

**DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE
SERVICE DU GENIE RURAL DES EAUX ET DES FORETS**

DEPARTEMENT DU VAR

PLAINE D'HYÈRES

(VAR)

ETUDE ET CONTROLE DES NAPPES

(arrêté au 15-12-67)

par

B. DELLERY - G. DUROZOY - Cl. GOUVERNET - P. JONQUET



BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

74, rue de la Fédération - 75-Paris (15ème) - Tél. 783 94-00

DIRECTION DU SERVICE GEOLOGIQUE ET DES LABORATOIRES

Boite postale 818 - 45-Orléans - La Source - Tél. 87-04-69 et 05-06

FACULTE DES SCIENCES DE MARSEILLE

Laboratoire de géologie appliquée

Service géologique régional Provence - Corse

16, boulevard Pèbre - 13-Marseille-8ème

Tél. 76-00-40

68 SGL 055 PRC

Marseille, janvier 1968

R E S U M E

Après l'exposé du problème, c'est à dire du risque de pollution par invasion saline que court la basse plaine d'Hyères (Var-delta du Gapeau) du fait de l'importance sans cesse accrue des prélèvements, et que prouvent les cartes piézométriques et d'égale teneur en sel levées par le S.G.R. Provence Corse lors de l'Inventaire des ressources hydrauliques (avril-mai 1966), il est fait état des études réalisées ou contrôlées par cet organisme en 1967 pour le compte de la Direction départementale de l'agriculture du Var.

Les connaissances sur le matériau alluvial ont été améliorées par le forage de cinq sondages de reconnaissance réalisés par la Compagnie méditerranéenne des eaux, par l'étude de la répartition des perméabilités dans la plaine à partir de 25 essais de pompage sur puits fermiers et de la réinterprétation d'essais anciens, par une campagne de géophysique électrique : dans le complexe alluvial les niveaux graveleux et perméables, bien connus dans la partie amont de la plaine, ont été suivis plus à l'aval sans que leur épaisseur ou leur perméabilité s'amenuisent trop.

Le contrôle de l'envahissement salin est réalisé par comparaison des cartes piézométriques aux hautes et basses eaux; plus que des variations spectaculaires, c'est une faiblesse permanente des niveaux piézométriques qui est remarquée puisque la courbe + 1 NGF reste toute l'année

à plus de 2,5 km de la côte. L'envahissement salin, qui résulte de ces bas niveaux piézométriques, est suivi sur des cartes d'égale teneur en ClNa; les prélèvements des niveaux inférieurs ont tous des teneurs plus fortes que ceux des niveaux supérieurs et l'envahissement se fait non seulement à partir de la côte, mais aussi à partir des estuaires du Gapeau et autres ruisseaux : de mai à octobre 1966, la courbe 1 g/l a avancé de 500 m à l'intérieur des terres sous le lit du Gapeau.

La géophysique précise cet envahissement; la limite proposée correspond sensiblement au tracé de la courbe 1 g/l dans les niveaux inférieurs. Des ouvrages de contrôle supplémentaires sont demandés.

Les perspectives de réalimentation sont fonction des sources d'eau utilisable. Le Roubaud ne semble pas pouvoir fournir plus de 50 l/s d'eau de très mauvaise qualité pendant 6 mois par an; le Gapeau a un débit supérieur à 1 m³/s pendant 6 mois de l'année et permet d'envisager une réalimentation hivernale.

Les conditions nécessaires à une réalimentation artificielle ne semblent pas réunies sur la plaine d'Hyères car la nappe est semi-captive en amont, captive à l'aval et la base des limons est rarement dénoyée en hiver. Une réalimentation dans la basse vallée du Gapeau par rehaussement du lit ou détournement dans un ancien bras n'est pas possible du fait du drainage effectué par le fleuve au débouché dans son delta. Par contre des essais de réalimentation par injection dans des forages sont à réaliser soit en amont des captages de la ville, soit dans la zone de Notre Dame du Plan.

TABLE DES MATIERES

	page
Résumé	2
Avant propos	11
1 - INTRODUCTION	12
11 - Définition du problème	12
12 - Historique de l'intervention B.R.G.M.	13
13 - Travaux prévus au programme	14
131 - Examen et contrôle de l'évolution des nappes	14
132 - Etude des possibilités de réalimentation des nappes	14
14 - Travaux réalisés	15
2 - DONNEES SUR LE MATERIAU ALLUVIAL	16
21 - Etude directe	16
211 - Généralités	16
212 - Sondages de reconnaissance C.M.E.	17
22 - Perméabilité du matériau aquifère - Transmissivités	18
221 - Répartition des perméabilités dans la basse plaine	18
222 - Réinterprétation des essais de pompage MRU 1949/1950 et 1950	21
223 - Résultats des autres essais de pompage	25
224 - Carte des perméabilités	26

23	- Apport de la géophysique	26
231	- Campagne géophysique en basse plaine	26
232	- Corrélation avec les sondages de reconnaissance	27
233	- Campagne géophysique en basse vallée du Gapeau	29
3	- CONTROLE DE L'ENVAHISSEMENT SALIN	30
31	- Etude de la piézométrie	30
311	- Carte piézométrique aux hautes eaux (avril - mai 1966)	30
312	- Carte piézométrique aux basses eaux (octobre 1966)	31
32	- Etude de la salure des eaux	31
321	- Carte des niveaux mélangés (octobre 1966)	32
322	- Carte des niveaux inférieurs (octobre 1966)	33
323	- Comparaison avec les cartes d'avril - mai 1966	33
33	- Apport de la géophysique	34
34	- Amélioration du système de contrôle	35
4	- PERSPECTIVES DE REALIMENTATION	36
41	- Sources d'eau utilisables	36
411	- Jaugeages sur le Roubaud	36
412	- Débit du Gapeau	38
42	- Conditions nécessaires à une réalimentation	40
43	- Zones de réalimentation possibles	41
431	- Basse plaine du Gapeau	42
432	- Zone amont de Moulin Premier	42
433	- Zone de Notre Dame du Plan	43
44	- Réalimentation par le Gapeau	44

5	- CONCLUSIONS	46
	51 - Conclusions générales	46
	52 - Programme d'études	47
	521 - Amélioration du contrôle	47
	522 - Essais de réalimentation	48

LISTE DES ANNEXES

- I - Plaine d'Hyères (Var) - Carte piézométrique aux hautes eaux (avril - mai 1966)
- II - Plaine d'Hyères (Var) - Carte piézométrique aux basses eaux (octobre 1966)
- III - Basse vallée du Gapeau (Var) - Carte piézométrique aux hautes eaux (avril 1967)
- IV - Plaine d'Hyères (Var) - Répartition des transmissivités.
- V - Plaine d'Hyères (Var) - Teneur en ClNa - Niveaux mélangés (avril - mai 1966)
- VI - Plaine d'Hyères (Var) - Teneur en ClNa - Niveaux inférieurs (avril - mai 1966)
- VII - Plaine d'Hyères (Var) - Teneur en ClNa - Niveaux mélangés (octobre 1966)
- VIII - Plaine d'Hyères (Var) - Teneur en ClNa - Niveaux inférieurs (octobre 1966)

- IX - Plaine d'Hyères (Var) - Coupes des sondages C.M.E.
- X - Plaine d'Hyères (Var) - Prospection géophysique - Plan de situation
- XI - Plaine d'Hyères (Var) - Coupes interprétatives d'après les sondages électriques.

B I B L I O G R A P H I E

- 1948 C.G.G. - Etude hydrologique par prospection électrique dans le département du Var. Vallée du Gapeau - (M.R.U.)
- 1949 BURGEAP - La nappe du Gapeau de Solliès Pont à la mer -(M.R.U. - R.119)
- 1949 - 1950
M.R.U. - Etude de la nappe alluviale de la basse vallée du Gapeau
- 1957 COTHA - Modernisation et aménagement du Gapeau - avant projet général-études préliminaires - Réf. 223 - avril 1957.
- 1961 SOLETANCHE - Hyères - Alimentation en eau potable. Campagne de reconnaissance 1° site - Décembre 1961.
- 1961 SOLETANCHE - Hyères - Alimentation en eau potable. Compte rendu des essais de pompage au puits n° 1. Septembre 1961
- 1963 SOLETANCHE - id. Juillet 1963
- 1964 A. ARNOUX - Etude géochimique du bassin hydrologique du Gapeau - rapport entre la composition chimique des eaux et la constitution minéralogique des gites aquifères - Thèse Faculté des Sciences Aix-Marseille.

- 1965 SOLETANCHE - Hyères. Alimentation en eau potable. Compte rendu des essais de pompage au puits III. Aout 1965
- 1965 Cl. GOUVERNET - Le comblement alluvial de la basse vallée du Gapeau à Hyères (Var). Travaux des laboratoires de géologie de la Faculté des sciences de l'Université d'Aix-Marseille 1965 - T. VIII pp. 194 - 210
- 1966 B.R.G.M. - Plaine d'Hyères. Etat des nappes en mai 1966 D.S.G.R. 66 A 58 15 juin 1966
- 1967 B.R.G.M. - Prospection électrique de la basse vallée du Gapeau et de la plaine d'Hyères (Var) - D.S.67.A.83 - juillet 1967
- 1967 B.E.G. - C.M.E.
- Sondages d'étude hydrogéologique dans la basse vallée du Gapeau - Hyères (Var) 21 octobre 1967.

AVANT PROPOS

A la suite

- de l'Inventaire des ressources hydrauliques (I.R.H) de la plaine d'Hyères, enquête réalisée en avril-mai 1966 par la Service géologique régional Provence-Corse (S.G.R. P.C) du Bureau de recherches géologiques et minières (B.R.G.M.) en exécution de la convention passée entre cet établissement et la Direction des mines,
- des observations effectuées par la Compagnie méditerranéenne des eaux (C.M.E.) sur les stations de pompage qu'elle exploite à Hyères, le Service du Génie rural des eaux et des forêts du département du Var a, dès le mois d'octobre 1966, confié des études complémentaires au S.G.R. P.C. Dans celles-ci, le marché distinguait le contrôle de l'évolution des nappes d'une part, l'étude des perspectives de réalimentation artificielle d'autre part.

Les premiers résultats, cartes piézométriques, cartes d'égale teneur en sel (octobre 1966) et campagne géophysique (mars 1967), étudiés en minute, conduisirent les participants de la réunion du 29 mai 1967, à modifier la répartition des crédits et à concentrer les efforts sur le contrôle et l'étude des nappes.

Il est rendu compte de toutes ces études dans le présent rapport.

Chapitre 1

I N T R O D U C T I O N

11 - DEFINITION DU PROBLEME

La plaine d'Hyères, qui correspond à la partie tout à fait aval de la basse vallée du Gapeau et dans laquelle débouche également le ruisseau du Roubaud⁽¹⁾, s'étend largement, en bordure de mer, du tombolo de Giens aux Salins d'Hyères. Basse, elle est ceinturée de reliefs marqués : le Mont des Oiseaux à l'ouest, les Maurettes au nord, les contreforts du massif des Maures, au nord-est.

Le remplissage alluvial, hétérogène, contient notamment des épandages graveleux ou gravelo-sableux, superposés ou décalés, à des cotes différentes, dans le sens transversal de la vallée. Ces épandages sont aquifères, les niveaux piézométriques très voisins, et les communications entre ces épandages d'autant plus aisées que l'on se trouve plus à l'amont.

Ces ressources sont sollicitées :

- pour l'alimentation en eau de la ville d'Hyères : captage ancien du Père Eternel, nouveaux forages du Golf. Débit moyen de 13.000 m³/jour, débit d'été de 23.000 m³/jour.

(1) - Tous les noms de lieu cités dans ce rapport ont été mis en évidence sur l'annexe X.

- pour l'irrigation de riches cultures. Débit estimé à 14.000 m³/jour dont une partie au moins retourne à la nappe ⁽¹⁾.

L'importance de ces prélèvements est telle que les niveaux piézométriques sont très bas et qu'une invasion saline a lieu dans la partie la plus aval de la plaine. Cette invasion est constatée depuis plusieurs années et, pour y remédier, des barrages anti-sel ont été placés, après la Libération, dans le lit du Gapeau et dans celui du Ceinturon ⁽²⁾.

Il s'agit donc de mesurer et d'enrayer cette invasion. C'est avant tout une question de niveaux piézométriques et de prélèvements. Plutôt que de restreindre ceux-ci, pour relever ceux là, il est logique d'envisager une réalimentation artificielle de la nappe, du moins à certaines périodes.

12 - HISTORIQUE DE L'INTERVENTION B.R.G.M.

Les travaux I.R.H. exécutés par le S.G.R. P.C au printemps 1966 et exposés en juin de la même année dans le rapport D.S.G.R. 66 A 58, comportaient :

- l'inventaire de la quasi totalité des puits et forages existants,
- une carte piézométrique sommaire (repères non nivelés) exécutée en avril - mai 1966,
- deux cartes d'égale teneur en Cl⁻ à la même époque ⁽³⁾
 - . l'une correspondant aux niveaux mélangés,
 - . l'autre aux niveaux inférieurs,

(1) - Des mesures réalisées en Crau ont permis d'estimer que le mode d'arrosage à la raie permet le retour à la nappe de 50 % des eaux dispersées sur le sol.

(2) - Ouvrage artificiel destiné à protéger la basse plaine occidentale contre les débordements du Gapeau et correspondant au cours aval du ruisseau du Roubaud qui passe à Hyères.

(3) - Compte tenu de l'habitude prise à Hyères de rapporter les mesures en mg/l de ClNa, les deux cartes citées ici qui étaient en Cl⁻ ont été transposées en ClNa (annexes V et VI).

- l'exploitation des coupes de forages et des campagnes géophysiques antérieures.

En conclusion, devant les faibles hauteurs piézométriques et la pénétration de certaines isochlores, des études et travaux complémentaires apparaissaient nécessaires pour sauvegarder les ressources.

13 - TRAVAUX PREVUS AU PROGRAMME

Le marché passé en octobre 1966 entre le Génie rural et le S.G.R. P.C précisait ces études et travaux :

131 - Examen et contrôle de l'évolution des nappes

- Nivellement des repères et piézométrie aux basses eaux (octobre 1966; comparaison avec celle des hautes eaux (avril - mai 1966)
- Etude de la salure aux basses eaux et comparaison avec l'état aux hautes eaux.
- Extension de l'étude au nord de la RN 98 de Hyères à la Londe les Maures, jusqu'au confluent avec le Réal Martin.
- Détermination de la position et de l'allure du biseau salé par géophysique électrique.

132 - Etude des possibilités de réalimentation des nappes

- Recherche d'eaux superficielles susceptibles d'être injectées : exploitation des jaugeages sur le Gapeau, jaugeages périodiques sur le Roubaud.

- Mesure de la perméabilité des alluvions
à partir des ouvrages existants dans la plaine,
à partir de forages à réaliser,
- Interprétation des résultats pour le calcul du débit percolant
dans les alluvions du Gapeau,
- Essais de réalimentation sur forages.

14 - TRAVAUX REALISES

Les travaux prévus au § 131 ont tous été réalisés; ils ont même été complétés, après la réunion du 29 juin 1967, par un réseau de 5 points d'observation exécutés pour le compte de la C.M.E. par le Bureau d'études géotechniques ⁽¹⁾ au cours de l'été 1967.

Ceux prévus au § 132 n'ont été qu'en partie réalisés car les crédits destinés aux forages prévus pour les mesures de la perméabilité et pour les essais de réalimentation, ont été, le 29 juin 1967, déplacés pour compléter le réseau d'observation C.M.E. Le reste les crédits n'ayant pas été dégagés, ce complément n'a pas encore été mis en place à la fin novembre 1967.

Le présent rapport rend compte des travaux réalisés. Avec le rapport D.S.G.R. 66 A 58, il fait le point des connaissances acquises à la fin octobre 1967.

(1) - Voir bibliographie 1967.

Chapitre 2

DONNEES SUR LE MATERIAU ALLUVIAL

21 - ETUDE DIRECTE

211 - Généralités

Le remplissage alluvial est correctement connu dans la partie de la plaine comprise entre le profil Décugis - Grande Bastide et le profil Moulin Premier - La Couture ⁽¹⁾. Plus au sud, seuls les cinq sondages exécutés en septembre 1967 par le Bureau d'études géotechniques pour la Compagnie méditerranéenne des eaux ⁽²⁾, donnent des renseignements précis; les coupes données en annexe IX montrent une granulométrie plus fine.

Le caractère fluviatile de ces dépôts détermine des entrecroisements de sédiments de granulométrie et de perméabilité différentes, et, à l'échelle d'un sondage ou de quelques sondages, il est possible de distinguer plusieurs nappes superposées correspondant aux niveaux de perméabilité privilégiée. Un essai de débit de courte durée, exécuté dans de tels sites, provoque des dépressions différentes dans chacune de ces nappes, mais le phénomène de drainance, au travers des niveaux réputés imperméables et

(1) - Voir bibliographie 1965

(2) - Voir bibliographie 1967.

surtout les communications latérales de ces lambeaux à meilleure perméabilité, conduit nécessairement à un équilibre.

212 - Sondages de reconnaissance C.M.E. Annexes 9

Les cinq sondages C.M.E. (M.1 à M.5 - 1065.1. 222 à 226), dont la situation et les coupes lithologiques apparaissent dans les annexes IX et X, ont montré l'extension des faciès perméables vers le sud. Sans doute la granulométrie est-elle plus fine qu'à la hauteur de Moulin Premier et les perméabilités mesurées à l'avancement (procédés Lefranc) sont-elles d'un ordre de grandeur inférieur à celui des mesures effectuées plus à l'amont, mais il demeure que les sondages M.1 et M.3, qui sont situés dans l'axe du delta, comportent respectivement 10 et 12 m de cailloutis perméables sur leur 24 et 26 premiers mètres.

C'est le témoignage de l'importance de l'alluvionnement fluviatile qui s'étend donc, comme M.5 le prouve, en aval du barrage antisel installé sur le Gapeau. L'alluvionnement marin existe cependant à des cotes inférieures, et le même sondage 5, pourtant profond de 52 m, est resté, à partir de 21 m, dans les sables vaseux et des argiles parfois tourbeuses d'origine marine.

Ces cinq sondages ont aussi montré l'importance des limons sableux superficiels qui repoussent le toit du matériau aquifère à une cote voisine du zéro. Vers l'aval, au voisinage du littoral, des sables fins argileux ou vaseux envahissent la partie supérieure de la formation et se développent dans la zone basse de l'aérodrome de Palyvestre.

L'équipement de ces forages a été réalisé de façon à mesurer la piézométrie des niveaux perméables les plus profonds. Ils sont parfois doublés, ou triplés, par des sondages rapides qui permettent les mesures dans les niveaux supérieurs.

Ainsi en 1065.1.222	M.1 est crépiné de 17 à 25 m
	M.1A est crépiné de 6,3 à 12,8 m
1065.1.223	M.2 est crépiné de 5,7 à 8,7 m
1065.1.224	M.3 est crépiné de 8 à 28 m
1065.1.225	M.4 est crépiné de 11,2 à 17,2 m
	M.4A est crépiné de 5,2 à 7,7 m
1065.1.226	M.5 est crépiné de 24 à 29 m
	M.5A est crépiné de 11,1 à 18,5 m
	M.5B est crépiné de 2,6 à 9 m

22 - PERMEABILITE DU MATERIAU AQUIFERE - TRANSMISSIVITES

La répartition des faciès gravelo-sableux et sablo-argileux qui constituent, sous la couche de limon, le matériau alluvial aquifère, est par trop anarchique pour que l'on puisse raisonnablement mesurer la perméabilité en un nombre limité de forages et l'extrapoler ensuite à l'ensemble de la plaine. Reste donc à faire un grand nombre de mesures rapides; c'est ce qui a été réalisé en février 1967.

D'autre part, le dépouillement des archives des précédentes études a permis d'obtenir des valeurs supplémentaires.

221 - Répartition des perméabilités dans la basse plaine

Des essais de pompage ont été réalisés sur 22

ouvrages de la basse plaine, dans la région de Notre Dame du Plan principalement. Compte tenu de la modestie des crédits alloués à cette campagne d'essais, ceux-ci ont été de courte durée, 1 à 3 heures au bout desquelles une pseudo-stabilisation a été constatée dans 18 cas. La remontée après pompage a toujours été mesurée.

Ces essais ont été effectués sur des puits fermiers grâce aux équipements des agriculteurs ; les débits ont été mesurés avec une cuve de 200 l, les niveaux dans les ouvrages, avec une sonde électrique. Les minutes sont archivées au S.G.R. P.C.

Compte tenu du grand diamètre des puits (1,5 m en moyenne), le volume d'eau exhaurée pendant chaque essai est le plus souvent trop faible pour que l'interprétation soit possible, pour la partie nettement transitoire de l'essai, à partir des méthodes de Theiss et Jacob: l'effet de capacité du puits est trop grand. Aussi l'interprétation a-t-elle été faite en utilisant le diagramme de la dépression réduite à la paroi d'un puits établi par E. Berkaloïf à partir de la table Papadopulos et Cooper. La superposition des courbes rabattement en fonction du temps de pompage tracées sur papier logarithmique à une des courbes

$$\frac{4 \pi T Y}{Q} = F \left(\frac{4 T t}{R_e^2 - R_1^2}, S \frac{R^2}{R_e^2 - R_1^2} \right)$$

tracées sur un papier de même module, permet de calculer T, avec

T : transmissivité de l'aquifère (m^2/s),

Q : débit de pompage (m^3/s),

Y : rabattement du au pompage (m),

(1) - DS 67 A 147 - Evaluation des caractéristiques d'une couche aquifère par pompages de courte durée dans un puits par E. Berkaloïf - décembre 67.

N° du puits	Durée essai	Q l/s	Y _{mx} m	r m	Superposition pour Y	T m ² /s	Observations
1065.1.21	2h	11,7	2,39	0,70	2,00	5,9. 10 ⁻³	Remontée faussée
22	2h	7	1,72	0,75	1,45	4,8	
26	1h15	5,3	1,07	0,72	0,89	6,0	
28	0h25	-	-	0,70	-		Débit trop variable
31	1h	5,4	1,38	0,67	1,30	4,2	
47	1h30	6,8	1,35	1,00	1,10	6,2	
50	1h15	7	1,76	0,62	1,35	5,2	
57	1h15	11	0,68	0,70	0,56	20	
58	0h50	11,4	0,48	0,75	0,38	30	
59	1h15	4,3	0,99	1,00	0,86	5,0	
61	0h50	5,7	0,84	0,95	0,75	7,6	
67	1h15	6,4	1,11	1,00	1,1	6	Superposition délicate
95	3h	8	1,06	1,75	1,1	7	Superposition délicate
101	1h	8	1,72	0,47	1,40	5,7	
122	0h25	8	0,26	0,75	0,23	35	Arrêt pour panne de secteur
197	2h	38	1,16	1,2	0,84	45	
1065.5.20	1h	6,7	1,24	0,75	2,4		Débit très variable
21	1h15	10	1,28	0,70	1,16	8,6	
24	2h	6,8	4,40	0,60	3,80	1,8	Stabilisation incertaine
66	3h	7,5	-	1,25	12	0,6	Débit très variable - Pas de stabilisation
70	2h45	9	1,38	1,25	1,5		Débit variable
80	3h15	14	-	1,5	12	1,2	Débit très variable - Pas de stabilisation.

t : temps depuis le débit du pompage,
S : coefficient d'emmagasinement de l'aquifère,
R : Rayon du puits au niveau de la couche aquifère (m),
Re: - - - du plan d'eau libre (m),
Ri: - tube de refoulement (m)

Le tableau ci-dessus résume les essais.

222 - Réinterprétation des essais sur campagne M.R.U. 1949/1950 et 1950⁽¹⁾

Trois forages (A,B et C - dossier 1065.1.188) ont été exécutés en automne 1949 à l'aval du confluent du Réal Martin, suivant un profil transversal qui, du fait de la position désaxée du Gapeau, est situé entièrement en rive droite. Les essais de pompage réalisés en novembre 1949 (pompage de 17 l/s dans chaque forage, rabattement de l'ordre de 1,5m) et en février 1950 (pompage de 30 l/s dans le forage axial B, rabattement de quelques centimètres dans les piézomètres) ne permettent pas de calculer les caractéristiques hydrauliques de la nappe avec une bonne approximation; les relevés sont trop fragmentaires.

Au cours de l'été 1950, trois puits (I, II et III - dossier 1065.1.172) furent successivement foncés à proximité du forage B. Des essais de pompage réalisés en automne 1950, seule la dernière phase a été retenue :

- début pompage : 1-XI - 1950 à 8h30
- fin pompage : 3-XI - 1950 à 15h40
- débit moyen extrait de l'ensemble des trois puits : $6410^3 \text{ m}^3/\text{s}$.

(1) - Voir bibliographie 1949 - 1950

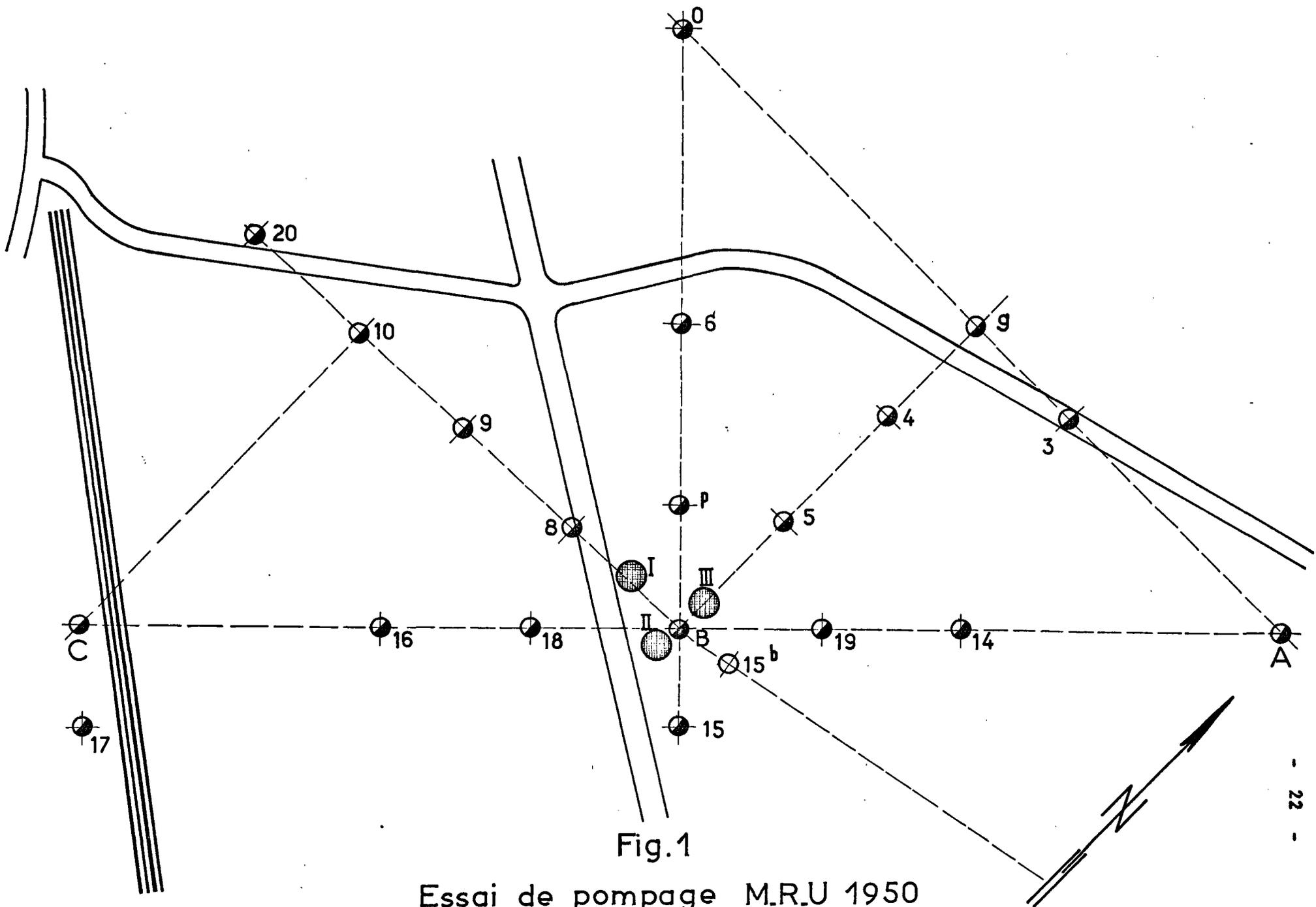


Fig.1

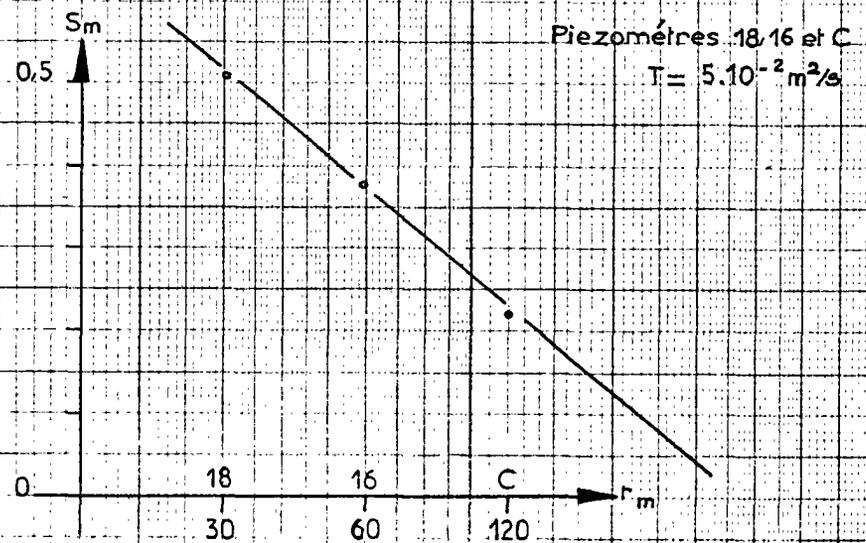
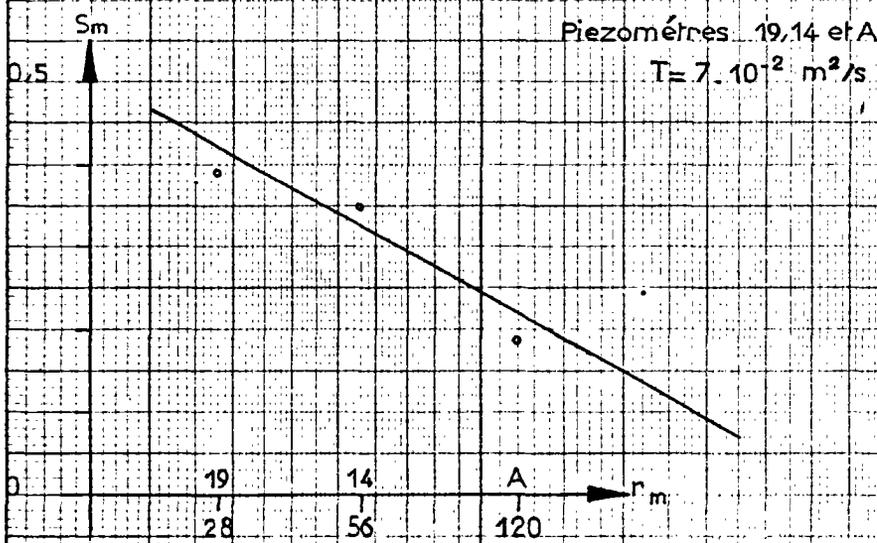
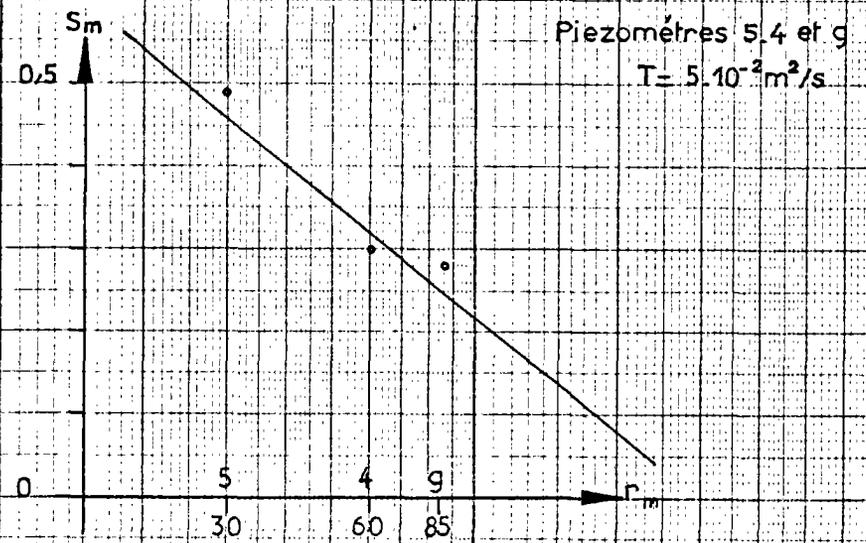
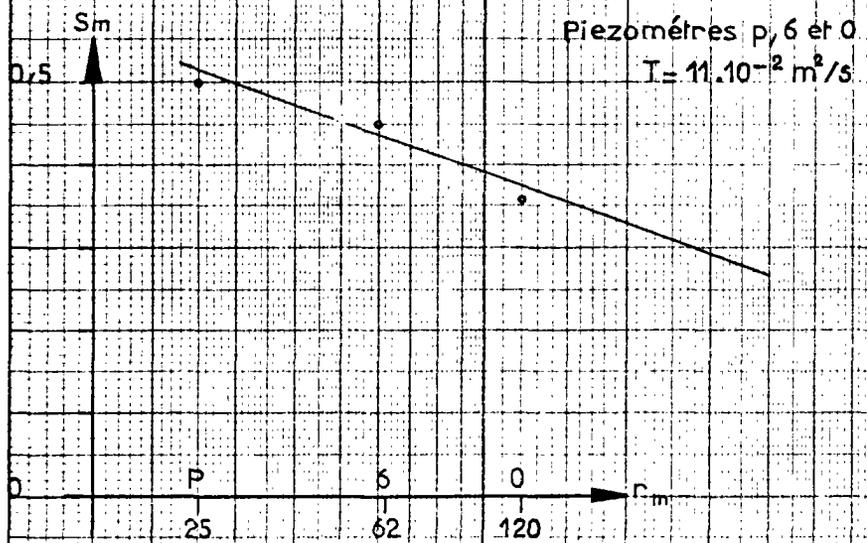
Essai de pompage M.R.U 1950

Situation des piezomètres

Echelle: 1/1000

Réinterprétation de l'essai de pompage des 1 au 3-11-1950 sur 1065-1-172

Courbes $s = F(\log.r)$ $\varphi = 64 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$



- Mesures retenues :

n° du piézomètre	cote initiale	cote à 55 h	rabattement s	distance r aux puits
P	13,36 m	12,86 m	0,50 m	25 m
6	13,41	12,96	0,45	62
0	13,40	13,04	0,36	120
5	13,34	12,85	0,49	30
4	13,32	13,02	0,30	60
g	13,38	13,10	0,28	85
19	13,25	12,86	0,39	28
14	13,31	12,96	0,35	56
A	13,26	13,07	0,19	120
18	13,23	12,72	0,51	30
16	13,21	12,83	0,38	60
C	13,52	13,30	0,22	120

La figure 1 situe les piézomètres retenus par rapport aux puits; les courbes rabattements en fonction du logarithme des distances pour quatre alignements de piézomètres conduisent à des transmissivités comprises entre 5 et $11 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (figure 2) soit, pour une épaisseur mouillée de 8m, une perméabilité voisine de 10^{-2} m/s .

Ces valeurs sont fortes, mais compte tenu de l'hétérogénéité des alluvions, et de l'épaisseur mouillée, elles sont vraisemblables.

223 - Résultats des autres essais de pompage

D'autres essais de pompage ont été réalisés pour le compte de la C.M.E. sur les installations de Moulin Premier.

. Point 1065.1.143 : Puits n° 1 (Golf 1)

- 1° essai

Date : 18 au 25.IX.1961

Origine des documents : Rapports Solétanche du 2.XII.1961
n° 244 - 390 et 29.XII.1961 n° 246 - 646.

Débit de pompage : compris entre 180 et 193 m³/h

Transmissivité : T : $8,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$)
e = 8m

Perméabilité : K : 10^{-2} m/s)

- 2° essai

Date : 2 au 4.VII.1963

Origine des documents : Rapport Solétanche du 29.XI.1963
n° 272 - 135

Débit de pompage : compris entre 150 et 175 m³/h

Transmissivité : T : $10,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$)

Perméabilité : K : $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$) e = 8m

. Point 1065.1.183 : Puits n° 3

Date : 25 au 27.VIII.1965

Origine des documents : Rapport Solétanche du 27.X.1965
n° 14.895

Débit de pompage : 24 et 36 m³/h

Transmissivité : T : $6,5 \text{ à } 7;2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$)

Perméabilité : K : $1,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) e = 5 m

224 - Carte des transmissivités

L'ensemble des mesures de transmissivité dont il vient d'être question, a été reportée sur la carte annexe n° 4. Bien qu'il ne soit pas possible de comparer les résultats obtenus par des méthodes aussi différentes, les ordres de grandeur restent valables.

La basse vallée du Gapeau, du confluent du Réal Martin à Moulin Premier, a des transmissivités supérieures à $3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$. Plus à l'aval, dans la plaine d'Hyères, les transmissivités semblent plus irrégulièrement réparties encore que des valeurs relativement plus importantes se rencontrent de part et d'autre du Gapeau entre la Ferme et Notre Dame du Plan.

23 - APPORT DE LA GEOPHYSIQUE

231 - Campagne géophysique en plaine d'Hyères

Celle-ci, effectuée en février-mars 1967, comprend 51 sondages électriques⁽¹⁾. Les résultats sont synthétisés en des coupes interprétatives (annexes 10 et 11) sur lesquelles apparaissent:

- les limons de surface (résistivité comprise entre 10 et 30 ohm-m),
- les alluvions aquifères qui forment un horizon généralement résistant (de 80 à 150 ohms-m) dont la résistivité peut tomber brusquement à 20 et même 5 ohms-m dans les zones où ces alluvions sont envahies par des eaux d'origine marine,

(1) - Voir bibliographie 1967.

- un substratum imperméable moyennement conducteur (15 à 40 ohms-m) devenant très conducteur (6 ohms-m et moins) dans la partie axiale du delta.

L'enchevêtrement des faciès au sein des alluvions aquifères est trop important pour que la méthode ait pu le démêler ; un ordre de grandeur de la perméabilité des alluvions est cependant approché par la résistivité mesurée. Ainsi, les faibles valeurs rencontrées dans la partie sud ouest de la plaine (S.E 40 à 43) témoignent d'alluvions peu perméables.

De même la partie très conductrice du substratum correspond au faciès argilo-tourbeux qui a comblé, lors de la transgression flandrienne, le sillon creusé lors de la phase régressive

232 - Corrélations sondages électriques - sondages de reconnaissance

Le sondage M.3 (1065.1.224) est voisin des S.E 17 et 32; il confirme l'interprétation géophysique et particulièrement la grande épaisseur proposée (15m) pour les alluvions perméables.

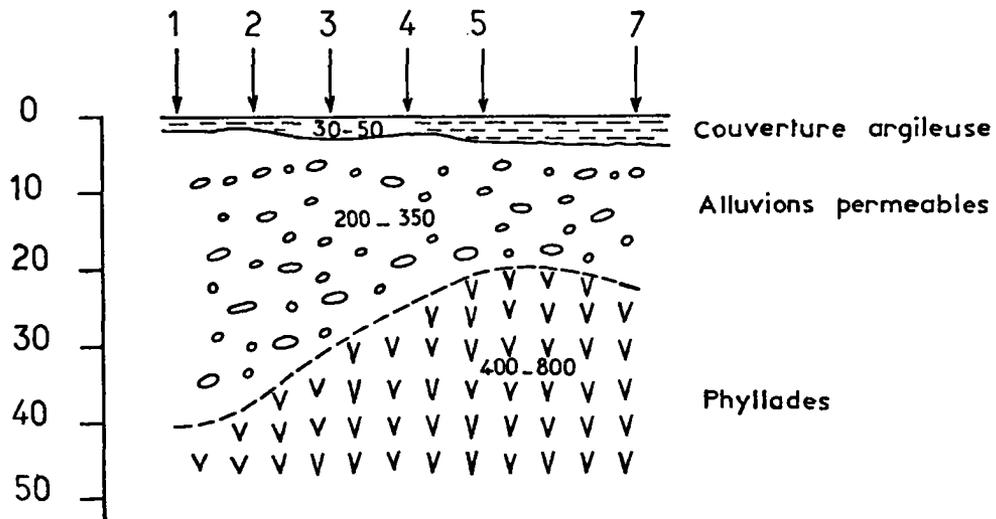
De même le sondage M.4 (1065.1.225) qui est situé entre les S.E.25 et 31 confirme le peu d'épaisseur de ces mêmes alluvions; au dessous l'argile marron sableuse a été associée par la géophysique au bed-rock imperméable sous-jacent.

En M5 (1065.1.226) le bed-rock n'a pas été rencontré à 52m de profondeur, seulement, depuis 21 m des alternances

Fig. 3

Basse Vallée du Gapeau

Coupe interprétative



ECHELLE 1/10000

d'argile vaseuse grise et de sables vaseux qui correspondent au substratum à très faible résistivité prévu par la géophysique.

233 - Campagne géophysique en basse vallée du Gapeau

Dans la basse vallée du Gapeau, les sept sondages électriques effectués le long d'un profil sensiblement parallèle à l'axe de la vallée ont montré (figure 3):

- une moindre épaisseur de limons conducteurs,
- des alluvions résistantes, donc perméables, dont l'épaisseur probable décroît ⁽¹⁾ de 40 à 20m lorsqu'on rapproche du seuil de l'Oratoire
- un substratum résistant correspondant aux phyllades.

o

o

o

(1) - Dans ce secteur, la résistivité apparente augmentant avec la profondeur, la distinction des alluvions et du substratum a été difficile.

Chapitre 3

CONTROLE DE L'ENVAHISSEMENT SALIN

31 - ETUDE DE LA PIEZOMETRIE

Après le nivellement des points d'eau de la plaine et la campagne de relevés piézométriques effectuée en octobre 1966, la piézométrie de la nappe est connue aux hautes et basses eaux d'une façon plus précise. Cependant, compte tenu du temps qui a été nécessaire pour effectuer les relevés sur l'ensemble de la plaine (plus d'un mois chaque fois), ces cartes ne cessent de rester indicatives : elles permettent seulement de décrire les tendances de la nappe.

311 - Carte piézométrique aux hautes eaux (avril - mai 1966) Annexe I

Peu de modifications par rapport à la carte provisoire du rapport DSGR 66.A.58. Dans les formations de piedmont, le fort gradient observé s'explique par les influences conjuguées de la perméabilité plus faible, de la remontée du substratum et de l'altitude plus importante du sol, si bien que l'alimentation de la nappe de la basse plaine à partir de ces niveaux marginaux est certainement des plus réduites.

L'apport principal se fait par le chenal du Gapeau, mais la faiblesse du gradient entre la RN 98 (+ INGF) et

la mer, ne permet pas d'envisager un important débit souterrain. Au contraire, c'est l'allure excessivement plate de la nappe de la basse plaine qui est mise en évidence par cette carte.

Il est intéressant de souligner :

- l'indentation de la courbe + 0,5 en direction du Père Eternel, sur le flanc droit du delta,
- la zone nettement déprimée de Notre Dame du Plan, sans doute à cause des pompages agricoles,
- le léger renflement correspondant au cordon littoral.

312 - Carte piézométrique aux basses eaux (octobre 1966) Annexe II

Les courbes qui soulignent la bordure de la nappe sont voisines de celles de la carte des hautes eaux, et confirment ainsi le peu d'importance des nappes de piedmont.

Dans la plaine alluviale proprement dite, il faut souligner le très net recul de la courbe + 0,5, et l'extension de la zone où le niveau de la nappe est en dessous du niveau de la mer. La courbe + 1 n'a pratiquement pas bougé, mais il y a, à ce sujet, un doute car trois journées de pluie se sont produites avant que ne soient relevés les niveaux des puits situés au nord de l'ancienne voie ferrée, dans les régions de Beau Champ et la Ferme.

32 - ETUDE DE LA SALURE DES EAUX (1)

Le dosage des teneurs en ClNa a été effectué sur des échantillons d'eau de tous les puits de la nappe. Ces ouvrages recoupent, d'une part, les niveaux perméables supérieurs dans une première partie généralement

(1) - Pour faciliter le rapprochement de nos mesures à celles des agriculteurs, les dosages ont été fait en ClNa et non en Cl⁻.

cuvelée et exécutée en gros diamètre, et, d'autre part, atteignent le plus souvent des niveaux inférieurs par des sondes en petit diamètre. Les prélèvements ont donc été effectués, dans la mesure du possible, en deux temps :

- d'abord, en début de pompage, un échantillon qui représente un mélange des eaux de tous les niveaux,
- ensuite, une fois le haut des sondes dénoyé, un échantillon qui représente les eaux des seuls niveaux profonds.

Deux tournées ont été effectuées en avril-mai et octobre 1966. Il est rendu compte ici de la seconde pendant laquelle de fortes pluies sont tombées; elles ont vraisemblablement provoqué une baisse de la teneur en ClNa si bien que les cartes présentées ne correspondent sans doute pas au paroxysme de l'étiage 1966.

321 - Carte des niveaux mélangés (octobre 1966) Annexe VII

Ainsi que l'a souligné P. MARTIN, "le tracé de la courbe 200 mg/l paraît en étroite relation avec la morphologie de la plaine". Entre Mauvanne et la Couture au nord est, Moulin Premier et la route de l'Aygade au nord ouest, l'usine à gaz Costebelle et Saint Pierre d'Almanarre à l'ouest, cette courbe suit pratiquement la limite de la plaine. Ailleurs, elle semble avoir été repoussée plus en aval par les écoulements souterrains liés au Ceinturon dans la région de l'Abattoir, au Gapeau dans la région de Notre Dame du Plan. Les indentations de cette courbe vers l'intérieur ne sont pas dues à l'influence de pompages, puisqu'elles correspondent à de hauts niveaux piézométriques, mais plus vraisemblablement à une salure naturelle remanente. Les avancées entourent par contre

les secteurs du matériau alluvial qui ont été désalés par l'afflux des eaux douces souterraines.

Se surimposant à ce phénomène qui repousse vers la mer une très légère salure, existe un phénomène inverse, grave, correspondant à une invasion saline. Compte tenu du petit renflement piézométrique en relation avec le cordon littoral, cette invasion se fait à partir des rivières (Gapeau, Ceinturon et autres "lônes") dont les cours inférieurs sont, aux basses eaux et par vent d'est, envahis par la mer. Ce phénomène est particulièrement mis en évidence par le tracé des courbes 1, 2 et 8 g/l.

Est également à souligner la position de la courbe 1 g/l dans la zone du terrain d'aviation de Palyvestre.

322 - Carte des niveaux inférieurs (octobre 1966) - Annexe VIII

Cette carte souligne l'importance de l'invasion saline dans les niveaux inférieurs qui sont évidemment plus exposés que les supérieurs. Les courbes 1, 2 et 8 g/l s'enfoncent plus profondément sous les chenaux d'invasion que sont le Gapeau et le Ceinturon; elles s'étalent aussi davantage.

Par contre, la courbe 200 mg/l est pratiquement confondue avec celle de la carte des niveaux mélangés, soulignant ainsi la limite amont de l'invasion saline.

323 - Comparaison avec les cartes d'avril-mai 1966 - Annexe V et VI

La carte des niveaux mélangés d'avril-mai 1966,

rapprochée de celle d'octobre 1966, met en évidence la progression de l'invasion saline pendant l'été 1966. La courbe 1 g/l, qui en automne remonte sous le Gapeau jusqu'à l'ancien chemin de fer, se trouvait au printemps à la hauteur du barrage antisel, soit un déplacement de 500m. De plus aucune teneur à 8 g/l n'avait été mesurée dans les environs du Gapeau au printemps 1966.

Un phénomène comparable est observé sous l'estuaire du Ceinturon.

Les courbes correspondantes aux faibles teneurs n'ont pas varié de façon déterminante pendant l'été 1966.

33 - APPORTS DE LA GEOPHYSIQUE

La campagne de géophysique, dont il a été question au paragraphe 23, a permis de préciser, outre la coupe des alluvions, les zones où celles-ci étaient envahies par l'eau de mer.

Les annexes X et XI montrent les limites à l'invasion proposées par la géophysique. Il est vraisemblable que, compte tenu de la diversité de salures que représentent les différents horizons, les résistivités n'aient pas été assez contrastées dans certains secteurs du biseau pour que la sensibilité de la méthode ait permis de les distinguer.

Il demeure que la limite eau douce-eau salée ou saumâtre proposée, correspond sensiblement à la courbe 1 g/l de la carte des isochlores des niveaux inférieurs de novembre 1966 et que le procédé, répété de temps en temps, permettrait de suivre la progression de la salure dans les niveaux inférieurs dans les zones où les niveaux superficiels sont suffisamment perméables pour que les niveaux inférieurs ne soient pas sollicités par des pompes fermiers.

34 - AMELIORATION DU SYSTEME DE CONTROLE

Du point de vue piézométrique, les différences de pression entre les divers horizons perméables superposés ne sont mesurées que sur les cinq sondages C.M.E. alors que la réunion du 29 mai 1967 avait prévu dix points d'observation à l'aval de la RN 98. Compte tenu du fait que les différences mesurées en 1967 ne sont pas fondamentales, il ne semble pas qu'il soit nécessaire de réaliser la totalité du réseau d'observation prévu. Un ouvrage est cependant nécessaire pour suivre la dépression à l'aval de Moulin Premier dans une zone où les puits traditionnels et les piézomètres anciens s'assèchent rapidement.

Du point de vue de la progression éventuelle du biseau salé, l'échantillonnage par pompage dans les différents niveaux étant long à réaliser, les sondages type C.M.E. sont très intéressants. Deux points d'observation sont nécessaires de part et d'autre du Gapeau, l'un en rive gauche en amont de l'ancienne voie ferrée, là où l'invasion saline est délicate à interpréter, l'autre en rive droite, à l'est de Notre Dame du Plan.

Sur l'annexe X, les points A, B et C situent les zones où des ouvrages de reconnaissance du type C.M.E. sont demandés.

Chapitre 4

PERSPECTIVE DE REALIMENTATION

41 - SOURCES D'EAU UTILISABLE

Toute réalimentation de nappe nécessite la présence d'eau superficielle au moins pendant une période de l'année. De plus, cette eau doit être de bonne qualité pour éviter les pollutions de la nappe en cas de déficience chimique et le colmatage des ouvrages de réinjection en cas d'eau chargée en débit solide.

411 - Jaugeages sur le Roubaud

25 jaugeages ont été réalisés sur le Roubaud à Hyères pendant l'année hydrologique 1966-1967 à la fréquence de deux jaugeages par mois. La station retenue au sud de la ville dans la partie canalisée près du lavoir municipal, était correctement adaptée à la mesure des débits supérieurs à 50 l/s pour lesquels la largeur du ruisseau n'est pas trop grande par rapport à la hauteur d'eau.

Les résultats apparaissent sur le tableau ci-joint. Les débits supérieurs à 150 l/s correspondent à des crues pour lesquelles l'eau est particulièrement boueuse. L'année 1967 ayant été particulièrement sèche, il est possible de retenir comme

TABLEAU RECAPITULATIF DES JAUGEAGES ET RELEVES DES HAUTEURS D'EAU

LE ROUBAUD A HYERES

Date	Heure	Hauteur à l'échelle	Q m ³ /s	Moyen de jaugeage	Observations
27.10.66	9 h45		0,118	Moulinet OTT 12667	
16.11.66	11 h15		0,046	Micro moulinet OTT	
1.12.66	10 h40		0,147	Moulinet OTT 12667	
14.12.66	10 h35		0,089	- - -	
22.12.66	11 h20		0,106	- - -	
11. 1.67	9 h55		0,120	- - -	
26. 1.67	10 h10		0,145	- - -	
9. 2.67	10 h55		0,066	- - -	
22. 2.67	10 h35		0,178	- - -	
9. 3.67	11 h05		0,302	- - -	
23. 3.67	10 h20		0,211	- - -	
13. 4.67	9 h40		0,077	- - -	
26. 4.67	14 h05		0,048	Micro OTT 14012/1	
11. 5.67	11 h15		0,052	- - -	
31. 5.67	11 h10		0,068	Flotteur	
15. 6.67	11 h30		0,020	Estimé	
29. 6.67	11 h30		0,020	Estimé	
12. 7.67	10 h40		0,012	Micro OTT 14012/1	
27. 7.67	12 h45		0,008	Moulinet OTT 12667/1	
9. 8.67	11 h		non mesurable	au moulinet OTT	
23. 8.67	11 h30		sec		
14. 9.67	11 h30		0,002	Estimé	
28. 9.67	10 h30		0,002	-	
11.10.67	11 h45		0,014	Micro OTT 14012/1	
26.10.67	11 h20		0,013	- - -	

vraisemblable le débit de 50 l/s pendant 6 mois, de novembre à avril inclus.

Il demeure que la fonction de collecteur d'eaux usées que joue le ruisseau dans sa traversée d'Hyères entrainerait un traitement complet de l'eau avant toute réinjection.

412 - Débit du Gapeau

Le Gapeau est jaugé, dans la partie aval qui seule intéresse la plaine d'Hyères, en une station implantée à l'amont immédiat du barrage de Saint Eulalie (La Clapière) peu après le confluent du Réal Martin, par le Canal de Provence depuis 1961 et le CERAFER ⁽¹⁾ depuis 1965.

L'enregistrement des hauteurs d'eau est continu; la courbe de tarage a été établie à l'aide d'une dizaine de jaugeages chimiques.

Le tableau ci dessous donne pour les années 1961 à 1966 les débits moyens mensuels et annuels en l/s.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1961	5940	3030	3050	2420	2270							12100	
1962	10900	10200	11400	2630	1750	950	0	0	46	509	10700	3200	4360
1963	7340	8300									8010	6820	
1964	7590	15200	13400	9460	2850	1490	248	0	0	301	878	977	4360
1965	2170	2920	9000	2000	480	60	830	870	940	3020	2010	3210	2300
1966	4300	16400	5500	3900	1300	60	0	0	1400	7600	9600	4240	4400

(1) - Centre de recherches et d'expérimentation du Génie rural. Les données de ce paragraphe sont intégralement issues de la note de G.SAMIE du 19 février 1967

Les manques de l'année 1963 peuvent être retrouvés à partir des corrélations établies entre les débits du Gapeau à Sainte Eulalie, ceux du "Réal Collobrier au pont de Fer", et ceux du "Réal Martin à la Portanière".

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1/s	14400	22500	10300	16900	2260	2390	1290	434	1190	555	4170	3930	6560

Quant au tableau suivant, il donne pour les années 1964 - 65 et 66 :

- le D.C.E. : débit caractéristique d'étiage, débit journalier égalé, ou non dépassé, pendant 10 jours de l'année,
- le D.C.9 : débit journalier égalé ou dépassé pendant 9 mois de l'année,
- le D.C.6. : - - - - - 6 - - -
- le D.C.3. : - - - - - 3 - - -
- le D.C.C. : débit caractéristique de crue, débit journalier égalé pendant 10 jours de l'année,
- le Qj. max: débit journalier maximum de l'année.

1/s	étiage	D.C.E.	D.C.9.	D.C.6.	D.C.3.	D.C.C.	Qj.max.
1964	0	0	0	1500	4300	25500	35000
1965	0	0	400	1250	2300	11800	37000
1966	0	0	0	2900	5200	20000	75000

Toujours pour les années 1964 à 1966, le tableau suivant donne le nombre de jours pendant lequel le débit journalier indiqué a été atteint ou dépassé.

Qj (m ³ /s)	75	20	15	10	8	6	4	3	2	1	0,8	0,5	0,2	> 0
nombre de jours	1	30	55	101	131	181	286	382	513	662	717	765	809	100%

Les deux derniers tableaux sont particulièrement intéressants; ils montrent que le débit est supérieur à 1 m³/s pendant au moins 6 mois, ce qui laisse espérer la possibilité d'une réalimentation artificielle pendant la période hivernale.

42 - CONDITIONS NECESSAIRES A UNE REALIMENTATION

Les sources d'eau utilisable étant définies dans l'espace et dans le temps, la réalimentation ne sera possible que si les caractéristiques de la nappe sont simultanément favorables. Ainsi, à l'époque où il sera possible d'utiliser les eaux de surface, il faut qu'il existe un réservoir disponible, c'est à dire que :

- l'épaisseur non saturée du matériau aquifère soit importante
- la porosité utile de ce matériau soit grande.

Dans la partie aval de la plaine d'Hyères la nappe est captive, et l'épaisseur non saturée du matériau aquifère est nulle, sauf aux périodes d'étiage où le toit des cailloutis est dénoyé. Dans la partie centrale de la nappe un doute subsiste, et compte tenu des dépressions dues aux pompages de la ville et de l'incertitude sur l'épaisseur et sur les valeurs de la perméabilité des limons (certaines zones correspondent à des limons sableux où les puits et les débordements du Gapeau s'infiltrèrent

très bien), il est possible qu'un réservoir existe... Pour lever l'ambiguïté il faudrait réaliser les quelques essais de pompage avec piézomètres et mesure du coefficient d'emmagasinement qui avaient été prévus dans le programme initial.

Pour que la réalimentation ait un effet durable, il faut d'autre part que la nappe ne soit pas drainée rapidement vers la mer ou vers le Gapeau. C'est à ce niveau qu'interviennent la transmissivité des alluvions et la valeur du gradient hydraulique; en première analyse, plus la transmissivité est grande, plus l'effet de la réalimentation s'étend loin, mais plus le gradient hydraulique est fort moins cet effet s'étend vers l'amont.

Dans le cas de la partie aval de la plaine d'Hyères, la faiblesse du gradient hydraulique éloigne les craintes quant aux pertes vers la mer; dans la partie centrale de la nappe, la dépression dues aux captages de la ville doit intercepter une partie des eaux réinjectées avec bénéfice pour le bilan de la partie aval; dans la partie amont. les risques de drainage par le Gapeau sont grands.

43 - ZONES DE REALIMENTATION POSSIBLES

Devant la complexité des facteurs qui entrent en jeu et le degré d'approximation des connaissances sur les caractéristiques de la nappe, il est préférable de limiter les recherches en vue d'une réalimentation. Les paragraphes suivants examinent les différents sites possibles.

431 - Basse plaine du Gapeau

Compte tenu de l'importance des captages de la C.M.E. il est intéressant d'envisager une réalimentation à l'amont de ceux-ci, par exemple dans la basse vallée du Gapeau. entre le confluent du Réal Martin et la Grande Bastide.

Dans l'hypothèse d'une réalimentation hivernale sommaire par décolmatage du lit du Gapeau ou par circulation d'une partie du Gapeau dans l'ancien lit, encore bien visible, qui passe au nord du Plan du Pont et par la mare de la Bravette, des relevés piézométriques ont été effectués en avril 1967 sur cette zone. La carte annexe III montre que le Gapeau alimente la nappe; le drainage est effectué par la partie aval du précédent lit du fleuve dont il vient d'être question et dans laquelle a été observée, d'avril à juin 1967, une ligne de points d'eau qui souligne, sinon un drainage important, du moins une ligne d'affleurements de la nappe.

La mise en charge de la nappe par barrage sur le Gapeau, par injection dans des ouvrages existants dans ce secteur, ou par dérivation du Gapeau dans l'ancien lit, ne pourrait qu'augmenter le drainage par la partie aval de l'ancien lit; elle n'apporterait donc que peu de profit à la nappe à l'aval du défilé de l'Oratoire.

432 - Zone amont du Moulin Premier

Pour rester cependant à l'amont de la zone déprimée par les captages C.M.E., la réalimentation artificielle

est envisageable à l'amont de Moulin Premier; comme dans le cas précédent, il s'agit d'augmenter les ressources du site. Les relevés piézométriques et ceux, sommaires, du niveau du Gapeau montrent que le fleuve ne draine pas la nappe en amont de la RN 98 et laissent espérer une tranche d'alluvions dénoyées assez importantes.

Un essai de réalimentation artificielle par injection dans le forage P III, autour duquel une batterie de piézomètres est installée, est à envisager. L'effet pourrait être suivi aux moindres frais. Cependant, une carrière de sable s'étant approchée au plus près du site, il est possible qu'une grande partie des eaux réinjectées ne réapparaisse dans cette carrière et ne rejoigne le Gapeau...

C'est dans cette zone que la réalimentation plus naturelle envisagée au § 44 serait la mieux adaptée.

433 - Zone de Notre Dame du Plan

Les niveaux piézométriques étant particulièrement bas, le gradient hydraulique faible et la perméabilité encore assez bonne, une réalimentation artificielle dans ce secteur est envisageable. Cependant, la valeur du coefficient d'emménagement de la nappe n'ayant jamais été mesurée, il est possible que celui-ci soit très faible (moins de 1 %) et que les volumes d'eau stockables dans la nappe soient minimes. Le fait que la nappe soit captive plus à l'aval est, de ce point de vue, un argument défavorable qui risque de limiter les zones d'injection du secteur amont de Notre Dame du Plan, au voisinage de l'ancienne voie ferrée, là où le toit des alluvions perméables se situe à des cotes supérieures à celles

du niveau piézométrique. De toutes façons, compte tenu de l'épaisseur des limons, il serait nécessaire de réaliser la réalimentation par injection dans des forages.

La phase expérimentale qui avait été envisagée dans le marché d'études, ayant été remplacée à la conférence du 29 juin 1967 par des travaux de reconnaissance piézométrique, il paraît utile de la réaliser dans les délais les meilleurs.

44 - REALIMENTATION PAR LE GAPEAU

Une méthode plus économique de réalimentation doit pouvoir se faire à partir du Gapeau en améliorant le phénomène naturel. C'est au reste vers ce type de solutions que s'est orientée EDF pour la sauvegarde des nappes de la Durance.

La scarification des berges du Gapeau doit permettre, aux moindres frais, la réalimentation. En principe, il suffirait que ce traitement soit réalisé dans les zones du cours où le Gapeau ne draine pas la nappe; le colmatage serait détruit et les mouvements rivière - nappe amplifiés. Cependant des scarifications sur l'ensemble du lit ne porteraient pas préjudice à la nappe puisque là où le Gapeau draine, le colmatage du lit est certainement très faible.

Le rehaussement du lit du Gapeau par la création de seuils en travers augmentant la charge, favoriserait également la réalimentation. Même si son effet est limitée dans l'espace, un tel rehaussement soutiendrait les pressions à proximité du fleuve et s'opposerait donc à l'invasion

de la nappe par les eaux saumâtres du Gapeau. Et concernant l'invasion directe du fleuve par la mer lors des tempêtes d'Est, la création d'un seuil plus à l'aval que le barrage anti sel actuel apporterait, si cela était réalisable, une amélioration sensible. Ces seuils devraient être du type fusible afin de ne pas gêner le passage de grandes crues.

De toutes façons, l'intérêt pour la nappe de ces scarifications et rehaussements devrait être contrôlé par un réseau approprié.

Chapitre 5

C O N C L U S I O N S

51 - CONCLUSIONS GENERALES

La plaine d'Hyères renferme, dans son complexe alluvial, une nappe aquifère qui, à la hauteur du Golf Hotel⁽¹⁾ a un débit inférieur à 200 l/s, alors que les prélèvements (§ 11) effectués à l'aval sont, compte tenu des retours de la nappe des eaux d'irrigation (dont une partie est d'ailleurs fournie par le réseau C.M.E.), nettement supérieurs, sans vraisemblablement atteindre 250 l/s. Il en résulte un déséquilibre que l'infiltration directe à partir des précipitations ne peut combler. Il est accentué en été alors qu'il ne pleut pas et que les prélèvements atteignent peut être 500 l/s. Ce déséquilibre, surtout sensible dans la partie aval où les perméabilités sont moindres et où l'alimentation n'est plus assurée du fait de la faiblesse du gradient hydraulique à l'aval de la RN 98, entraîne une remontée du biseau salé d'autant plus aisée que les estuaires sont facilement envahis par l'eau de mer et que les perméabilités ne sont pas mauvaises...

Les captages de la C.M.E. paraissent suffisamment éloignés de la mer pour que la teneur en ClNa n'augmente pas dans les installations, cependant la courbe 1 g/l de ClNa dans les niveaux inférieurs se trouve

(1) - A la hauteur du puits 1065.1.183 (P.3 Solétanche) les caractéristiques de la nappe sont les suivantes :
T = 6 à 7 10^{-2} m²/s
i = 2 10^{-3} d'où Q = T i l = 180 l/s
l = 1400 m

à moins de 1,5 km des ouvrages du Golf Hotel et à plus de 0,5 km à l'amont du barrage anti-sel . Les risques existent donc. Les ouvrages fermiers situés plus à l'aval, à proximité du Gapeau principalement, sont pour la plus part inutilisables.

La solution est dans la réalimentation de la nappe pour, à la fois emmagasiner des volumes d'eau aux saisons où l'eau superficielle est abondante, et rétablir des pressions susceptibles de refouler puis maintenir le biseau salé. La recherche doit à la fois se poursuivre en direction des réalimentations naturelles par le Gapeau (qui, aux moindres frais, risquent d'être efficaces) et en direction des injections par forages (qui, artificielles, présentent l'inconvénient d'exiger de l'eau d'excellente qualité).

52 - PROGRAMME D'ETUDES

521 - Amélioration du contrôle

A défaut de réaliser le programme complet envisagé le 29 mai 1967, il faut compléter le réseau d'observation (§ 34) par la mise en place de piézomètres du type C.M.E. aux points A,B et C du plan annexe X.

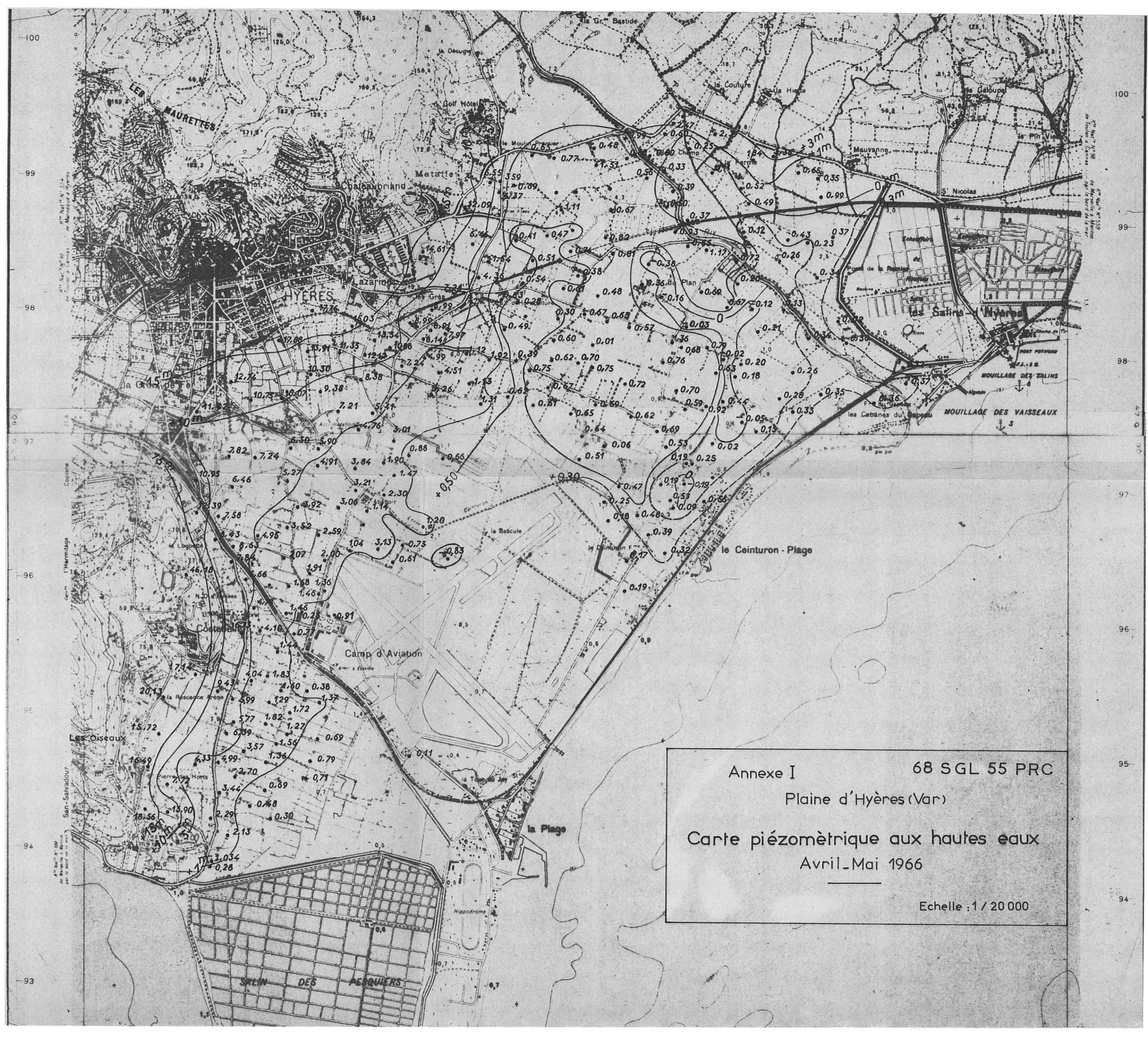
Le niveau du Gapeau doit pouvoir être rattaché à la piézométrie en nivellant certains repères permettant de mesurer le fil de l'eau:

- aval de la prise vers Sainte Eulalie,
- amont pont RN 98,
- pont de l'ancienne voie ferrée,
- amont et aval du barrage anti-sel.

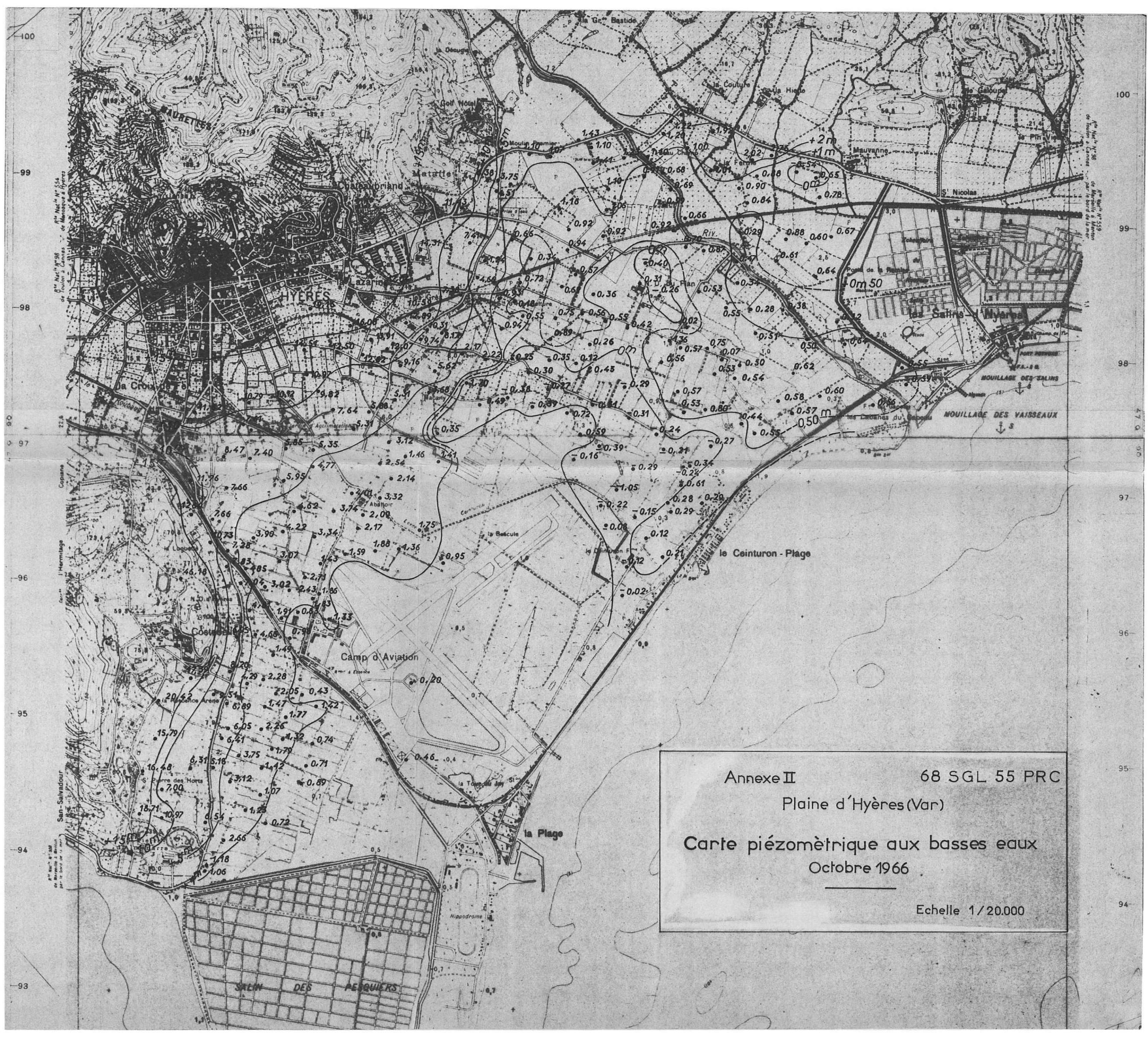
522 - Essais de réalimentation

Des essais doivent être exécutés dans les zones retenues comme possibles à l'amont de Moulin Premier et dans le secteur de Notre Dame du Plan. Ils peuvent être, en première urgence, exécutés dans les ouvrages existants, mais la nécessité de suivre l'effet de ces essais oblige pour chaque site :

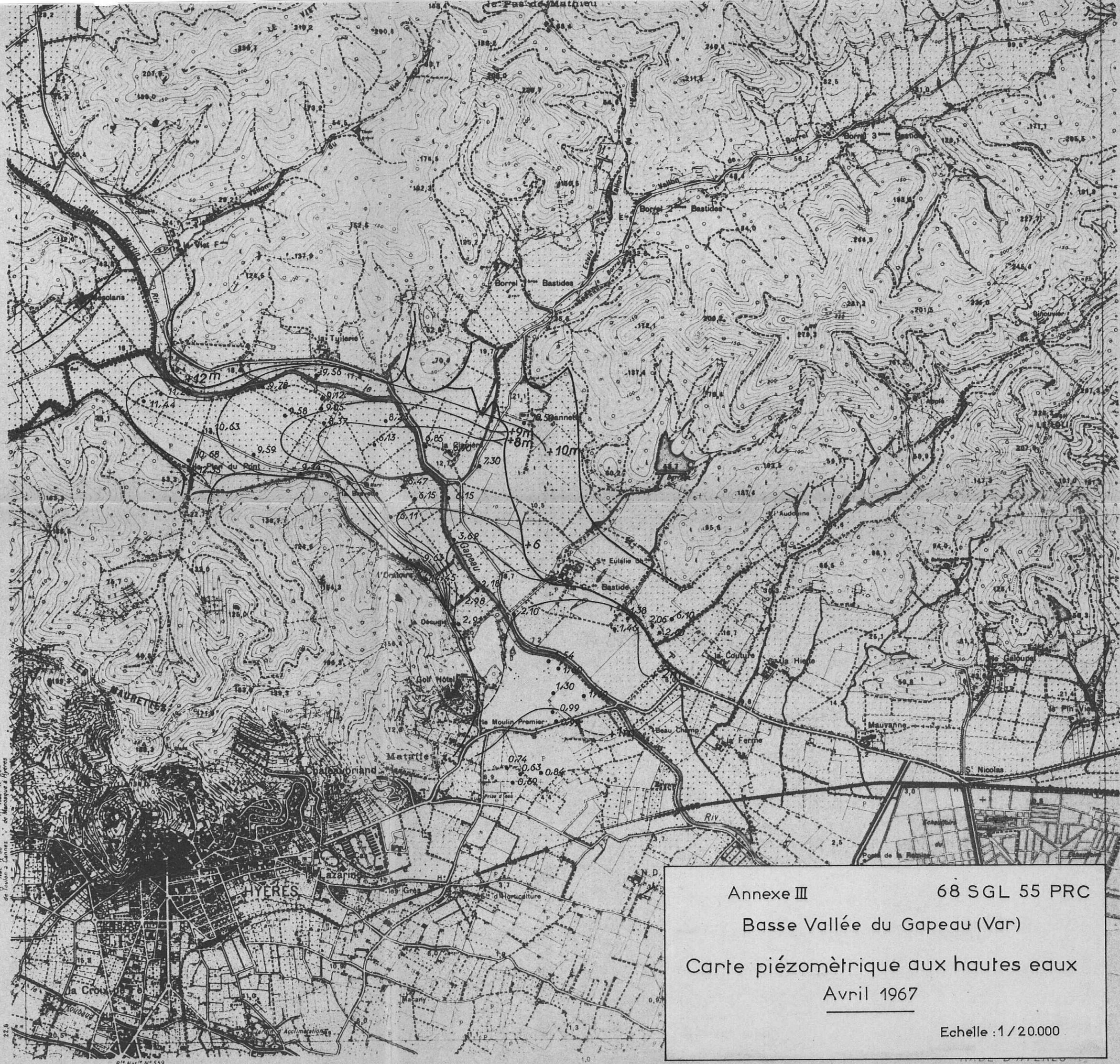
- à renforcer le réseau de contrôle piézométrique existant autour des points d'injection : réseau de piézomètres crépinés sur toute leur hauteur.
- à mesurer les caractéristiques de la nappe (transmissivité T et coefficient d'emmagasinement S) par essais de pompage sur un forage plus important, pouvant, en cas de succès, fonctionner comme ouvrage d'injection.



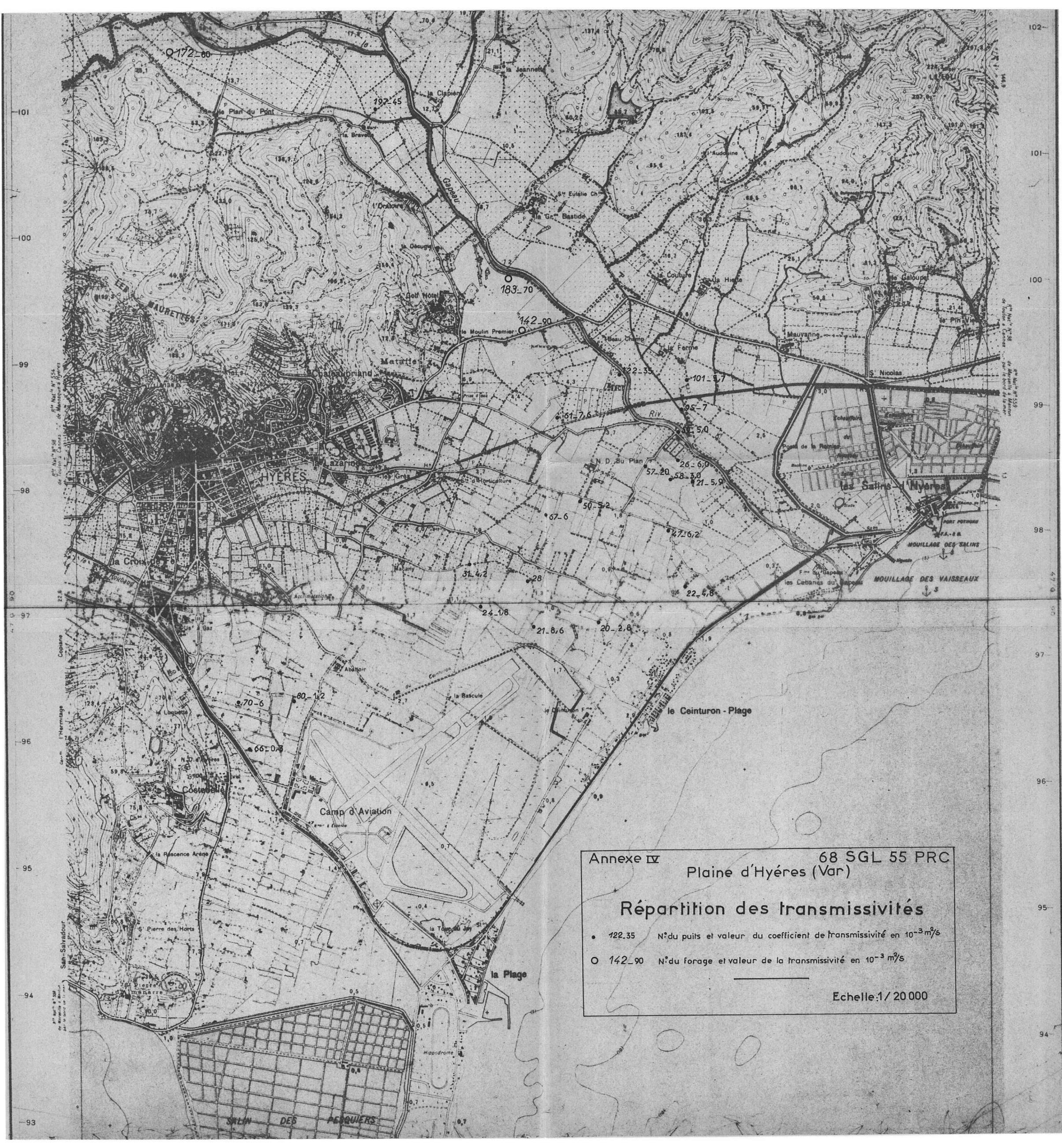
Annexe I 68 SGL 55 PRC
Plaine d'Hyères (Var)
Carte piézométrique aux hautes eaux
Avril-Mai 1966
Echelle : 1 / 20 000



Annexe II 68 SGL 55 PRC
Plaine d'Hyères (Var)
Carte piézométrique aux basses eaux
Octobre 1966
Echelle 1/20.000



Annexe III 68 SGL 55 PRC
 Basse Vallée du Gapeau (Var)
 Carte piézométrique aux hautes eaux
 Avril 1967
 Echelle : 1/20.000



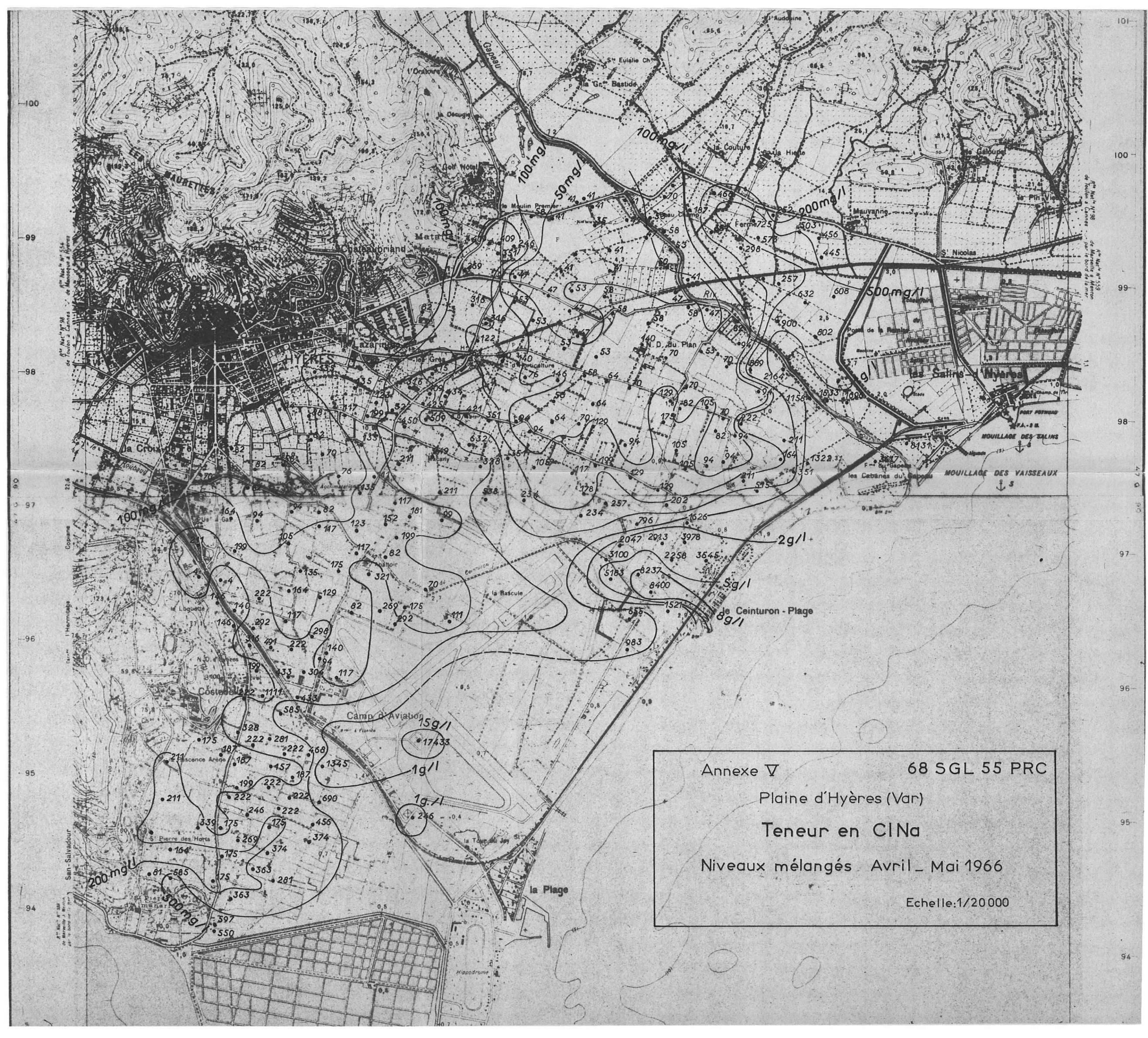
Annexe IV 68 SGL 55 PRC

Plaine d'Hyères (Var)

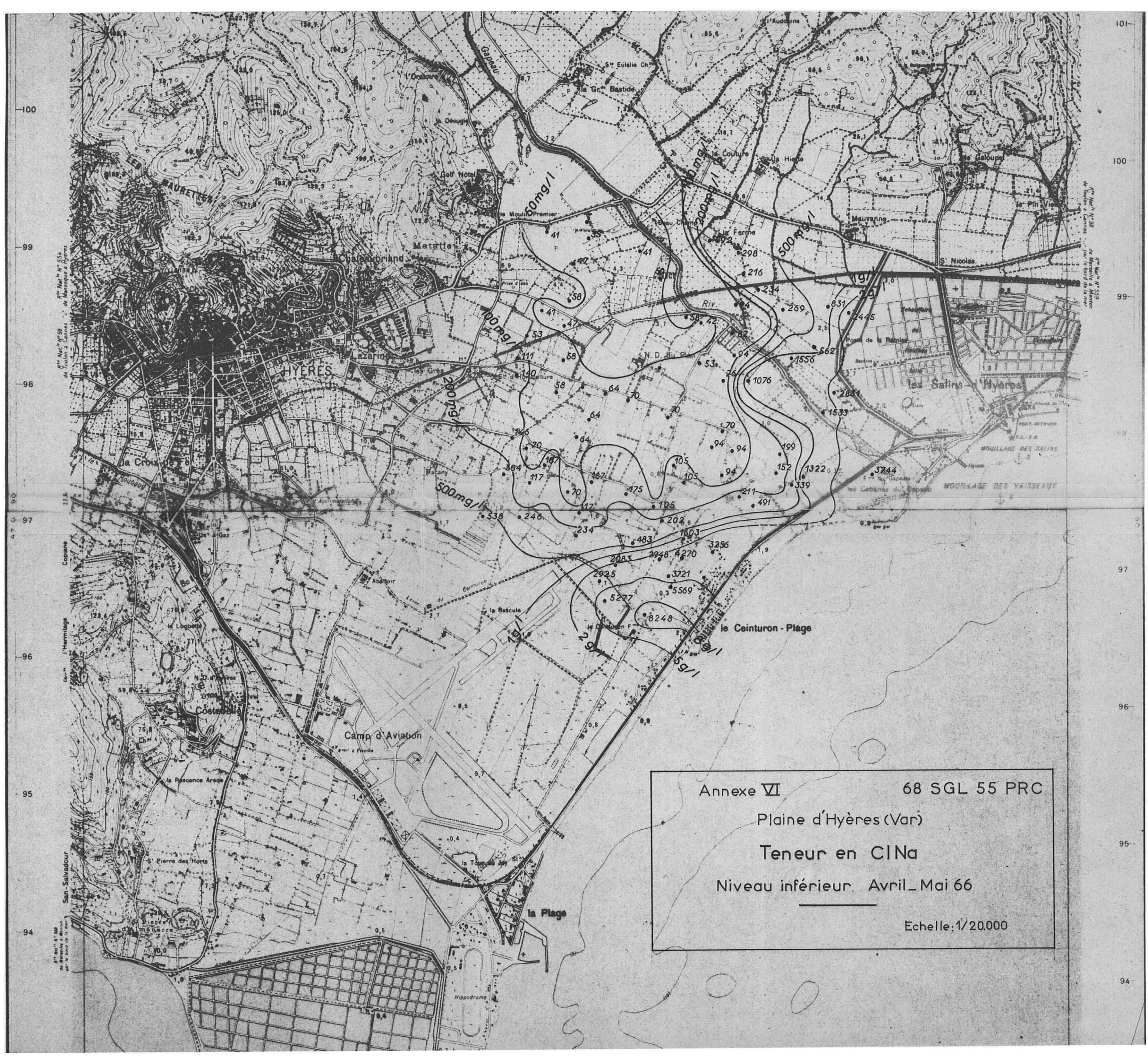
Répartition des transmissivités

- 122.35 N° du puits et valeur du coefficient de transmissivité en $10^{-3} m^2/s$
- 142.90 N° du forage et valeur de la transmissivité en $10^{-3} m^2/s$

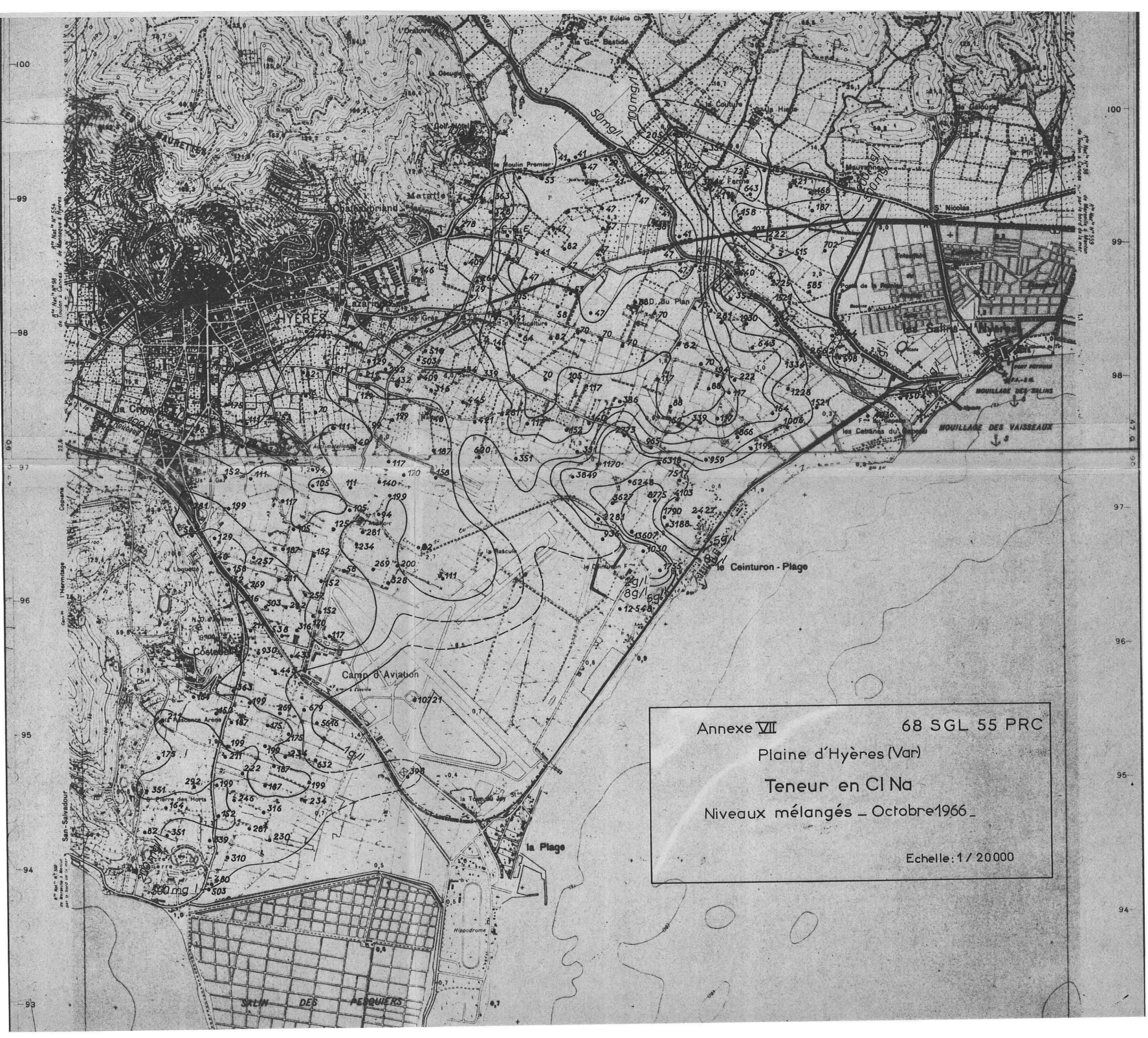
Echelle: 1/20 000



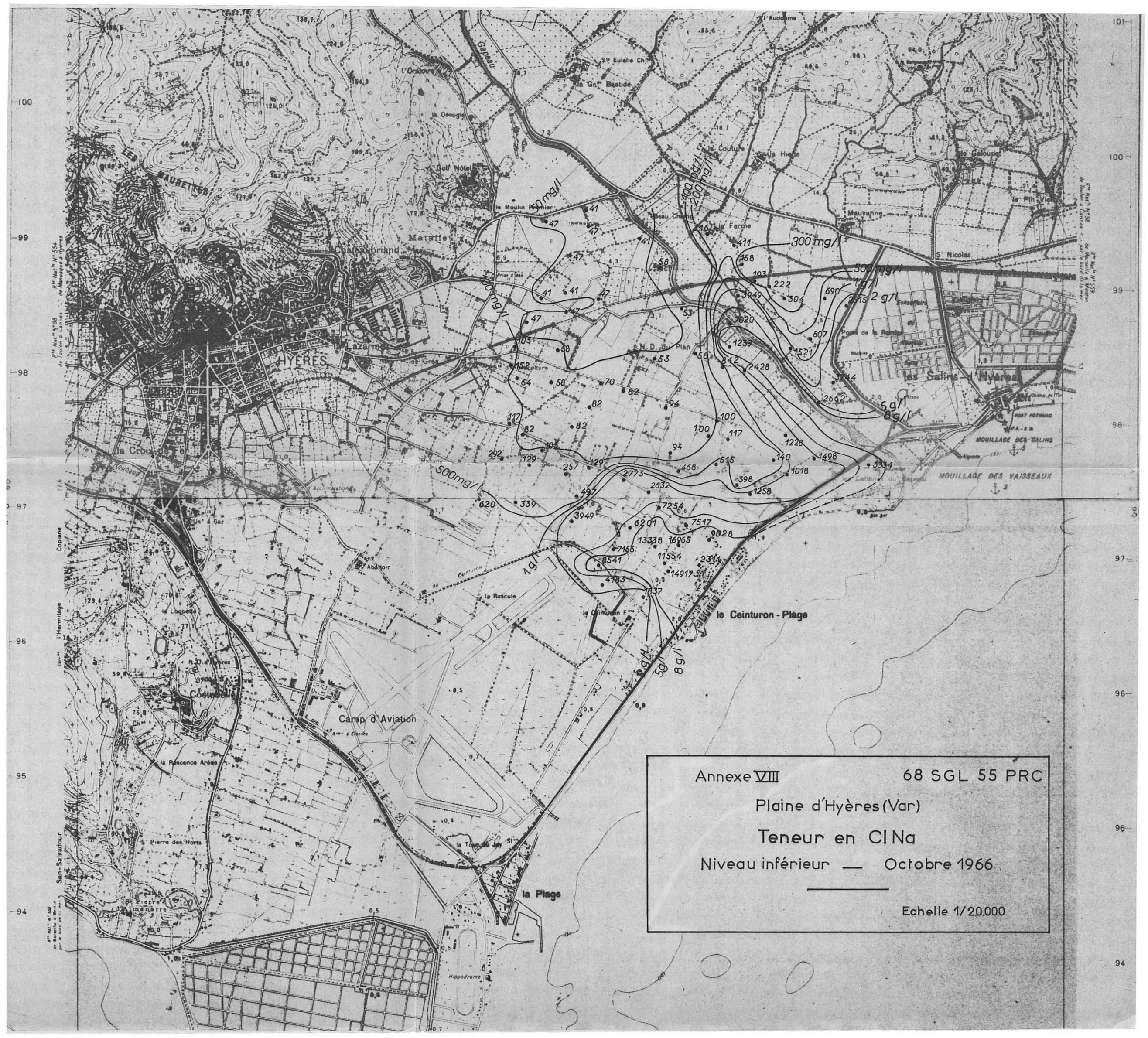
Annexe V 68 SGL 55 PRC
 Plaine d'Hyères (Var)
 Teneur en CINA
 Niveaux mélangés Avril - Mai 1966
 Echelle: 1/20 000



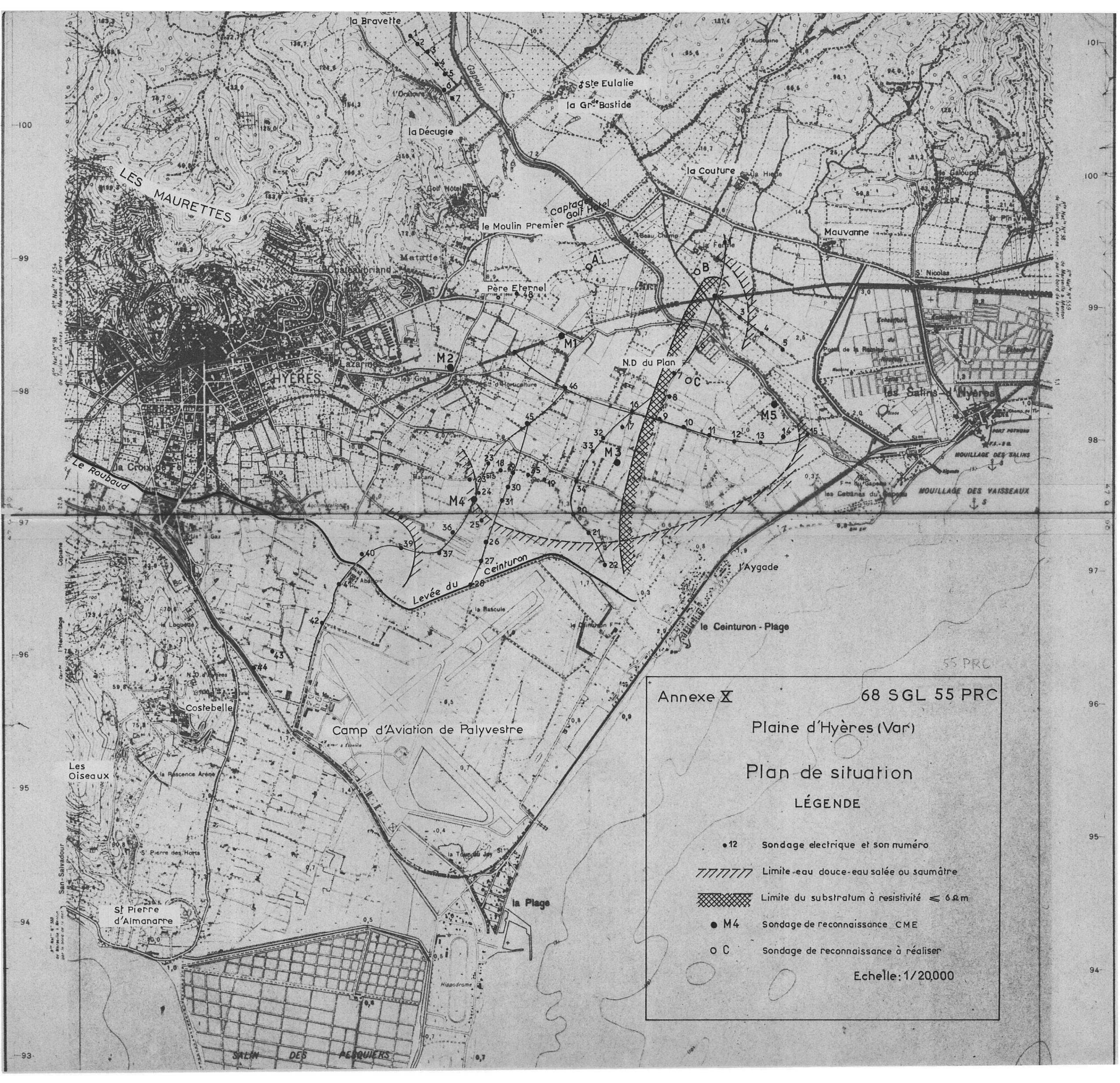
Annexe VI 68 SGL 55 PRC
Plaine d'Hyères (Var)
Teneur en CINA
Niveau inférieur Avril-Mai 66
Echelle: 1/20.000



Annexe VII 68 SGL 55 PRC
Plaine d'Hyères (Var)
Teneur en Cl Na
Niveaux mélangés - Octobre 1966 -
Echelle: 1 / 20000



Annexe VIII 68 SGL 55 PRC
Plaine d'Hyères (Var)
Teneur en ClNa
Niveau inférieur — Octobre 1966
Echelle 1/20,000



Annexe X 68 SGL 55 PRC

Plaine d'Hyères (Var)

Plan de situation

LÉGENDE

- 12 Sondage électrique et son numéro
- ////// Limite eau douce-eau salée ou saumâtre
- ▨ Limite du substratum à résistivité $\leq 6 \Omega m$
- M4 Sondage de reconnaissance CME
- C Sondage de reconnaissance à réaliser

Echelle: 1/20,000

PLAINE D'HYERES
(Var)

COUPES INTERPRETATIVES

D'APRÈS LES

SONDAGES ELECTRIQUES

Echelle horizontale 1/10000
verticale 1/1000

LÉGENDE

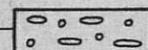
30 | Sondage électrique

15 | Résistivité en ohm.m.

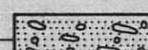
Recouvrement imperméable



Formation imperméable



à eau douce



à eau salée ou saumâtre

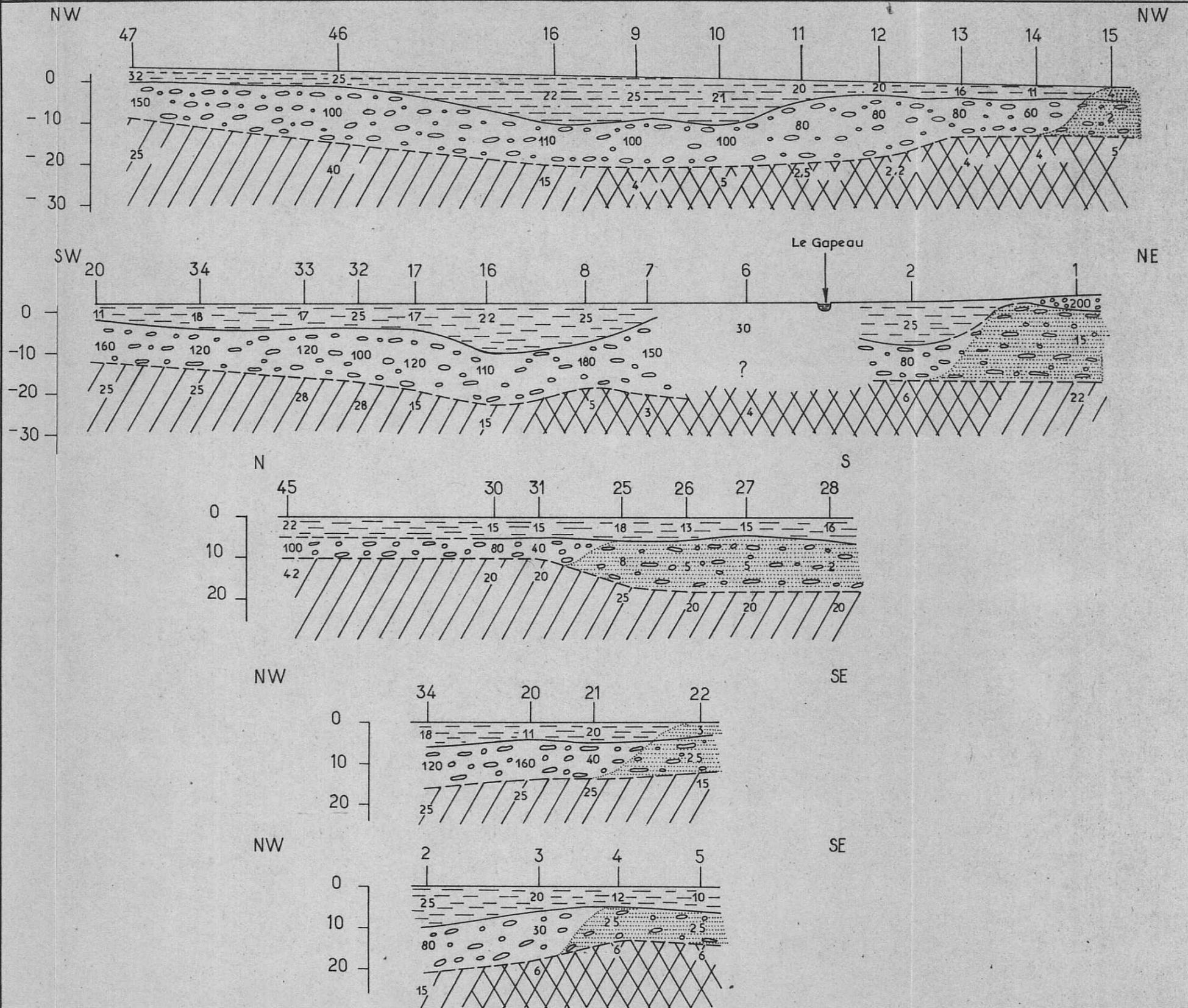
Substratum conducteur



> à 6 Ωm



≤ à 6 Ωm



DÉPARTEMENT : Var COMMUNE : HYÈRES X 911,260
 Désignation : Sondage M.1 Date d'exécution : 7/19.8.67 Y 98,630
 Interprétation de J.D. EICHENBAUM Indice de classement : 1065 1 222 C Z 4,4

Profond.	Demi-coupe technique	Nappes et plans d'eau	Echant.	Coupe	Description géologique par : <u>Bureau d'Etudes Géotechniques</u>	Etages
4,00			e		remblai et terre végétale.	Alluvions quaternaires
	Battage au mouton de 150 Kg.		e		argile marron et rouge, plus ou moins caillouteuse	
5,30		6.24			cailloutis argileux peu compact	
	Tubage de 114 mm de Ø à 25,15		pp			
9,80			p		cailloutis argileux assez peu compact dans l'ensemble.	
12,50			pp		cailloutis très argileux, peu perméable	
16,90					cailloutis peu argileux	
			+ p			
24,80			e		Argile jaune étanche	
25,15			ppp		sable gris, très vaseux, bouillant, saturé.	
30,00 ^m					arrêt du sondage	30,00 ^m

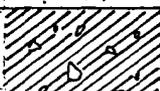
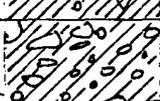
e = étanche
 p = perméable
 pp - ppp = peu perméable à très peu perméable.

DEPARTEMENT : VAR COMMUNE : HYÈRES x 911,610
 Désignation : Sondage M.3 Date d'exécution : 24.29.VIII.67 y 97,670
 Interprétation de J.D. Eichenbaum Indica de classement : 1065 | 1 | 224 | C z + 2,74

Profond.	Demi-coupe technique	Nappes et plans d'eau	Echant.	Coupe	Description géologique par : <u>Bureau d'Etudes Géotechniques.</u>	Etages
	<u>Battage</u>				<u>Terre végétale</u>	
<u>2.50</u>	<u>au mouton</u>					
	<u>de</u>	<u>3m69</u>			<u>Argile grise vaseuse molle</u> <u>- Etanche -</u>	
	<u>150 kg.</u>					
<u>8.00</u>	<u>Tubage ø114</u>					
<u>9.00</u>	<u>0.28,30</u>				<u>Sable fin. Très peu perméable.</u>	
					<u>Cailloutis ± grossier ± argileux</u> <u>Perméable jusqu'à 19m</u>	<u>Alluvions Quaternaires</u>
					<u>Sable fin argileux, à partir</u> <u>de 24m - Très perméable de 19m</u> <u>à 26m</u>	
<u>19.00</u>						
<u>24.00</u>						
<u>26.00</u>					<u>Cailloutis ± argileux, progressivement mêlé</u> <u>à la pélite - Très peu perméable -</u>	
<u>28.00</u>					<u>Pélite</u> <u>Permien du bed.rock</u>	<u>Permien</u>
<u>30.00</u>						<u>30,00</u>

DEPARTEMENT : VAR COMMUNE : HYÈRES
 Désignation : Sondage M.4 Date d'exécution : 6.9.67
 Interprétation de : J.D. Eichenbaum Indica de classement : 1065 | 1 | 225 | 0

X 910,580
 Y 97,300
 Z +1,77

Profond.	Demi-coupe technique	Nappes et plans d'eau	Echant.	Coupe	Description géologique par : <u>Bureau d'Etudes Géotech.</u>	Etages
					Terre végétale	Pratiquement
1.80					Argile caillouteuse verte jusqu'à 3.80 et jaune ensuite.	Etanche
4.50					Cailloutis sableux, très argileux et argile très caillouteuse.	Perméable
8.00					Argile jaune & rouge, caillouteuse.	Très peu perméable
10.00					Cailloutis très argileux.	Peu perméable
16.10					Argile marron sableuse.	Etanche
22.00					marne dure marron très caillouteuse	Etanche
23.50						23,50

Alluvions du Quaternaire -

DÉPARTEMENT : VAR COMMUNE : Hyères X 912,850
 Désignation : Sondage M.5 Date d'exécution : 8/21.9.67 Y 98,150
 Interprétation de J.D. Eichenbaum Indices de classement : 1065 | 1 | 226 Z +2,15

Profond.	Demi-coupe technique	Nappes et plans d'eau	Echant.	Coupe	Description géologique par : <u>Bureau d'Etudes Géotech.</u>	Etages
1.80	Battage au mouton				Terre végétale	Alluvions du Quaternaire (Basse Terrasse)
	de 150 Kgs.	2.46			Alternance de sable ± grossier, de cailloutis sableux et de vase. Plus ou moins perméable	
	Tobage en ø 114 jusqu'à 23 m.				Argile vaseuse verte Etanche	
7.50					Cailloutis sableux gris, peu compact. Très perméable.	
9.50					Cailloutis moyen, peu argileux, marron, assez compact. Plus ou moins perméable.	
13.20					Alternance d'argile vaseuse grise, molle et de sable vaseux	
					boulant grossier jusqu'à 28m, fin ensuite, et plus ou moins compact. Très peu perméable dans l'ensemble.	
21.10						
52.00 ^m					arrêt du sondage	52.00