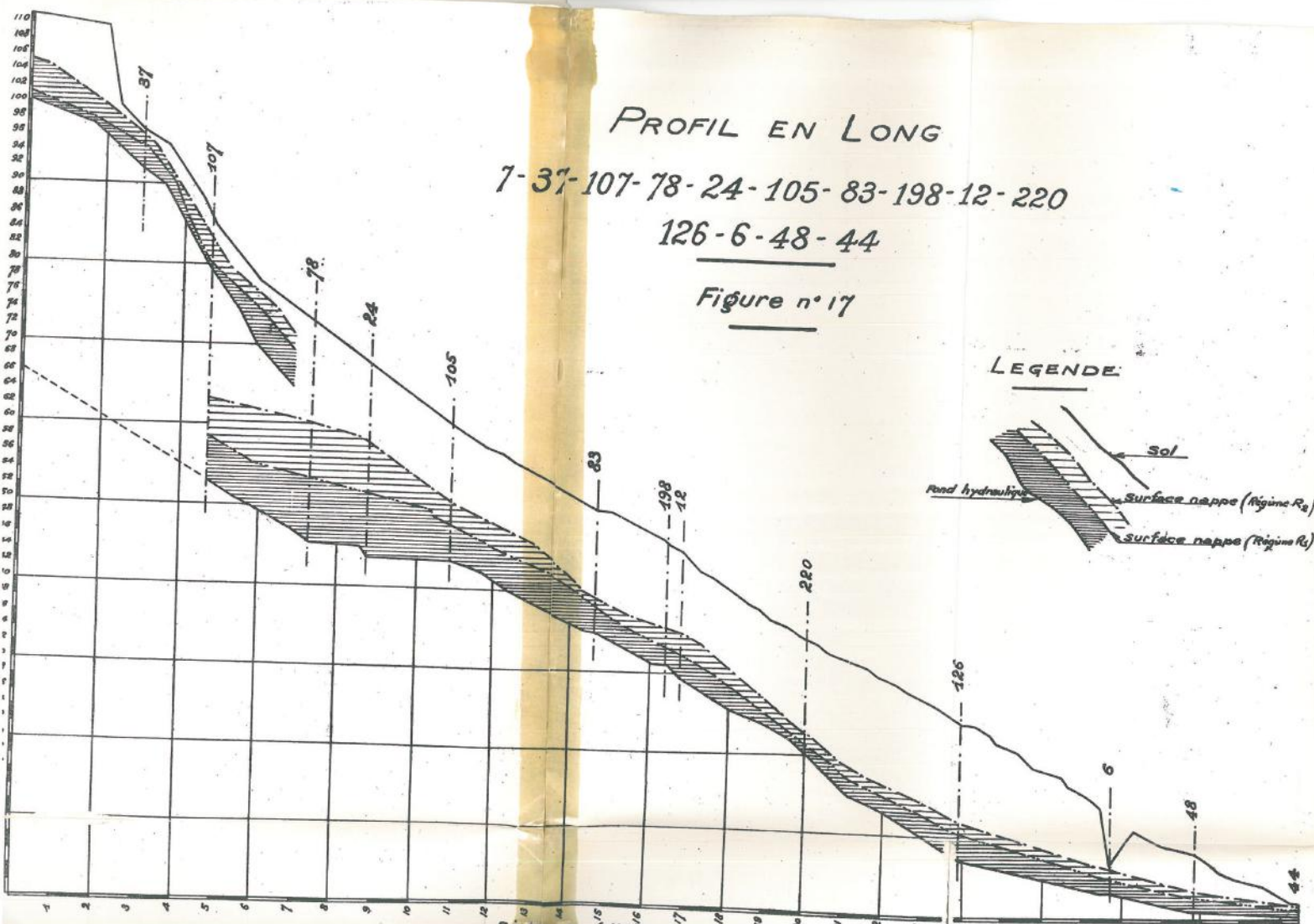
Les valeurs trouvées pour μ varient de 1,4 à 18,9 %.

Ces valeurs sont tout à fait admissibles si l'on considère qu'un calcul classique donne pour vide existant entre des sphères empilées de la manière la plus serrée possible 26 % du volume total. Or, les galets constituant le sous-sol de la Crau ne sont pas sphériques ; ils affectent une forme plutôt aplatie et, de ce fait, le vide théorique se trouve réduit.

De plus, il y a lieu de remarquer que le coefficient de perméabilité relatif à l'eau en mouvement est toujours inférieur au coefficient de perméabilité total (Voir à ce sujet la remarque que nous avons faite dans notre Étude sur l'écoulement souterrain des eaux, (Annales du Ministère de l'Agriculture, Direction générale des Eaux et Forêts, fascicule 33, pages 312 à 314.)

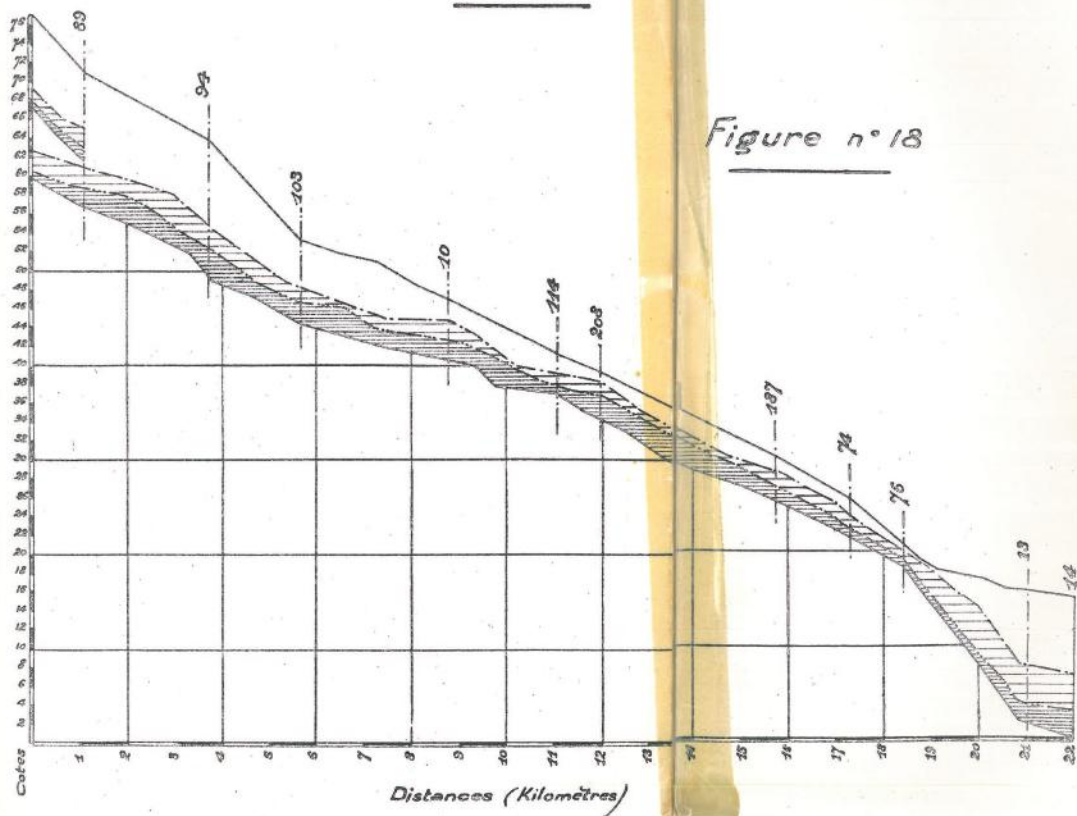
Il est à remarquer d'ailleurs que les coefficients de perméabilité indiqués correspondent à ceux les plus élevés de la Crau puisque, pour calculer facilement la vitesse de l'eau, nous avons pris des points alignés suivant un thalweg souterrain. Dans certains points où le coefficient de filtration est nul, le coefficient de perméabilité devient également nul au point de vue pratique.





PROFIL EN LONG
 89-94-103-10-114-208 187
74-76-13-14

Figure n° 18



CHAPITRE IV

INTERPRÉTATION ET UTILISATION DES RÉSULTATS OBTENUS

A. — FOND HYDRAULIQUE DE LA NAPPE

a) Plan en courbes de niveau du fond hydraulique de la nappe

Les calculs du chapitre précédent nous ont permis de déterminer pour chaque puits les cotes y du fond hydraulique de la nappe.

Nous avons (dans la figure 16) tracé les courbes de niveau de ce fond.

Nous attirons l'attention sur le fait que cette surface représente le fond hydraulique de la nappe et non son fond réel qui peut, en certains points, différer du précédent.

Pratiquement, tout se passe comme si la nappe circulait sur le fond hydraulique, le coefficient de filtration restant constant sur une même verticale.

Si ce coefficient n'est pas constant, le fond hydraulique différera du fond réel ; mais au point de vue pratique, en calculant les débits avec le fond hydraulique et un coefficient de filtration égal sur la même verticale, on obtiendra le débit réel. Le fond hydraulique est donc le seul intéressant au point de vue du régime de la nappe.

b) Profils en long du sol, de la nappe et du fond

Nous donnons (fig. 17) le profil en long de la nappe suivant un tracé passant par les puits n° 7, 37, 107, 78, 24, 103, 83, 198, 12, 220, 126, 6, 48 et 44.

Ce profil en long donne le tracé du terrain naturel, des surfaces libres de la nappe au régime R_2 et au régime R_1 et enfin du fond hydraulique de la nappe.

On y voit très nettement entre les puits 7 et 78 la nappe superficielle de la région située en aval du col de Lamanon. A partir du puits 107 apparaît la nappe véritable de la Crau qui se trouve très sensiblement en-dessous de la première. L'inclinaison de son fond hydraulique fait supposer qu'elle doit passer sous le col de Lamanon à une cote comprise entre 60 et 70.

Nous donnons (fig. 18) un autre profil en long de la partie occidentale de la nappe.

Ce profil est établi suivant les puits 89, 94, 103, 10, 114, 208, 187, 74, 76, 13 et 14.

On y voit figurer également, en amont du puits 89, la petite nappe superficielle de la région de Lamanon.

c) Profils en travers du sol, de la nappe et du fond

La figure 19 donne, établi dans les mêmes conditions que les profils en long précédents, un profil en travers suivant la voie du chemin de fer d'Arles à Miramas.

Le rôle joué, au point de vue de l'écoulement souterrain des eaux, par le massif imperméable d'Entressen apparaît nettement sur ce profil en travers.

Enfin nous donnons (fig. 20) un profil en travers de la Haute Crau, pris suivant une ligne droite joignant les puits 94-21.

On voit nettement sur ce profil la section transversale de la nappe souterraine. On se rend compte d'ailleurs, en l'examinant, de l'impropriété du mot « nappe » appliqué aux eaux souterraines. Le mot de « fleuve souterrain » n'apparaît également pas comme correspondant à la réalité.

En effet, un fleuve superficiel a sa surface libre horizontale suivant un profil en travers et des rives nettement indiquées. Il n'en est pas de même des fleuves souterrains qui n'ont pas de rives. Les eaux souterraines circulent dans une masse plus ou moins perméable. Leur surface se gonfle suivant les obstacles rencontrés et l'on ne peut pas dire comme pour les rivières superficielles : le lit de la rivière est à tel endroit. Pratiquement il y a des thalwegs souterrains qui, lorsqu'ils sont remplis de matériaux perméables, constituent un passage de prédilection pour les eaux souterraines. Mais ces eaux passent également en dehors des thalwegs souterrains et même, en certains cas, sur des croupes souterraines.

B. — ÉVALUATION DU DÉBIT TOTAL DE LA NAPPE SOUTERRAINE DE LA CRAU

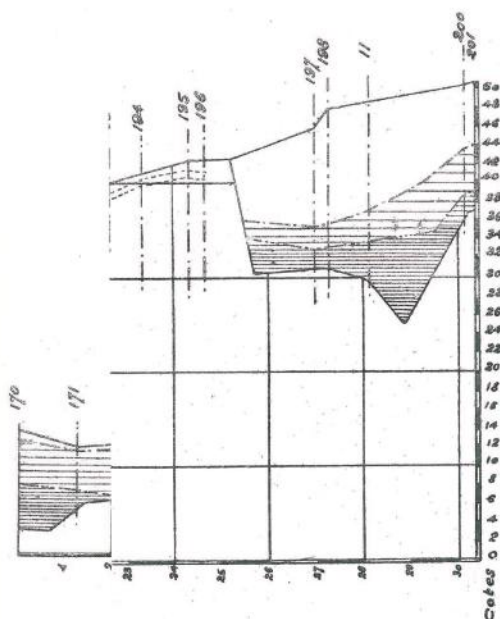
Pour évaluer le débit total d'une nappe souterraine, il y a lieu de déterminer pour chaque section élémentaire de cette nappe : la pente, le coefficient de filtration et le rapport des débits. Les pentes doivent évidemment être mesurées suivant une normale à la trace horizontale de la surface élémentaire considérée.

Les courbes de niveau du fond hydraulique et des surfaces libres aux régimes R_1 et R_2 permettent de calculer, soit le débit Q_1 , soit le débit Q_2 , soit la différence de ces débits.

Nous considérons comme préférable la méthode qui consiste à calculer d'abord la différence des débits, car les calculs s'appliquent à une zone où les cotes (et par suite les pentes) ainsi que les coefficients de filtration ont été mesurés directement.

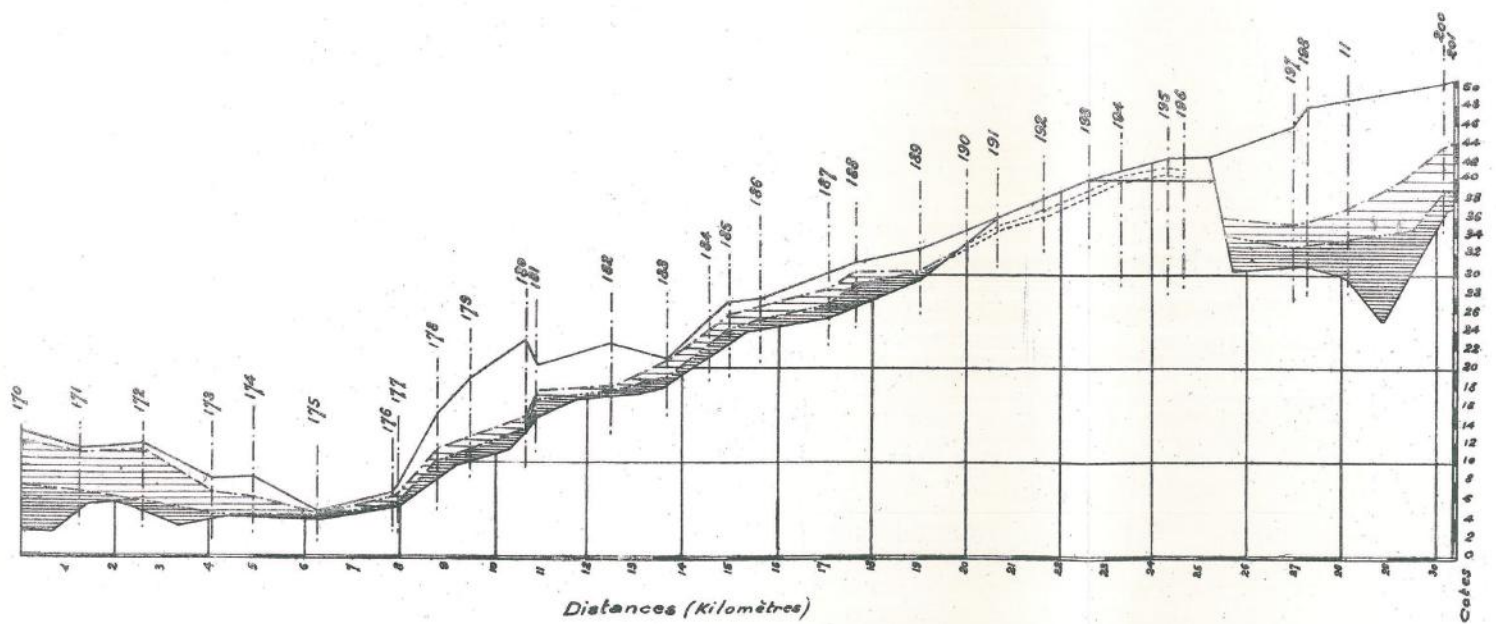
En vue de l'étude du débit de la nappe de la Basse Crau, nous avons fait (fig. 21) une coupe suivant la courbe de niveau d'altitude 5 du fond imperméable.

Le plan de la figure est donc le développement d'un cylindre à directrice verticale ayant pour génératrice la courbe de niveau de cote 5 du fond. (La courbe 5 passe au sud de la voie P. L. M. dans une zone où nous n'avons pas d'observations. Pour cette zone nous avons complété le profil en joignant sur les figures 13, 14 et 16 les extrémités des courbes de niveau de même cote des régions observées.)



PROFIL SUIVANT VOIE P.L.M.

Figure n° 19



COUPE SUIVANT C.N.5

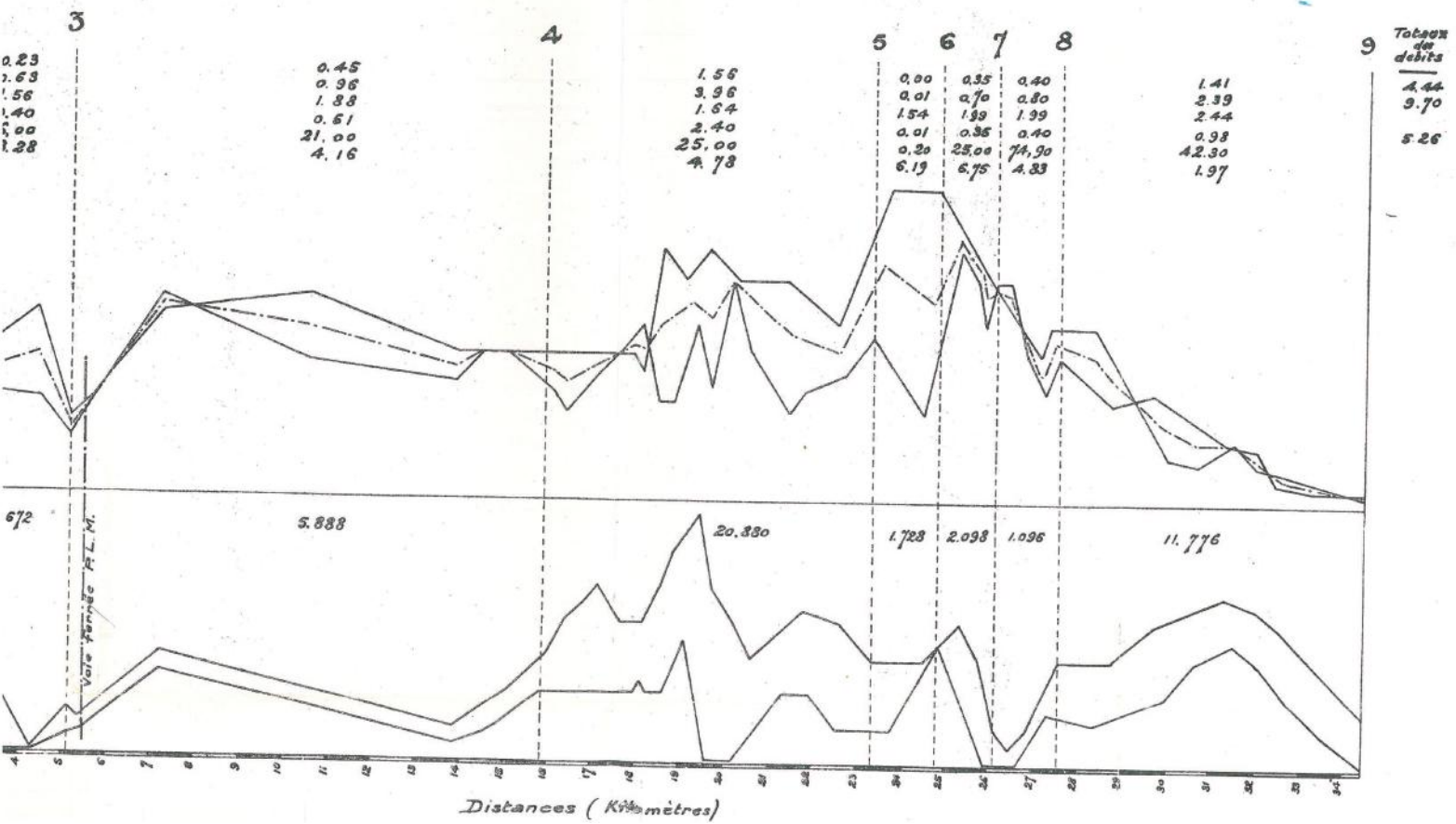
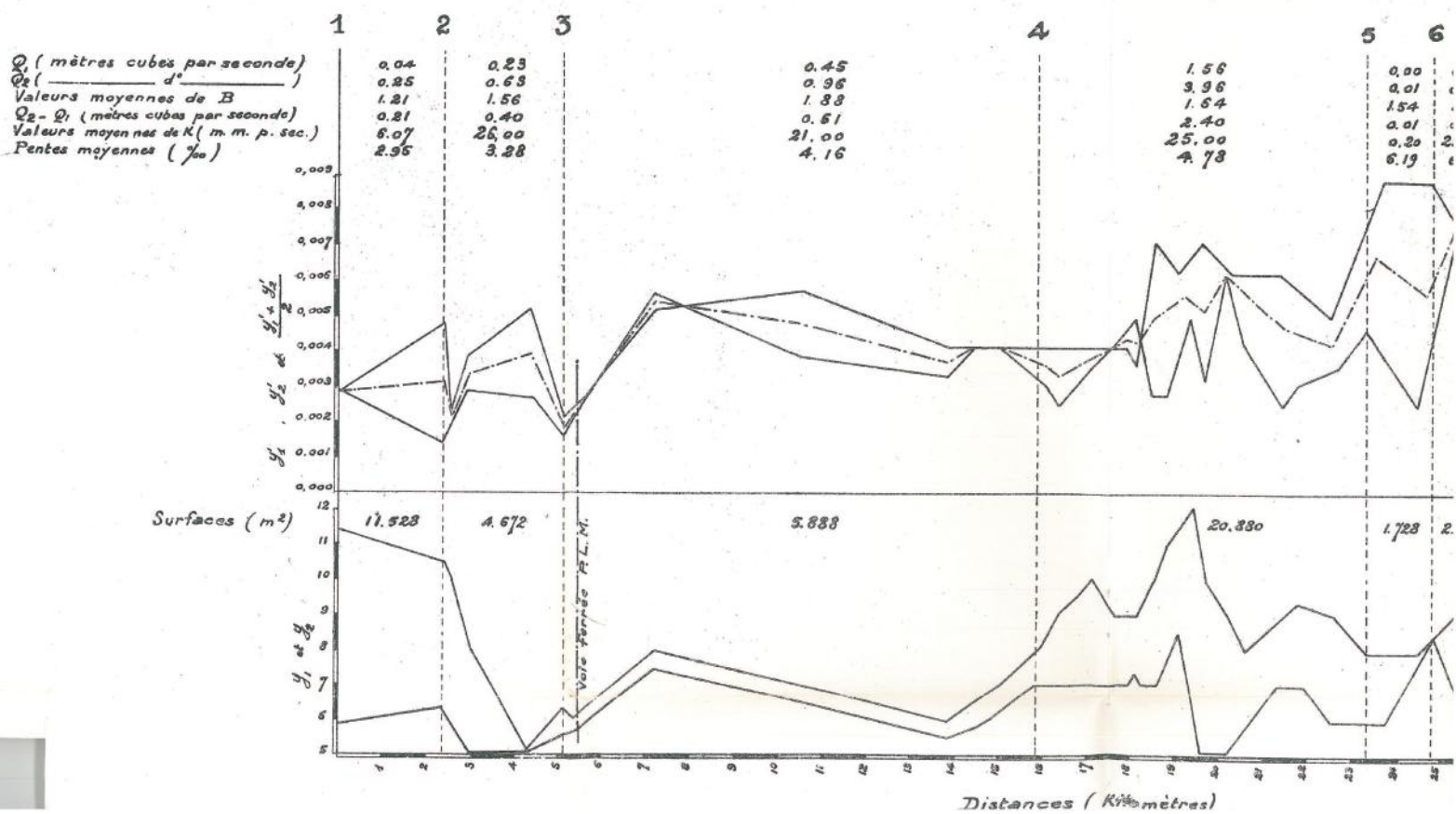


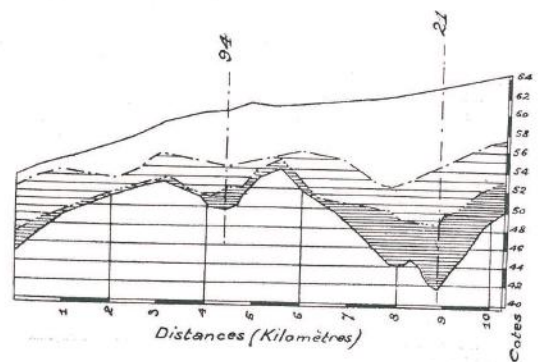
Figure n° 21

COUPE SUIVANT C.N.5



PROFIL EN TRAVERS
94-21

Figure n° 20



Nous avons indiqué sur cette coupe les cotes de la nappe au régime R_2 et au régime R_1 . La partie supérieure du graphique donne en traits pleins les valeurs de y_1 et de y_2 et en trait pointillé mixte la valeur de $\frac{y_1 + y_2}{2}$.

La valeur du débit $Q_2 - Q_1$ sur un élément de longueur dl de la coupe est

$$d(Q_2 - Q_1) = K (y_2 - y_1) \frac{y_2 + y_1}{2} dl \quad (22)$$

Le débit $Q_2 - Q_1$ le long de toute la courbe de niveau de cote 5 sera donc

$$Q_2 - Q_1 = K \int (y_2 - y_1) \frac{y_2 + y_1}{2} dl \quad (23)$$

Cette intégration peut se remplacer pratiquement par une somme de quantités finies à la condition que l'un des deux facteurs placés sous le signe d'intégration $y_2 - y_1$ ou $\frac{y_2 + y_1}{2}$, reste à peu près constant dans la partie élémentaire étudiée.

Nous avons divisé la coupe en huit tronçons. Pour chacun d'eux nous avons calculé la surface comprise entre la courbe des y_2 et celle des y_1 et les verticales séparant les tronçons. Nous avons également calculé la valeur moyenne de $\frac{y_1 + y_2}{2}$. Il reste à déterminer les valeurs moyennes de K à attribuer à chaque tronçon.

Nous avons pris pour le tronçon compris entre les verticales 1 et 2 la valeur trouvée pour le puits 174.

Entre 2 et 3 la moyenne des valeurs trouvées aux puits 174 et 173. (Il n'a pas été tenu compte de la valeur de K résultant de l'essai fait au puits n° 176 qui était cimenté.)

Entre 3 et 4, la moyenne des valeurs trouvées à 173, P₃, 132.

Entre 4 et 5, la moyenne des valeurs trouvées à P₃, 75, 76 et 131.

Entre 5 et 6, la valeur trouvée pour 68.

Entre 6 et 7, la valeur trouvée pour 5.

Entre 7 et 8, la valeur trouvée pour 17.

Entre 8 et 9, la moyenne des valeurs trouvées à 6, 17, 147 et 133.

Le produit des 3 éléments $y_2 - y_1$, $\frac{y_2 + y_1}{2}$ et K ainsi déterminés donne pour chaque section élémentaire le débit $Q_2 - Q_1$.

Pour déduire de ces débits $Q_2 - Q_1$ les valeurs de Q_2 et de Q_1 , il suffit de connaître la valeur moyenne de B dans l'intervalle étudié. On déduit, en effet, de la relation (4) :

$$Q_2 = B (Q_2 - Q_1) \quad (24)$$

et :

$$Q_1 = (B - 1) (Q_2 - Q_1) \quad (25)$$

Les valeurs moyennes de B ont été calculées de la manière suivante :

Nous avons pris pour le tronçon compris entre les verticales 1 et 2 la moyenne des valeurs trouvées pour les puits 172 et 173.

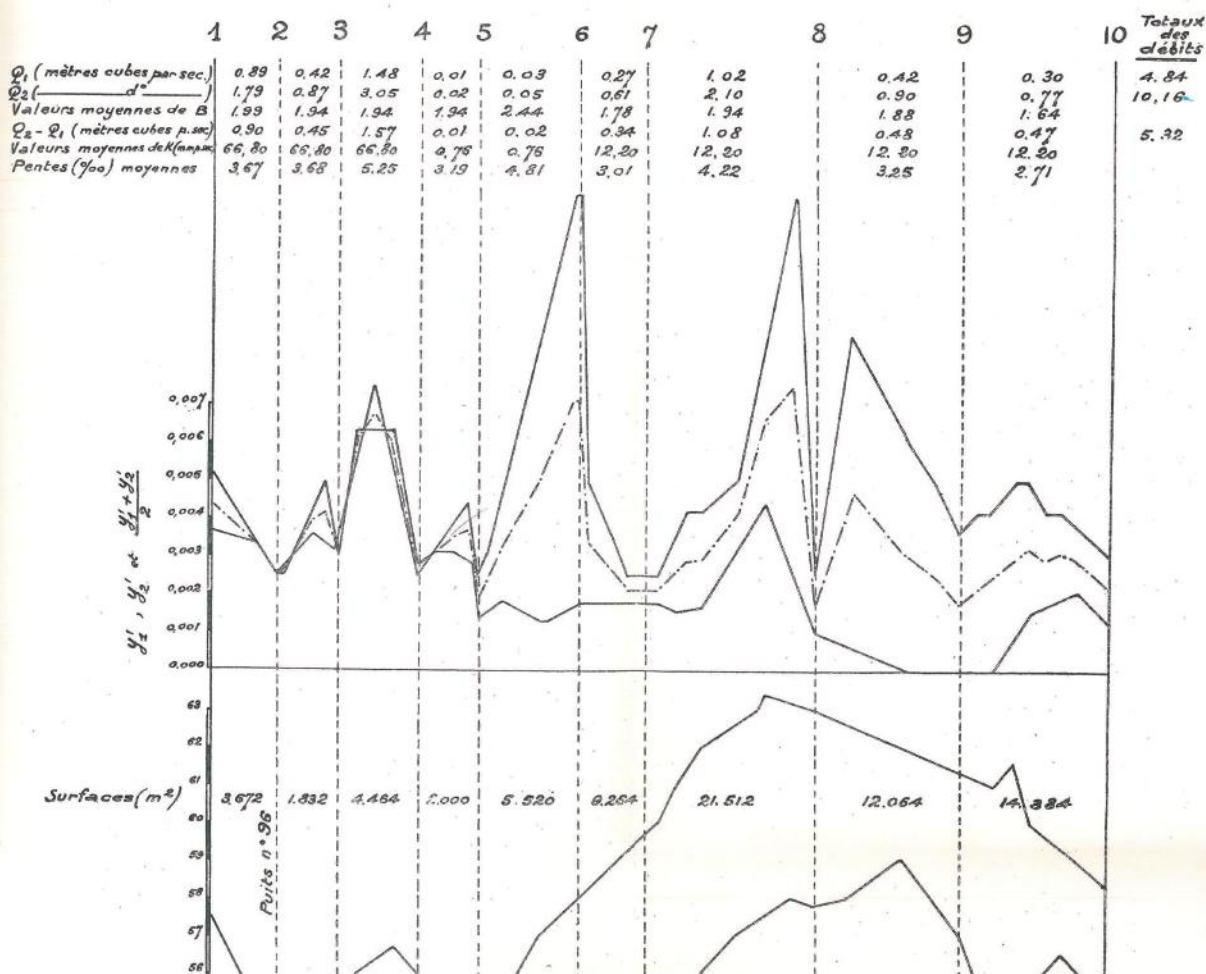
Entre 2 et 3, la moyenne des valeurs trouvées à 174, 173.

F.

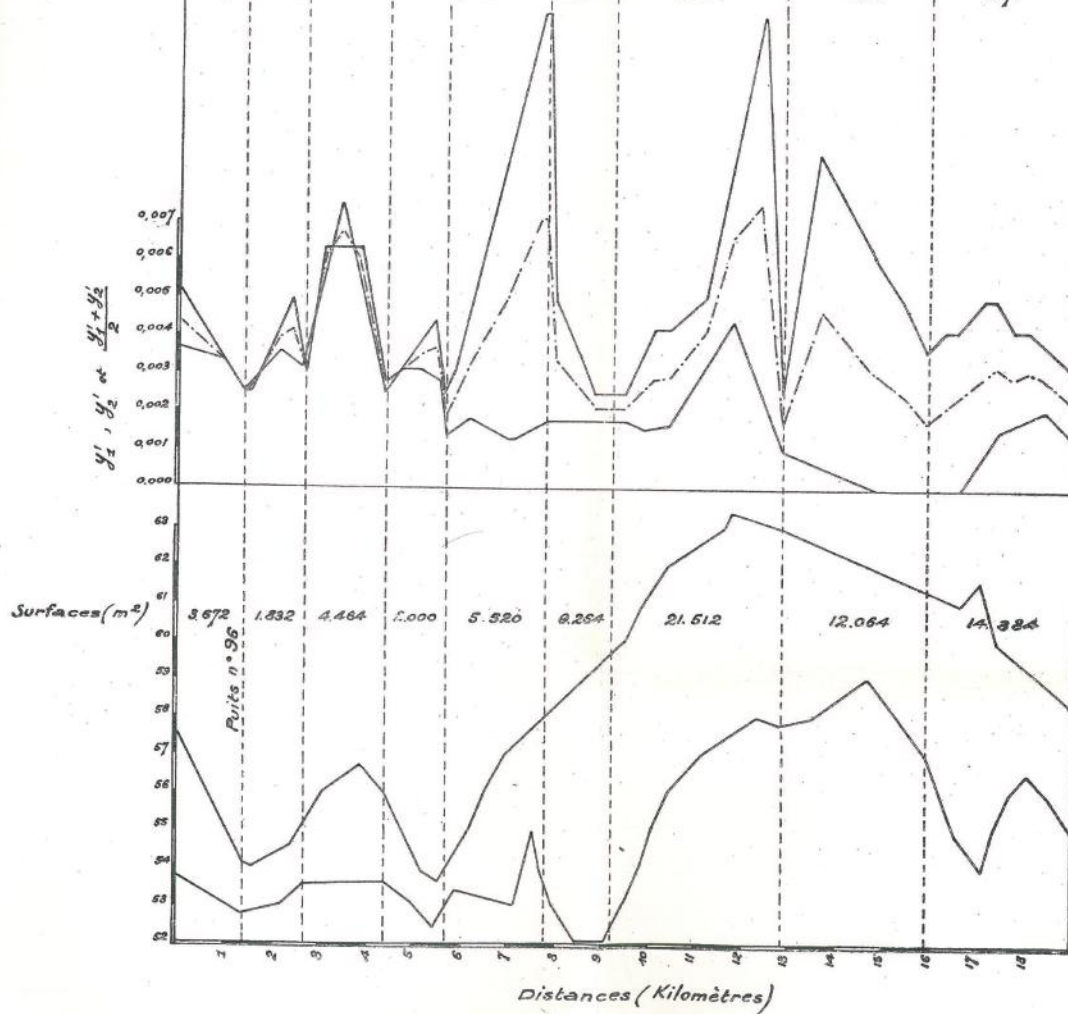
Q₁
Q₂ -
Vale
Q₂ -
Vale
Pen.

Figure n° 22

COUPE SUIVANT C.N.52



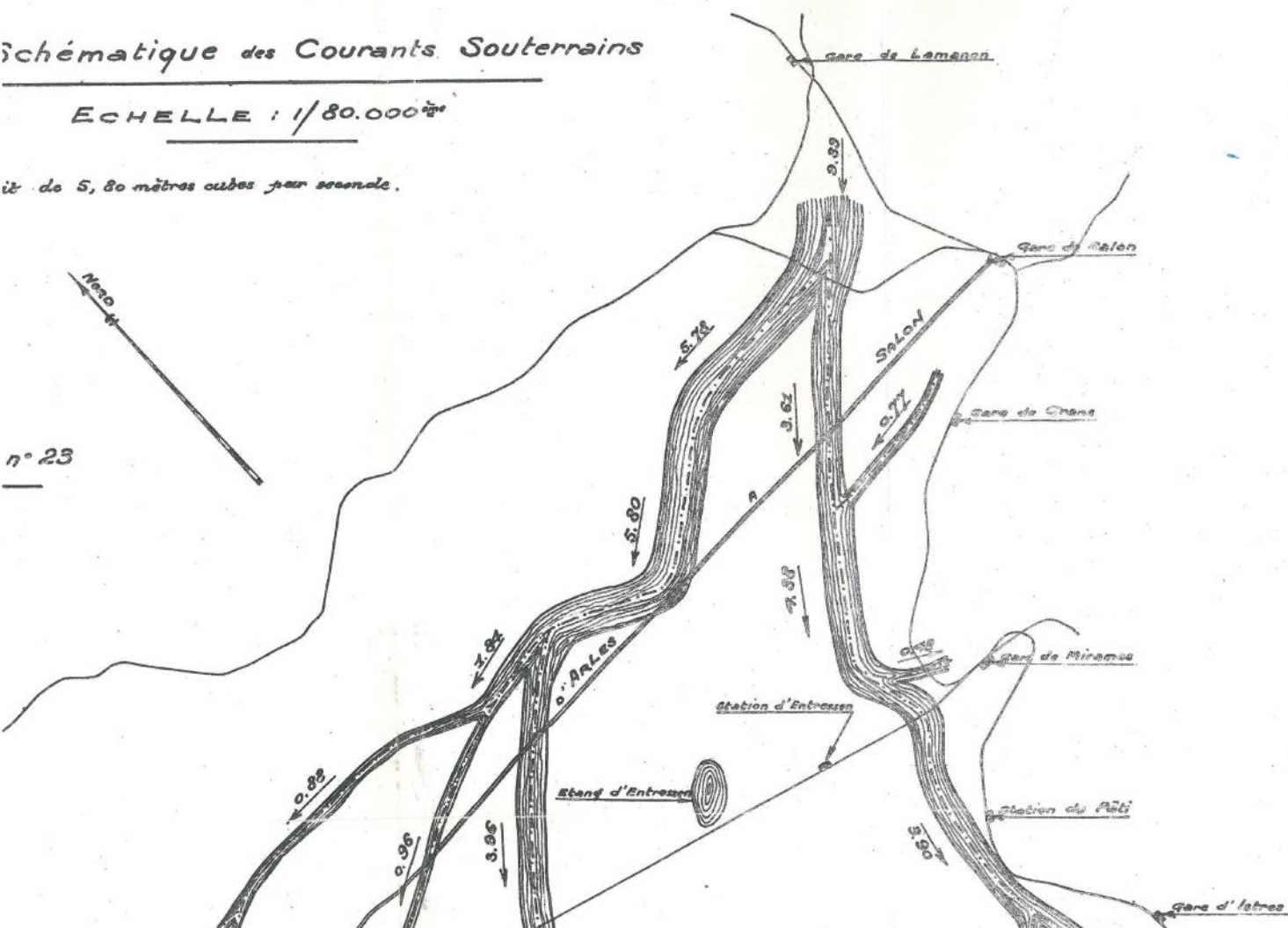
Q_2	1,79	0,87	3,05	0,02	0,05	0,61	2,10	0,90	0,77	10,16
Valeurs moyennes de B	1,99	1,94	1,94	1,94	2,44	1,78	1,94	1,88	1,64	
$Q_2 - Q_1$ (mètres cubes p. sec)	0,90	0,45	1,57	0,01	0,02	0,94	1,08	0,48	0,47	5,32
Valeurs moyennes de K (m.p.m.)	66,80	66,80	66,80	0,78	0,78	12,20	12,20	12,20	12,20	
Pentes (‰) moyennes	3,67	3,68	5,25	3,19	4,81	3,01	4,22	3,25	2,71	



Schématique des Courants Souterrains

ECHELLE : 1/80.000^{me}

it de 5,80 mètres cubes par seconde.



n° 23

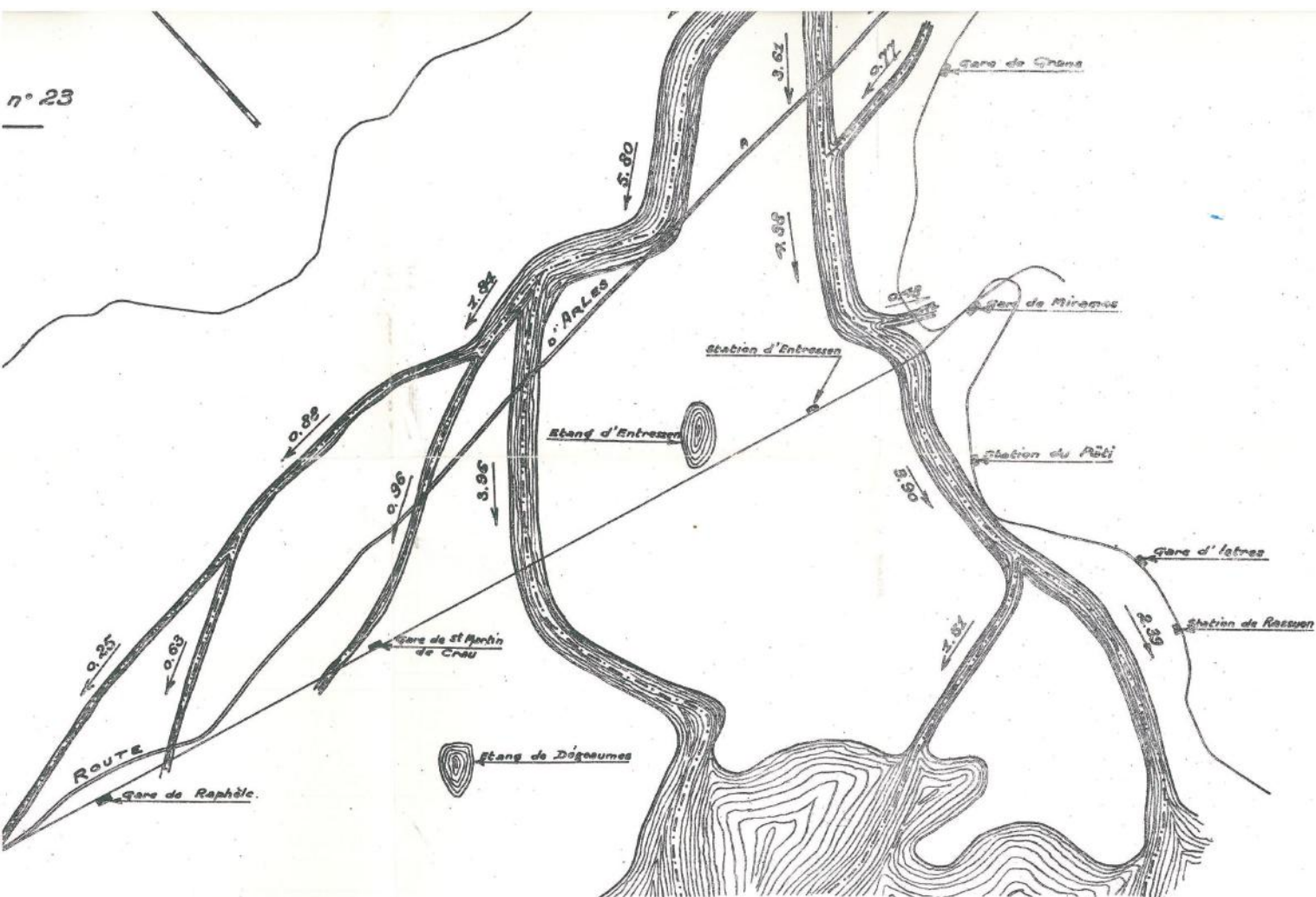
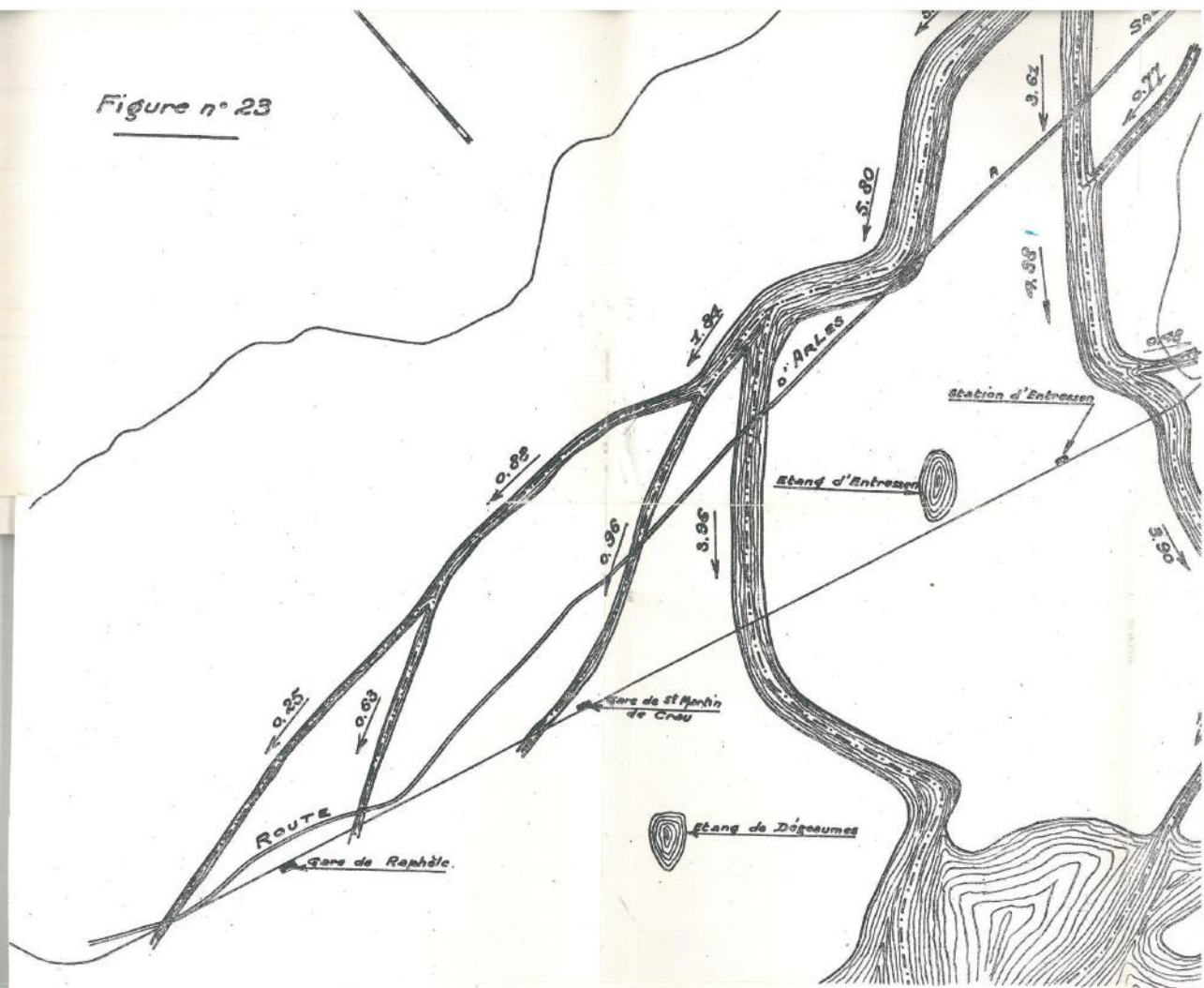


Figure n° 23



Entre 3 et 4, la moyenne des valeurs trouvées à 176, 177, 178, 179, 180, 36, 37, 132.

Entre 4 et 5, la moyenne des valeurs trouvées à 60, 13, 2, 14.

Entre 5 et 6, la moyenne des valeurs trouvées à 69 et 129.

Entre 6 et 7, la moyenne des valeurs trouvées à 221 et 212.

Entre 7 et 8, la moyenne des valeurs trouvées à 29 et 30.

Entre 8 et 9, la moyenne des valeurs trouvées à 127, 133 et 6.

Tous les calculs indiqués ci-dessus sont reportés aux intervalles correspondants sur la figure 21.

Pour étudier la nappe dans la Haute Crau, nous avons utilisé le développement suivant la courbe de niveau de cote 52 du fond hydraulique (fig. 22). Les calculs ont été conduits d'une manière identique à celle exposée précédemment. Pour les valeurs de K nous avons pris :

Entre 1 et 2 la valeur trouvée pour 93.

Entre 2 et 3, la valeur trouvée pour 93.

Entre 3 et 4, la valeur trouvée pour 93.

Entre 4 et 5, la valeur trouvée pour 88.

Entre 5 et 6, la valeur trouvée pour 88.

Entre 6 et 7, la valeur trouvée pour 79.

Entre 7 et 8, la valeur trouvée pour 79.

Entre 8 et 9, la valeur trouvée pour 79.

Entre 9 et 10, la valeur trouvée pour 79.

Pour les valeurs de B, nous avons pris :

Entre 1 et 2, la moyenne des valeurs trouvées à 216 et 96.

Entre 2 et 3, la valeur trouvée pour 207.

Entre 3 et 4, la valeur trouvée pour 93.

Entre 4 et 5, la moyenne des valeurs trouvées à 88 et 94.

Entre 5 et 6, la valeur trouvée pour 111.

Entre 6 et 7, la valeur trouvée pour 23.

Entre 7 et 8, la moyenne des valeurs trouvées à 110, 78 et 107.

Entre 8 et 9, la valeur trouvée pour 78.

Entre 9 et 10, la valeur trouvée pour 77.

On voit que le débit total circulant sous la Crau est, au régime R_2 , de 10 mètres cubes 16 par seconde, et au régime R_1 , de 4 mètres cubes 84 par seconde.

Les deux études de débits ci-dessus et la carte en courbes de niveau du fond hydraulique nous ont permis de faire (fig. 23) la carte schématique des courants souterrains. Sur cette carte ont été indiquées les directions des principaux thalwegs et l'indication du débit transporté par chacun d'eux.

Pour obtenir une représentation imagée, nous avons donné à chacun des bras du fleuve souterrain une largeur proportionnelle à son débit. Le tracé de la figure 23 ne donne par conséquent pas les rives du fleuve souterrain, puisque de tels fleuves n'ont pas de rives, ainsi que nous l'avons exposé plus haut.

Le calcul fait suivant les courbes 5 et 52 attribue à chaque branche un certain débit. A titre de vérification, on doit retrouver pour chaque branche des débits à peu près égaux en utilisant les résultats trouvés sur la courbe 5 ou ceux trouvés sur la courbe 52. Nous n'avons qu'une très faible divergence puisque pour la branche occidentale, qui seule présente une différence, le débit calculé par la courbe 5 est de 5 mètres cubes 80 par seconde et par la courbe 52 de 5 mètres cubes 78 par seconde. Ces résultats donnent une vérification d'ensemble des méthodes employées.

G. — ORIGINE PROBABLE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA CRAU

La forme du fond hydraulique dessinant un thalweg très accentué dans la direction du col de Lamanon indique nettement que c'est en ce point qu'arrive la nappe souterraine dans la Crau.

Par ailleurs, l'origine durancienne de ces eaux semble être nettement prouvée par les analyses chimiques. En effet, la composition des eaux des puits 23, 11, 6 et 123 situés sur les forts courants souterrains, rappelle beaucoup celle des eaux de la Durance. Seules, une légère augmentation du degré hydrométrique et des résidus, due principalement à une augmentation de la chaux et de l'acide carbonique combiné aux bases, et une légère diminution sur la magnésie, silice, alumine et oxyde de fer, les différencient. Or, il est très possible que les eaux de la Durance, au cours de leur trajet souterrain, subissent de légères modifications dans leur composition chimique.

Le puits n° 7 (qui est très sensiblement influencé par les irrigations) et le puits n° 90 (qui n'est pas situé sur la nappe et est par conséquent uniquement alimenté par les eaux de pluie et d'irrigation), ont des eaux d'une composition analogue dans ses grandes lignes à celle des eaux de la Durance, mais s'en différenciant plus que celles des puits situés sur les forts courants souterrains.

On peut donc dire que tous les puits de la Crau sont alimentés par les eaux de la Durance, celles-ci passant soit souterrainement par le col de Lamanon, soit superficiellement par les canaux d'irrigation.

La composition chimique des eaux de la Durance n'est que très légèrement modifiée par le passage souterrain. Elle l'est plus profondément lorsqu'elles ont circulé dans la terre végétale.

L'eau de l'étang d'Entressen a une composition très nettement différente de celle des puits de la Crau. Les résidus sont beaucoup plus élevés ainsi que la teneur en chlorure de sodium.

Nous ferons remarquer à ce sujet que l'analyse faite en 1929 a accusé pour l'eau de l'étang d'Entressen un résidu sec de 877 milligrammes par litre, alors que M. Delebecque, dans son ouvrage sur les lacs français datant de 1898, signale un résidu sec par litre de 3.638 milligrammes.

Plusieurs auteurs ont considéré comme impossible le passage souterrain de la Durance par le col de Lamanon et se basaient pour établir cette impossibilité sur la cote élevée de la nappe souterraine au col de Lamanon. Or, nous avons vu

plus haut que la nappe observée à Lamanon n'était pas la grande nappe souterraine de la Crau, mais une petite nappe superficielle, la vraie nappe passant à une cote comprise entre 60 et 70, ce qui rend vraisemblable son alimentation par la Durance.

Un autre argument prouve que les eaux d'irrigation ne peuvent contribuer qu'en très faible partie à l'alimentation de la nappe souterraine : C'est que, dès son origine vers le puits n° 107, la nappe a un débit de 9 mètres cubes 39 par seconde, alors que la partie irriguée qu'elle peut drainer est d'une surface très faible.

Certains puits ont évidemment leur niveau très nettement influencé par les irrigations, mais ce sont en général des puits de faible débit, soit parce qu'ils sont situés en dehors des thalwegs souterrains, soit parce qu'à leur emplacement le terrain est peu perméable.

Nous estimons d'ailleurs que sous l'ardent soleil de la Provence et sous le soufflé puissant du mistral, une grosse quantité des eaux amenées pour l'irrigation doit s'évaporer.

Il faut bien admettre également qu'une partie appréciable de ces eaux est utilisée par les plantes que l'on irrigue. Il ne pénètre donc vraisemblablement dans le sol qu'une très faible partie des eaux d'irrigation. D'ailleurs cette faible partie ne parvient pas en totalité à la nappe souterraine, car presque partout la présence du poudingue l'empêche de la rejoindre.

Par des considérations analogues, on peut estimer que la nappe souterraine ne profite que d'une très faible partie des pluies tombées sur la Crau. Seuls, d'après les graphiques, quelques puits manifestent une légère réaction après des chutes d'eau un peu importantes.

La partie de la Crau qui a fait l'objet de notre étude représente une surface de 40.000 hectares. Les précipitations atmosphériques au cours de l'année ont représenté une hauteur d'eau de 397 mm., soit pour les 40.000 hectares 152.800.000 mètres cubes.

La branche méridionale du canal des Alpines amène par le col de Lamanon un débit de 8 mètres cubes 822 par seconde dont une partie est dérivée sur les Martigues, Istres, Saint-Chamas, Grans, Port-de-Bouc. On ne doit donc compter pour la partie étudiée que sur un débit de 7 mètres cubes par seconde environ, soit pendant 200 jours d'irrigation par an, une aménée d'eau totale de 120.960.000 mètres cubes. Il arrive donc au total sur la Crau, tant par les pluies que par les irrigations, 273.760.000 mètres cubes dont, d'après ce que nous avons vu ci-dessus, une très faible partie seulement peut parvenir à la nappe souterraine. Or, le débit de celle-ci est en moyenne dans l'année de $\frac{4.84 + 10.16}{2} = 7$ mètres cubes 50 par seconde, soit pendant une année 236.510.000 mètres cubes.

Il faudrait donc pour que la nappe souterraine de la Crau soit, comme l'ont affirmé certains auteurs, due aux pluies et aux irrigations, que la totalité des eaux de pluie et d'irrigation y pénètre, ce qui apparaît comme tout à fait impossible.

Nous estimons donc en définitive que la nappe souterraine de la Crau a son origine dans la Durance et qu'elle n'est que très légèrement influencée en certains points, où elle est d'ailleurs de faible débit, par les pluies et les irrigations.

B. — UTILISATION PRATIQUE DES RÉSULTATS OBTENUS

Au point de vue pratique, les résultats exposés ci-dessus peuvent être utilisés de la manière suivante pour apprécier le débit que l'on peut obtenir par pompage en un point déterminé.

Tout d'abord, la différence entre la cote du sol et la cote de la nappe au régime B donnera la profondeur de la nappe avant pompage.

La connaissance du coefficient de filtration permettra de déterminer la dénivellation supplémentaire due à un pompage d'un débit donné.

Pour voir si ce débit peut être réalisé, il faut tout d'abord rechercher sur la carte en courbes de niveau du fond hydraulique si l'emplacement choisi est sur un thalweg souterrain.

Il faudra voir ensuite si ce thalweg souterrain présente un débit suffisant pour assurer le pompage projeté et ceux déjà existants sur ce thalweg.

Enfin, un essai préliminaire de pompage fera connaître si le coefficient de filtration du sol est suffisant pour permettre d'amener dans le puits le débit projeté.

CONCLUSIONS

Nous sommes parvenus à la fin de cet exposé. Nous nous excusons auprès de nos lecteurs de sa longueur, mais celle-ci était nécessaire car il s'agit en grande partie de méthodes nouvelles et l'exposé, pour être intelligible, ne doit omettre aucun des maillons de la chaîne qui permet, en partant des observations, d'arriver aux conclusions.

Nous avons donc indiqué en détails la manière dont avaient été conduits les calculs, les procédés pratiques employés et même les petits « truquages » qui ont été nécessaires. De cette façon, l'étude que nous présentons pourra être utile, non seulement à ceux qu'intéresse le problème de la Crau, mais aussi à ceux qui désireront appliquer nos méthodes dans d'autres cas.

L'immense désert aride et caillouteux de la Crau présentant en certains points des marécages apparaît comme une anomalie au milieu des riches terres de Provence ; mais là comme ailleurs, la nature a mis le remède à côté du mal.

Il appartiendra à d'autres qu'à nous d'étudier les procédés d'utilisation de la nappe souterraine, mais il est bien évident que celle-ci permettra, d'une part, d'augmenter dans de notables proportions la surface irriguée de la Crau, et pourra, par ailleurs, être utilisée pour l'assainissement en certains points.

Nous serons bien récompensés de notre travail si, par une ferme volonté d'aboutir de la part de ceux qui l'utiliseront, les richesses endormies de la Crau se réveillent sous le ciel ardent du Midi.

Paris, le 4 avril 1930.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction.....	3
CHAPITRE PREMIER	
OBSERVATIONS ET MESURES EFFECTUÉES.....	5
A. — Variations du niveau de la surface libre de la nappe.....	5
a) Puits étudiés par des relevés périodiques.....	5
b) Puits étudiés à l'aide de limnigraphes enregistreurs.....	13
c) Répertoire et carte des puits étudiés.....	13
d) Graphiques des variations du niveau de l'eau dans les puits.....	20
B. — Essais de pompage.....	50
a) Matériels et appareils employés.....	50
b) Carte des emplacements où ont été effectués les essais.....	50
C. — Température de l'eau de la nappe souterraine.....	53
D. — Analyses chimiques des eaux.....	54
E. — Pluviométrie.....	55
F. — Nivellement du fond de l'étang d'Entressen.....	58
G. — Importance de la documentation réunie.....	58
CHAPITRE II	
MÉTHODES EMPLOYÉES.....	61
A. — Détermination du fond de la nappe par l'observation des variations de sa surface libre.....	61
a) Exposé général de la méthode.....	61
b) Modalités pratiques d'application dans le cas général.....	62
c) Modalités pratiques d'application dans des cas spéciaux.....	63
B. — Détermination du débit d'un puits.....	64
a) Exposé général de la méthode.....	64
b) Modalités pratiques d'application.....	65
C. — Détermination du coefficient de filtration du sol par des essais de pompage.....	66
CHAPITRE III	
APPLICATION DES MÉTHODES EXPOSÉES.....	67
A. — Étude du fond hydraulique de la nappe.....	67
a) Détermination des valeurs y_1 et y_2 permettant de tracer les enveloppes des positions de la surface libre de la nappe aux Régimes R ₁ et R ₂	67

	Page
b) Détermination du rapport du débit Q_1 de la nappe au régime R_1 au débit Q_2 de la nappe au régime R_2 et du terme $B = \frac{I}{1 - \frac{Q_1}{Q_2}}$	68
c) Calcul des cotes y du fond hydraulique de la nappe.....	72
B. — Étude du coefficient de filtration du sol.....	80
C. — Étude du coefficient de perméabilité du sol.....	81

CHAPITRE IV

INTERPRÉTATION ET UTILISATION DES RÉSULTATS OBTENUS.....	85
A. — Fond hydraulique de la nappe.....	85
a) Plan en courbes de niveau du fond hydraulique de la nappe.....	85
b) Profils en long du sol, de la nappe et du fond.....	85
c) Profils en travers du sol, de la nappe et du fond.....	86
B. — Évaluation du débit total de la nappe souterraine de la Crau.....	86
C. — Origine probable des eaux souterraines de la Crau.....	90
D. — Utilisation pratique des résultats obtenus.....	92
Conclusions.....	93

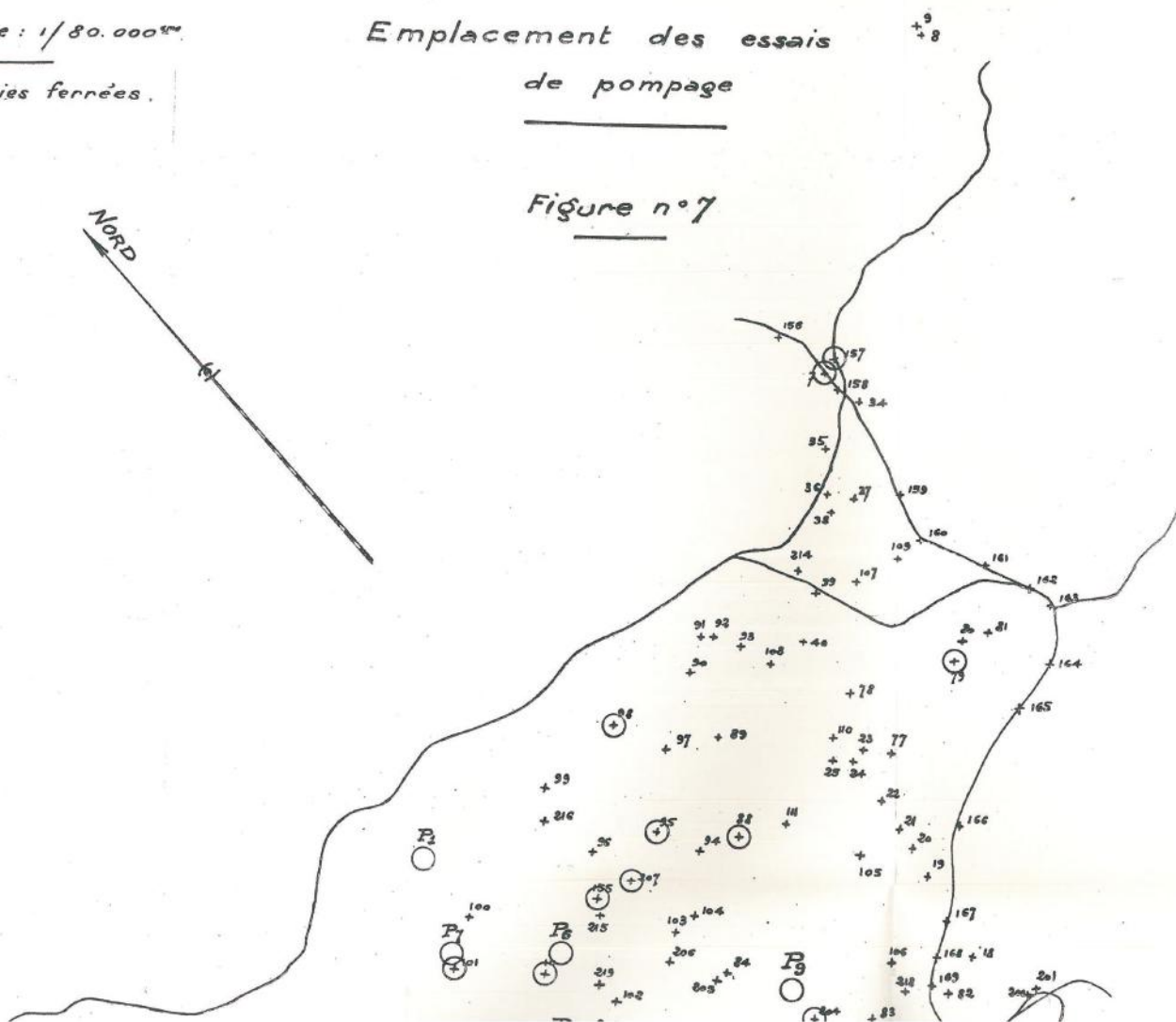
Echelle : 1/80.000^{ème}

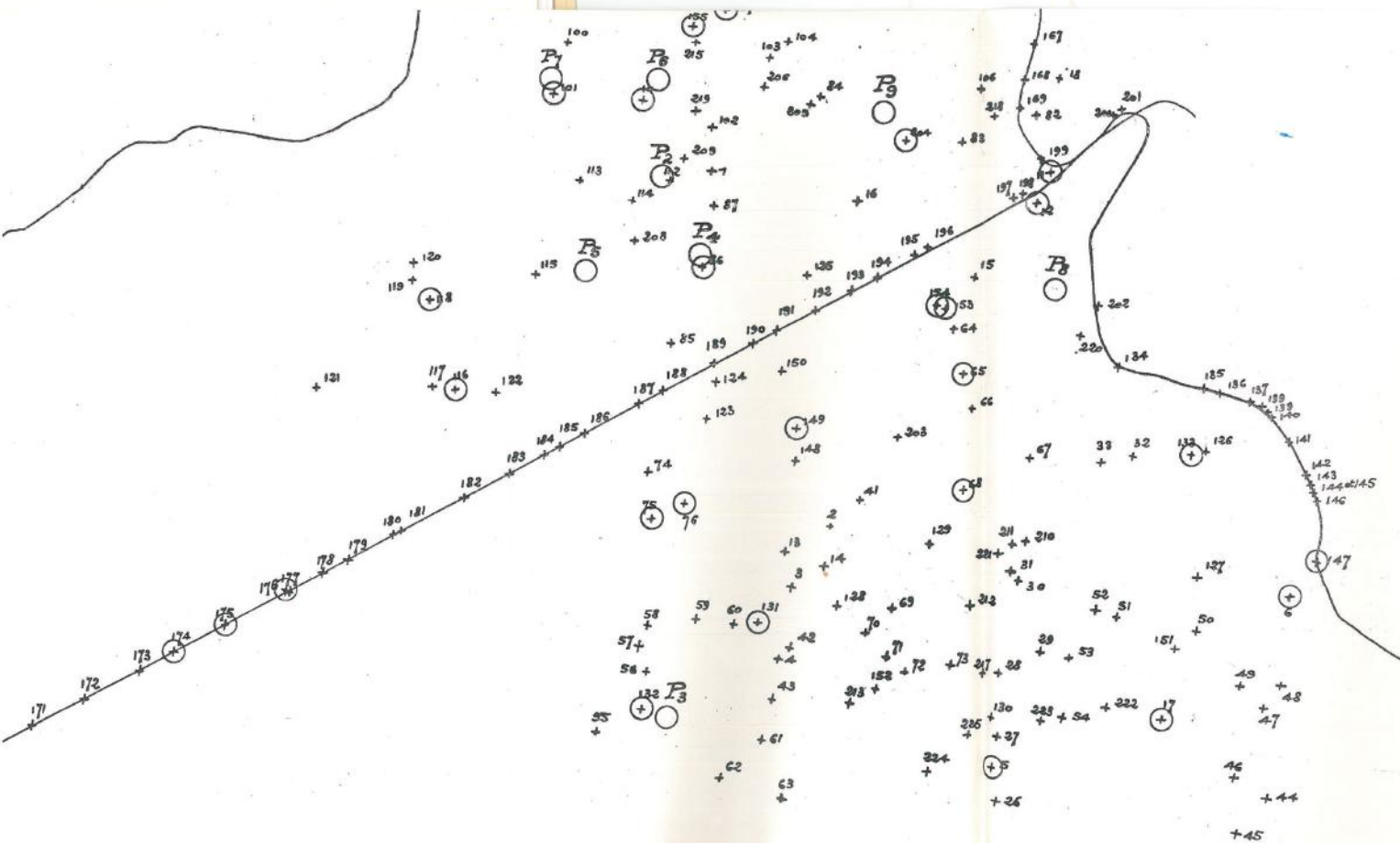
— Voies ferrées.

Emplacement des essais de pompage

Figure n°7

NORD





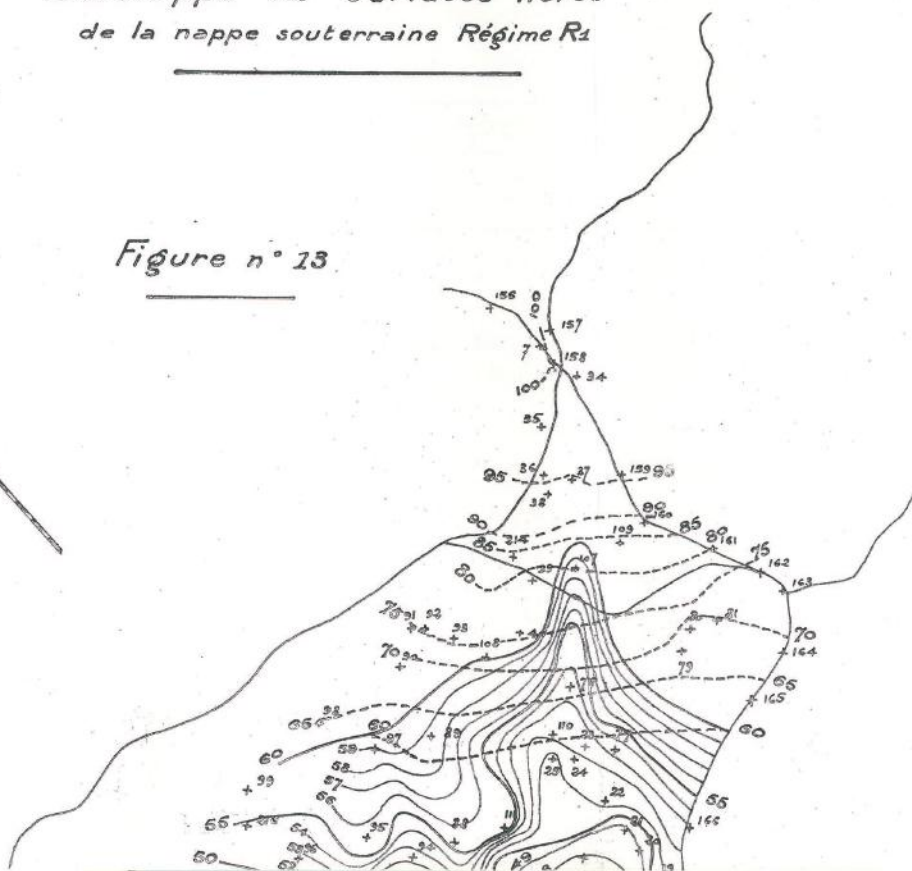
Echelle : 1/80.000^m

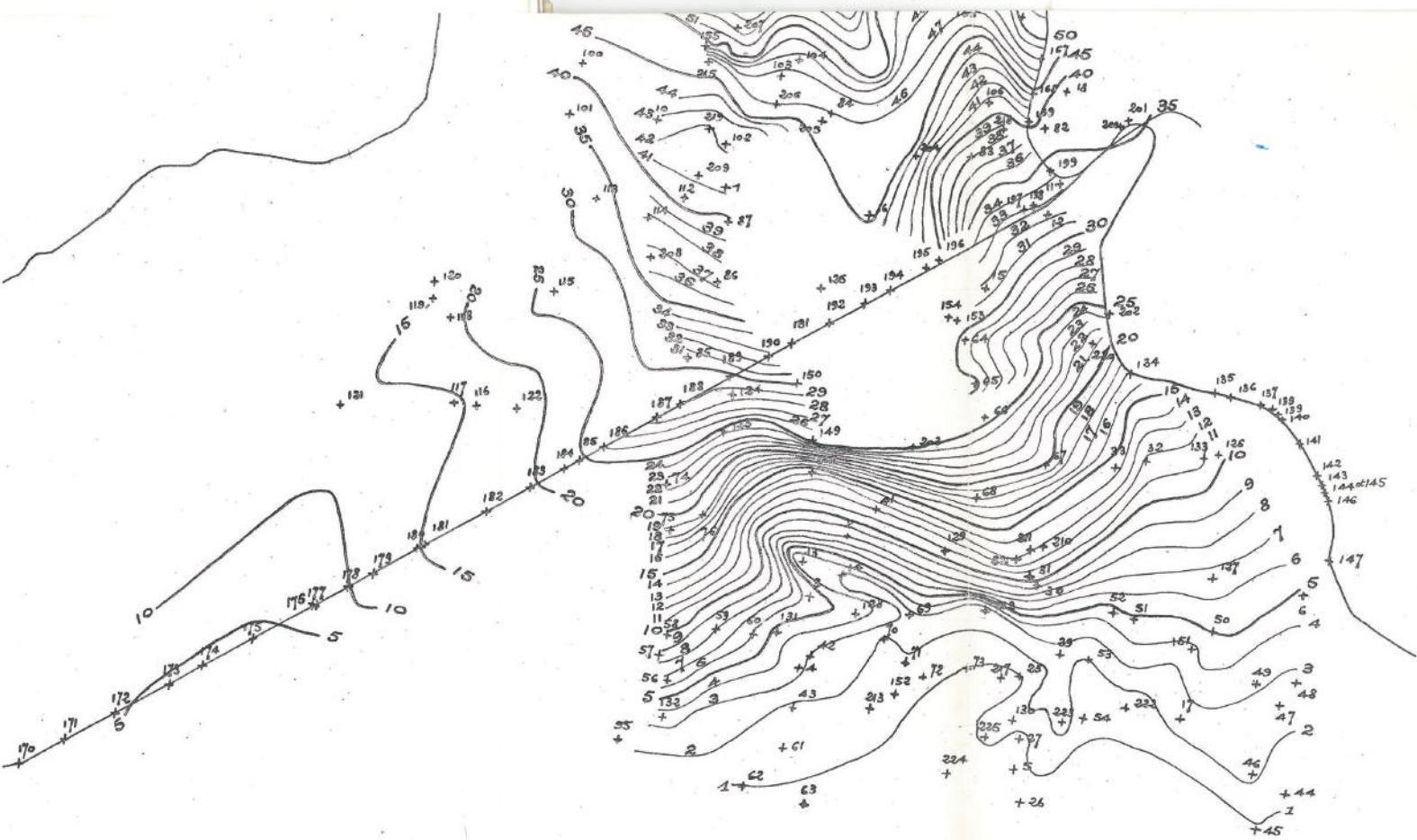
voies ferrées.

Enveloppe des Surfaces libres³
de la nappe souterraine Régime R₁

Figure n° 13

NORD





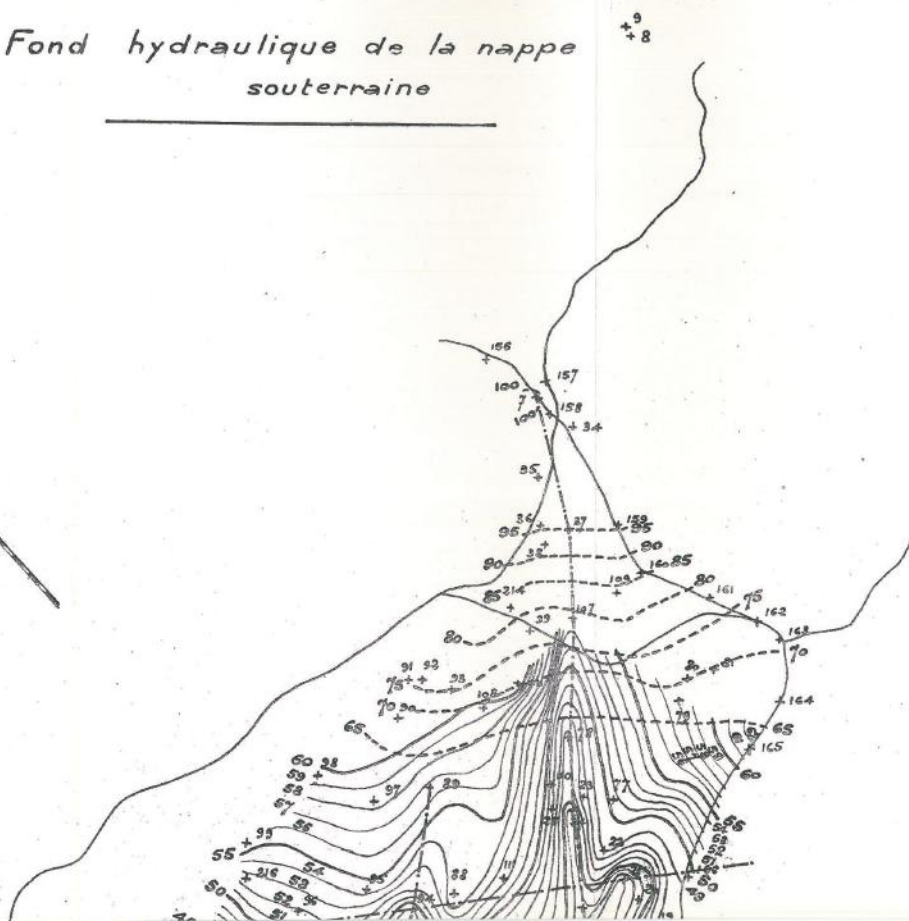
Echelle : 1/80.000^{ème}

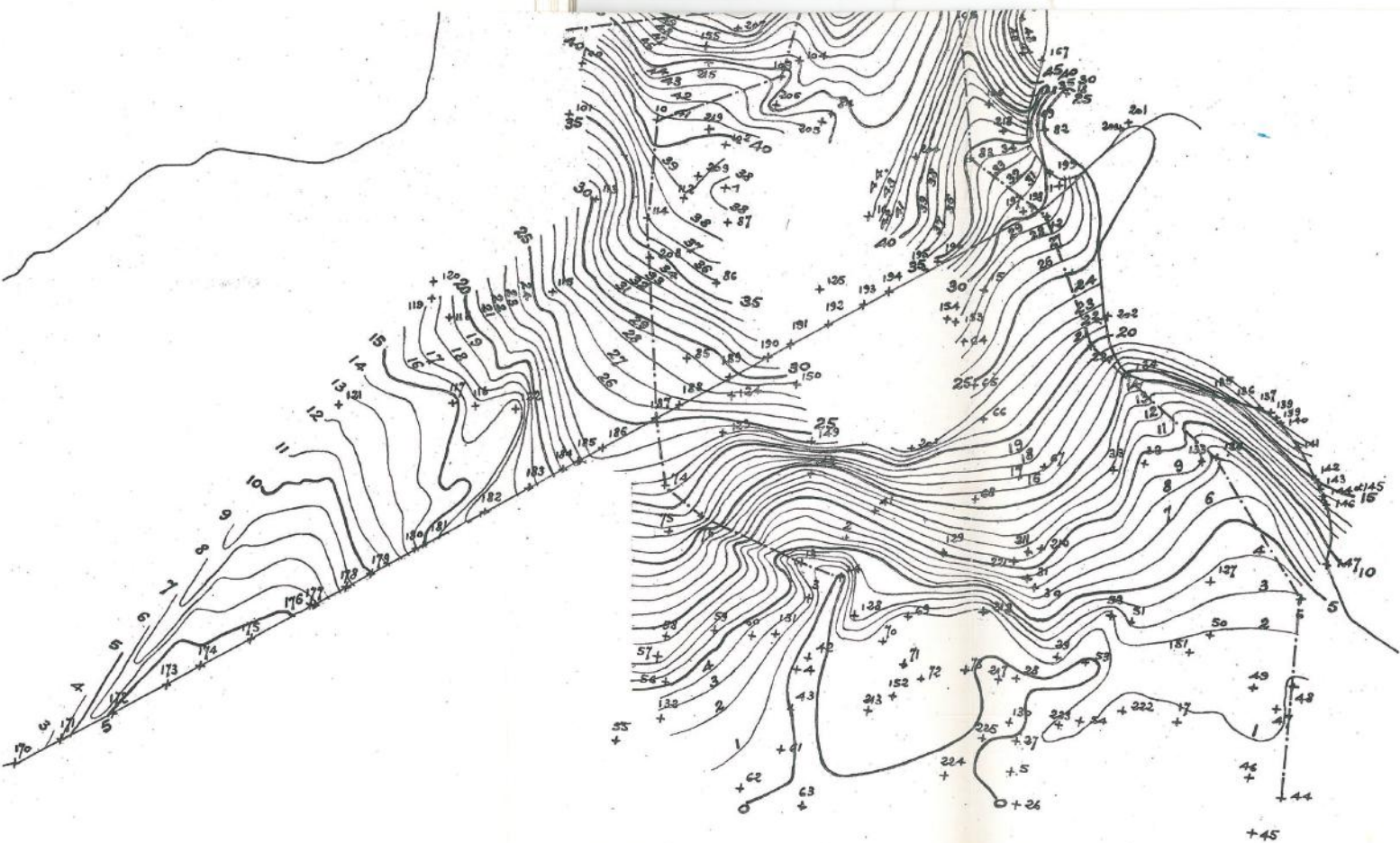
voies ferrées

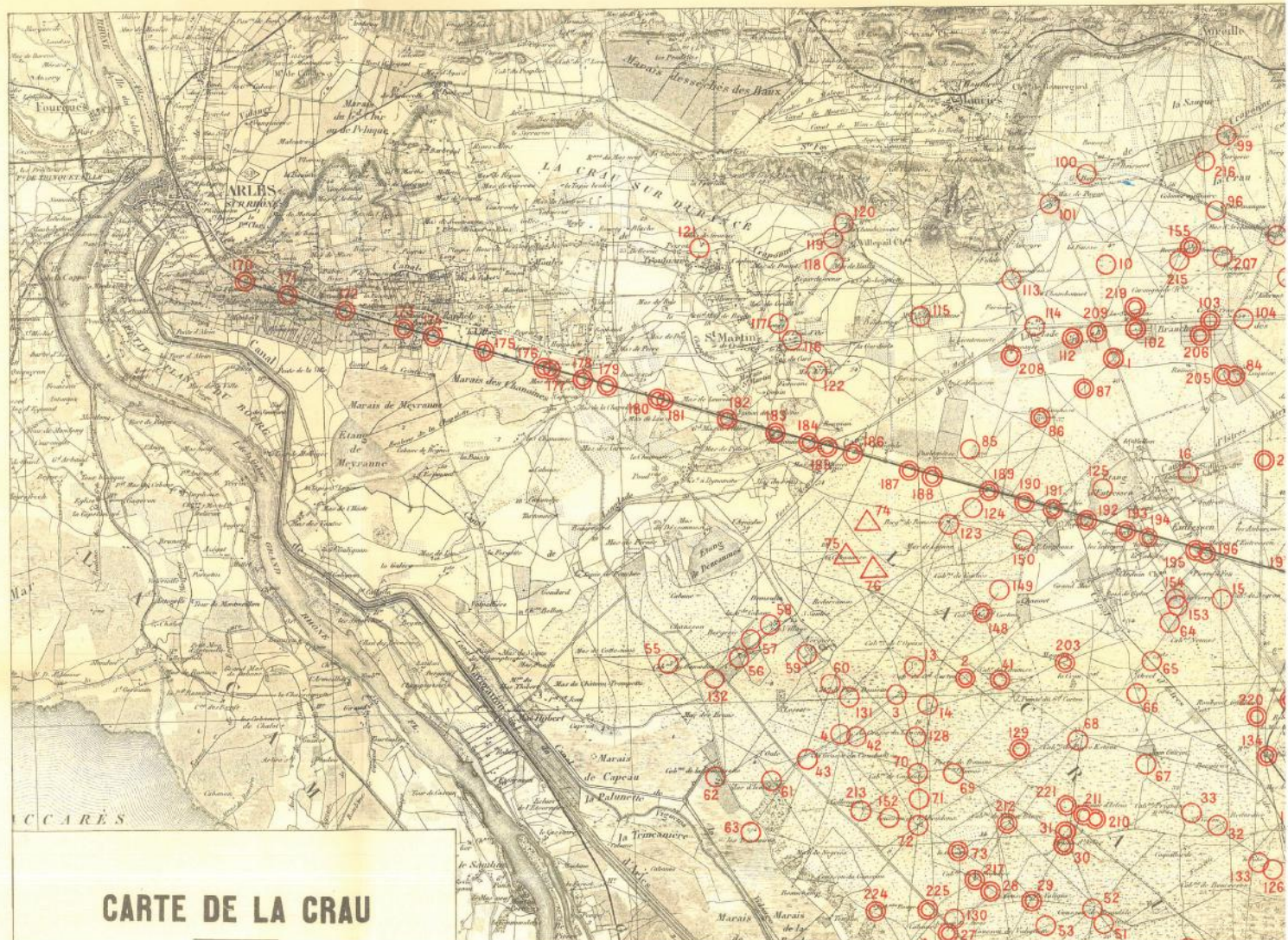
Fond hydraulique de la nappe
souterraine

NORD

Figure n° 16





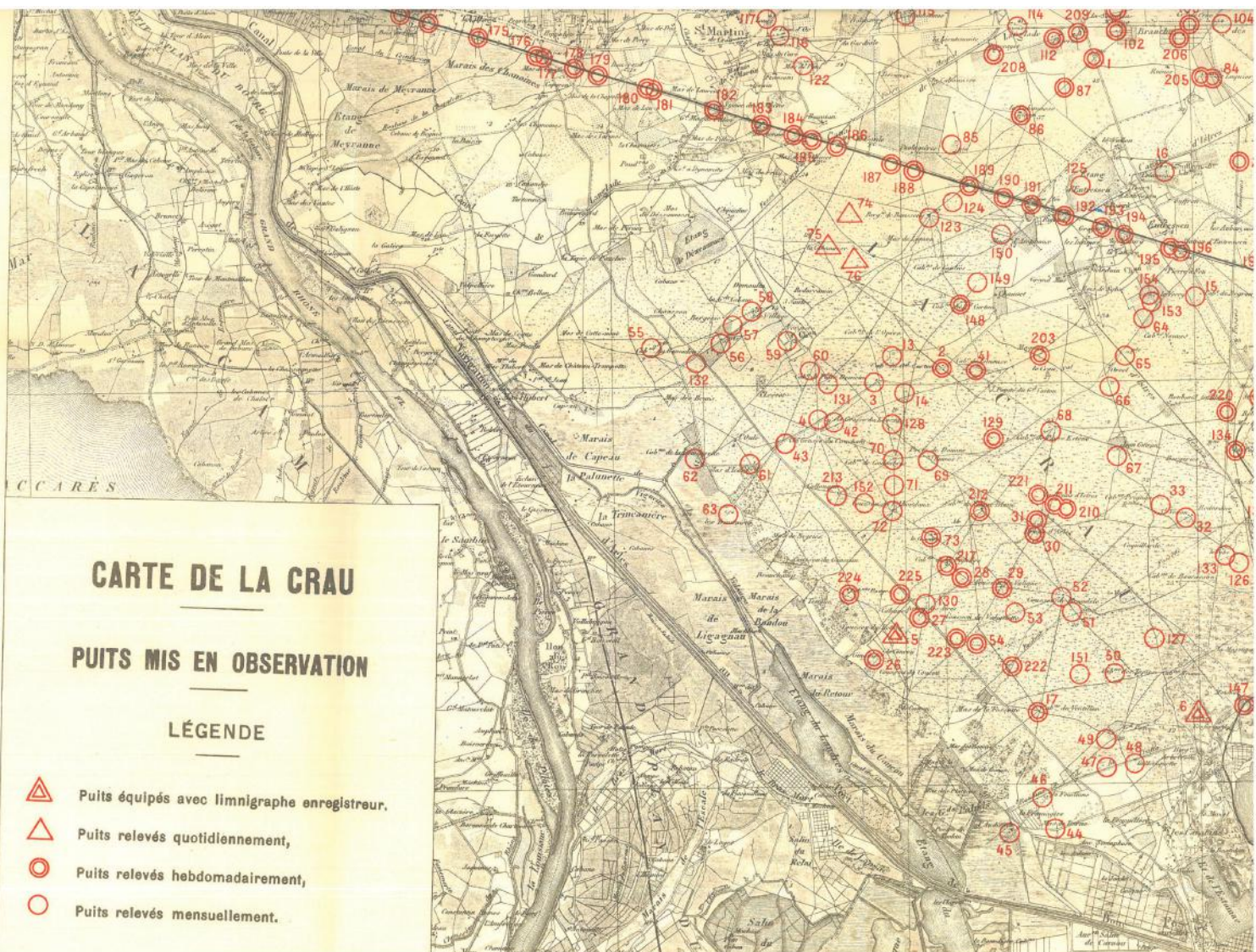


CARTE DE LA CRAU

PUITS MIS EN OBSERVATION

LÉGENDE

- ▲ Puits équipés avec limnigraphe enregistreur.
- △ Puits relevés quotidiennement,
- ⊙ Puits relevés hebdomadairement,
- Puits relevés mensuellement.





Reproduction interdite.

