



BRGM

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

74, Rue de la Fédération PARIS XV°

Tél. : Suf. 94-00

DEPARTEMENT DES SERVICES  
GEOLOGIQUES REGIONAUX

Service géologique  
régional Provence - Corse  
6, Bd. Pébre - Marseille 8°

Tél. : 76-00-40

DIRECTION SCIENTIFIQUE

DEPARTEMENT GEOLOGIE

Service d'hydrogéologie

FACULTE DES SCIENCES  
DE MARSEILLE

Laboratoire de géologie  
appliquée

ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE  
DE LA CRAU

par

B. DELLEKY - G. DUROZOY - J. KUCHARSKA

CI. GOUVERNET - J. MARGAT

avec la collaboration de

Y. LE CALVEZ - A. CAMUS - H. CAVALLONI

J.M. NAGY - J.P. VIALA

DSGR.64.A49

Marseille, le 3 août 1964



BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES & MINIERES

DIRECTION SCIENTIFIQUE

DEPARTEMENT GEOLOGIE

Service d'Hydrogéologie

74, rue de la Fédération

PARIS XV°

Tél. SUF-94-00

DEPARTEMENT DES SERVICES

GEOLOGIQUES REGIONAUX

Service géologique régional

Provence Corse

16, bd Pèbre - MARSEILLE 8°

Tél. 76-00-40

FACULTE DES SCIENCES

DE MARSEILLE

LABORATOIRE

DE GEOLOGIE APPLIQUEE

## ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE LA CRAU

par

B. DELLERY, G. DUROZOY, J. FORKASIEWICZ, Cl. GOUVERNET, J. MARGAT

avec la collaboration de

Mme LE CALVEZ, MM. CAMUS, CAVALLONI, NAGY, VIALA

Marseille, le 3 août 1964

## RESUME

La présente étude a été réalisée à la demande de  
Monsieur le Préfet des Bouches-du-Rhône et a été financée par :

le Ministère de la construction,  
le Conseil général des Bouches-du-Rhône,  
la Chambre de commerce de Marseille,  
le Fond d'investissement et d'aménagement du territoire,  
le B.R.G.M (crédits du Ministère de l'industrie).

-----

Entre la Camargue et l'étang de Berre, la Crau, ancien cône de déjection de la Durance, s'étale en un vaste triangle de 500 km<sup>2</sup> entre les Alpilles au nord, les collines d'Istres à l'est et le delta du Rhône au sud-ouest.

Le sous-sol de cette région, essentiellement constitué de cailloutis, contient une nappe qui s'abaisse de la cote + 110 jusqu'au niveau de la mer.

On y distingue deux régions naturelles : la Crau d'Arles à l'ouest et la Crau de Miramas à l'est, cette dernière région s'étant formée plus récemment que la précédente. La Crau ne serait qu'un désert si les irrigations n'y étaient pas importantes (17,5 m<sup>3</sup>/s. pour 17.000 ha).

Des études hydrogéologiques entreprises depuis le début de l'année 1962 ont fait intervenir à plusieurs reprises des équipes de géophysique et de sondages. Elles ont permis de déterminer la perméabilité des alluvions et leur épaisseur. Le débit naturel de la nappe, qui conditionne l'estimation des ressources, a été évalué par plusieurs méthodes:

- Le calcul basé sur les caractéristiques de l'aquifère, mesurées en un petit nombre de points selon une section à l'aval de la plaine (Crau de Miramas seule) conduit à 3,5 m<sup>3</sup>/s soit environ 170 l/s par km de front. Mais ce résultat est vraisemblablement sous-estimé.
- Selon le bilan établi pour l'ensemble de la nappe, son alimentation, c'est à dire ses ressources potentielles s'élèveraient à 15 m<sup>3</sup>/s environ globalement. Mais le débit écoulé et actuellement perdu à l'aval par les émergences et l'évaporation dans les étangs serait de 10 à 11 m<sup>3</sup>/s, dont 8 m<sup>3</sup>/s pour la Crau de Miramas.

L'écart de ces chiffres, en l'état actuel des méthodes d'investigation et au regard des moyens mis en oeuvre, est satisfaisant. Le débit exploitable peut être évalué, avec prudence, au moins égal à 7 m<sup>3</sup>/s, dont 5 m<sup>3</sup>/s pour la Crau de Miramas.

L'exploitation de ce débit est conditionnée par la nécessité absolue de ne pas provoquer de remontée d'eau de mer dans les ouvrages d'exploitation. C'est pour cette raison que la position de l'interface eau douce - eau salée a été soigneusement étudiée.

Les ouvrages de captage devront être exploités et leur débit réglé de telle façon que la charge d'eau douce située au-dessus du niveau de la mer puisse toujours équilibrer l'eau salée.

## TABLE DES MATIERES

p.

Résumé

Chapitre 1 - Introduction 13

### Première partie - LES DONNEES NATURELLES

Chapitre 2 - Données géographiques 31

Chapitre 3 - Géologie 36

Chapitre 4 - Climatologie 50

Chapitre 5 - Hydrologie de surface 78

### Deuxième partie - HYDROGEOLOGIE

Chapitre 6 - Hydrogéologie générale de la nappe 98

Chapitre 7 - Les relations nappe - mer 112

Chapitre 8 - Chimie de la nappe 123

Chapitre 9 - Résumé des résultats hydrogéologiques des  
travaux de recherche effectués 153

Chapitre 10 - Régime de la nappe 158

Chapitre 11 - Bilan de la nappe 168

Chapitre 12 - Evaluation des ressources en eau 175

Chapitre 13 - Projet d'exploitation de la nappe 190

Conclusions 207

FIGURES - 1<sup>o</sup> Partie

---

(le premier chiffre de la numérotation se rapporte au numéro du chapitre, le deuxième au numéro de paragraphe, le troisième à l'ordre chronologique)

- 1.10 - Plan de situation
- 1.20 - La Crau - schéma hydrogéologique
- 1.24 - Schéma hydrogéologique de la Basse-Crau
- 2.10 - Carte orographique au 1/100 000
- 3.10 - Carte géologique au 1/500 000
- 3.11 - Carte géologique au 1/100 000
- 3.22 - Coupe stratigraphique du Miocène (bordure sud-orientale)
- 3.30.0 - Coupe géologique de la Camargue à la Durance
- 3.30.1 - La Crau - coupe géologique nord-sud
- 3.30.2 - La Crau - coupe géologique est-ouest
- 3.30.3 - Structure de la région de Mourières (bordure nord de la Crau)
- 3.30.4 - Coupe géologique nord-sud par la butte de la Roque
- 3.32 - Carte du substratum des cailloutis au 1/50 000
- 3.32.1 - Plan de situation des sondages électriques
- 3.32.2 - Coupe - interprétation des profils géophysique ABC -
- 3.32.3 - Coupe - interprétation du profil géophysique D
- 3.32.4 - Coupe - interprétation du profil géophysique sud et nord
- 3.32.5 - Coupe nord-sud de la Basse-Crau
- 3.32.6 - Coupe sud-ouest - nord-est (route Fos-Arles)
- 4.10 - Position des stations météorologiques
- 4.20 - Fréquence en direction des vents
- 4.32 - Moyennes mensuelles des nombres de jours de pluie
- 4.33 - Moyennes mensuelles (pluri-annuelles) des précipitations
- 4.34 - Précipitations annuelles à Istres
- 4.35 - Précipitations - écarts relatifs (station d'Istres)
- 4.40 - Insolation, évaporation, températures
- 5.11 - Carte des bassins versants et implantation des sondages mécaniques
- 5.20 - Crau - réseau hydraulique
- 5.22 - Schéma du système d'écoulement des eaux par le canal d'Arles à Port-de-Bouc

## FIGURES - 2° Partie

---

- 6.21 - Seuil de Lamanon - Schéma hydrogéologique
- 6.50 - Carte de la surface piézométrique en mars
- 6.51 - Carte de la surface piézométrique en septembre
- 6.53 - Carte des gradients d'après la surface piézométrique
- 6.60 - Carte des profondeurs de la nappe
- 7.31 - Carte du toit des cailloutis
- 7.32 - Carte du toit du calcaire urgonien - région de la Roque
- 7.40 - Invasion marine de la nappe de Crau
- 810 - Carte hydrochimique de la Basse-Crau
- 8.220 à 8.228 - Diagrammes logarithmiques
- 10.120 - Hauteurs moyennes annuelles des fluctuations de la surface piézométrique pour la période 1954-1962
- 10.121 - Hauteurs extrêmes annuelles des fluctuations de l'année 1962
- 10.130 à 10.139 - Courbes moyennes de descente des puits de la Crau
- 10.20 - Variation décennale du niveau d'eau dans 5 puits de la Crau
- 11.10 - Exploitation de la nappe - Situation des points de prélèvements
- 13.20 - Limitation de l'exploitation de la nappe par la position du biseau d'eau salé
- 13.21 - Exploitation de la nappe - Crau quaternaire

DOCUMENTS CONSULTÉS

---

Documents E.D.F - Relevés de limnigraphes en Crau

Météorologie nationale (S.M.M.A) - Données relatives à la climatologie

M. COUPRIE - Extension du port de Marseille dans le golfe de Fos - Avant projet - Reconnaissance des sols - Pts & ch. Direction du port de Marseille - Document inédit - Juillet 1963.

J. SANSON - Recueil de données statistiques relatives à la climatologie de la France - Edition 1945 - Mémor. Météorologie Nation.

C.W. THORNTWHAITE - An approach toward a national classification of climats - Géogr. review 1948 p. 55 - 94.

F. JOLY - "Notes marocaines" - Inst. scient. chérifien - n° 11 - 12 - p. 5 - 14 - Rabat 1959. - Note sur le calcul des indices de Thornthwaite -

A. COUTAGNE ET E. de MARTONNE - Association internationale d'hydro-géologie scientifique. - Bull. n° 20 1934 pp. 97 à 106.

BIBLIOGRAPHIE GENERALE  
SUR L'HYDROGEOLOGIE DE LA CRAU  
(ordre chronologique)

---

- MARTEL E.A. (1907) - Rapport sur la Crau  
(Annales de l'hydraulique agricole -  
fasc. 36bis - 1907)
- ZURCHER Ph. (1920) - Rapport inédit sur la nappe de la Crau  
(Archives des Pts & chaussées - 1920)
- Hydrologie de la Crau d'Arles  
(C.R. somm. Soc. Géol. Fr. Nov. 1920)
- MARTEL E.A. (1921) - A propos de l'hydrologie souterraine de la Crau  
(C.R. somm. S.G.F. 1921)
- PORCHET M. (1930) - Etude des eaux souterraines de la Crau  
(C.R. Congrès de l'eau en Crau - pp. 81-172  
Sce Agric. P.L.M - Paris 1930)
- REPELIN J. (1930) - Etude géologique et hydrogéologique de la Crau  
Congrès de l'eau en Crau - Paris  
Sce Agric. Cie P.L.M - pp. 25-34.
- BECCAT (1930) - La Crau : observations hydrologiques  
(C.R. Congrès de l'eau en Crau - pp. 173-190 -  
Sce Agric. P.L.M - Paris 1930)
- La Crau : essai d'utilisation du fleuve  
souterrain (C.R. Congrès de l'eau en Crau -  
pp. 251-260 - Sce Agric. P.L.M - Paris 1930)
- BORDAS J. & MATHIEU G. (1930) - Recherches sur la force de sols et  
l'irrigation souterraine  
(C.R. Congrès de l'eau en Crau - pp. 319 -  
Sce Agric. P.L.M - Paris 1930)
- ARCHAMBAULT J. (1948) - Données pour servir à l'étude de la nappe  
alluviale de la Basse-Durance  
(BURGEAP - rapport R. 109 du 30 juillet 1948 -  
E.D.F.)
- Le seuil de Lamanon  
(BURGEAP - rapport inédit R. 115 - Déc. 1948 -  
M.R.U.)



- MONGIN D. (1949) - Les eaux souterraines des Bouches-du-Rhône  
(Recueil Trav. Inst. Nat. Hyg. Fr. 1949 -  
n° 3 - pp. 835-60-13 fig.)
- Anonyme (C.G.G.) - Etudes hydrologiques par prospection électrique.  
(1948-49) Seuil de Lamanon et nappe de la Crau, plaine du  
delta de l'Arc, plaine de Châteaurenard-les  
Martigues, plaine de l'Huveaune  
(C.G.G - 1948-49 - M.O = M.R.U)
- ARCHAMBAULT J. (1950) - Note sur le mécanisme hydraulique du seuil de  
Lamanon  
(BURGEAP - rapport inédit R. 122 - Janv. 1950  
M.R.U)
- Etudes hydrogéologiques en basse Provence  
(l'Eau - Déc. 1950)
- GOUVERNET Cl. (1950) - Conditions d'alimentation des nappes phréatiques  
de la Durance et de la Crau  
(rapport inédit - Mairie d'Avignon - 1950)
- ARCHAMBAULT J. (1951) - La nappe alluviale de la Basse-Durance  
(BURGEAP - rapport inédit 5 mars 1951  
EDF REH Alpes III - Projet de Basse-Durance  
Annexe : carte surface piézom. au 1/50.000e)
- La nappe de la Crau  
(BURGEAP - rapport inédit R. 140 - Déc. 1951  
M.R.U)
- BOURRIER J. (1954) - Mesure des caractéristiques hydrodynamiques  
des sols (à la station expérimentale d'hydrau-  
lique agricole de Vergières)  
(Bull. centre de rech. et expérim. du G.R.  
n° HS 21 - Juillet 1954)
- DECELLE A., GUELTON M., MULLER-FEUGA R. (1954)  
- La nappe phréatique de la Crau et la dérivation  
de la Basse-Durance ; importance des irrigations  
(2e Congrès Com. Intern. Irrig. Drain. - Alger  
avril 1954)
- MARGAT J. (1962) - Alimentation en eau de la zone d'expansion  
industrielle de Fos (Bouches-du-Rhône)  
Programme d'étude de la nappe de la Crau  
(Annexe I du "Projet de programme initial  
d'inventaire des ressources hydrauliques du  
sud-est - B.R.G.M A 1958 - 16 fév. 1962)

- DUROZOY G., MARGAT J. (1962) - Rapport préliminaire sur les recherches hydrogéologiques dans la Crau pour l'alimentation en eau de la région de Fos  
(B.R.G.M - D.S.G.R 62 A 14 - 14 août 1962)
- CHARBONNIER Ph., DUROZOY G., GOUVERNET Cl., MARGAT J. (1963)  
- Etude de la nappe de la Crau  
Résultats de la première campagne de sondages (1962)  
(B.R.G.M - D.S.G.R 63 A 28 - 10 avril 1963)
- ARCHAMBAULT J., DUROZOY G., GOUVERNET Cl., MARGAT J. (1963)  
- Etude de la nappe de la Crau  
Programme de travaux complémentaires  
(B.R.G.M - D.S.G.R 63 A 1 - 30 janvier 1963)
- CHARBONNIER Ph., DUROZOY G., GOUVERNET Cl., MARGAT J. (1962)  
- Recherches hydrogéologiques dans la Crau  
Interprétation provisoire des résultats de la première campagne de sondages S1 à S5  
(B.R.G.M - D.S.G.R A 20 - 18 oct. 1962)
- DELLERY B., DUROZOY G., LALEYE J., MARGAT J. (1963)  
- Etude hydrogéologique de la Crau  
Essais de débit sur forage grand diamètre  
(B.R.G.M - D.S 63 A 72 - 22 juillet 1963)
- HORN R. (1963) - Ponts & chaussées maritimes - Marseille -  
Sce maritime - Etude sismique du secteur de l'étang de la Roque  
(DS 63 A 20 - 20 mars 1963) 3867
- CLUSEAU R. (1962) - Etude géophysique de la nappe de la Crau dans la région de Fos-sur-Mer  
(B.R.G.M - D.S 62 A 46 - 9 août 1962)
- B.R.G.M (1964) - Crau - 2e campagne Géophysique -  
Résultats de l'interprétation des sondages électriques  
Rapport provisoire

# BIBLIOGRAPHIE GEOLOGIQUE

(ordre chronologique)

- COLLET L. (1904) - Pliocène et Quaternaire de la région du  
Bas-Rhône  
B.S.G.F - T IV - 1904 - pp. 401-415
- MARTIN D. (1907) - La Crau et la Durance  
B.S.G.F XVII - 1907 - n° 115 - pp. 145-158
- SAVORNIN J. (1921) - La Crau  
C.R. somm. S.G.F - 21 mars 1921
- BAULIG H. (1927) - La Crau et la glaciation wurmienne  
Ann. de géogr. XXXVI 1927 - pp. 499-508
- REPELIN J. (1930) - Etude géologique et hydrogéologique de la Crau  
Congrès de l'eau en Crau - Paris Sce Agric.  
Cie P.L.M 1930 - pp. 25-34
- REPELIN J. (1930) - Les Bouches-du-Rhône - Encyclopédie départemen-  
tale Marseille - II - Description géologique  
succincte.
- COMBALUZIER Ch. (1932) - Le Miocène de la Basse-Provence  
Bull. Serv. carte Géol. France - n° 182 -  
T XXXV - 1932
- DENIZOT G. (1938) - La Crau, la Camargue et l'étang de Berre  
Trav. lab. Géol. Fac. de Sc. Marseille  
2e série T XI - pp. 3-161
- Carte géologique de France au 1/80.000e - Feuille Arles - 2e édition -  
(1940)
- CORROY G., DENIZOT G. (1943) - La Provence occidentale  
Paris Hermann & Cie
- HOUSSE B. (1950) - Etude géologique de la vallée des Baux et de  
ses abords -  
Dipl. Et. Sup. - Fac. des Sc. Marseille
- MONGIN D. (1956) - Révision stratigraphique du Burdigalien de  
Basse-Provence 1948 -  
Trav. lab. Géol. Fac. de Sc. Marseille 1956 - T V

- GOUVERNET Cl. (1957) - Histoire géologique de la Crau in  
Sallonensa - 1<sup>o</sup> cahier Salon de Provence  
Janv. 1957
- GOUVERNET Cl. (1958) - 83<sup>o</sup> Congrès des Sociétés Savantes -  
Marseille 1958 - Excursion du 12 avril
- GOUVERNET Cl. (1959) - Evolution géologique des relations Bas-Rhône -  
Basse-Durance pendant les temps quaternaires  
Imprimerie Louis Jean - Gap
- GIROD M. (1960) - Etude géologique détaillée de la région  
centrale des Alpilles  
Dipl. Et. Sup. - Fac. Sciences - Paris Fev. 1960
- Carte géologique de France au 1/50.000e - Les Alpilles - (1960)
- DAMIANI L., FEUGUEUR L. (1960)  
- Etude de la Basse-Crau et de la plaine alluviale  
à l'est du Rhône  
Rapport inédit (B.R.G.M A 1713 - 1960)
- BOURDIER F. (1961) - Le bassin du Rhône au Quaternaire  
C.N.R.S 1961
- DAMIANI L. (1962) - Note sommaire relative aux sondages du sud de  
la Crau  
Rapport inédit (B.R.G.M - 1962)
- BONIFAY E. (1962) - Les terrains quaternaires dans le sud-est de  
la France  
Delmas éditeur - Bordeaux
- BOIS E. (1963) - Etude géologique détaillée des Alpilles  
occidentales  
Dipl. Et. Sup. - Fac. Sciences - Lyon mai 1963
- GOUVERNET Cl. (1963) - Le Miocène de la région de Salon de Provence  
(B.D.R) - Stratigraphie et tectonique  
Trav. Lab. Géol. Fac. Sciences Marseille -  
1963 - pp. 129-145

## Chapitre 1

### INTRODUCTION

---

#### PRESENTATION DU PROBLEME POSE

#### DEROULEMENT DES OPERATIONS

-----

#### 1.1 - INTRODUCTION

---

L'expansion industrielle et l'aménagement portuaire envisagés dans le Golfe de Fos entre le delta du Rhône et l'étang de Berre<sup>(1)</sup> vont créer des besoins en eau d'une ampleur considérable.

La recherche des moyens de les satisfaire est inscrite en priorité dans le cadre des études préparatoires. Parmi les ressources disponibles la nappe de la Crau est à la fois la plus proche, la plus riche et la meilleure quant à la qualité des eaux.

Des réponses précises aux questions relatives à la valeur et à l'exploitation des disponibilités en eau de la nappe de la Crau exigeaient une étude hydrogéologique approfondie appuyée sur des travaux de recherches, c'est ce qui a motivé l'intervention du B. R. G. M., sollicitée par la Préfecture des Bouches - du - Rhône sur le conseil des services des Ponts et chaussées, du ministère de la construction et du Service des mines.

Cette intervention a débuté en Janvier 1962, un service régional du B. R. G. M. étant mis en place à cette date à Marseille.

---

(1) Voir plan de situation fig. 1.10

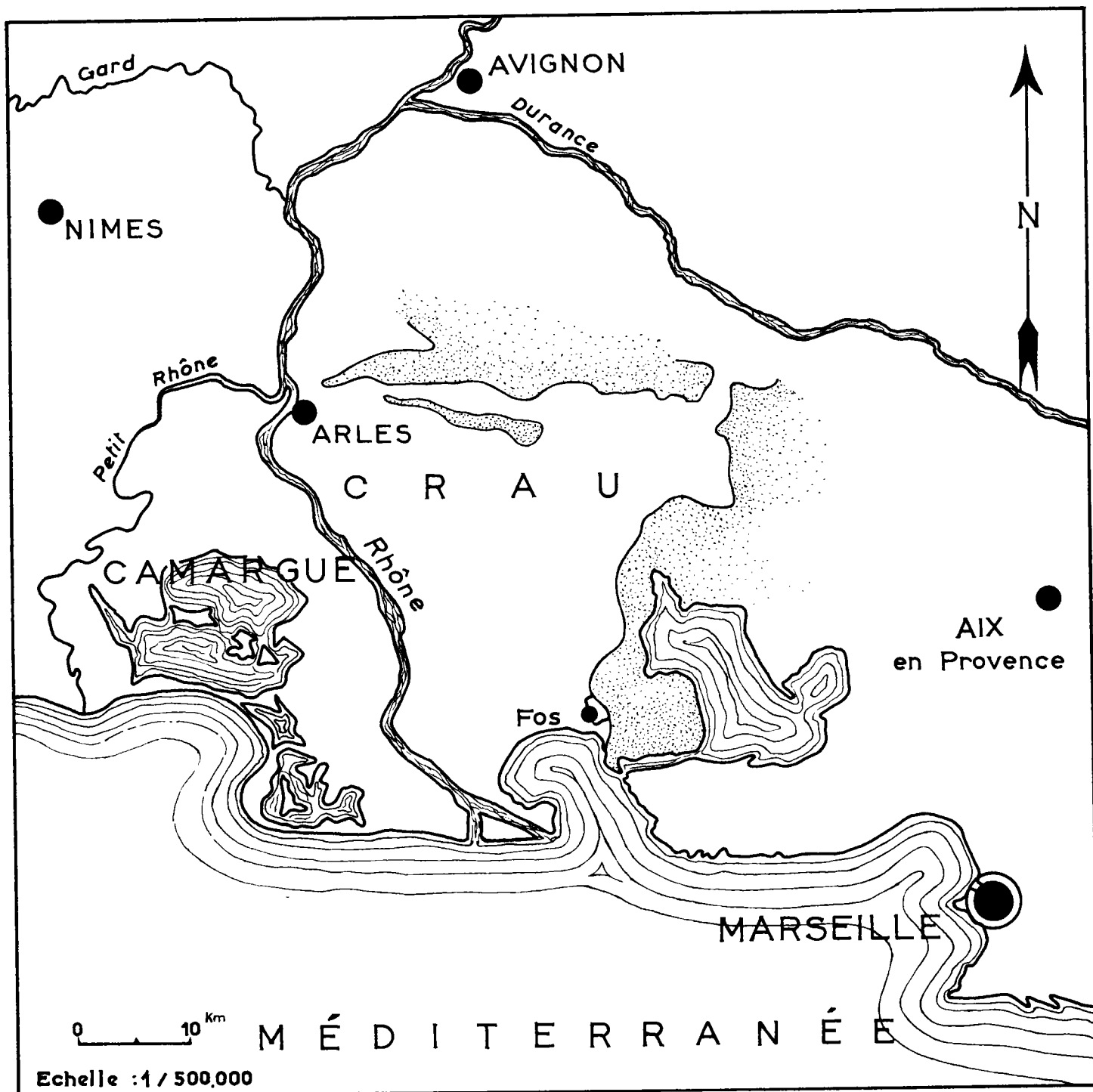


Fig.110

Plan de situation

## 1.2 - PROBLEME POSE

Les débits nécessaires non encore chiffrés exactement, mais de l'ordre de plusieurs  $m^3/s$ , étant très élevés, l'installation d'une industrie sidérurgique étant notamment envisagée, il s'agissait d'étudier les ressources de la nappe de la Crau<sup>(1)</sup> dans la perspective de leur exploitation maximale.

Il fallait donc : - définir ces ressources à la fois dans l'espace (extension et localisation) et dans le temps (débit moyen et variabilité).

- évaluer la disponibilité globale de la nappe.
- rechercher les modalités d'exploitations les plus appropriées techniquement et économiquement.

Les problèmes hydrogéologiques posés étaient en conséquence les suivants :

1.21 - Evaluer globalement le débit d'écoulement moyen de la nappe selon une section où ce débit doit être maximal (amont des émergences), cette évaluation pouvant se faire selon 3 méthodes devant donner des résultats comparables :

- a) Evaluation directe du débit traversant la section définie en étudiant celle-ci par des forages de manière à connaître ses dimensions et les caractéristiques du terrain aquifère.
- b) Etablissement d'une somme des divers apports d'eau alimentant la nappe.
- c) Etablissement d'une somme des émergences d'eau à l'aval (ce qui suppose une connaissance quantitative de la répartition des eaux de la nappe).

---

(1) Voir schéma hydrogéologique de la Crau fig. 1.20

- 1.22 - Déterminer la variabilité du débit de la nappe (variabilité annuelle et interannuelle), c'est-à-dire connaître le régime des fluctuations de la surface piézométrique et les facteurs déterminant ce régime (variabilité des apports).
- 1.23 - Etudier les variations des caractéristiques de l'aquifère (puissance, perméabilité horizontale et verticale, coefficient d'emmagasinement) afin de déterminer les zones les plus propices à un captage et évaluer l'ordre de grandeur de la réserve qui conditionne le régime des exploitations futures.
- 1.24 - Déterminer les conditions actuelles de l'équilibre entre les eaux douces de la nappe et l'eau de mer, c'est-à-dire localiser l'interface qui les sépare afin de prévoir dans quelle mesure cet équilibre peut être rompu sans risque d'invasion marine. (Voir fig. 1.24)
- 1.25 - Evaluer les prélèvements actuels dans la nappe et l'aire d'alimentation des ouvrages d'exploitation (maintien ou remplacement nécessaire des débits prélevés en cas d'exploitation maximale de la nappe).

### 1.3 - ETAT DES CONNAISSANCES ACQUISES

Les études effectuées antérieurement sur la Crau apportaient déjà un certain nombre d'éléments de réponses aux questions posées.

#### 1.30 - Les principales sont les suivantes :

- L'étude de Ph. ZURCHER (1915 - 1916), globale mais trop peu basée sur la géologie, évaluait le débit de la nappe à 5 m<sup>3</sup>/s.
- L'étude de M. PORCHET (1929), appuyée sur le contrôle de 200 puits et un grand nombre d'essais de pompage, est strictement mathématique mais la conclusion a été faussée par l'adoption de l'hypothèse d'un écoulement souterrain



# SCHÉMA HYDROGÉOLOGIQUE DE LA BASSE CRAU

(Profil longitudinal)

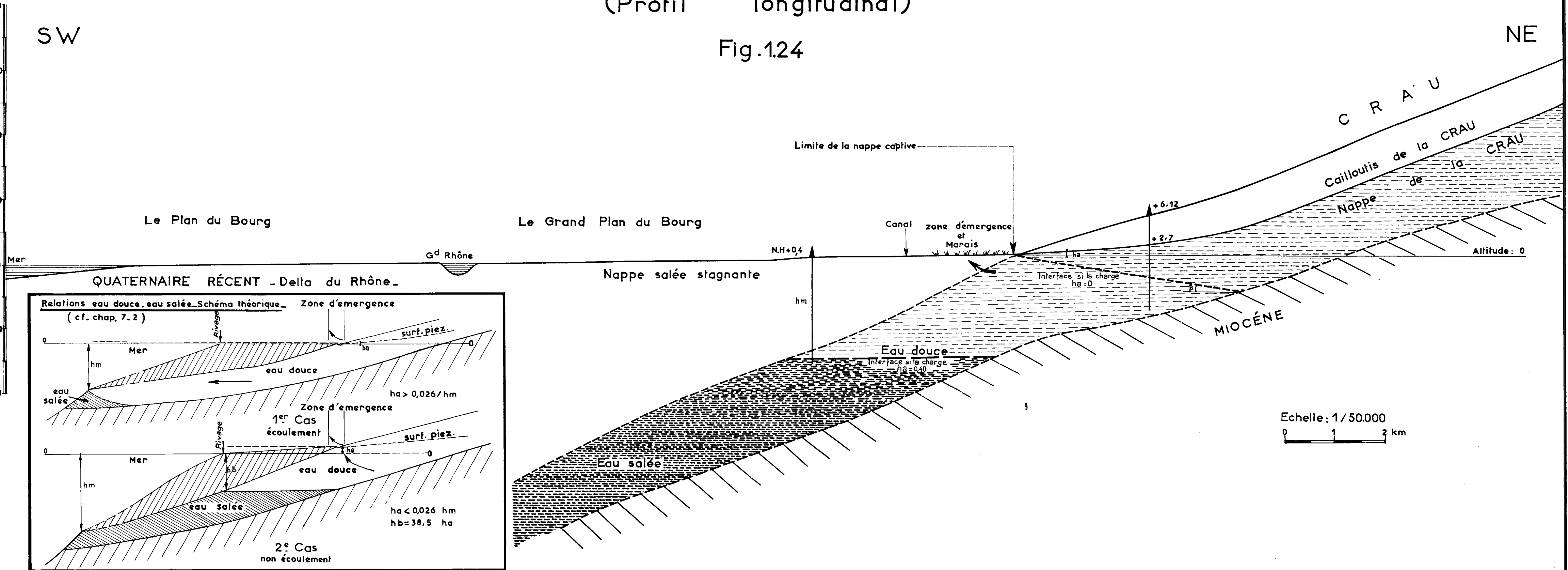
Fig.124

SW

NE

Le Plan du Bourg

Le Grand Plan du Bourg



par le seuil de Lamanon ; les travaux de recherches exécutés depuis (1948) par l'E.D.F. ont montré que celle-ci était erronée.

Le débit de la nappe était évalué à  $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$  à l'étiage et  $9,7 \text{ m}^3/\text{s}$  en hautes eaux.

- L'étude de J. ARCHAMBAULT (1951). Celle-ci constitue la première étude générale moderne de l'hydrogéologie de la basse-Crau.

Limitée à la Crau quaternaire elle a donné les premières cartes précises de la nappe (surface piézométrique, profondeurs, données hydrochimiques) et une définition correcte des conditions hydrogéologiques et du mode d'alimentation de la nappe.

Toutefois, elle n'a pu s'appuyer que sur un nombre restreint de mesures directes des caractéristiques hydrodynamiques ou des débits des eaux de surface.

Le débit de la nappe est évalué à  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (compris entre 3 et 6), ce qui donne un débit par mètre de front de  $250 \text{ l/s}$  et implique une perméabilité de  $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ .

Les règles générales données en conclusion pour un captage rationnel de la nappe demeurent valables.

- A. DECELLE, M. GUELTON et R. MULLER-FEUGA travaillant pour l'E.D.F., en marge de leurs études hydrogéologiques sur les plaines de la basse Durance établissent un bilan de la nappe de la Crau dont le débit est estimé compris entre 9 et  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ . A partir de 1953, la mise en place par l'E.D.F. d'un réseau de piézomètres dans la Crau apporte une nouvelle donnée essentielle : la connaissance précise du régime de la nappe ; l'observation des piézomètres se poursuit actuellement.

- De nombreuses études d'alimentation en eau effectuées par l'un de nous (Cl. G.) ont apporté un très grand nombre de données et d'observations hydrogéologiques précises. L'interprétation des résultats des nombreux travaux exécutés conduisait à estimer le débit de la nappe à 350 l/s par km de front impliquant un coefficient de perméabilité moyen de  $1,5 \cdot 10^{-2}$  m/s.

1.31 - A la suite de ces études les principales données acquises étaient donc les suivantes :

- Délimitation hydrogéologique de la nappe (définition géologique de l'aquifère, délimitation de la nappe libre, surface structurale du toit de la nappe captive à l'aval des émergences et définition du mode d'alimentation (pluie et irrigation))
- Quelques données ponctuelles sur les coefficients de perméabilité.
- Surface piézométrique de la nappe libre calculée d'après la carte (état en 1929 et 1951).
- Hydrochimie: variation de la dureté des eaux de la nappe libre.
- Régime de la nappe : fluctuation de la surface piézométrique depuis 1953 (contrôle piézomètres E.D.F.)
- Données météorologiques suffisantes (pluviométrie).
- Données sur les principales exploitations par pompage en 1951.

1.32 - Restait donc à connaître :

- Puissance de la nappe, constitution de l'aquifère, nature formée et profondeur du substratum, rôle hydrogéologique de ce dernier.
- Valeur de la transmissivité, de la perméabilité et du coefficient d'emmagasinement mesurée par des essais de pompages de

longue durée, avec piézomètres, et interprétés rigoureusement ;

- Distribution locale des perméabilités.
- Bilan précis des apports à la nappe, régime et répartition des eaux d'irrigation, coefficient d'infiltration effective.
- Débit des émergences de la zone des étangs et laurons, régime des variations de ce débit, bilan des exploitations actuelles.
- Valeur de l'évapotranspiration réelle.
- Surface piézométrique de la partie captive de la nappe.
- Données sur la nappe de la Crau pliocène.
- Position de l'interface eau douce - eau salée, conditions d'abouchement possible de la nappe captive à la mer. (Voir fig 1.24)

#### 1.4 - PROGRAMME DE TRAVAIL

En prenant comme objectif la connaissance des données inconnues énumérées ci-dessous et, dans la mesure où cela était nécessaire, la mise à jour et la précision de certaines données acquises, le programme établi initialement par le B. R. G. M. comprenait deux parties : études et travaux de recherches.

##### 1.41 - Etudes

Effectuées principalement par les moyens propres du B. R. G. M. sur un périmètre englobant la totalité de la Crau (Pliocène et Quaternaire) et la partie de la Camargue située sur la rive gauche du Grand Rhône ; elles ont comporté :

- Relevé complet de tous les points d'eau, puits et sources, complété par une opération de nivellement devant permettre de construire une carte de la surface piézométrique d'après des

altitudes exactes.

- Une enquête précise sur les exploitations actuelles d'eau souterraine.
- Une étude chimique des eaux de surface et de la nappe.
- Le jaugeage régulier des débits de surface entrant (canaux d'irrigation) et sortant (émissaires des étangs, collatures et "Roubines").
- L'interprétation des données acquises sur le régime de la nappe, cependant que le contrôle des piézomètres était poursuivi par l'E.D.F.
- L'interprétation des données climatologiques recueillies.

#### 1.42 - Travaux de recherches

##### 1.421 - Prospection géophysique

Elle comprenait deux séries de profils à étudier par prospection électrique (entre 100 et 150 sondages) ; les premiers orientés transversalement (nord-ouest - sud-est) le long de la route de Fos à Arles devaient déterminer la profondeur et la forme du substratum de la nappe de la Crau et éventuellement fournir des indications sur la répartition des faciés et les variations de perméabilité au sein de l'aquifère ; les seconds, orientés longitudinalement (nord-est - sud-ouest) dans la zone littorale, devaient fixer la position de la limite extrême du biseau d'eau salée .

De plus il était envisagé une campagne de sismique réfraction dans la zone de la Roque pour déterminer l'extension de la zone où les calcaires urgoniens constituent le substratum de la nappe des cailloutis de la Crau ; son

exécution était fonction des résultats de la campagne de sondages entreprise par les Ponts et chaussées pour l'étude des sols de fondation dans cette zone.

1.422 - Forages et essais hydrauliques

Le but des forages était de déterminer en un certain nombre de points la profondeur exacte du substratum de la nappe et d'étalonner ainsi les sondages électriques exécutés par ailleurs (géophysique), de fournir des données précises sur la constitution et la puissance de l'aquifère et de permettre l'exécution de divers essais (par injection et pompage), afin de mesurer la perméabilité, la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement du terrain en plusieurs points (douze forages étaient prévus totalisant 300 m environ).

L'implantation était prévue sur 2 profils transversaux, l'un, amont, à la latitude de Fanfarigoule, le second, aval, le long de la route de Fos à Arles, étudiant un tiers de la longueur totale du front de nappe.

En outre, un forage de gros diamètre entouré de piézomètres était prévu, sur lequel devait s'effectuer un essai de pompage à gros débit.

1.423 - Coordination avec le programme de reconnaissance des sols de fondation dressé par les Ponts et chaussées.

Il était prévu que certains de ces sondages seraient suffisamment poussés dans les cailloutis de la Crau pour qu'on puisse y procéder à des tests de perméabilité sommaires, à des prélèvements d'eau aux fins d'analyses, et mesurer la charge de la nappe captive.

## 1.5 - REPARTITION DES TACHES

### 1.51 - Etudes

L'étude a été effectuée en étroite collaboration entre le B. R. G. M. et la Faculté des Sciences, l'un de nous (Cl. G.) apportant, en tant que professeur de géologie appliquée de l'Université d'Aix - Marseille, sa collaboration active.

Afin que fût assurée une continuité parfaite entre les études antérieures et l'intervention du B. R. G. M., la collaboration d'un ingénieur du BURGEAP, dirigé par Monsieur ARCHAMBAULT, fût demandée pour la surveillance des travaux de forages et l'interprétation de leurs résultats.

L'essentiel du travail de documentation, d'observations, de mesures et d'enquêtes sur le terrain a été assuré par le SGR Provence-Corse du B. R. G. M. (D. S. G. R.), qui avait, en outre, la charge de la coordination générale des opérations assisté par la Direction scientifique du B. R. G. M. et notamment par le Service d'hydrogéologie du Département de géologie.

Enfin, une collaboration active s'est instaurée, dès le début, avec diverses administrations locales :

- Direction de la construction et de l'urbanisme.
- Ponts et chaussées (service hydraulique de l'arrondissement d'Arles et arrondissement maritime).
- Génie rural.
- Service des mines
- Commission d'action régionale et de coordination pour les problèmes de l'eau.

## 1.52 - Travaux de recherches

L'étude de géophysique résistivité et ultérieurement celle de sismique réfraction effectuée pour les Ponts et chaussées furent réalisée par le Département géophysique de la Direction scientifique du B. R. G. M.

Les opérations de nivellement ont été effectuées par le service de topographie du B. R. G. M.

La communication des résultats du contrôle des piézomètres effectué par l'E.D.F. a été courtoisement consentie par cet organisme. Les forages et divers essais de perméabilité ont été confiés, après le concours sur appel d'offre, à l'entreprise Solétanche, le commettant de ces travaux étant le Ministère de la construction.

Le contrôle sur place de ces travaux et l'interprétation finale de leurs résultats ont été assurés par le SGR Provence Corse. du B. R. G. M., assisté de divers collaborateurs mentionnés plus haut.

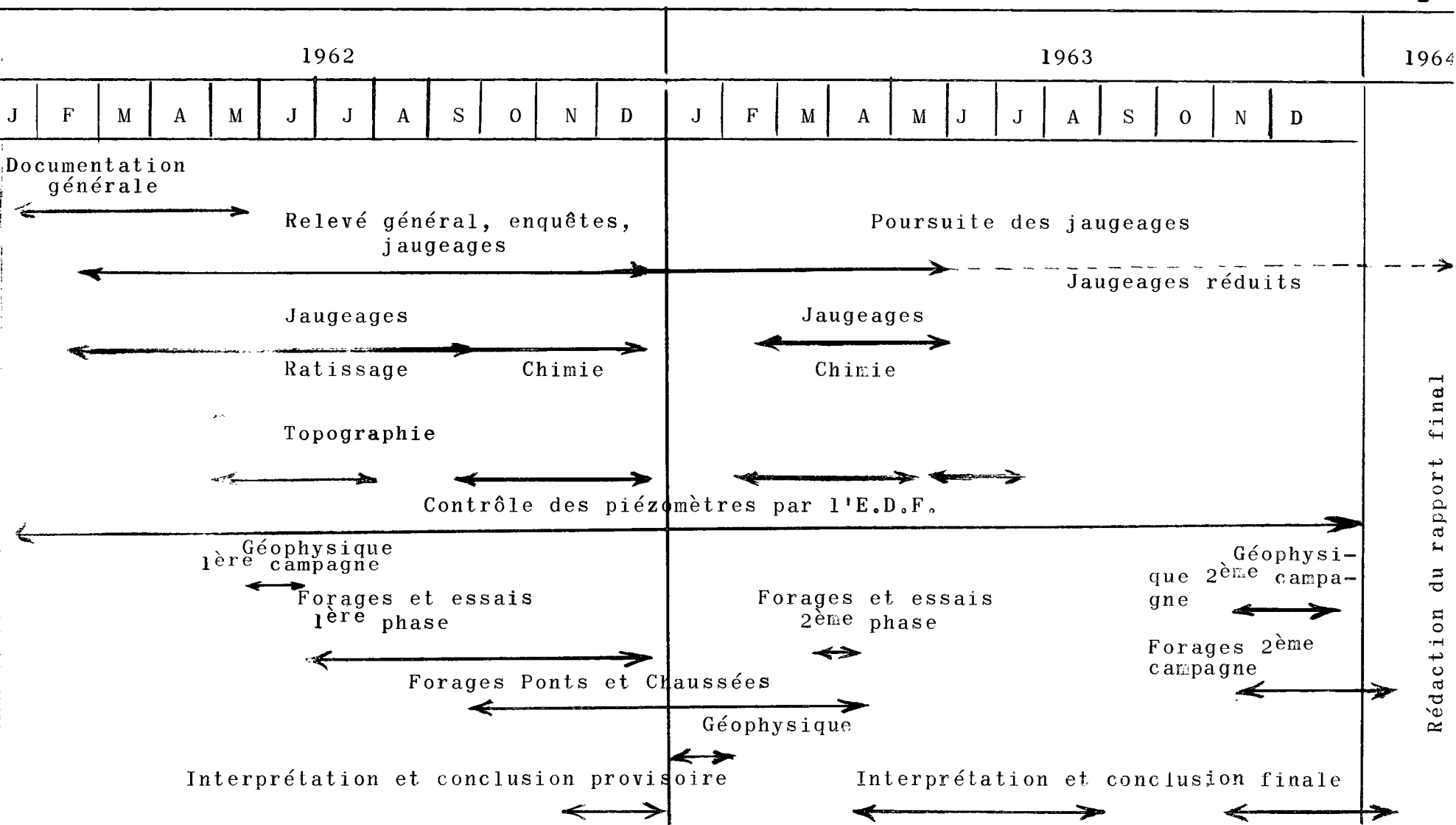
## 1.6 - DEROULEMENT DES OPERATIONS

Le programme d'étude de la nappe de la Crau, dressé par le B. R. G. M. a été envoyé au Ministère de la construction en février 1962 ; il constitue l'annexe 1 du projet de programme initial de l'inventaire des ressources hydrauliques du S. E. par C. GOUVERNET, G. CORROY, J. MARGAT - 16 février 1962. Rapport B. R. G. M. A 1958.

La nécessité étant ensuite apparue d'obtenir dans un délai assez court des données sur les possibilités en eau de la région de Fos au sens strict, une première tranche de travaux a été plus spé-



# CALENDRIER des OPERATIONS (1962 - 1963)



Rapports partiels



cialement adaptée à la reconnaissance dans cette zone ;

Le plan a fait l'objet d'un "Additif au programme d'études de la nappe de la Crau" par J. MARGAT (février 1962).

Ces deux documents ont défini le programme des études et recherches dont les résultats d'ensemble sont exposés dans le présent rapport.

Le tableau joint montre le calendrier des opérations telles qu'elles ont été réalisées.

La première campagne des forages s'est échelonnée dans le temps de façon plus importante que prévue ; d'autre part, en raison de l'indisponibilité de matériel de pompage, l'essai de débit sur le forage en grand diamètre n'a été réalisé que quatre mois après l'exécution des travaux.

Par ailleurs, les Ponts et chaussées ont été amenés à demander et à prendre à leur charge l'exécution de la campagne de géophysique<sup>(1)</sup> sismique réfraction prévue à l'origine dans le cadre de l'étude hydrogéologique.

Superficie : la région étudiée couvre environ 700 km<sup>2</sup>

#### 1.61 - Enquête et jaugeage

Deux équipes de 2 techniciens ont, en 8 mois de terrain, prospecté une surface de 667 km<sup>2</sup>, inventoriant 900 points d'eau (puits, sondages ou sources).

Dans la basse Crau et la zone des marais, 3 techniciens

---

(1) R. HORN - Ponts et chaussées Marseille - Service maritime -  
Etude sismique du secteur de l'étang de la Roque - DS 63 A 20  
20 mars 1963.

ont assuré le prélèvement et l'analyse chimique (titre hydrotimétrique, Ph, chlorures, résistivité de 300 points en 5 mois) ; 16 échantillons d'eau prélevés dans les puits ou sondages ont, par ailleurs, fait l'objet d'une analyse chimique complète.

49 jaugeages mensuels sur les canaux et exutoires de la nappe ont été effectués par une équipe de 2 techniciens (les opérations s'échelonnant sur 6 jours par mois) assurant les mesures et les calculs, pendant 17 mois ; pour assurer la continuité de l'étude dans le temps et permettre un contrôle de résultats, l'opération se poursuit sur un programme réduit.

La station de jaugeage du Galéjon a, de plus, exigé un jaugeage continu sur plusieurs jours (discontinuité du débit).

On arrive à un total de 55 mois de techniciens pour 20 mois prévus au programme, et 24 mois de véhicules-techniciens, pour 18 prévus (pour la totalité de l'étude)

#### 1.62 - Topographie

580 points ont été nivelés par chelinement sur la totalité de la superficie de la Crau par une équipe topographique (2 personnes) ayant travaillé 9 mois.

#### 1.63 - Travaux de recherches

La première campagne de géophysique résistivité a nécessité l'exécution de 160 sondages électriques répartis sur 7 profils représentant 38 kms de longueur.

Pour corroborer d'abord les données géophysiques et ensuite fournir des valeurs précises de la **perméabilité** et de l'épaisseur des alluvions, 8 sondages, dont un de gros diamètre

et 3 piézomètres ont été forés, représentant une longueur de 267 m.

Sur ces sondages, 44 essais de perméabilité ponctuels du type Lefranc et 7 essais au micromoulinet ont été effectués, et l'interprétation des essais de pompages fait à la fin de chaque ouvrage a permis d'obtenir, par ailleurs, des valeurs globales de la perméabilité. Un essai de débit à différents paliers de 75 heures a été exécuté sur le forage en grand diamètre.

Les résultats ont été consignés dans les rapports suivants :

- R. CLUSEAU. Etude géophysique de la nappe de la Crau dans la région de Fos - sur - Mer. DS 62 A 46 9 Aout 1962.
- Ph. CHARBONNIER, G. DUROZOY, Cl. GOUVERNET, J. MARGAT. Recherches hydrogéologiques dans la Crau, interprétation provisoire des résultats de la première ligne de sondages S<sub>1</sub> à S<sub>5</sub> -D. S. G. R. A 20 18 1962.
- B. DELLERY, G. DUROZOY, J. LALEYE, J. MARGAT. Etude hydrogéologique de la Crau. Essais de débit sur forage de grand diamètre. DS 63 A 72.
- Ph. CHARBONNIER, G. DUROZOY, Cl. GOUVERNET, J. MARGAT. Etude de la nappe de la Crau. Résultats de la première campagne de sondages (1962) D. S. G. R. 63 A 28. 10 Avril 1963.

Les résultats de la première campagne (géophysique et forages) ont permis d'orienter la seconde avec précision, selon

un programme soumis au Ministère de la construction en janvier 1963<sup>(1)</sup>.

Pour cette seconde campagne, la section géophysique du B. R. G. M. a exécuté 91 sondages électriques sur 13 kms de profil : la société Solétanche a effectué 11 forages représentant une longueur totale de 208 m, sur lesquels ont été effectués 24 essais Lefranc et 18 essais au micromoulinet de mesure de la perméabilité. A la fin de chaque forage ont, en outre, été faits des essais de débit ayant permis d'obtenir des valeurs de la perméabilité globale. Les résultats de la seconde campagne de travaux sont donnés en annexe de cette étude.

L'achèvement de la seconde campagne de travaux en février 1964, reporte à mars 1964 l'interprétation et la conclusion finale de l'étude.

o

o

o

---

(1) J. ARCHAMBAULT, G. DUROZOY, Cl. GOUVERNET, J. MARGAT. Etude de la nappe de la Crau - Programme de travaux complémentaires D. S. G. R. 63 A 1. 30 Janvier 1963

PREMIERE PARTIE

=====

DONNEES NATURELLES

## Chapitre 2

### DONNEES GEOGRAPHIQUES<sup>(1)</sup>

-----

#### 2.1 - INTRODUCTION

Entre la Camargue et l'étang de Berre la Crau s'étend en un vaste triangle de 500 km<sup>2</sup> environ dont les sommets sont exactement marqués par Arles, Lamanon et Fos-sur-Mer. Sur le côté nord, de Lamanon à Aureille, c'est la chaîne des Alpilles ouverte au Per-tuis de Lamanon qui la borde mais au-delà, vers le couchant, elle est limitée par une cuesta dominant la longue dépression des marais des Baux et qui se poursuit jusqu'en Arles. Le côté est est formé par les collines de Salon, Grans, Miramas, Istres et Fos ; le côté sud-ouest par le canal d'Arles à Bouc traversant de Mas-Thibert à Fos une zone allongée de marais.

#### 2.2 - DIVISIONS NATURELLES ET MORPHOLOGIE

Considérée dans son ensemble la Crau, ancien cône de dé-jection, constitue un vaste plan incliné caillouteux, s'abaissant du nord-est au sud-ouest.

En fait, on peut distinguer deux grands ensembles séparés par une ligne de partage des eaux partant du massif rocheux du signal de Mouries (altitude 96 m) au nord, en direction de la Dynamite et du bois de Lannau vers le sud-ouest, isolant à l'ouest la "Crau de Durance" centrée sur Saint Martin-de-Crau et drainée vers la

---

(1) carte orographique au 1/100 000 fig. 2.10

vaste dépression des marais de Meyranne.

A l'est s'étend la Crau proprement dite, vaste glacis se raccordant aux éboulis de piémont de la chaîne des Alpilles, vers la cote 110, d'Aureille au Pertuis de Lamanon. La pente, d'abord assez marquée (30 pour 1 000), s'adoucit progressivement au sud du canal de Craponne (de 5 à 2 pour 1 000). Des mouvements de terrain existent, mais ils sont d'amplitudes faibles, à peine décelables à la vue. Des cuvettes existent cependant, emplies par les étangs des "Aulnes"<sup>(1)</sup> et d'Entressen ; une sorte de "dorsale" à peine esquissée, séparant en deux, entre Lamanon et Entressen et au-delà, cette partie de la Crau, doit correspondre à l'axe de l'ancien cône de déjection. On ne peut cependant parler de ligne de partage des eaux.

### 2.3 - LIMITES DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE

La Crau, dans son ensemble, constitue moins un "bassin hydrographique", qu'une surface de divergence : elle n'est, en effet, parcourue que par un réseau complexe de canaux d'irrigations aucun cours d'eau naturel n'y existe. Le bassin versant dominant la plaine englobe une partie de la chaîne des Alpilles, mais les ravins qui en descendent se perdent à leur arrivée dans la plaine.

La délimitation du bassin versant topographique est d'ailleurs chose malaisée, mise à part la bordure nord, très tranchée au dessus des marais des Baux, recueillant les eaux issues des Alpilles et situés à une cote très basse (moins de 2 m, près d'Arles, à plus de 30 kms de la mer). (Fig. 5.20).

---

(1) anciennement orthographié étang Dezaumes.



Au-delà d'Aureille, vers l'est, la limite naturelle passe par les sommets des Alpilles (les Opiés, Coste-Fere, Montagne du Défends), mais une petite vallée, située au nord a été artificiellement drainée vers Eyguières (fossé Meyrol); au-delà de Lamanon le bassin versant englobe le massif de Vernegues, dominant Salon et formant la pointe nord-est du triangle. Entre Salon et Grans, la limite est indécise entre la Crau et le bassin de la Touloubre, dans une zone déprimée et très plate, parcourue par un réseau d'irrigation dense au-delà jusqu'à Miramas, la délimitation avec le bassin versant de l'étang de Berre est nette dans une région de collines; il en est de même entre Miramas et Fos, où le bassin versant de bordure n'est plus celui de l'étang de Berre mais celui du petit étang de l'Olivier. Et d'Istres à Fos, le passage est de nouveau insensible entre la plaine et la région des étangs (Lavalduc, Engrenier, Estomac), très déprimée par rapport à la Crau, le fond se trouvant à des cotes inférieures au niveau de la mer.

## 2.4 - VEGETATIONS ET CULTURES

### 2.41 - Crau

Le climat de la Crau, qui sera défini ultérieurement, est caractérisé par sa sécheresse. Le sol caillouteux est très pauvre et n'est couvert à l'état naturel que d'une végétation du type maquis, à chênes kermés abondants, lentisques, genévriers, romarins, localisée dans la partie méridionale en amont de la zone des marais.

Partout ailleurs à l'état naturel le sol n'est couvert que d'une végétation très rare et dispersée où dominent le thym et l'asphodèle, où moutons transhumants pacagent (dans "les coussous"), en hiver et au printemps, une herbe courte mais savoureuse.

Les zones irriguées sont dans leur presque totalité consacrées à la production du fourrage d'excellente qualité sur les sols limoneux, apportés par les eaux très chargées de la Durance. Des haies d'ifs ou de cyprès apportent une protection contre le mistral. Récemment s'est développée la culture des melons, s'ajoutant à celle des divers primeurs et des arbres fruitiers.

Dans la partie orientale de la Crau, où les cailloux et les galets sont plus mêlés d'argile, des cultures de céréales, peu abondantes, sont également pratiqués.

#### 2.42 - Collines de bordure

Elles sont couvertes d'une végétation méditerranéenne typique où dominent le pin, le genévrier, le romarin et le chêne kermés ; la vigne y est cultivée. Dans les dépressions et en zones irriguées est pratiquée l'arboriculture.

#### 2.43 - Zone des marais

Elle est couverte sur la bordure nord d'un très abondant manteau forestier, où domine l'aulne, et plus à l'aval, par de grandes étendues de joncs laissant peu de place aux nappes d'eau libre, (étangs du Landre et du Galéjon).

Au sud du canal d'Arles à Bouc, surtout dans la région proche du Rhône où le drainage et l'irrigation sont possibles, les sols limoneux salés voient se développer la culture du riz, mais les zones méridionales les plus proches de la mer ne sont couvertes que de maigres joncs ou de salsolacées entre lesquels s'étendent de vastes étangs salés. Les "Manades" parcourent ces zones où elles trouvent un excellent pacage.

## 2.5 - HABITANTS ET INDUSTRIES

L'habitat est développé surtout dans la bordure orientale où se trouvent les grands centres commerciaux et industriels de Salon et Miramas. L'habitat rural est quasi nul dans la partie centrale et méridionale de la Crau où n'existent que quelques mas dans les parties irriguées ; il est plus développé dans le nord et au nord-ouest ("Crau de Durance" où l'irrigation est très développée).

Dans les marais se trouvent des mas de riziculteurs et une ville, Port-Saint-Louis, créée artificiellement au débouché du Rhône dans la mer.

Les industries sont localisées sur la bordure orientale : cimenterie et cartonnerie de Fos, produits chimiques de Rassuen, poudrière de Saint-Chamas ; à proximité d'Istres se trouve l'aérodrome militaire "le Tubé", où s'effectuent les essais de prototypes civils. Miramas est un grand centre commercial, et un noeud ferroviaire important sur la grande ligne Marseille-Avignon. Les deux pôles d'attraction commerciaux sont Salon (industries de transformation de l'huile) et Arles.

Dans la partie marécageuse, proche de la mer, existent depuis très longtemps des marais salants (Salin du Relai, de Cab , de Fos). L'extraction du sel se fait encore sur de vastes étendues bien qu'elle ait périclité depuis le 1<sup>er</sup> Empire, époque où le sel était envoyé sur les salpêtrières de Saint Chamas et de Rassuen ; elle est concentrée aujourd'hui sur quelques grandes exploitations qui alimentent les usines chimiques de la région.

## Chapitre 3

### GEOLOGIE

-----

#### 3.1 - CADRE GEOLOGIQUE

---

Les dépôts récents qui constituent la plaine de la Crau s'étendent entre les calcaires crétacés de la chaîne des Alpilles au nord, les reliefs de Vernegues au nord-est, les collines gréseuses miocènes de Grans et d'Istres à l'est, et les limons du delta du Rhône au sud-ouest, (fig. 3.10 et 3.11)

Les cailloutis de Crau représentent le terme ultime de comblement d'une zone déprimée au sud du chaînon des Alpilles, soulevée lors de l'orogénèse pyrénéenne, au début du Tertiaire. L'ampleur du soulèvement des chaînes provençales, de direction générale est-ouest diminuant très généralement d'est en ouest des Maures au Rhône, les plis formés à la même époque, plus au sud (Chaînon de Saint - Chamas - La Fare et de la Nerthe), s'ennoient de façon marquée vers l'ouest sous la Crau actuelle. Dès cette époque est déjà dessiné le cadre géologique dans lequel s'inscriront ultérieurement les mouvements d'avancée et de recul de la mer, qui dans cette zone déprimée feront alterner dépôts marins et continentaux.

L'histoire de ces transgressions et régressions successives, entre lesquelles se placent les phases orogéniques, ayant façonnées le relief actuel de la Provence, est exposée dans l'annexe 6 : Histoire géologique de la Crau.

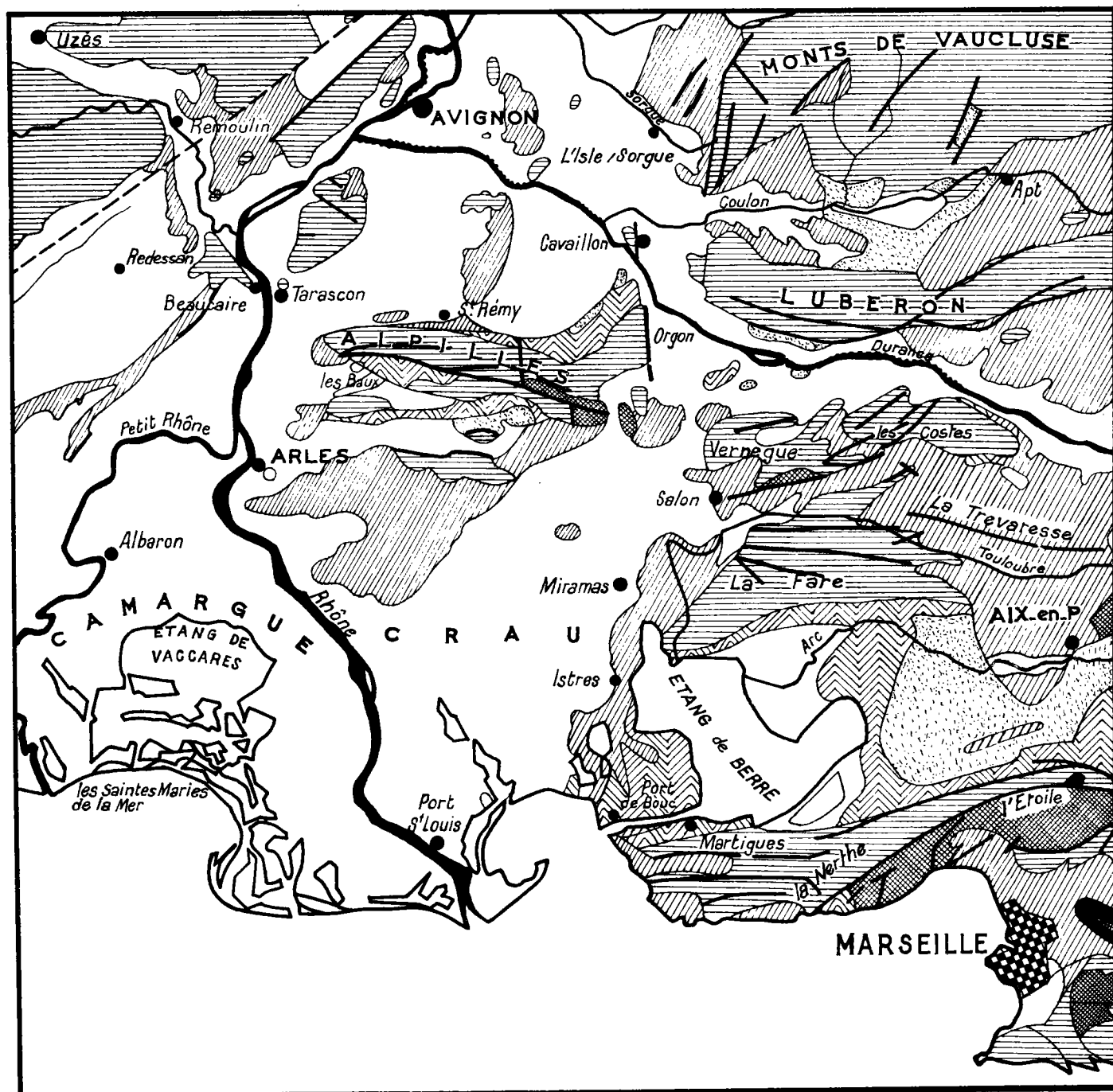
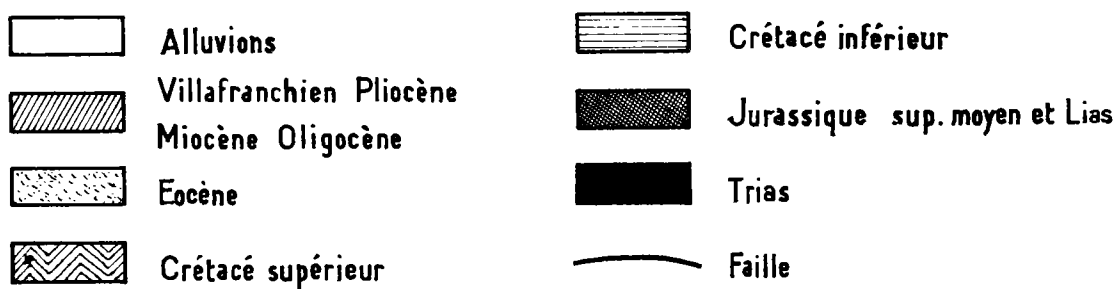


Fig. 3.10  
CADRE GÉOLOGIQUE

Echelle 1/500.000



### 3.2 - STRATIGRAPHIE

#### 3.21 - Echelle stratigraphique

Les terrains affleurant sur le pourtour de la Crau sont en résumé les suivants (de bas en haut) :

- Jurassique supérieur (Alpilles et massif du signal de Mouriès)  
Dolomies et calcaires gris.
- Crétacé inférieur  
Berriasien - Valanginien (Alpilles et signal de Mouriès)  
Calcaires noduleux gris et marnes jaunes.  
Hauterivien (Alpilles) ; Marno-calcaires.  
Barrémien inférieur, calcaire marneux et calcarénites.  
Barrémien supérieur, Urgonien (Alpilles et butte de la Roque).  
Calcaires blancs subrécifaux épais (plus de 400 m).
- Crétacé supérieur - Eocène inférieur  
(Bordure des Alpilles au nord des marais des Baux) ; série fluviolacustre.  
Campanien (Fuvelien et Valdonnien) : calcaires bruns et argiles rougeâtres.  
Maestrichtien (Bégudien) : marnes grises et bancs de calcaires gris.  
Danien supérieur : calcaire de Rognac, reposant sur un horizon argilo-sableux ou gréseux.  
Montien (Vitrollien) : brèches.  
Lutétien : calcaires blancs
- Miocène (voir coupe détaillée (Fig. 3.22))  
Burdigalien : grès très argileux et calcaires lumachelliques.  
Helvetien : sables argileux ("schlier"), sables et grès fins (safre), molasse rousse, marnes épaisses (schlier) puis alternance de molasses et de marnes.  
Tortonien : calcaires lumachelliques et intercalations de grès sableux.

### 3.22 - Miocène

Le Miocène forme les collines de la bordure orientale de la Crau, d'Istres à Salon, et constitue le substratum de la plus grande partie de la Crau ; il affleure sur toute la bordure nord, interrompu seulement entre Eyguières et Aureille et au sud de Mouriès (massif crétacé du signal de Mouriès), et apparaît sous la couverture quaternaire en de nombreux points, au nord d'Entressen (Crau d'Eyguières). Il a été recoupé par les sondages de la partie sud de la Crau, (Fig. 3.322 et 3.323).

### 3.23 - Pliocène

Pliocène inférieur marin : il n'affleure que de façon très restreinte (marnes grises près d'Eyguières), mais il a été recoupé par un sondage de - 38 à - 130, à l'usine de la Dynamite au sud de Saint-Martin-de-Crau<sup>(1)</sup>. Par contre, le sondage pétrolier de Mas de Gonon au sud de la Crau ne l'a pas recoupé. Le sondage 8 bis de la 2ème campagne de sondages de reconnaissance au nord-ouest de l'aérodrome d'Istres l'a rencontré à - 11 m<sup>(2)</sup>.

Pliocène moyen (Astien) : à l'étang des Aulnes (ou "Clar Dezau-mes"), les poudingues forment les berges de la rive ; du côté sud-est ils affleurent au-dessous des limons jaunâtres, sableux : le sondage effectué à 2.500 km au nord-ouest, à la Dynamite<sup>(1)</sup> a traversé en-dessous, des graviers argileux (5m), des argiles sableuses (15 m), des argiles rouges ou noires (15 m), des argiles sableuses (10m), avant de rencontrer le Pliocène marin.

---

(1) n° B.R.G.M. 983 - 6 - 80bis

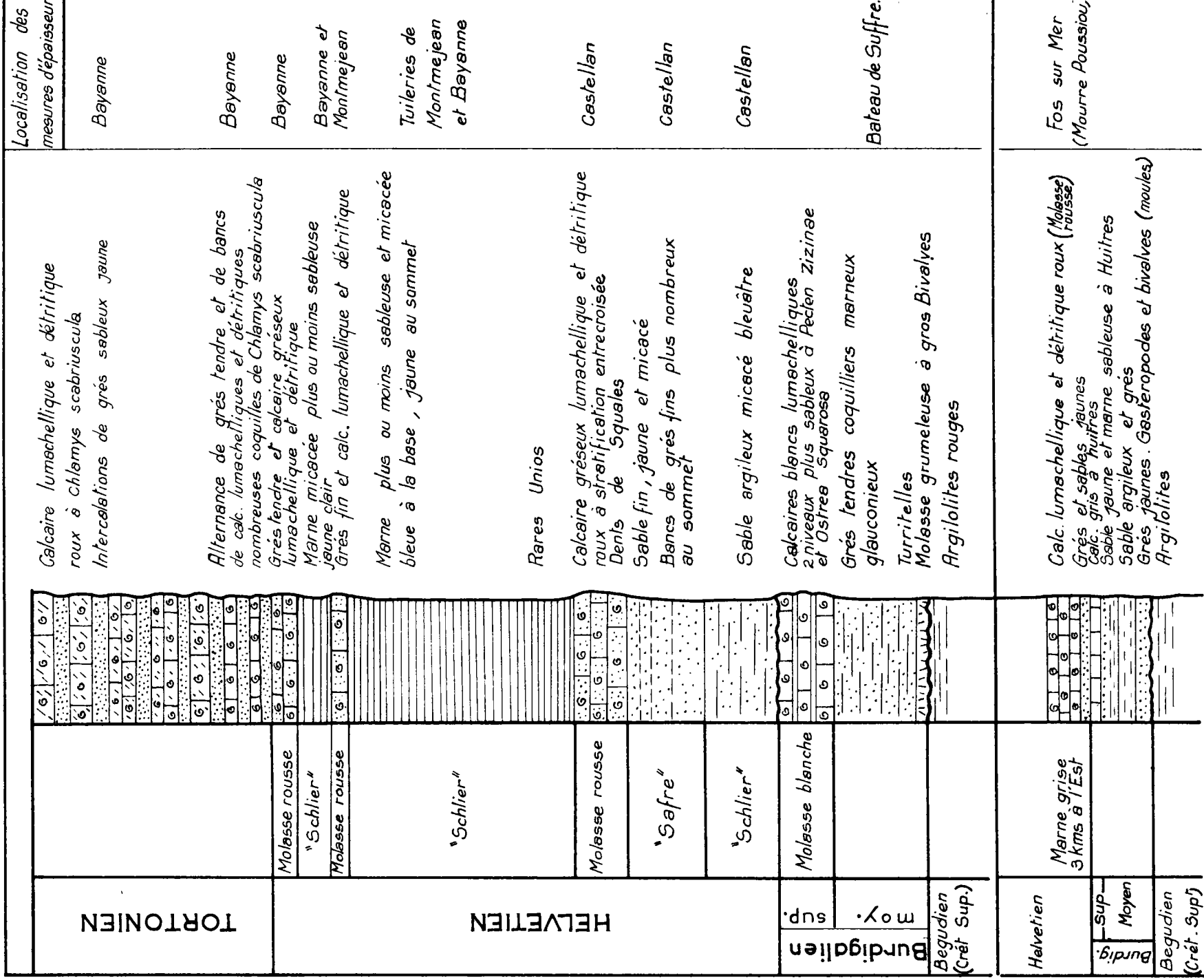
(2) " 1019 - 3 - 81bis

Fig.322

Miocène de la bordure sud-orientale  
de la CRAU

Coupe stratigraphique

Echelle : [ 10m



Echelle 0 10m



De même, à l'étang d'Entressen, on retrouve sur la berge nord-est, sous les cailloutis à éléments calcaires, des limons argileux rougeâtres à concrétions blanches.

A Eyguières, les termes marno-sableux inférieurs manquent ; des poudingues à éléments calcaires dominants, et des marnes sableuses discordants sur le Miocène, affleurent de façon continue sur la bordure septentrionale de la Crau.

### 3.24 - Quaternaire

#### 3.241 - Villafranchien

Aux conglomérats à éléments calcaires, sur la bordure nord de la Crau, sont superposés des cailloutis et galets à éléments en grande majorité quartzitiques ; ils constituent la Crau d'Arles (ou "Crau de Durance") et la Crau d'Eyguières au nord du canal de Craponne.

Ils sont souvent cimentés en poudingues. En surface, les galets sont disséminés dans une argile rougeâtre qui proviendrait de l'altération des galets calcaires et cristallins.

#### 3.242 - Quaternaire récent

Les cailloutis et conglomérats de Miramas ou "Grande Crau" sont aussi à éléments dominant de quartzites, mais comprennent aussi des roches métamorphiques, du granite, des roches éruptives (variolites) des calcaires secondaires ; ancien dépôt de la Durance arrivant par le seuil de Lamanon, ils s'étalent en

cône aplati de pente régulière, pour s'enfoncer à l'aval de la ligne des marais, sous les dépôts récents limoneux du delta du Rhône, (Alluvions récentes).

Ils sont également souvent cimentés, à des profondeurs variables, mais surtout en surface, par du carbonate de chaux déposé par les eaux de circulation.

L'épaisseur du Quaternaire est, en général, voisine d'une quinzaine de mètres, mais peut atteindre quarante mètres, notamment le long de la bordure orientale entre Istres et Fos.

La granulométrie est très hétérogène : le diamètre des galets, en général bien roulés, varie de quelques centimètres à plusieurs décimètres, le plus fréquent étant voisin du décimètre. Ces galets sont mêlés de graviers et de sable. L'observation des ballastières (ouvertes surtout dans la partie orientale) et les coupes des sondages (sud de la Crau quaternaire) montrent que les sables et graviers forment souvent des lentilles épaisses, plus fréquentes à la partie inférieure, dans la zone de plus grande épaisseur de la région de Fos.

### 3.3 - STRUCTURE DE LA CRAU(1)

#### 3.31 - Structure profonde

Le substratum profond est constitué par le Crétacé, structuré par la phase orogénique pyrénéenne à peine reprise par les mouvements alpins.

Dans le cadre structural de la Crau, ce Crétacé occu-

---

(1) Voir coupes générales fig. 3.300, 3.301, 3.302

pe une place prépondérante dans trois dispositifs plissés orientés sensiblement est-ouest qui sont, du nord au sud : les Alpilles, le chaînon de Vernegues et la Nerthe. Le chaînon de Vernegues se poursuit sous la Crau. Les anticlinaux sont souvent complexes et affectés de replis que met en évidence la structure de Mouriès, (voir coupe fig.3.303), sur la bordure nord de notre région.

Des failles NW - SE, datant de la fin de l'orogénèse alpine, affectent également des rides anticlinales ; l'une est vraisemblablement responsable de la disparition de l'anticlinal de la Nerthe, sous le golfe de Fos. Les sondages pétroliers d'Arles ont montré que l'une d'elles passait à l'est de la ville, une autre sépare le chaînon de Vernegues, arasé, et le dispositif plissé du substratum de la Crau en position affaissée.

La ride anticlinale de la Fare se poursuit vers l'ouest vers Istres ; l'affleurement urgonien de la Roque semble devoir lui être rattaché plutôt qu'à celle de la Nerthe (cf. fig. 3.304)

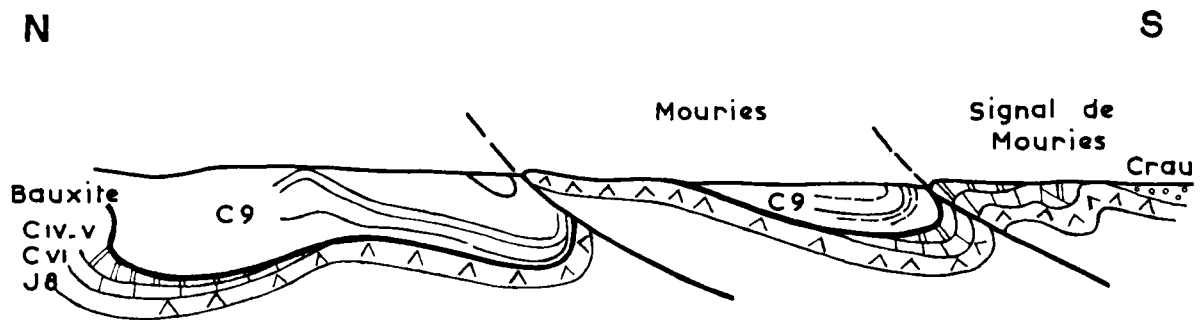
Le Miocène a été peu affecté par la phase orogénique alpine ; des collines d'Istres il plonge régulièrement et, avec un très faible pendage nord-ouest, sous la Crau (fig.3.302) pour reparaître sur la bordure nord ; une ondulation anticlinale peu marquée l'affecte dans la région nord d'Entressen où l'on voit réaffleurer l'Helvétien sous la couverture récente.

Des failles NE - SW, décrites plus haut, l'affectent mais avec des rejets faibles à l'ouest d'Istres et

# Structure de la région de Mouries

Bordure N de la Crau

d'après M. GIROD



Echelle des longueurs: 1/50.000

Fig. 3.30.3

de Fos, ainsi que l'ont montré les sondages récemment effectués. Dans les collines de Salon, le Miocène, soumis à d'importantes forces de compression, s'est plissé. On note même un dispositif en écaille à Saint - Norbert<sup>(1)</sup>.

L'érosion antepliocène a profondément creusé le substratum crétacé et miocène dans la partie ouest de la Crau en un fossé vraisemblablement étroit dans la région de Meyranne, Saint - Martin, Eyguières, Salon, envahi ensuite par la mer pliocène déposant des marnes qui constituent dans cette zone le substratum des cailloutis de Crau<sup>(2)</sup>.

Le Pliocène moyen présente une pente de dépôt régulière, qui paraît avoir été affectée par un léger exhaussement dans les régions des étangs d'Entressen et des Aulnes.

### 3.32 - Le Substratum des cailloutis de Crau

Le substratum des cailloutis de Crau n'est connu que par certains affleurements et par une série de sondages localisés en certains secteurs (col de Lamanon et sud de l'aérodrome d'Istres).

#### 3.321 - Affleurements

Dans la partie de la Crau comprise entre Entressen et Eyguières, le Tortonien affleure fréquemment, l'épaisseur des alluvions est dans ce secteur assez réduite.

- 
- (1) Cl. GOUVERNET. Le Miocène de la région de Salon - 1963  
(2) Ce fossé résulte aussi d'une inversion de relief d'origine tectonique (affaissement de la Crau où ne s'est pas déposé le Burdigalien ; soulèvement des Alpilles).

Le Pliocène (Astien : marnes rouges ou jaunes, plus ou moins sableuses, localement à galets) affleure sur les berges sud et nord de l'étang d'Entressen et sur la rive sud de l'étang des Aulnes (voir chap. 3 23).

3.322 - Sondages (cf. carte fig. 5.11)

- Secteur nord

Au col de Lamanon, l'E.D.F. a fait exécuter 12 sondages<sup>(1)</sup> qui ont rencontré sous des épaisseurs d'alluvions importantes (26 m au seuil même) le substratum constitué soit par le Tortonien (molasse rousse), soit par l'Helvétien (molasse gréseuse et grès glauconieux).

Les sondages exécutés plus au Sud (région de St-Tropez) n'ont montré que quelques mètres de cailloutis au-dessus d'une argile sableuse micacée, probablement miocène, (un sondage de 50 m à Richebois et un de 75,80 m à Curebourse<sup>(2)</sup>).

- Secteur sud-ouest

Le sondage de la Dynamite, au nord de l'étang des Aulnes, a montré l'existence du Pliocène continental puis du Pliocène marin sous les cailloutis très épais (le Pliocène affleure à l'étang des Aulnes). Il en a été de même du sondage de Mas d'Icard (5,60 m de cailloutis) n° 1019. 2. 45. Les sondages (E.D.F. et C.E.P.) de Mas de Gonon, n°s 1019. 3. 66 et 1019. 3. 67, ont donné aussi l'épaisseur des cailloutis quaternaires

---

(1) N° B. R. G. M. 994. 1. 66 à 71 et 75  
(2) N° B. R. G. M. 994. 1. 76 et 77

(22 m) au dessus de l'Helvétien.

- Secteur sud-est

La zone sud-est est la seule où le substratum des cailloutis soit bien connu à la suite des campagnes de sondages et de la prospection électrique que le Ministère de la construction a fait exécuter en 1962 et 1963. Les résultats de ces sondages ont fait l'objet de plusieurs rapports du B. R. G. M.<sup>(1)</sup>

Dans une première tranche de travaux, 4 profils géophysiques parallèles à la route de Fos à Arles ont été exécutés entre celle-ci et l'aérodrome d'Istres, dont l'un suivant l'axe de cette route (cf. fig.3.321). Sur ce dernier, 5 sondages mécaniques ont été exécutés et 2 autres plus au Nord. Ces sondages ont traversé les alluvions et rencontré le substratum constitué soit par le Burdigalien, soit par l'Helvétien, (fig.3.322 et 3.323).

Au cours d'une seconde tranche de travaux, le profil géophysique le long de la route de Fos à Arles a été poursuivi vers le nord-ouest et 5 sondages mécaniques ont été exécutés le long de ce tracé (voir carte fig. 3.321).

En outre, 2 courts profils géophysiques ont été effectués au nord-ouest de l'aérodrome, sur une zone à fort gradient de la surface piézométrique; 5 forages mécaniques ont été exécutés sur ces 2 profils, (fig. 3.324).

---

(1) Voir liste des documents consultés

Tous les sondages, le long de la route de Fos à Arles, ont rencontré l'Astien sous les cailloutis de la Crau. Par contre, 2 sondages (8 et 8 bis)<sup>(1)</sup> du profil court, situé le plus près de l'aérodrome, ont rencontré le Plaisancien sous une faible épaisseur de cailloutis puis d'Astien. Ceux du profil court, situé plus au nord-ouest (bergerie du Petit Carton), peu profonds, sont restés dans l'Astien sous les cailloutis peu épais. Ces sondages 8 et 8 bis se situent vers l'extrémité est de l'ancien golfe plaisancien, ouvert à l'ouest; (plus à l'est et au sud aucun sondage ne l'a mis en évidence, il est possible également qu'il ait été déblayé par une érosion postérieure).

L'interprétation des données de la campagne géophysique et des sondages permet de dresser une carte du substratum des cailloutis : celle-ci met en évidence l'existence, dans le sud-est de la Crau, d'un réseau hydrographique ancien drainé vers le sud : en un thalweg étroit et profond, orienté nord-sud (fig. 3.32). L'ébauche de ce réseau hydrographique date du Pontien, mais les mouvements alpins ont modifié sa physionomie ; de cette époque datent, en effet, les accidents nord-sud dont l'interprétation des données des sondages et de la géophysique conduit à admettre l'existence (cf. coupes fig. 3.325 - 3.326). Ces accidents ont pu rejouer postérieurement ; leur tracé est reporté sur la figure 3.32) : on voit qu'ils coïncident avec les bordures du thalweg étroit mis en évidence dans le substratum.

---

(1) N° B. R. G. M. : 1019. 3. 81 & 1019. 3. 81 bis -



A la limite de la zone des marais ( zone des émergences), un sondage, effectué par la Société Esso<sup>(1)</sup> à proximité de la fontaine de Guigue, a rencontré, à 35,5 m au voisinage de l'axe de ce ~~thalweg~~ <sup>thalweg</sup>, le substratum (grès et molasses du Burdigalien moyen jusqu'à 40,60 m, puis Crétacé supérieur argileux).

A l'aval des zones d'émergences aucun sondage n'a traversé l'épaisseur des cailloutis, mais l'interprétation des profils géophysiques, exécutés pour l'étude du biseau salé, permet de suivre la base des cailloutis jusqu'au voisinage du canal d'Arles à Port de Bouc, (cf. fig. 7.40).

Au delà, le substratum réapparaît au milieu des limons récents recouvrant les cailloutis de Crau, au pointement isolé de calcaires urgoniens de la Roque. L'étendue sous les alluvions de ce pointement calcaire a été étudiée par sismique par le Service des Ponts et chaussées. Les résultats de ces études seront examinés au chapitre 7.

o

o

o

---

(1) N° 1019. 7. 40

## Chapitre 4

### CLIMATOLOGIE

-----

#### 4.1 - CLIMAT

L' O. N. M. a installé en Crau 8 stations météorologiques (voir fig. 4.10), dont malheureusement certaines ne donnent que des renseignements fragmentaires. Cependant les indications fournies par les stations dont nous possédons les relevés depuis plusieurs années, jointes aux données antérieures procurées par J. SANSON<sup>(1)</sup>, sont amplement suffisantes pour la détermination des caractéristiques du climat de la Crau, étant donné surtout l'absence de reliefs pouvant contribuer à créer des différenciations météorologiques locales appréciables. Ce climat auquel est soumise la plaine de Crau est essentiellement méditerranéen avec influence marquée d'un vent dominant.

#### 4.2 - VENTS

Ce vent dominant, "le Mistral",<sup>(2)</sup> souffle dans la Crau du NW NNW. Le faible relief des Alpilles ne constitue pas un écran pour lui ; descendant des reliefs alpins par le couloir du Rhône il assèche les terres obligeant en été, pendant les périodes d'irrigation, à un plus grand apport d'eau ; glacial et violent en hiver il abaisse considérablement la température.

---

(1) Recueil des données statistiques relatives à la climatologie de la France par J. SANSON : édition 1945 (mémorial de la météorologie nationale).

(2) Du provençal "Mestro": celui qui commande.

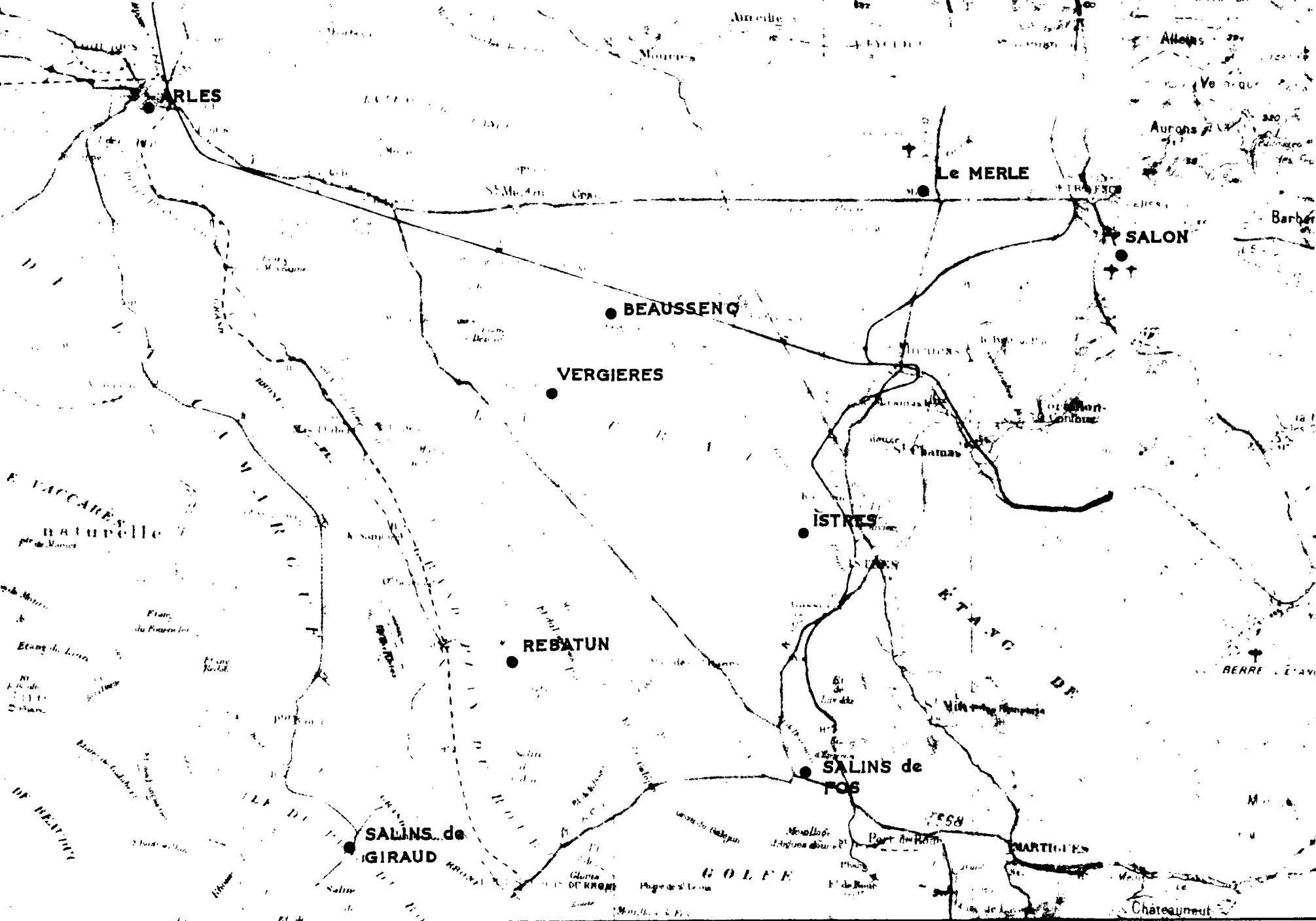


Fig. 4.10  
POSITION DES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Echelle 1 / 200 000

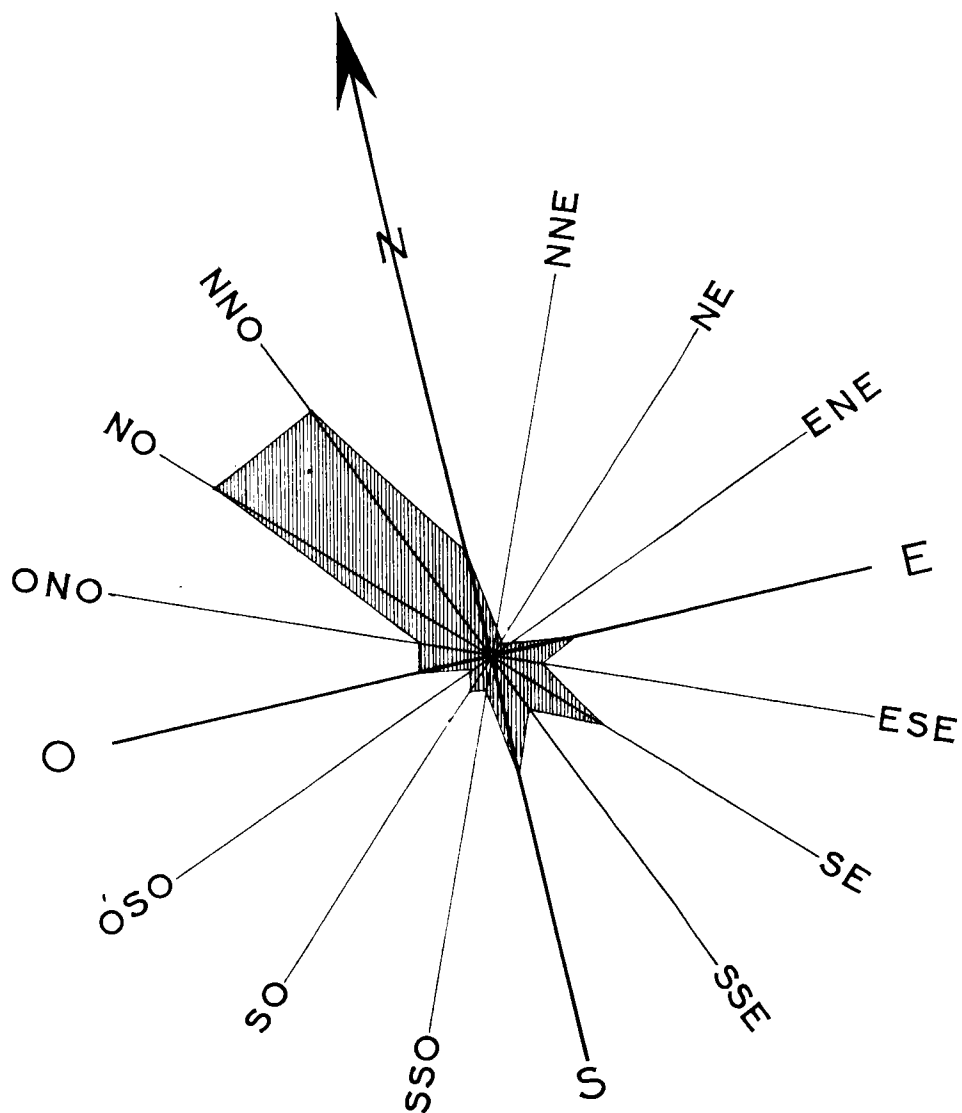


Fig. 4.20

FRÉQUENCE EN DIRECTION DES VENTS  
DE VITESSE SUPÉRIEURE A 2 m/Sec.

Moyenne pour 1000 observations Station d'ISTRES

Les vents du sud-est et du sud, chargés de pluies, soufflent le plus souvent en automne et sont moins fréquents. Les vents d'ouest sont rares.

Le graphique de la figure 4.20 représente la fréquence en direction du vent pour une vitesse supérieure à 2 m/s, moyenne pour 1 000 observations à la station d'Istres.

#### 4.3 - PLUIES

##### 4.31 - Hauteur moyenne annuelle

Elle est pour la période de 1891 à 1930 de 505 m/m à Istres, de 606 à Arles, et de 535 à Salin de Giraud.

Pour la période de 1952 à 1961, les chiffres sont les suivants : 466, 747, 548. Ces stations sont périphériques ; la hauteur moyenne annuelle pour l'ensemble de la Crau peut être estimée à 550 m/m. Les indications concernant le régime des pluies ont été groupées dans les tableaux suivants.

##### 4.32 - Régime annuel des pluies : répartition du nombre de jours de pluies (fig. 4.32 et tableau A) observé pendant 4 années, moyennes annuelles (voir tableau B) pour une période de 10 ans et pour une période plus longue (40 ans - 1891 à 1930); classement des précipitations par intensité (tableau A).

Ces données permettent de définir le régime annuel des pluies de façon satisfaisante. Celui-ci se caractérise en Crau par 4 périodes (fig. 4 32). Une saison très pluvieuse de septembre à décembre, interrompue par une période relativement sèche (février), une nouvelle saison pluvieuse correspondant au début du printemps (mars et avril) à laquelle succède une saison sèche ayant son maximum en juillet.



Fig. 4.32

Moyennes mensuelles du nombre de jours de pluie

## REPARTITION MOYENNE DES JOURS DE PLUIE PAR INTENSITE A ISTRES

TABLEAU A

ANNEES	INTENSITE	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	1 TRIMESTRE	2 TRIMESTRE	3 TRIMESTRE	4 TRIMESTRE	TOTAL
1959	< 1 mm	5		3	2	2	1	0	2	5	2			8	5	7	2	22
	de 1 à 5 mm		1	5	1				3	2	1	2	4	6	1	5	7	19
	5 à 10 mm		1	3	3	2			1	2	1		1	4	5	3		14
	> 10 mm			1	2	2	1	0	2	3	3	5	5	1	5	5	13	24
79																		
1960	< 1 mm	2		2	1			2	1	4		3	4	4	1	7	7	19
	de 1 à 5 mm	3	4	5	1	1	4	1	1	1	4	4	7	12	6	3	15	36
	5 à 10 mm	3		2				1		3	1		3	5		4	4	13
	> 10 mm		1	4					4	3	5	3	2	5		7	10	22
90																		
1961	< 1 mm	2			1	2	2		1	1	3	2	3	2	5	2	8	17
	de 1 à 5 mm	8	1		1	3	1		1		5	4	5	9	5	1	14	29
	5 à 10 mm					1		1			1	3	1	0	1	1	5	7
	> 10 mm				5	2	1		1	2	3	5	1	0	8	3	9	20
73																		
1962	< 1 mm	1		4	2	4	1		1	2	1		3	5	7	3	4	19
	de 1 à 5 mm	5	3	3	1	2	1		1	2	4	1	5	11	4	3	10	28
	5 à 10 mm			1	3		3				1	2	1	1	6		4	11
	> 10 mm		2		1					2	2	5	1	2	1	2	8	13
71																		
TOTAL		29	13	33	24	21	15	5	19	32	37	39	46	75	60	56	122	Moyenne
MOYENNE		7	3,5	8	6	5	3,7	1	4,7	8	9	9,8	11					par an " 78

TABLEAU B

## PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES PERIODES 1952 - 1961

en m/m mois  
(\* 1891 - 1930)

STATIONS	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	ANNEE
MAS THIBERT	39,63	27,90	38,09	44,60	36,00	32,10	14,70	33,10	57,80	75,50	77,30	62,10	538,82
ISTRES	32,33	30,80	41,75	45,83	39,45	40,39	15,33	35,09	58,82	79,15	64,32	75,40	466,2
*	31,00	34,00	45,00	41,00	40,00	27,00	19,00	30,00	51,00	80,00	63,00	44,00	505,-
SAINT MARTIN de CRAU <sup>(1)</sup>	35,53	31,00	31,66	38,33	35,33	40,60	12,10	38,10	53,30	75,50	79,20	63,70	534,35
SALIN de GIRAUD	42,80	21,70	42,60	42,80	40,10	31,20	16,10	33,80	65,60	79,50	69,30	63,10	548,60
BERRE	34,90	36,30	33,20	50,10	34,80	34,90	13,60	33,60	67,30	78,70	63,80	76,20	557,60
ARLES	44,80	40,20	59,90	51,90	48,48	55,70	21,00	50,40	104,2	102,1	94,70	74,00	747,38
*	37,00	34,00	55,00	51,00	60,00	36,00	25,00	43,00	58,00	84,00	75,00	48,00	606,00
SALON	33,00	38,00	40,00	52,00	37,00	46,00	20,00	39,00	83,00	77,00	61,00	66,00	592,00
SALIN de GIRAUD (1888 - 1961)	39,83	30,04	46,41	40,97	41,89	22,85	13,75	29,36	57,22	80,40	69,99	63,04	535,75

(1) Observations manquantes les 5 premiers mois de 1954 -



Maximum ; décembre,  
Maximum relatif ; mars,  
Minimum ; juillet.

Le volume d'eau tombé entre septembre et décembre est le plus grand et atteint à lui seul à peu près la moitié du volume total annuel.

Les pluies tombées entre mars et avril représentent 1/5 environ du volume annuel.

#### 4.33 - Régime interannuel des pluies

A l'irrégularité du régime annuel vient s'ajouter celle du régime interannuel. Si nous comparons l'année 1962 de l'étude (fig. 4.33), avec les moyennes pluviométriques relevées entre 1952 et 1961, et entre 1891 et 1930, nous voyons que l'année 1962 se présente comme une année très sèche. La comparaison avec les résultats depuis 1948 fait également ressortir ce fait (voir fig.4.34); on voit également que les totaux annuels de pluies tombées peuvent varier du simple au double. On peut considérer que la moyenne de 350 mm de pluies annuelles tombées est le minimum enregistré.

L'écart relatif moyen interannuel<sup>(1)</sup> est de 1,02 (voir fig. 4 35). La variabilité annuelle<sup>(2)</sup> moyenne est de 1,06.

- 
- (1) Moyenne arithmétique des écarts des totaux annuels par rapport à la moyenne annuelle prise pour unité; ici 505 m/m
- (2) Moyenne arithmétique des différences entre les totaux annuels successifs.

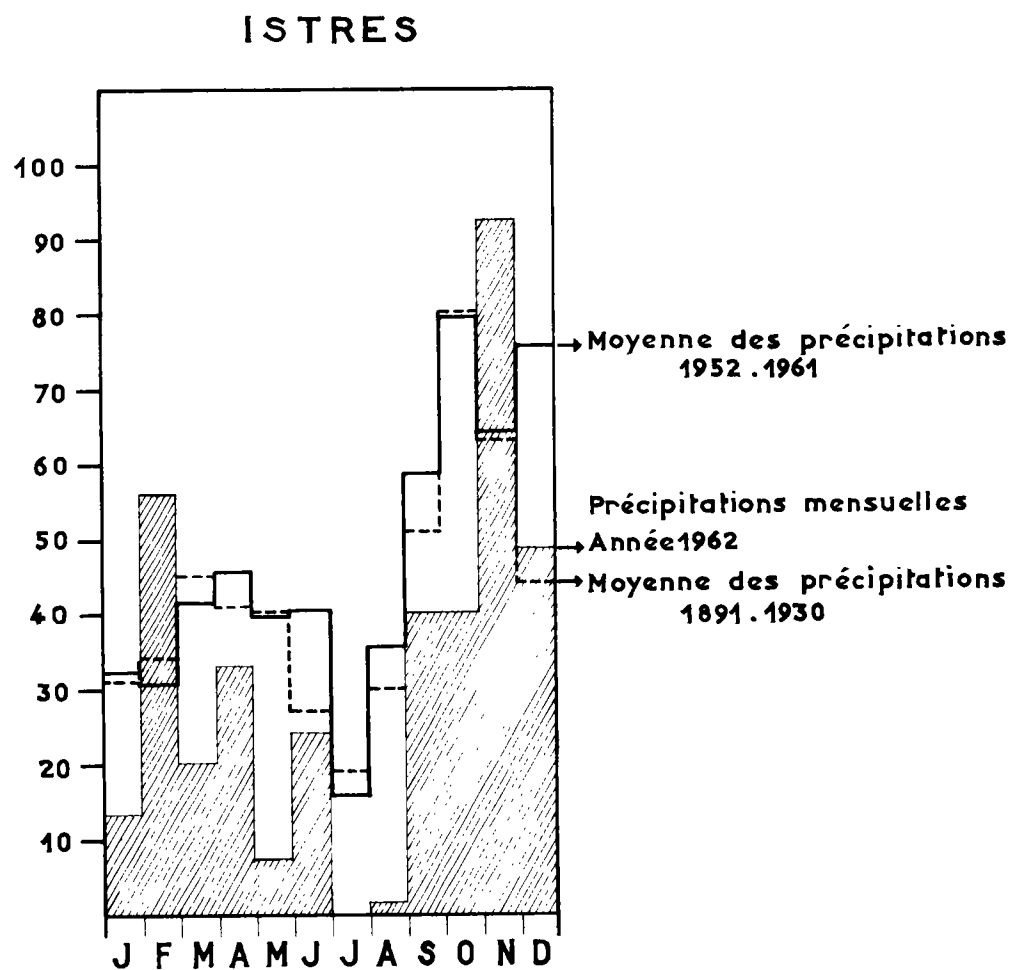


Fig. 4.33

Comparaisons graphiques  
entre le régime mensuel des pluies (année 1962)  
et les moyennes pluri-annuelles (station d'ISTRES)

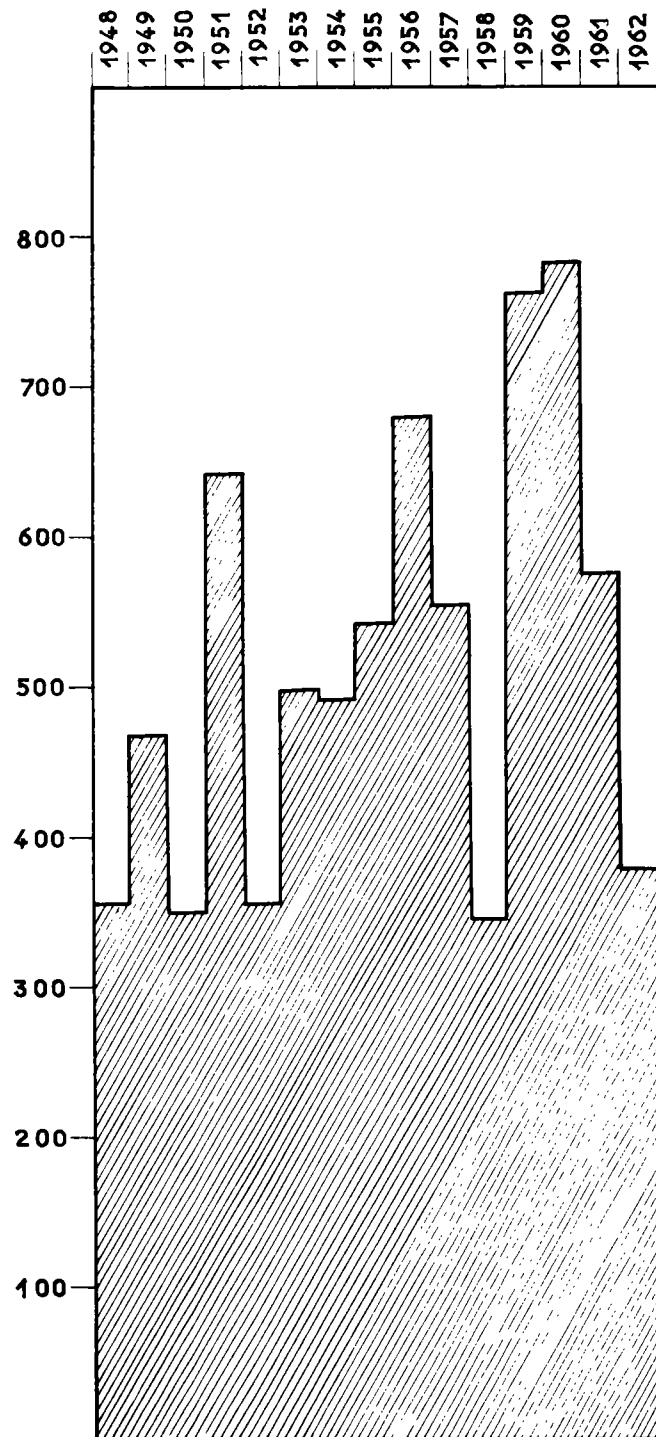


Fig . 434

Hauteur des précipitations annuelles relevées à la station d'ISTRES  
Période 1948.1962

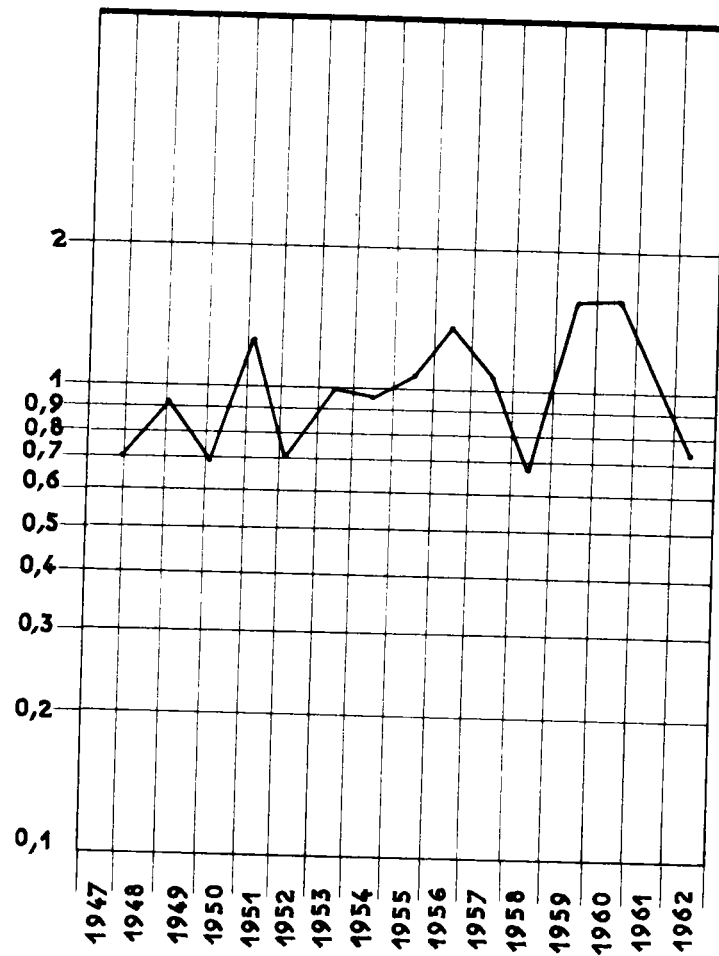


Fig.4.35

Ecartés relatifs  
Précipitations d'ISTRES

En s'en tenant à une interprétation prudente des faits exposés, on remarque que pour les 15 dernières années écoulées les années 1959 et 1960 ont été les plus pluvieuses.

Les années 1950 et 1958 sont les années les plus sèches. Ce phénomène constaté à la station d'Istres (fig. 1.3.5) est un phénomène général constaté par les autres stations de Crau : les écarts positifs par rapport à la moyenne annuelle sont moins nombreux que les écarts négatifs : ces écarts ont, cependant, une valeur identique qu'ils soient positifs ou négatifs.

Il est impossible, vu le nombre d'années observées, de parler de périodicité dans les variations interannuelles, bien que la recherche de périodicité puisse s'appuyer sur le rapport de variabilité moyenne sur l'écart, ici :  $\frac{1,06}{1,02}$  dit coefficient de GOUTEREAU. Ce rapport doit être voisin de  $\sqrt{2}$  (1,414), si aucune périodicité n'est décelable dans les variations interannuelles au cours de la période considérée. Or, ici ce n'est pas le cas puisque ce rapport voisine 1.

Le volume des pluies qui tombent sur la Crau ne contribue que partiellement à l'alimentation du sous-sol, sauf dans le cas de fortes pluies prolongées.

Le rôle de l'évaporation est, en effet, important, l'irrigation doit obligatoirement compenser le "déficit de précipitations".

Nombre total de jours d'orage et de grêle

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Orage	1	5	7	7	20	17	14	20	27	10	12	7	147
Grêle	1	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1	6

#### 4.4 - TEMPERATURE

Selon les relevés de températures effectués par la S.M.M.A. la moyenne en Crau est de  $14,71^{\circ}$ , ceci pour une période de 4 ans. Cette valeur est supérieure à la moyenne constatée par SANSON, pour la période de 1891 - 1930, qui est de  $14^{\circ},30$ .

Les valeurs observées sont données dans le tableau joint : entre les 6 stations la température est à peu près uniforme. On remarquera seulement que le mois de juillet est le plus chaud de l'année, que le mois de décembre est relativement plus froid que le mois de janvier, que l'écart absolu entre les températures hivernales et les températures estivales est de  $16$  à  $17^{\circ}$ , en moyenne. (voir fig 4.40)

#### 4.5 - HYGROMETRIE

Le tableau joint donne les moyennes mensuelles des minima et des maxima hygrométriques à Istres.

On voit que les minima (moyennes) vont de  $30$  (juillet) à  $57$  (janvier) et les maxima (moyennes) de  $76$  (juin) à  $95$  (novembre).

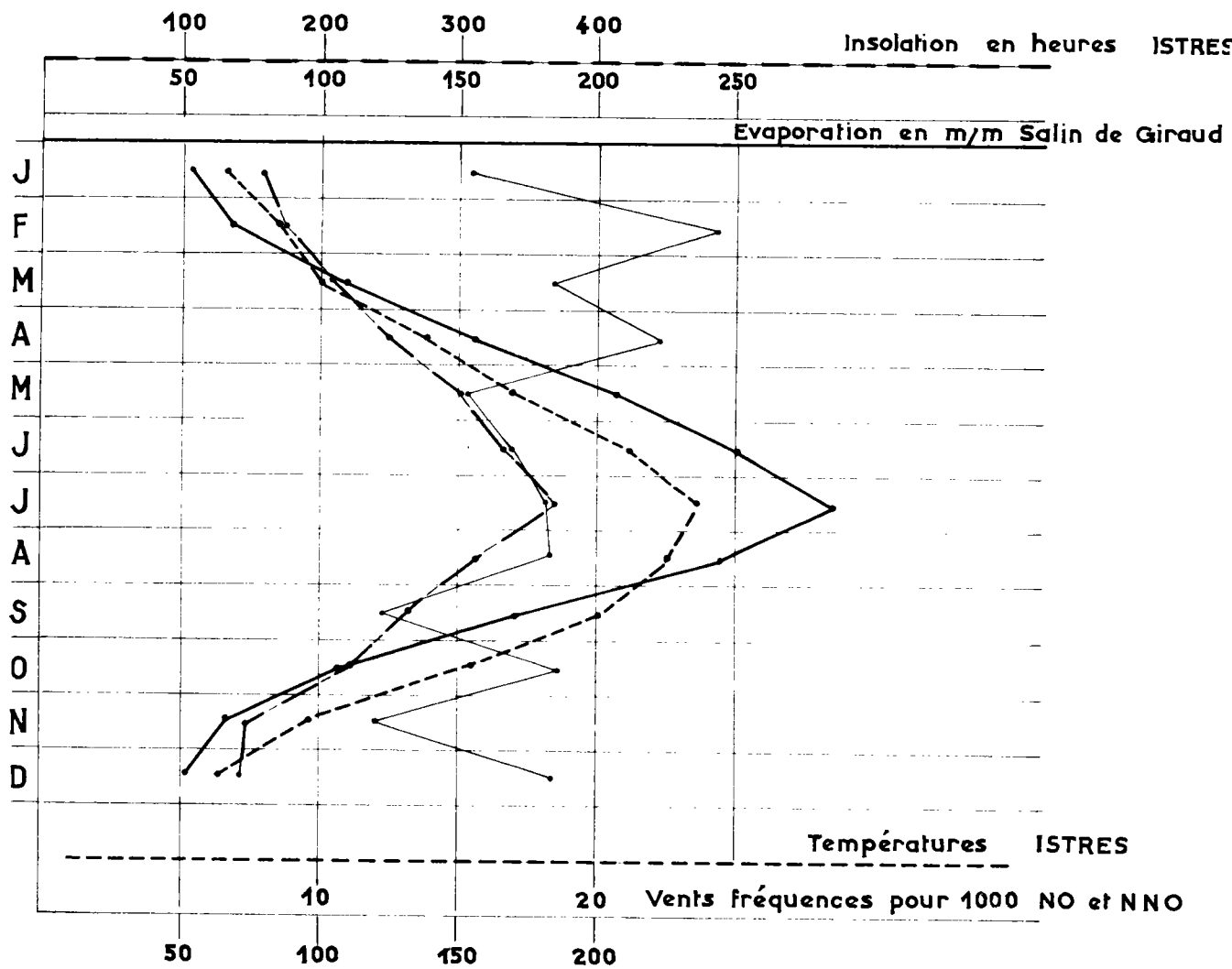


Fig.440

INSOLATION . EVAPORATION . TEMPERATURES

DIAGRAMME DES VALEURS MENSUELLES

## TEMPERATURES en O° - MOYENNES MENSUELLES

Période 1959 - 1962

\* 1891 - 1930

STATIONS	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	ANNEE
ARLES	5,82	8,06	11,06	14,09	17,07	21,40	24,74	23,87	20,30	14,84	8,99	5,47	14,64
* (1)	6,00	7,2	9,60	13,-	17,-	20,70	23,5	24,1	19,7	14,9	10,-	6,90	14,30
PORT - SAINT- LOUIS	6,20	8,68	10,-	13,83	17,06	25,-	22,13	22,44	19,05	15,15	9,52	5,97	14,58
PORT de BGUC	6,78	9,27	11,19	14,23	17,88	22,14	23,91	22,80	20,35	15,54	10,16	6,83	14,58
MARTIGUES PHARE COURONNE	8,31	10,26	13,12	14,55	17,52	21,67	22,66	22,17	20,02	16,33	11,35	8,10	15,09
SALIN de GIRAUD	7,16	9,10	10,79	13,82	16,79	21,13	23,87	22,29	20,40	16,03	11,15	6,45	14,91
ISTRES	6,90	8,70	10,15	14,-	17,-	21,26	23,64	22,83	20,05	15,53	9,98	6,57	14,71
* (2)	6,50	7,70	10,-	13,30	16,70	20,50	22,40	22,40	19,10	14,90	10,50	7,70	14,30

(1) Observations manquantes les 6 premiers mois de 1959

(2) Observations manquantes les 4 premiers mois de 1959 -



TEMPERATURES à ISTRES

( 1891 - 1930 )

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
Moyenne Mensuelle Maxima	9,6	11,1	13,9	17,6	21,4	25,2	27,5	27,3	23,4	18,6	13,9	10,6	18,3
Température jour- nalière - Minima	3,4	4,1	6,1	9,1	12,1	15,8	17,3	17,5	14,8	11,2	7,1	4,8	10,3

Les minima absolus sont en juin, juillet, août ; quelque-fois en mai ou septembre ( et il faut voir là l'influence du Mistral) et oscillent au cours de ces mois de 13 à 27.

#### 4.6 - INSOLATION

La durée moyenne d'insolation ( en heures) est la suivante à Istres (période 1926 - 1935).(Voir également fig. 4 40)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
160	175	213	257	304	336	372	318	269	224	149	146	2. 923

Cet ensoleillement est important ; il n'est dépassé que par Toulon (3. 017). A titre de comparaison Paris compte 1.782 heures d'ensoleillement.

Nombre moyen de jours de brouillard

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	8

(Monaco 0 : 3 jours en 10 ans ; Antibes 1)

(Ajaccio 2 ; Le Bourget 71)

#### 4.7 - EVAPORATION

##### Mesures directes -

Nous disposons, en ce qui concerne l'évaporation mesurée directement, des observations effectuées à Salin de Giraud les résultats en sont donnés dans le tableau joint. Sur 74 années, l'évaporation efficace moyenne (évaporation totale moins la pluie), est de 1 251,06 m/m. (Voir également fig. 4.40).

COUTAGNE A., de MARTONNE E.<sup>(1)</sup> donnent pour la même station un chiffre différent (1.453), pour une moyenne de 16 années (1888 - 1904) ; ils fournissent également des valeurs de l'évaporation pour la station d'Arles (cf. tableau joint).

Les valeurs annuelles moyennes, trouvées par ces deux stations, assez voisines géographiquement l'une de l'autre, sont assez différentes (1.453 pour Salin de Giraud ; 1 050 pour Arles), et ceci paraît tenir surtout aux différences des techniques de mesure : à Salin de Giraud la mesure est faite sur un réservoir de 1 m<sup>2</sup> de superficie, et 0,40 m de profondeur, et, en Arles, sur un bassin de 9 m<sup>2</sup>. Les valeurs inférieures paraissent plus voisines de la réalité.

Le graphique joint (fig. 4.40) montre les relations évidentes existant entre l'évaporation, l'insolation et la température. Par contre l'influence du Mistral (vents du nord-ouest et nord-nord-ouest) est moins évidente ; cela tient à ce qu'il est assez uniformément réparti sur toute l'année, l'influence de la température devient alors prépondérante.

---

(1) A. COUTAGNE, E. de MARTONNE - Association Internationale d'Hydrologie scientifique - Bull. N° 20 - 1934 ; p. 97 à 106 -

# EVAPORATION à SALIN de GIRAUD et à ARLES

(d'après A. COUTAGNE & E. de MARTONNE)

STATIONS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
SALIN de GIRAUD	24	42	82	132	186	223	258	214	144	82	40	26	1 453
ARLES	30	40	70	80	120	140	180	150	100	70	40	30	1 050

#### 4.8 - EVAPOTRANSPIRATION

L'évaporation mesurée en surface libre équivaut à l'évapotranspiration potentielle d'un sol, c'est-à-dire à la quantité d'eau qui serait évaporée et transpirée si les réserves en eau étaient suffisantes pour compenser toutes les pertes.

L'évaporation réelle d'un sol ou évapotranspiration réelle est fonction de l'alimentation en eau, donc des précipitations et de la température.

Diverses méthodes de calcul ont été proposées pour évaluer les hauteurs de l'évapotranspiration potentielle ou réelle, à partir de paramètres climatiques simples (hauteur de pluie, température, etc...). Les formules proposées ont toutes un caractère partiellement empirique. Aussi, doit-on considérer les résultats des calculs suivants comme indicatifs : ce sont seulement des ordres de grandeurs, dont la précision est bien en-deçà de celle des valeurs des précipitations par exemple.

##### 4.81 - Formule de Thornthwaite<sup>(1)</sup>

La méthode de Thornthwaite se base sur la température pour calculer l'évapotranspiration potentielle, puis dresse des bilans mensuels pour évaluer l'évapotranspiration réelle, moyennant des hypothèses simplificatrices assez arbitraires. Cette méthode est conçue essentiellement pour classer et comparer les climats.

---

(1) C. W. Thornthwaite. An approach toward a rational classification of climate. Géogr. Review 1948 - p. 55 - 94

Evapotranspiration potentielle

$$E_p = 1,6 \left( 10 - \frac{T}{I} \right) \alpha$$

I = Somme des indices mensuels

$$i = \left( \frac{T}{5} \right) 1,514$$

T = Température moyenne du mois considéré.

$$\alpha = 0,49239 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3$$

Pour l'application de la formule de Thorntwaite, nous avons utilisé une méthode graphique (tableau abaque) établie par F. JOLY<sup>(1)</sup>. Les résultats sont consignés dans les tableaux joints.

#### 4.82 - Formule de Turc

La méthode de Turc se propose un but plus pratique : celui d'évaluer les besoins en eau des plantes, d'après le "déficit des précipitations". Une formule permet de calculer l'évapotranspiration potentielle d'après la température et la radiation globale moyenne.<sup>(2)</sup> Une autre, basée sur la statistique d'un grand nombre de résultats de bilans hydrauliques de surface, propose une valeur de l'évapotranspiration réelle, d'après la température et la hauteur de pluie.

Evapotranspiration réelle

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

P = Hauteur de précipitation annuelle en millimètres.

- 
- (1) JOLY F. Note sur le calcul des indices de Thornthwaite. Rabat 1959. Institut scientifique chérifien. Notes marocaines n° 11 & 12
- (2) Des cartes mensuelles établies pour la France par le Centre de recherches et d'expérimentation du Génie Rural (Bulletin technique du G. R. N° 60), on tire E = 1387 mm en Crau

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

T = Température moyenne annuelle de l'air, en degrés

Le facteur L doit être calculé en fonction d'une valeur corrigée de la température définie par l'égalité

$$t_p = \frac{\sum P_i t_i}{\sum P_i}$$

P<sub>i</sub> et t<sub>i</sub> représentant les valeurs de la précipitation et de la température pour chaque mois de l'année.

On a aussi

$$t_p = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + \dots + P_{12} t_{12}}{P_1 + P_2 + \dots + P_{12}}$$

Les calculs ont été effectués à partir des mêmes éléments (précipitation et température) que pour la formule de Thornthwaite.

ISTRES

$$t_p = \frac{7\,810,9}{466} = 16,35$$

$$L = 300 + 25 \cdot 16,3 + 0,05 \cdot (16,3)^3 = 924$$

$$Er = \frac{466}{\sqrt{0,9 + \frac{(466)^2}{(924)^2}}} = \frac{466}{\sqrt{1,14}} = 435,5 \neq 435$$

ARLES

$$t_p = \frac{10\,577}{747} = 14,2$$

$$L = 300 + 25 \cdot 14,2 + 0,05 (14,2)^3 = 793,75$$

$$Er = \frac{747}{\sqrt{0,9 + \frac{(742)^2}{(793,75)^2}}} = \frac{747}{\sqrt{1,75}} = 565,12 \neq 565$$

THORNEMAITTE - ISTRES

-----

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
Température t°	6,9	8,7	10,15	14,00	17,00	21,26	23,68	22,34	20,01	15,34	10,50	7,36	
Précipitation en cm	3,23	3,08	4,17	4,58	3,94	4,03	1,53	3,50	5,88	7,91	6,43	7,54	moyenne 14,77 55,82
Indice chaleur i	1,63	2,31	2,92	4,75	6,38	8,94	10,54	9,65	8,17	5,46	3,08	1,78	I 65,61
Evapot. potent. app.e	1,12	1,71	2,22	4,2	5,9	8,8	10,4	9,5	8,-	4,8	2,4	1,23	
Coefficient	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77	
Evapot. potentielle réelle (cm)	0,92	1,40	2,26	4,59	7,43	11,26	13,41	11,40	8,32	4,56	1,94	0,94	E 68,43
Bilan hydrique b = p - e	2,31	1,68	1,91	0	- 3,49	- 7,23	-11,88	- 7,90	-2,44	+ 3,35	4,49	6,60	B -12,60
Variation + Retention du sol V	0	0	0	0	- 3,49	- 6,51	0	0	0	3,35	4,49	2,16	
Retention	10	10	10	10	6,51	0	0	0	0	3,35	7,84	10	
Déficit et surplus b - v d				0	0	0,72	11,88	7,90	2,44	0	0	0	D 22,94
s	2,31	1,68	1,91	0	0	0	0	0	0	0	0	4,44	S 10,34
Evaporation réelle e' = e - d	0,92	1,40	2,26	4,59	7,43	10,54	+ 1,53	+ 3,50	5,88	4,56	1,94	0,94	é 45,49 cm
Ruissellement $r = \frac{s + r \text{ mois préc.}}{2}$	2,26	1,97	1,94	0,97	0,48	0,24	0,12	0,06	0,03	0,01	0,01	2,22	R 10,31 cm



THORNTHWAITE - ARLES

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
Température t°	5,82	8,06	11,06	14,09	17,07	21,40	24,16	22,94	19,61	14,58	9,52	6,10	
Précipitation en cm	4,48	4,02	5,99	5,19	4,88	5,57	2,10	5,04	10,42	10,21	9,47	7,40	P 74,71
Indice de chaleur i	1,26	2,06	3,32	4,80	6,42	9,04	10,86	10,05	7,91	5,06	2,65	1,35	I 64,78
Evapotransp. approch.	1,36	2,22	3,5	5,08	6,9	9,7	10,4	11,-	8,6	5,4	2,86	1,46	
Coefficient	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77	
Evapo. Potentielle réelle en cm	1,10	1,82	3,57	5,68	8,69	12,41	13,41	13,2	8,94	5,13	2,31	1,12	E 77,38
Bilan hydrique b = p - e	3,38	2,20	2,42	- 0,49	- 3,81	- 6,84	- 11,31	- 8,16	+ 1,48	5,08	7,16	6,28	B - 2,61
Variation retention du sol V	0	0	0	- 0,49	- 3,81	- 5,7	0	0	+ 1,48	+ 5,08	+ 3,44	0	
Rétention en cm	10	10	10	9,51	5,7	0	0	0	1,48	6,56	10	10	
Déficit et surplus d b - v s	0 3,38	0 2,20	0 2,42	0 0	0 0	11,14 0	11,31 0	8,16 0	0 0	0 0	3,72	6,28	D 20,61 S 18,00
Evaporation réelle e' = c - d	1,10	1,82	3,57	5,68	8,69	11,27	2,10	5,04	8,94	5,13	2,31	1,12	E' 56,77
Ruissellement s+r mois préc.	3,54	2,87	2,64	1,32	0,6	0,3	0,1	0,1	0	0	1,86	3,70	R 17,05

PORT - SAINT - LOUIS

$$t_p = \frac{7\,568}{538,6} = 14,27$$

$$L = 300 + 25 \cdot 14,27 + 0,05 (14,27)^3 = 801,9$$

$$E_r = \frac{538,6}{\sqrt{0,9 + \frac{(538,6)^2}{(801,9)^2}}} = \frac{538,6}{\sqrt{1,33}} = 505,2 \neq 505$$

SALIN de GIRAUD

$$t_p = \frac{7\,894,5}{548,5} = 14,2$$

$$L = 300 + 25 \cdot 14,2 + 0,05 (14,2)^3 = 798$$

$$E_r = \frac{548,5}{\sqrt{0,9 + \frac{(548,5)^2}{(798)^2}}} = \frac{548,5}{\sqrt{1,34}} = 504,36 \neq 504$$

Le tableau joint synthétise les résultats. (p 77)

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielle calculée par les méthodes de Thornthwaite et de Turc sont très différentes, cette dernière donnant une valeur double, proche de la valeur de l'évaporation en surface libre, ce qui incite à penser que la méthode de Thornthwaite sous-estime dans le cas présent l'évapotranspiration potentielle.

Par contre, il apparaît que les valeurs de l'évapotranspiration réelle calculée par la formule de Turc ou celle de Thornthwaite sont assez voisines.

Le bilan hydrique est d'autre part, toujours déficitaire, aussi apparaît la nécessité de l'irrigation.

THORNTHWAITE - PORT - SAINT - LOUIS

-----

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		ANNEE
Température t°	6,20	8,68	10,00	18,83	17,06	25,00	22,05	22,08	18,87	15,03	9,96	6,65		
Précipitation en cm	3,96	2,79	3,80	4,46	3,60	3,21	1,47	3,31	5,78	7,55	7,73	6,21	moyenne 4,48	P 53,86
Indice de chaleur i	1,39	2,27	2,86	7,43	6,41	11,44	9,46	9,47	7,45	5,29	2,84	1,54		I 67,85
Evapot. approch. potentielle e	1,35	2,35	2,9	7,80	6,80	12,50	10,05	10,05	7,82	5,6	2,9	1,55		
Coefficient	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77		
Evapotr. potent. réel- le en cm	1,09	1,95	2,95	8,73	8,56	16	12,97	12,06	8,13	5,32	2,34	1,19		E 81,29
Bilan hydrique b = p - c	2,87	0,84	0,85	- 4,27	- 4,96	-12,79	-11,50	- 8,75	- 2,35	2,23	5,39	5,02		B = 27,42
Variation retention du sol v	0	0	0	- 4,27	- 4,96	- 0,17	0	0	0	2,23	5,39	2,38		
Retention	10	10	10	5,73	0,77	0	0	0	0	2,23	7,62	10		
Déficit et surplus b - v d				0	0	12,02	11,50	8,75	2,35	0	0			B = S - D = - 27,42
s	2,87	0,84	0,85	0	0	0						2,64		D = 34,62 S = 7,20
Evaporation réelle e' = e - d	1,09	1,95	2,95	8,73	8,56	3,82	1,47	3,31	5,78	5,32	2,34	1,19		E' = 46,51
Ruissellement $r = \frac{s + r \text{ du mois préc.}}{2}$	2,09	1,46	1,15	0,60	0,30	0,1	0,1					1,32		R = 7,12

THORNTONWAITE - SALIN de GIRAUD

-----

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
Température t°	7,16	9,10	10,79	13,82	16,79	21,13	23,67	21,75	20,39	15,96	12,03	7,41	
Précipitation en cm	4,28	2,17	4,26	4,28	4,-	3,12	1,61	3,38	6,56	7,95	6,93	6,31	P 54,85
Indice chaleur i	1,72	2,48	3,21	4,66	6,26	8,87	10,51	9,26	8,40	5,79	3,77	1,81	I 66,74
Evap. potent. appr. e	1,75	2,57	3,35	4,90	6,60	9,50	10,80	9,80	9,-	6,10	4,-	1,90	E 79,26
Correction lat	0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77	
Evapotransp. poten. e	1,41	2,10	3,41	5,48	8,97	12,16	13,93	11,76	9,36	5,79	3,24	1,45	
Bilan hydrique b = p - e	2,87	0,07	+ 0,85	- 1,20	- 4,37	- 9,24	-12,32	- 8,30	- 2,80	+ 2,16	+ 3,69	+ 4,85	B - 24,42
Variation retention du sol V	0	0	0	- 1,20	- 4,97	- 3,83	0	0	0	+ 2,16	+ 3,69	+ 4,15	
Retention cm	10	10	10	8,80	3,83	0	0	0	0	2,16	5,85	10,-	
( b - v) Déficit d	0	0	0	0	0	5,41	12,32	8,38	2,80	0	0	0	D 28,91
Surplus s	2,87	0,07	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,70	S 4,49 B = D - S = 24,42
Evaporation réelle e' = e - d	1,41	2,10	3,41	5,48	8,97	6,75	1,61	3,38	6,56	5,79	3,24	1,45	E' 50,15
Russell. $\frac{s+r \text{ mois préc.}}{2}$	1,61	0,84	0,84	0,42	0,21	0,105	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,35	R 4,49

- VALEUR de L'EVAPORATION -

	ISTRES	PORT-SAINT - LOUIS	ARLES	SALIN de GIRAUD
Evapotranspiration Réelle (Thornthwaite)	454	465	567	501
(Turc)	435	504	565	504
Evapotranspiration Poten- tielle				
Thornthwaite	684	812	773	792
Turc (1)	1 387			
Evaporation en surface libre (période de 74 ans)				1 251
D'après COUTAGNE et DE MARTONNE (période de 16 ans)			1 050	1 453
Bilan hydrique ( = P - Ep ) Thornthwaite	- 126	- 274	- 261	- 247
Ruissellement pour les mois à bilan positif Thornthwaite	103	71	170	44

(1) - Durée d'insolation mesurée seulement à Istres

## Chapitre 5

## HYDROLOGIE DE SURFACE

-----

5.1 - CONDITIONS HYDROLOGIQUES NATURELLES DE SURFACE5.11 - Limite des bassins versants

Nous dénommerons ici "Bassin de la Crau", l'ensemble de la plaine de Crau (au sens morphologique : Crau quaternaire et Crau villafranchienne) et des bassins versants périphériques qui la dominent, au nord et à l'est.

Les limites topographiques de cet ensemble ont été sommairement fixées au chapitre 1. Nous les précisons ici (Cf. fig. 5.11, 2.10 et 3.11).

Au nord, à partir d'Arles, la limite suit la cuesta dominant les marais des Baux ; jusqu'au bois de la Taulière cette limite suit sensiblement la base des cailloutis villafranchiens et au-delà la crête des calcaires secondaires du massif du signal de Mouriès, jusqu'au point culminant, pour suivre à nouveau jusqu'à Aureille la base des cailloutis villafranchiens dominant la dépression de Mouriès.

Au delà d'Aureille, la limite remonte dans le massif des Alpilles, pour englober le petit bassin versant du Valat Meyrol, qui a été artificiellement drainé vers Eyguières, pour rejoindre la crête miocène de la montagne du Défends et le seuil de Lamanon, ainsi sont englobés les massifs jurassiques des Opiés et de la Coste-Fère.

Au delà du seuil de Lamanon, le bassin de la Crau

englobe une grande partie du massif de Vernegues (Urgonien et Miocène transgressif).

A l'est de la crête, entre Vernegues et Salon, les eaux s'écoulent vers la dépression de Pélissanne et la Touloubre. Entre Salon et Grans, la délimitation entre la Crau et le bassin versant de la Touloubre est imprécise dans une plaine sub-horizontale (cailloutis de Crau), parcourue par un réseau dense de canaux d'irrigations ; la ligne de partage des eaux superficielles s'écarte assez peu de la route Salon-Miramas, jusqu'au coude de la Touloubre (Canebière). Entre ce point et Miramas, cette ligne suit approximativement le contact cailloutis de Crau molasse miocène ; à l'est, les eaux s'écoulent vers l'étang de Berre (dépression de Saint-Chamas).

Entre Miramas et le Mas de Grand Bayanne, la limite topographique de la Crau déborde assez largement sur les affleurements miocènes dans lesquels s'insère le bassin versant formé de l'étang de l'Olivier (non compris dans le bassin de Crau).

Dans la région de l'aérodrome Istres-le-Tubé, la limite est de nouveau au sein des cailloutis de Crau laissant à l'est le bassin versant fermé de l'étang de Lavalduc, presque entièrement situé dans la molasse miocène, mais dont la partie nord est cependant constituée des cailloutis de Crau, dans lesquels est entaillé le ravin de Fanfarigoule, ancien exutoire de la nappe de Crau maintenant arrêtée par un barrage.

Dans la région des Carabins, la limite entre la

Crau et la dépression fermée de l'Estomac se situe un peu à l'est du contact cailloutis de Crau - molasse burdigalienne - pour suivre ensuite, jusqu'à la butte de Fos-sur-Mer, la route d'Arles.

Au sud-ouest, le bassin de la Crau n'a pas de limite topographique naturelle, puisque la plaine de Crau se continue, du point de vue morphologique, par la plaine du delta du Rhône, très basse et sub-horizontale. Nous avons défini conventionnellement la limite du bassin par le canal d'Arles à Port-de-Bouc, qui constitue l'ultime drain collectant les eaux de surface ou d'émergence issues de la Crau. Les marais sont donc inclus dans le bassin défini ici.

Ainsi délimité, ce bassin englobe la plus grande partie de la Crau proprement dite, Crau villafranchienne et Crau quaternaire, à l'exception de quelques secteurs de la région de Grans, entre Grans et Salon, et entre Istres et Fanfarigoule, compris dans le bassin versant de Lavalduc.

Il comprend, de plus, sur sa bordure septentrionale des bassins versants montagneux : massif d'Opiés entièrement calcaire (Jurassique et Crétacé inférieur) culminant à 493 m, massif du Défends (molasse miocène), massif de Vernegues culminant à 310 m et où affleurent calcaires urgoniens et molasse miocène.

Au sud de Miramas quelques kilomètres carrés de bassins versants sont constitués d'affleurements miocènes.



BASSIN DE LA CRAU  
(Superficies)

Plaine de Crau (partie comprise dans le bassin)	514 km <sup>2</sup>
Zone des marais et étang (d'aval et de Meyranne)	64 km <sup>2</sup>
Bassins versants périphériques des massifs des Opiés, du Défends et de Vernegues, Collines miocènes au sud de Miramas, et massif du Signal de Mouriès.	64 km <sup>2</sup>
TOTAL	642 km <sup>2</sup>

5.12 - Ruissellement de surface

D'une façon générale, la Crau, immense cône de déjection à très faible pente générale (3/1000 entre Entressen et le canal d'Arles à Port-de-Bouc), est très perméable. Le ruissellement est pratiquement nul. L'eau s'infiltré très rapidement dans les cailloutis. Lors de précipitations abondantes des mares temporaires se forment, puis s'évaporent ou s'infiltrant en quelques jours ou quelques heures.

Un ruissellement notable n'existe que sur la bor-

ture nord dans les massifs des Opiés et de Vernegues à relief élevé.

Les terrains étant par ailleurs en majorité calcaires et très perméables, ce ruissellement n'existe que lors de précipitations orageuses abondantes ; il est absorbé à son arrivée dans la plaine. Il en est de même pour la montagne du Défends. Sur les affleurements miocènes restreints de la bordure orientale le ruissellement est également réduit.

#### 5.13 - Etangs intérieurs

Des dépressions existent vers lesquelles convergent les eaux de ruissellement des bordures : ce sont, d'une part, la vaste dépression des marais de Meyranne, d'autre part, celles plus réduites d'Entressen et des Aulnes. Elles ont pour caractéristiques communes de voir le pliocène (Astien), beaucoup moins perméable que les cailloutis de Crau, affleurer sur leur bordure (marnes ou argiles sableuses grises ou rougeâtres).

Du fait de sa cote très basse (+ 2), la dépression de Meyranne draine la nappe de la Crau circulant dans les cailloutis villafranchiens. Se trouvant à des cotes plus élevées les étangs des Aulnes et d'Entressen ne sont alimentés que par les ruissellements superficiels et les collatures de la nappe de la Crau.

Un caractère particulier de l'étang d'Entressen est d'être utilisé comme réservoir d'eau sur le système d'irrigation de Crau.

#### 5.14 - Marais et étangs d'aval et de Meyranne

Ils constituent une bande allongée, de Mas Thibert au nord-ouest à Fos-sur-Mer au sud-est, sur 22 km, et d'une largeur moyenne de 2,5 km, à une cote générale très basse (entre 0,1 et 0,5 m). Ils constituent l'exutoire normal de la nappe de la Crau ; des émergences de fort débit ( $> 1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ou "laurons" y sont localisés. Ils reçoivent, en outre, les colmatures des irrigations. Ils sont parcourus du nord-ouest au sud-est par des longs canaux de drainage (canal de colmatage, et canal du Viguerat), débouchant dans le canal de navigation d'Arles à Port-de-Bouc, qui peut être considéré comme un drain général (étangs de Landre et du Galéjon).

Ces marais sont, en général, recouverts d'une végétation abondante de joncs ou d'aulnes, des étendues importantes restant en eau libre.

Les superficies couvertes de végétation sont de  $46,5 \text{ km}^2$  ; celles en eau libre de  $2 \text{ km}^2$  ; total  $48,5 \text{ km}^2$ .

Les marais de Meyranne, au sud-est d'Arles, de mêmes caractéristiques, ont une superficie de  $15,5 \text{ km}^2$ .

#### 5.15 - Marais des Baux

Les marais des Baux s'étendent de Mourières à l'est jusqu'en Arles à l'ouest, dans une dépression d'origine tectonique entre les Alpilles au nord et la cuesta pliocène de la Crau sur la Durance, au sud.

La cote est très basse (+ 2), le drainage s'effectue difficilement par le canal de la vallée des Baux vers le canal du Vigueirat, puis le canal d'Arles à Port-de-Bouc.

Les marais sont alimentés :

- au sud, par le ruissellement en provenance du massif du Signal de Mouriès et de la bordure nord de la Crau, par des résurgences importantes (de l'ordre du  $m^3/s$ ), à la base du massif calcaire du Signal de Mouriès, celui-ci agissant comme drain vis à vis de la nappe de la Crau.
- au nord, par le ruissellement sur le flanc sud des Alpilles et par les collatures d'irrigation, à partir de la région d'Aureille (canal de la vallée des Baux), et vraisemblablement par des résurgences en provenance des calcaires urgoniens du massif des Alpilles, bien que cela n'ait pas été mis en évidence.

La superficie des zones marécageuses sous la dépendance des résurgences à partir de la Crau est de  $4,8 \text{ km}^2$ . Cette surface n'est pas comprise dans le bassin de la Crau.

## 5.2 - HYDRAULIQUE AGRICOLE

Le réseau d'irrigation, très développé, existant en Crau est très ancien ; le premier canal amenant les eaux de la Durance a été créé en 1557 par Adam de Craponne ; une autre branche fut établie un peu plus tard par les frères Ravaux. Le canal des Alpines fut construit à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle ; celui des Baux est tout récent.

La superficie irriguée est actuellement de 170 km<sup>2</sup> (1)  
(Réseau d'irrigation : cf. carte fig. 5.20).

#### 5.21 - Canaux d'irrigation

Ce sont :

- Le canal de Craponne,
- Le canal des Alpines méridionales,
- Le cours inférieur du fossé Meyrol.

Ce dernier collectant en amont d'Eyguières les eaux de ruissellement d'un bassin versant réduit du massif des Alpilles.

Le canal de Craponne et le canal des Alpines prennent leurs eaux en Durance, dans la région de Mallemort, et pénètrent en Crau par le seuil de Lamanon. Leurs réseaux sont enchevêtrés, chacun ayant une branche sud et une branche ouest.

Le canal des Alpines diverge vers la dépression des Baux (canal de la vallée des Baux), puis vers le centre de la Crau, surtout (Miramas et l'étang des Aulnes).

Le canal de Craponne diverge aussi en une branche ouest (branche d'Arles vers Saint Martin-de-Crau) et une branche sud-est (région de Salon de Provence).

---

(1) 1962

5.22 - Canaux d'assèchement

Ce sont :

- Le canal de la vallée des Baux, drainant vers le canal du Vigueirat les marais des Baux,
- Le canal de la Meyranne, collectant les roubines du Ceintureau, de Chalavert et de la Chapelette.
- La Roubine des Aulnes.
- Le canal du Vigueirat, drainant toutes les eaux de l'étang du Galéjon, aboutit au canal d'Arles à Port-de-Bouc, dans la zone des marais. Le canal de colmatage, parallèle au canal du Vigueirat dans la zone des marais, collecte le canal de Chauvet pour aboutir finalement au Galéjon et au Vigueirat.
- Plus à l'aval, la roubine de la pissarotte aboutit au canal d'Arles à Port-de-Bouc, qui reçoit également les roubines de la région de Fos.

5.3 - BILAN HYDRAULIQUE DE SURFACE

5.31 - Apports

5.311 - Canaux d'irrigation (Craponne et Alpine)

Les apports ont été jaugés aux stations  
N°s 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, et 11 (cf. carte fig. 5.20)

Le tableau joint donne en  $m^3/s$  les débits des canaux  
d'irrigation de la Crau.

La somme des apports par les canaux est de  
 $17,5 m^3/s$ .

CANAU D'IRRIGATION DE LA CRAU

MOYENNES MENSUELLES & ANNUELLES DES DEBITS EN  $m^3/s$

ANNEE 1962 - 1963 (du 1 - 5 1962 au 30 - 4 - 1963)

Indice des Stations de Jaugeage	INDICE B.R.G.M.	DEBIT en $m^3/s$ OBSERVE MOIS par MOIS												Moyenne Arithmétique Annuelle en $m^3/s$	Volume d'eau écoulé en 12 mois en $10^+ 6 m^3$	Débit Moyen Annuel en $m^3/s$	Total Moyen en $m^3/s$
		Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Octob.	Nbre.	Décem.	Janv.	Févr.	Mars	Avril				
A 1	994. 1. 55	3,9	4,0	4,0	3,8	3,5	2,0	1,9	1,9	0,2	0	1,1	2,6	2,4	76,8	2,4	17,5
A 2	994. 1. 56	10,7	12,1	10,8	12,1	8,8	3,9	2,7	2,2	0	0,1	1,9	8,4	6,1	195,3	6,2	
A 3	994. 1. 57	0,02	0,06	0	0,04	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01	0	0	0,01	0,02	0,7	0,02	
A 4	994. 1. 58	3,2	3,5	2,6	3,3	3,0	1,2	0,1	0	0	0	1,2	2,1	1,7	53,6	1,7	
A 5	994. 1. 59	0,56	0,57	0,46	0,45	0,46	0,35	0	0,26	0	0	0,44	0,32	0,32	10,2	0,32	
A 6	994. 1. 60	2,4	2,4	2,6	2,5	2,1	0	0	0	0	0	0	1,0	1,1	35,2	1,1	
A 7	994. 1. 61	11,4	10,4	8,6	8,7	9,3	2,6	1,0	1,2	0,9	0,8	1,6	3,2	5,0	164,1	5,2	
A 8	994. 1. 62	0,39	0,37	0,37	0,48	0,43	0,27	0	0,09	0	0	0,30	0,39	0,26	8,0	0,25	
A 11	993. 4. 42	0,24	0,41	0,39	0,32	0,44	0,38	0,10	0,12	0,07	0,32	0,23	0,30	0,28	8,9	0,28	
Dressé et calculé par H. G.C.																	

### 5.312 - Précipitations

Nous avons à considérer celles qui tombent sur la plaine de Crau, soit 514 km<sup>2</sup> (non compris les parties drainées par les bassins versants de la Touloubre et de l'étang de Lavalduc), celles tombant sur les bassins versants des massifs des Opiés (calcaires crétacés) du Défends (miocène) et de Vernegues (calcaires crétacés et miocène), 54 km<sup>2</sup>, ainsi que sur le massif du Signal de Mouriès (10 km<sup>2</sup>), plus celles reçues par les marais (64 km<sup>2</sup>) ; soit au total 642 km<sup>2</sup>.

La hauteur moyenne des précipitations<sup>(1)</sup> entre les valeurs de Istres, Arles, Salins de Giraud est estimée à 550 m/m, pour l'année 1962.

Le volume des eaux météoriques reçues a donc été de 350 millions de m<sup>3</sup> environ, en 1962 ou 11 m<sup>3</sup>/s. La somme des apports est donc de 28,5 m<sup>3</sup>/s approximativement pour 1962.

### 5.32 - Sorties

#### 5.321 - Canaux de drainage et collatures

Les sorties (émissaires de la nappe) sont très dispersées. 21 stations de jaugeages ont dû être établies pour les évaluer : le tableau joint montre les moyennes mensuelles et annuelles des débits des canaux d'assèchement de la Crau.

Le total atteint 13,5 m<sup>3</sup>/s.

---

(1) Voir chapitre 4



- CANAUX DE DRAINAGE DE LA CRAU -  
MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES DES DEBITS EN m<sup>3</sup>/s  
ANNEE 1962 - 1963 (du 1. 5. 1962 au 30. 4. 1963)

Indices des stations jaugeage	INDICES  B.R.G.M.	DEBITS en m <sup>3</sup> /s OBSERVES MOIS par MOIS												Moyenne Arithmétique Annuelle en  m <sup>3</sup> /s	Volume d'eau écoulé en 12 mois en 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Débit Moyen Annuel en m <sup>3</sup> /s	Total Moyen en m <sup>3</sup> /s	Observations
		Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril					
A 12	993. 4. 43	2,9	3,4	3,1	4,0	2,8	1,1	0,2	0	0	0	1,2	1,9	1,7	53,7	1,7	1,7	La station de jaugeage n° 12 représente l'unique sortie nord de la Crau.
A 13	992. 4. 1	1,0	0,9	0,4	1,0	0,5	1,9	1,3	2,0	0	0,4	1,0	1,2	0,97	30,5	0,97		
A 14	992. 4. 2	1,2	1,9	0,9	1,6	1,6	1,7	1,7	1,1	1,0	4,8	1,8	0,9	1,7	52,7	1,7		
A 17	992. 8. 1	1,2	1,8	1,2	1,4	1,7	1,1	1,4	1,5	1,5	2,7	1,4	1,0	1,6	47,4	1,5		Les stations de jaugeage n°s 13, 14, 17, 18, 20, 21, 22, et 23 représentent les sorties SW de la Crau.  * 3,6 m/s après avoir déduit 20 % pour tenir compte du volume d'eau venant de la mer.
A 18	993. 5. 81	0,04	0,05	0,04	0,02	0,09	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,06	0,04	1,3	0,04	2,3	
A 20	1019. 7. 33	2,4	2,4	2,4	1,7	2,2	6,6	7,5	4,0	9,8	4,8	5,0	5,6	4,5	113,3	3,6 *		
A 21	1019. 7. 34	0,61	0,26	0,21	0,03	0,33	0,14	0,22	0,10	0,10	0,13	0,04	0,12	0,19	6,1	0,19		
A 22	1019. 7. 35	0,54	0,65	0,57	0,66	1,8	1,4	1,6	1,5	1,3	1,7	1,8	1,4	1,3	38,6	1,2		
A 23	1019. 7. 36	0,20	0,12	0,11	0,10	0,09	0,12	0,16	0,07	0,14	0,15	0,06	0,03	0,11	3,6	0,11		
A 24	1019. 3. 73	0,13	0,22	0,10	0,22	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0,10	0,07	2,2	0,07		
A 25	1019. 4. 103	0,016	0,016	0,016	0,012	0,019	0,016	0,015	0,016	0,016	0,010	0,008	0,003	0,013	0,41	0,01		Les stations de jaugeage n°s 24, 25, 26, 26 bis, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, et 35 représentent les sorties est de la Crau.
A 26	1019. 4. 104	0,22	0,24	0,27	0,26	0,25	0,25	0,17	0,19	0	0,20	0,33	0,18	0,21	6,7	0,21		
A 26 bis	1019. 4. 105	0,13	0,10	0,05	0,05	0,16	0,09	0,04	0	0	0	0	0,09	0,06	2,1	0,07		
A 27	1019. 4. 106	0,09	0	0	0	0,41	0,31	0	0	0	0	0	0,47	0,11	3,5	0,11	2,5	
A 28	1019. 4. 107	0	0	0	0,01	0,07	0,28	0,43	0,27	0,02	0,40	0	0	0,12	5,4	0,17		
A 29	1019. 4. 108	0,12	0,11	0,10	0,03	0,10	0,01	0,01	0,02	0	0	0	0	0,04	0,87	0,03		
A 30	993. 8. 72	1,0	1,2	1,1	1,4	0,14	1,0	0,36	0,27	0	0,09	0,43	0,80	0,65	21,0	0,67		
A 31	993. 8. 73	0,17	0,01	0,14	0,14	0,14	0,08	0,01	0	0	0	0	0,14	0,07	2,3	0,07		
A 32	994. 5. 23	0,33	0	0,40	0,27	0,37	0,27	0,15	0,09	0,05	0,12	0,22	0,46	0,23	7,1	0,22		
A 33	994. 5. 24	0,13	0	0,06	0	0,46	0,42	0,67	0,62	0,02	0,01	0,39	0,04	0,23	7,5	0,24		
A 35	994. 1. 65	0,80	0,74	0,68	0,78	0,80	0,62	0,61	0,62	0	0	0,61	0,74	0,58	18,5	0,59		Dressé et calculé par H. G.C..

5.322 - Rôle du canal d'Arles à Port-de-Bouc

Ce dernier semble, a priori, jouer un rôle de drain et c'est effectivement ce que confirment les mesures effectuées en amont et en aval de l'écluse de l'Etourneau, et au pont des clapets (cf. fig. 5.22 et tableau joint).

Les stations 14, 14 bis, 17 et 18 apportent au canal un débit de  $3,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , or en aval, à l'écluse de l'Etourneau (station 19) on a mesuré un débit de  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Deux mesures de débits effectuées, l'une sur le canal à l'écluse de l'Etourneau (station 19), l'autre à 200 m, en amont du pont des clapets (station 19 bis), ont donné respectivement  $7,12 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $8,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ces résultats confirment les observations précédentes et permettent d'affirmer le rôle drainant du canal d'Arles à Port-de-Bouc. (Débit de drainage:  $8,6 - 7,1 = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ )

5.323 - Sources

Les sources sont considérées ici comme des sorties d'eau dans le bilan de surface, parce qu'elles se situent aux limites du bassin.

Sources de Mouriès :

Elles sont situées sur la bordure sud-est des marais des Baux, au pied du massif de calcaires crétacés de Mouriès, fonctionnant en drain par rapport à la nappe de la Crau. Ces sources jaugées en juillet 1963 dé-

MOYENNES MENSUELLES & ANNUELLES DES DEBITS EN m<sup>3</sup>/s DU CANAL D'ARLES A PORT-DE-BOUC

ANNEE 1962 - 1963 (du 1. 5. 1962 au 30. 4. 1963)

Indice des stations de jaugeage	INDICE B.R.G.M.	DEBIT en m <sup>3</sup> /s OBSERVE MOIS PAR MOIS												Moyenne Arithmétique Annuelle en m <sup>3</sup> /s	Volume d'eau écoulé en 12 mois en 10 + 6 m <sup>3</sup>	Débit moyen Annuel en m <sup>3</sup> /s	Total Moyen en m <sup>3</sup> /s	OBSERVATIONS
		Mai	Juin	Juil.	A	S	O	N	D	J	F	M	A					
14	992. 4. 2	1,2	1,9	0,9	1,6	1,6	1,7	1,7	1,1	1,0	4,8	1,8	0,9	1,7	52,7	1,7	3,4	Les stations de jaugeage n°s 14, 14 bis 17 et 18 représentent les apports d'eau dans le canal d'Arles à Port-de-Bouc, au défilé ci contre il y a lieu d'ajouter les fuites de l'écluse Montcalde que j'ai estimé à 0,5 m <sup>3</sup> /s environ,  Soit un total de 3,9 m <sup>3</sup> /s
14 bis	992. 4. 3	0,23	0,32	0,21	0,37	0,26	0,13	0,20	0,15	0,05	0	0,03	0	0,16	5,1	0,16		
17	992. 8. 1	1,2	1,8	1,2	1,4	1,7	1,1	1,4	1,5	1,5	2,7	1,4	1,0	1,6	47,4	1,5		
18	992. 5. 81	0,04	0,05	0,04	0,02	0,09	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,06	0,04	1,3	0,04		
19	1019. 1. 1	7,5	5,9	5,5	5,9	5,9	4,3	3,5	4,7	4,4	9,8	5,1	3,8	5,5	174,3	5,5	5,5	La station ci-contre représente le débit en m <sup>3</sup> /s du canal à l'écluse de l'Etourneau.

Dressé et calculé par H. G.C.

bitaient  $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$ , mais ce débit paraît pouvoir dépasser le  $\text{m}^3/\text{s}$  à certaines époques de l'année. Nous retiendrons le chiffre moyen de  $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### Sources de Grans :

Source Rose-Marie  $40 \text{ l/s}$ , Canebière  $5,11/\text{s}$ .  
 Au total énoncé  $45 \text{ l/s}$ , il faut ajouter le débit permanent de Fanfarigoule (fuites du barrage) : environ  $5 \text{ l/s}$ .  
 Total du débit des sources : environ  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 5.324 - Somme des débits sortants

Canaux de drainage et collature	$13,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Drainage par le canal d'Arles	
à Port-de-Bouc	$1,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Sources périphériques	$1 \text{ m}^3/\text{s}$
Total :	<hr/> $16 \text{ m}^3/\text{s}$

#### 5.33 - Bilan

La comparaison entre les sommes des apports d'eau et des débits sortants fait apparaître un déficit :

Apports :  $28,5 \text{ m}^3/\text{s}$   
 Sorties :  $16,- \text{ m}^3/\text{s}$   
 Déficit :  $28,5 - 16 = 12,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Ce déficit peut-être à peu près intégralement assimilé à l'évapotranspiration. En effet, comme on le verra plus loin, le bassin de la Crau coïncide, à très peu de chose

près, avec un bassin hydrogéologique dont la zone d'alimentation aussi bien que les exutoires sont pour l'essentiel inclus dans les limites du bassin de surface considéré ici.

Dans leur quasi totalité, les débits sortants, qu'il s'agisse des sources aussi bien que des drainages par les canaux, proviennent de la nappe souterraine de la Crau, et non d'un écoulement de surface naturel.

Si l'on dressait un bilan des eaux de surface pour le même bassin, moins les zones d'émergences et les marais, d'après les mêmes données, on aurait (toujours pour 1962) :

APPORTS		ECOULEMENT
Précipitations (sur 578 km <sup>2</sup> )		Nul ( pas de ruissellement )
314 millions de m <sup>3</sup>	= 10 m <sup>3</sup> /s	
Canaux d'irrigation	= 17,5 m <sup>3</sup> /s	
Total	= 27,5 m <sup>3</sup> /s	

Soit un déficit d'écoulement de 100 % égal aux apports, donc de l'ordre de 27,5 m<sup>3</sup>/s. Dans ce bilan restreint on pourrait écrire :

$$\text{Apports} = \text{Evapotranspiration} + \text{Infiltration et Ecoulement souterrain}$$

Dans la mesure où le débit total des émergences et des canaux de drainage est très voisin du débit de la nappe,

c'est-à-dire de l'écoulement souterrain, on peut donc admettre que le déficit du bilan du bassin complet ( $12,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) correspond à l'évapotranspiration.

#### 5.34 - Evapotranspiration

Le résultat du bilan précédent peut être recoupé par les mesures directes et par les essais de calcul exposés au chapitre 4. Mais on ne devra pas perdre de vue que l'établissement du bilan est par lui-même une méthode plus sûre, pour évaluer globalement l'ordre de grandeur de l'évapotranspiration, que les mesures ponctuelles ou les applications de formules empiriques.

##### 5.341 - Evapotranspiration sur les marais et les étangs

La surface est de  $48,5 \text{ km}^2$  pour les marais de la basse Crau, et de  $15,5 \text{ km}^2$  pour les marais de Meyranne, soit au total  $64 \text{ km}^2$ .

On y ajoutera les étangs des Aulnes et d'Entressen ( $1,8 \text{ km}^2$ ). En surface libre l'évaporation serait d'après COUTAGNE de  $1\ 050 \text{ m/m}$  en Arles et de  $1\ 453 \text{ m/m}$  à Salin de Giraud (mais en ce dernier point le chiffre communiqué par la Direction des Salins est de  $1\ 251 \text{ m/m}$ ). D'autre part, l'évapotranspiration potentielle moyenne calculée pour la Crau est selon Thornthwaite de  $764 \text{ mm}$  et selon Turc de  $1\ 387 \text{ mm}$  à Istres.

L'évaporation sur les marais peut être considérée comme égale à l'évapotranspiration potentielle.

Quelle valeur moyenne prendre pour la hauteur de l'évapotranspiration réelle moyenne sur les marais et les étangs ? La plus vraisemblable doit être comprise entre la moyenne mesurée (sur 74 ans) à Salin de Giraud (1 251 mm) et la valeur calculée selon la formule de Turc à Istres (1 387 mm), qui diffèrent d'ailleurs peu entre elles. On propose donc d'adopter une hauteur moyenne d'évapotranspiration réelle de 1 300 mm/an pour les marais et les plans d'eau libre.

Soit pour 66 km<sup>2</sup>, un volume annuel moyen de 86 millions de m<sup>3</sup>, soit environ 2,7 m<sup>3</sup>/s.

#### 5.342 - Evaporation réelle dans le reste du bassin de la Crau

Si l'on soustrait ces 2,7 m<sup>3</sup>/s du déficit du bilan (12,5 m<sup>3</sup>/s), il reste 9,2 m<sup>3</sup>/s, qui correspondent à une évapotranspiration réelle moyenne de 500 mm/an sur les 576 km<sup>2</sup> du bassin (sans les marais et étangs).

Il est frappant de constater que ce résultat est assez proche des valeurs calculées selon les formules de Thornthwaite et de Turc, qui oscillent entre 450 et 560 mm, selon les stations.

500 mm constitueraient donc une valeur moyenne très plausible de l'évapotranspiration réelle en Crau.

Mais si l'on tient compte du fait que l'évapotranspiration réelle est bien supérieure dans les zones irriguées (où elle doit approcher de la valeur de

l'évapotranspiration potentielle, et être de l'ordre de 1 000 mm), l'évapotranspiration réelle moyenne des zones non irriguées doit être plus faible, probablement de l'ordre de 300 mm.

o

o

o



DEUXIEME PARTIE

-----

HYDROGEOLOGIE

## Chapitre 6

### HYDROGEOLOGIE GENERALE DE

### LA NAPPE

-----

#### 6.1 - LE MATERIAU PERMEABLE

La nappe de la Crau circule dans les alluvions déposées par l'ancienne Durance à la fin du Pliocène (Villafranchien) et au Quaternaire. Le matériau alluvial est fait de galets très roulés, de dimensions très variables (jusqu'à plus de 2 dm), le plus souvent aplatis (galets de petite dimension), mêlés de graviers localement fins et sableux. Les galets sont de natures diverses mais en majorité quartzitiques, l'élément dominant ensuite étant le calcaire, viennent après les roches métamorphiques ou éruptives.

Ces galets sont assez souvent cimentés, à des profondeurs diverses, par un ciment carbonaté (englobant des sables siliceux) déposé par les eaux ayant circulé dans la formation. Ce poudingue qui couvre au voisinage de la surface d'assez grandes étendues, n'empêche pas l'infiltration des eaux de ruissellement car il est discontinu et de plus, fissuré. Cependant, il peut, localement, occasionner la mise en charge de la nappe (sondage 2<sup>ème</sup> campagne n° 11)<sup>(1)</sup>. Les coupes des cailloutis que présentent les fouilles ouvertes (ballastières) ou les sondages exécutés, révèlent une assez grande homogénéité d'ensemble, au moins pour les dépôts quaternaires ; les dépôts villafranchiens (Crau d'Arles) sont plus

---

(1) N° B.R.G.M. : 1019. 2. 49

hétérogènes et plus argileux du moins en surface (galets mêlés d'argile rougeâtre).

Le substratum imperméable - ou beaucoup moins perméable - est constitué pour la plus grande part, par le Pliocène argileux rouge (Astien) et dans la partie orientale par le Miocène (marnes sableuses et grès argileux du Tortonien, molasse blanche du Burdigalien).

## 6.2 - LIMITES DE LA NAPPE

Les cartes de la surface piézométrique (fig. 6.50 et 6.51) montrent que la nappe de la Crau circule à partir du Seuil de Lamanon en direction générale du sud-ouest vers les émergences des marais de Meyranne et de Fos.

### 6.21 - Le Seuil de Lamanon

Cet écoulement de la nappe à partir du Seuil de Lamanon avait fait croire longtemps au passage de la nappe alluviale de la Durance dans les cailloutis de Crau par ce seuil. Bien que MARTEL dès 1907<sup>(1)</sup>, ZURCHER en 1920<sup>(2)</sup> aient réfuté cette hypothèse ancienne, les travaux de l'ingénieur PORCHET en 1930<sup>(3)</sup> avaient accrédité à nouveau cette notion dont le caractère erroné ne fut définitivement établi qu'en 1948, après les travaux (sondages et géophysique) exécutés par le M.R.U. et l'E.D.F. et les études de J. ARCHAMBAULT : 12 sondages, exécutés au col même, ont montré que les allu-

---

(1) E. A. MARTEL - Annales hydraulique agricole, fasc. 36 bis 1907 et "A propos de l'hydrologie souterraine de la Crau" (BSGF 1921)

(2) PH. ZURCHER - Hydrogéologie de la Crau d'Arles (CRSSGF 22. 11. 1920)

(3) Congrès de l'Eau en Crau - 1930.

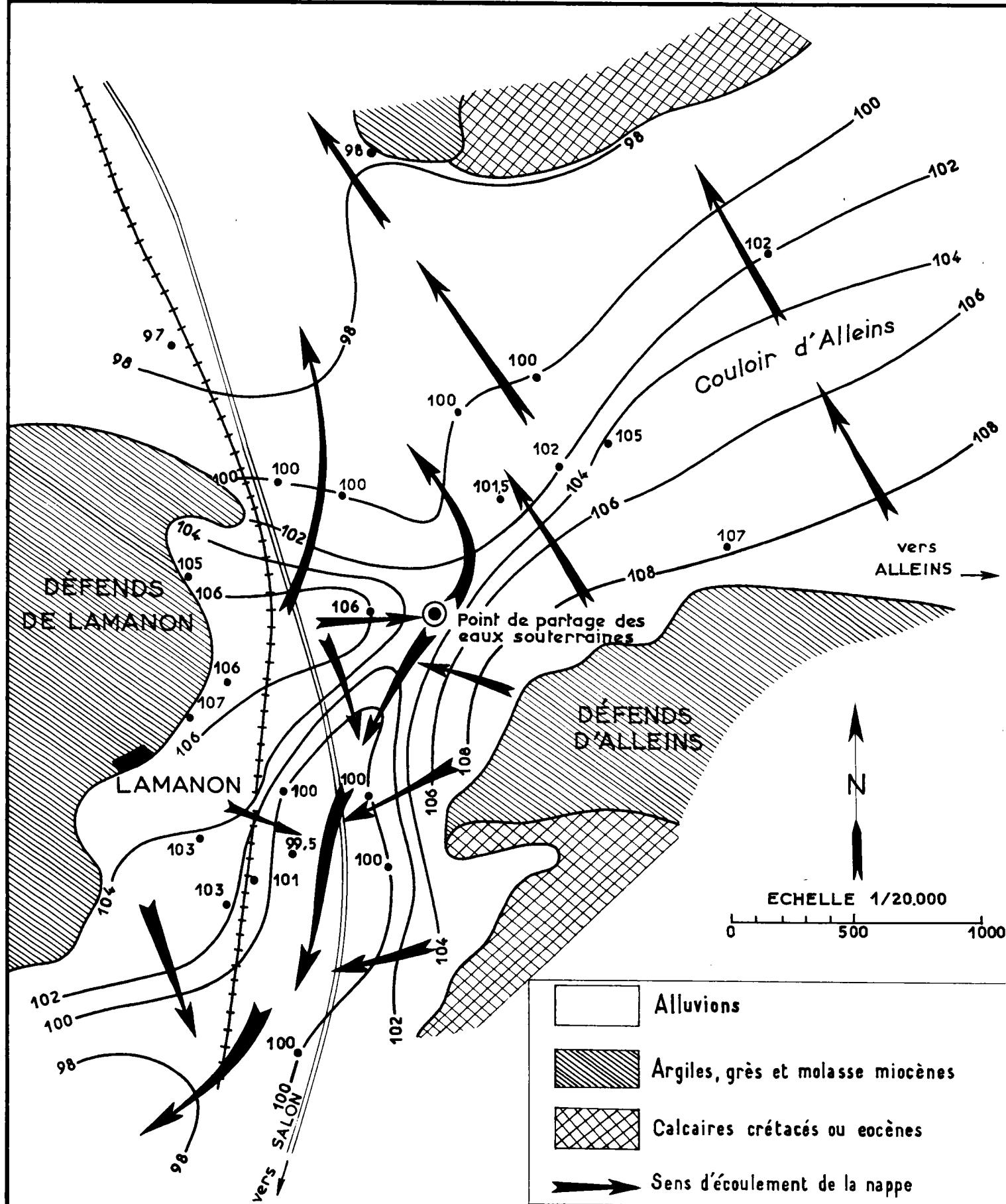


Fig. 621

Seuil de Lamanon - Schéma hydrogéologique

vions reposaient sur le Miocène (molasses du Tortonien et de l'Helvétien) dont le point le plus bas se trouvait à la cote 81 (sol à 107). Les études hydrogéologiques ont mis en évidence par ailleurs, l'écoulement de la nappe existant au sein des alluvions, vers le nord d'une part, vers le sud d'autre part, à partir du Seuil de Lamanon. La carte jointe (fig. 6.21), extraite du rapport de J. ARCHAMBAULT, met le phénomène en évidence.<sup>(1)</sup>

#### 6.22 - La bordure nord

A partir d'Arles, la limite de la nappe correspond à la crête topographique (falaise astienne, Helvétien à la base) dominant les marais des Baux ; un drainage très limité s'effectue par quelques ravins sur cette dépression. (fig. 5.11, 6.50 et 6.51).

A l'est du mas de la Fourbine, la limite suit la bordure des marais des Baux, suivant les calcaires jurassiques et crétacés du massif du Signal de Mourières, le long desquels se trouvent une série d'émergences importantes provenant d'un drainage de la Crau par les calcaires.

Au-delà, la limite suit de nouveau la crête astienne jusqu'à Aureille puis le pied du massif calcaire des Opiés (éboulis de bordure drainés par la nappe) ; entre Eyguières et Lamanon, elle suit le pied de la montagne miocène du Défends.

---

(1) J. ARCHAMBAULT - Note sur le mécanisme hydraulique du Seuil de Lamanon - Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme - Janvier 1950.

6.23 - La bordure orientale

Entre Lamanon et Salon, les reliefs urgoniens et miocènes du massif de Vernègues limitent la nappe de la Crau qui draine les circulations souterraines au sein de ces calcaires. Des émergences existent dans les alluvions, en provenance de ces calcaires (sources des Aubes, de Curebourse et de Richebois).

Immédiatement au sud de Salon, la nappe des cailloutis de Crau est partiellement drainée par la Touloubre (collature d'irrigation et sources de Marie-Rose). Cette rivière, après avoir traversé le massif miocène de Grans et les calcaires urgoniens de l'extrémité ouest de la chaîne de la Fare, se jette dans l'étang de Berre.

Cette fraction de la nappe - où l'épaisseur des cailloutis est faible - drainée par la Touloubre, n'est que de 4 km<sup>2</sup> environ.

Les sources - exutoires de la nappe de la Crau proprement dite - représentent une quarantaine de l/s.

Au-delà de Grans, le Miocène (molasse et marne helvétiques, molasse burdigalienne de faible perméabilité générale) empêche le drainage de la nappe de la Crau vers l'est, vers l'étang de Berre ou les étangs de l'Olivier et de Lavalduc. La seule échancrure qui anciennement permettait l'écoulement de la source de Fanfarigoule est maintenant fermée par un ouvrage.

### 6.3 - EMERGENCES

#### 6.31 - Massif du Signal de Mouriès

Elles sont situées à la limite de ce massif, en bordure d'une zone marécageuse, s'étendant ensuite largement vers l'Ouest (marais des Baux) ; certaines sont munies d'un seuil de jaugeage, ne canalisant d'ailleurs visiblement pas tout le débit. Beaucoup sont diffuses.

ZURCHER estimait le débit à 700 l/s. Un jaugeage effectué au début de juillet 1963 a donné 800 l/s. Le débit peut être supérieur ( $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) en très hautes eaux. La zone marécageuse, sous la dépendance de ces sources, s'étend sur  $4,8 \text{ km}^2$ . Le canal d'assèchement de la vallée des Baux draine ce marais.

#### 6.32 - Bordure orientale

Les quelques sources existantes ont été citées au paragraphe précédent.

#### 6.33 - Marais de Meyranne

La quasi totalité de la Crau pliocène est drainée vers la zone déprimée des marais des Chanoines et marais de Meyranne aux environs de la cote + 2. Un système de drains évacue l'eau du marais en partie vers le canal de navigation d'Arles à Port-de-Bouc, en partie vers le canal du Vigueirat longeant, en direction du sud-est, le canal d'Arles à Bouc.

La superficie est de  $15,5 \text{ km}^2$ .

#### 6.34 - Zone du marais proprement dite

Au delà d'une ligne de partage des eaux souterraines, le drainage de la plus grande partie de la nappe des cailloutis de Crau s'effectue dans une vaste zone de marais, étendue en longueur du nord-est au sud-ouest, le long du canal d'Arles à Bouc. Des émergences ou "Laurons" ont pu être localisées au sein de ces marais, le débit de chacun d'eux pouvant souvent avoisiner le  $\text{m}^3/\text{s}$ . Des étendues d'eau libre (étang de Landres, étang du Galéjon) existent au sein des marais.

La cote est basse (entre + 0,30 et + 0,60 m).

Un système de canaux - dont le plus important est le Vigueirat - assure l'évacuation des eaux vers le canal d'Arles à Bouc.

Une expérience de pompage relatée par ZURCHER - et sans doute en relation avec une ancienne tentative d'assèchement des marais - avait permis d'évaluer le débit des laurons à  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  "par défaut".

La superficie de la zone marécageuse est de 48,5 km dont 2 en eau libre.

#### 6.4 - ETENDUE

Telle qu'elle a été délimitée la nappe de la Crau correspondant à l'extension des cailloutis s'étend sur une superficie de  $520 \text{ km}^2$ .



Celle-ci est inférieure à l'étendue du bassin versant de la Crau qui englobe en plus, comme on l'a dit, au nord les massifs des Opiés, du Défends et de Vernegues et à l'est les reliefs miocènes entre Miramas et Fos (cf. carte fig. 5.11). Mais la nappe de la Crau déborde localement un peu au-delà des limites du bassin versant (fig. 5.11), au sud-est.

## 6.5 - SURFACE PIEZOMETRIQUE

La surface piézométrique de la nappe a été représentée sur deux cartes où sont figurées les courbes isopiézométriques graduées, pour l'une de 2 m en 2 m, pour l'autre de mètre en mètre (Voir cartes n°s 6.50 et 6.51).

Ces deux cartes correspondent aux états de la surface de la nappe aux mois de mars 1962 et septembre 1962.

### 6.51 - Forme générale de la nappe

L'examen de deux cartes de la surface piézométrique montre que dans sa forme générale, la nappe de la Crau se présente comme une nappe à écoulement radial dont les filets liquides divergent dans le sens de l'écoulement. Cet écoulement s'effectue du nord-est vers le sud-ouest, avec un gradient moyen de 3,5 p. 1 000. La nappe de la Crau émerge sur un front de 20 km environ (de Fos-sur-Mer à Mas-Thibert) formant une large zone de marais, tandis qu'à l'ouest, elle est drainée par les marais de Meyranne. Son front d'émergence correspond donc à sa plus grande largeur.

### 6.52 - Morphologie de la surface piézométrique

Si la surface piézométrique est relativement simple

dans sa forme générale, elle est moins régulière dans le détail et présente une morphologie complexe.

L'écoulement, de direction générale du nord-est au sud-ouest, ne se fait pas à travers une couche aquifère uniforme, ni homogène, ce qui se traduit par des formes et des espacements variables des courbes isopièzes et par des filets liquides sinueux.

Une ligne de partage des eaux souterraines, traversant entièrement la nappe du nord-est au sud-ouest (d'Eyguières à la piste des Chanoines), apparaît comme le trait morphologique le plus caractéristique. Elle constitue un axe de divergence des filets liquides qui divise la nappe en deux "versants" distincts : la nappe des alluvions villafranchiennes au nord-est et la nappe des alluvions quaternaires au sud-ouest. Elle correspond presque exactement à la limite géologique de deux formations, mais aussi à une zone irriguée qui aurait pu être la cause d'un exhaussement de la surface piézométrique.

Dans la région de Mouriès, au nord, une partie de la nappe est drainée à travers le massif jurassico-crétacé où la nappe n'est atteinte par aucun puits, vers les marais des Baux.

6.521 - L'étude de la surface piézométrique de la nappe des alluvions villafranchiennes permet de distinguer en allant du nord-est vers le sud-ouest les zones suivantes :

a - Une zone à courbes isopièzes à concavité orientée vers l'aval et à filets liquides convergents.

Le gradient est de l'ordre de 3 à 5 p. 1 000. Il augmente rapidement à l'ouest jusqu'à 10 p. 1 000, ce qui se traduit par le resserrement des courbes isopièzes et par une augmentation du gradient qui peut indiquer un fort débit ou une faible perméabilité.

Comme la zone à fort gradient est irriguée, c'est plutôt l'augmentation du débit qui est en cause.

b - Une zone à courbes isopièzes équidistantes, à filets liquides presque parallèles s'écoulant vers l'ouest.

Le gradient hydraulique est de 4 p. 1 000 en moyenne.

c - Une zone à courbe isopièzes espacées irrégulièrement à concavité orientée dans l'ensemble vers l'aval.

Les filets liquides convergent du nord du nord-est et du sud vers le marais de Meyranne marquant un drainage important de la nappe.

Le gradient hydraulique de 3 p. 1 000 en moyenne augmente à 10 et même à 20 p. 1 000 dans les zones irriguées.

6.522 - Dans la Crau quaternaire la morphologie de détail de la surface piézométrique est non moins variée. Son étude révèle l'existence au nord, à l'aval de Lamanon, d'un thalweg

très accentué et étroit dans la partie nord et s'élargissant vers le sud.

Ramifié par endroits, il apparaît tout le long du bord oriental de la nappe (jusqu'à la hauteur de l'étang de Lavalduc). Il indique une zone de fort gradient accentué surtout à la hauteur de la bergerie de St-Tropez, au nord de Miramas et au nord de l'étang de l'Olivier. Son profil longitudinal se caractérise donc par l'existence de trois paliers coupés par des ressauts à fort gradient hydraulique 20 p. 1 000 au nord de Saint-Tropez et de 10 à 20 p. 1 000 au nord de Miramas et au nord de l'étang de l'Olivier.

Dans les paliers, le gradient diminue jusqu'à 2 p. 1 000.

Cette zone de drainage correspond à un ancien couloir alluvial creusé par la Durance, et dans l'axe duquel l'épaisseur des alluvions est maximale, où de plus les matériaux grossiers déposés sont à l'origine d'une perméabilité élevée.

L'existence de ce couloir a été signalée par J. ARCHAMBAULT dans le rapport BURGEAP R. 140 déc. 1951 ; d'autre part, les travaux de la première campagne de sondages, effectuée dans la partie sud-est, ont démontré l'existence d'une dépression dans le substratum miocène correspondant à un ancien réseau hydrographique drainé vers le sud.

Deux autres zones de drainage, quoique moins

caractéristiques, apparaissent à l'ouest de l'étang d'Entressen et au sud de celui-ci.

Si, à l'ouest de l'étang, les courbes isopièzes dessinent un petit thalweg aux versants assez réguliers, à gradient de 3 à 5 p. 1 000 (localement 10 p. 1 000), au sud de l'étang les courbes isopièzes, espacées d'abord régulièrement, forment une surface dont la pente de 3 p. 1 000 augmente rapidement à 10 p. 1 000 formant une sorte de seuil hydraulique à partir duquel les courbes isopièzes dessinent un large thalweg à filets d'eau convergents.

Ce seuil est dû à une diminution locale de la perméabilité de la nappe et correspond à un relèvement du substratum qui affleure d'ailleurs à l'étang d'Entressen (Astien).

Au delà du seuil, le drainage commence. Les courbes isopièzes moins resserrées et le gradient moins élevé pourraient indiquer le passage d'un faciès à faible perméabilité à des alluvions plus perméables susceptibles de drainer.

Les bombements de la surface piézométrique (zone à surface convexe et à filets d'eau divergents) correspondent soit à des zones irriguées à l'est de l'étang d'Entressen par exemple, soit comme au nord de l'étang à une diminution de la transmissivité ou plus précisément de la puissance aquifère due à l'élévation du substratum : celui-ci affleure au nord de la route Arles-Salon (molasse helvétique).

### 6.53 - Gradients hydrauliques

Une carte des gradients de la surface piézométrique a été déduite de la carte des isopièzes en mars 1962 ( voir carte 6.53).

Le gradient hydraulique moyen général (calculé sur 28 km) de la nappe est de 3,5 p. 1 000.

Les gradients locaux varient de 1 p. 1 000 à 20 p. 1 000. Ils décroissent, mais sans régularité, d'amont en aval.

Le gradient atteint des valeurs maximales dans les "seuils hydrauliques" formés par le passage des zones à surface convexe à des zones à surface concave. Ces zones à fort gradient ("seuils hydrauliques") se trouvent souvent à l'aval immédiat des zones irriguées.

Dans le cas contraire, elles peuvent indiquer une diminution de la transmissivité de la nappe.

Les zones à faible gradient (1 à 3 p. 1 000) se trouvent à l'amont des surfaces à profil convexe ou à l'aval des surfaces à profil concave.

Elles peuvent être l'indice d'une transmissivité relative élevée, comme par exemple à l'aval d'Eyguières (dans le thalweg de St-Tropez), ou la conséquence des irrigations provoquant l'élévation de la surface piézométrique et l'aplatissement du profil de dépression (par exemple au nord de l'étang d'Entressen et à l'ouest de Saint Martin-de-Crau).

Une large zone de faible gradient dans la partie aval de la nappe est sûrement la conséquence de l'élargissement de la section d'écoulement mais l'augmentation de la transmissivité peut y contribuer aussi.

#### 6.6 - PROFONDEUR DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE

---

Une carte des profondeurs de la surface piézométrique par rapport au sol a été établie d'après l'état de la nappe en mars 1962 (Voir carte n° 6.60). Elle montre que la nappe de la Crau se trouve partout, en cette saison, à une profondeur de moins de 20 mètres.

La Crau étant une plaine, la répartition des profondeurs est étroitement liée à la morphologie de la surface piézométrique. Ainsi les zones les plus profondes se trouvent :

- au sud d'Eyguières avec 20 mètres au voisinage de Saint-Tropez, comme profondeur maximale ;
- le long de la bordure orientale (de Miramas à Istres) ;
- au sud-ouest de l'étang d'Entressen ;
- au sud-ouest de Saint-Martin-de-Crau.

Toutes ces zones correspondent à des zones de drainage (de dépression) de la surface piézométrique déjà mentionnées.

Ces drainages sont fonction d'une plus grande transmissivité (et perméabilité) du magasin : elle-même en liaison avec la nature des dépôts effectués dans les zones de surcreusement du substratum. Ceci est net le long de la bordure orientale (existence d'un

thalweg déjà mentionné) et également au sud-ouest d'Entressen où un ancien lit de la Durance descend vers le sud, en direction du mas de la Pissarotte, où le contact alluvions récentes - cailloutis dessine une indentation remarquable.

Les zones à faible profondeur (2 m) correspondent aux bombements de la surface piézométrique et se situent le long de la ligne de partage des eaux entre la Crau villafranchienne et la Crau quaternaire, aux alentours de l'étang d'Entressen, au voisinage d'Eyguières et d'Aureille et, au nord-nord-ouest de Salon. Comme cela a déjà été dit, ces bombements sont dûs surtout aux irrigations mais intervient également une surélévation du substratum, notamment dans la région de l'étang d'Entressen.

•

•

•



## Chapitre 7

### LES RELATIONS DE LA NAPPE

#### DE LA CRAU AVEC LA MER

#### A L'AVAL

-----

#### 7.1 - DONNEES GENERALES

Au delà de la zone des marais où se situent les émergences de la nappe de la Crau, les cailloutis, où circule cette nappe, sont recouverts de dépôts tourbeux dans la zone des marais et, au delà, des limons plus récents du delta du Rhône dont l'épaisseur augmente vers le Sud. L'allure générale du toit des cailloutis de Crau est assez bien connue dans le delta du Rhône par une série de sondages et, plus particulièrement, à l'est du grand Rhône, au sud du canal d'Arles à Port-de-Bouc où une campagne systématique de sondages de reconnaissance a récemment été exécutée par les Ponts & chaussées maritimes ; les résultats en seront examinés plus loin.

Dans les cailloutis, la nappe à l'aval des émergences continue à circuler, en charge sous la couverture imperméable des limons récents, en direction de la mer avec laquelle elle se trouve vraisemblablement en communication en un point quelconque.

#### 7.2 - EQUILIBRE THEORIQUE ENTRE L'EAU DOUCE ET L'EAU DE MER

Si une nappe est en communication avec la mer, un équilibre entre l'eau douce et l'eau salée se produit en fonction des pres-

sions dépendant des densités respectives (loi de GHYBENHERZBERG).

On a

$$\begin{aligned} \text{pression en A} &= \text{pression en B} \\ (h_a = h_m) \, g d^1 &= h_m \, g d^2 \\ \text{si } d^1 &= \text{densité de l'eau douce} = 1 \\ d^2 &= \text{densité de l'eau salée} = 1,026 \end{aligned}$$

$h_a$  = altitude de la surface piézométrique de la nappe dans la zone libre.

$h_m$  = altitude de la surface d'abouchement du terrain aquifère à la mer.

$$h_m = h_a \frac{d^1}{d^2 - d^1}$$

Dans le cas d'une nappe captive s'abouchant à la mer (cas à considérer ici), il ne peut y avoir un écoulement que si on a :

$$h_a > h_m \frac{d^2 - d^1}{d^1}$$

$$h_a > h_m \times 0,026$$

La zone des marais où se trouvent les émergences est comprise entre 0,1 et 0,6, en général voisine de 0,5 m.

On peut donc considérer 2 cas possibles :

$$h_m < \frac{0,5}{0,026} < 19$$

$$\text{et } h_m > 19$$

Dans le premier cas, il y a écoulement ; l'interface résulte d'un équilibre dynamique et l'invasion marine se réduit à un "coin" voisin de la zone d'abouchement (cf. fig. 1.24).

Dans le second, il n'y a pas écoulement et l'interface résulte d'un équilibre hydrostatique.

Cet interface correspond théoriquement à un plan à l'altitude  $h_m$  telle que :

$$h_m = h_a \frac{d^1}{d^2 - d^1} = 38,5 \text{ ha}$$

$$\text{si } h_a = 0,5 \text{ ; } h_m = - 19 \text{ m}$$

### 7.3 - DONNEES DES OUVRAGES DE RECONNAISSANCE EPAISSEUR DU RECOUVREMENT - NIVEAU HYDROSTATIQUE

---

Plusieurs campagnes de sondages de reconnaissance ont été exécutées en 1962 et 1963 par les Ponts & chaussées maritimes pour l'étude des terrains de fondation de la future zone industrielle de Fos-sur-Mer<sup>(1)</sup>. Ils ont été suivis en collaboration avec le BRGM en ce qui concerne la reconnaissance et les résultats hydrologiques<sup>(2)</sup>. Sur la carte (fig. 5.11) sont figurés les principaux sondages effectués. Les résultats obtenus sont importants pour l'étude de la nappe de la Crau.

---

(1) Nous tenons à remercier ici M. l'ingénieur des Ponts & ch. m. de l'arrondissement de Marseille pour l'intérêt qu'il a porté à nos travaux et l'esprit de collaboration scientifique qu'il a tenu à instaurer, au cours de cette étude, entre l'administration des Ponts & chaussées maritimes et le BRGM.

(2) Cf. Rapport BRGM - DSGR 63 A<sup>2</sup> - Données sur la géologie sous-marine et littorale de la partie orientale du golfe de Fos- 10. 3. 1963-

7.31 - Toit des cailloutis (fig. 7.31)

Une carte de la surface du toit des cailloutis de Crau sous les limons récents a pu être établie : elle montre l'enfoncement régulier de ceux-ci jusqu'à la latitude de Port-Saint-Louis ; au delà, le plongement s'accroît. Sur cette carte on voit la surface des cailloutis dessiner un redan important entre la Roque et la Pissarotte : ce redan est bien marqué également par le contact cailloutis - alluvions récentes à la Pissarotte même. Le fait traduit un mouvement (faille nord-sud) dans le substratum même des cailloutis.

Dans le golfe même de Fos, les cailloutis de Crau sont recouverts de vases marines, très récentes, localement même concrétionnées dont l'épaisseur croît de 4 à 5 m à l'est dans la région de Port-de-Bouc à 33 m au sud-ouest vers la pointe de la Gracieuse.

Dans le fond du golfe, les vases font place à un sable fin, coquillier, dont l'épaisseur peut être très faible (0,30 m) et même localement nulle.

C'est ainsi qu'au sud-ouest de la pointe de St-Gervais un entonnoir a été reconnu par plongée sous-marine au fond duquel apparaissent les cailloutis de Crau. Aussi, localement, cette formation et la nappe d'eau douce qu'elle contient, sont en communication avec la mer (cf. coupe fig. 7.11).

7.32 - Campagne de sismique réfraction de la zone de la Roque

Cette campagne a été effectuée par le BRGM pour le

compte des Ponts & chaussées maritimes en vue de l'étude des terrains de fondation dans cette zone : elle avait pour but de délimiter sous la couverture récente, l'extension des calcaires urgoniens, elle a permis également de préciser l'allure de la surface des cailloutis de Crau sous les limons (cf. coupe fig. 3.304).

La carte du toit des cailloutis dessinée d'après le résultat des mesures effectuées (fig. 7.32) montre, au sud-est et au sud-ouest de, la butte des calcaires affleurants (elle-même orientée nord-ouest - sud-est), une sorte de plateau situé à une vingtaine de mètres de profondeur et s'étendant en auréole autour des affleurements calcaires. Ce plateau paraît correspondre à une plate-forme d'abrasion correspondant à un ancien niveau de la mer. Au delà, vers le sud et le sud-ouest, les calcaires s'enfoncent assez rapidement. Au nord, les calcaires plongent très brusquement au voisinage d'une faille importante affectant la série crétacée.

Le toit des cailloutis dessine, au sud-est des affleurements calcaires, un redan amorçant un thalweg et situé dans le prolongement du thalweg déjà visible au nord, dans la zone du Galéjon.

#### 7.33 - Niveau hydrostatique de la nappe en charge sous les limons récents

Ce niveau hydrostatique est fourni par un des sondages de la campagne des Ponts & chaussées maritimes, le

R 11<sup>b</sup>, au sud-est de la butte de la Roque. Ce sondage a été nivelé. La charge de la nappe est égale à + 0,44.  
(1019. 7. 57)

Au sondage Esso : le niveau hydrostatique est à 0,90<sup>(1)</sup>. On est à la limite amont de la zone de mise en charge de la nappe.

#### 7.4 - LIMITES EAU DOUCE -EAU SALEE

---

##### 7.41 - Données de la campagne de Géophysique - électrique

Afin de déterminer la position du contact eau douce-eau salée, une campagne de géophysique - résistivité a été effectuée dans la zone des marais selon 3 profils nord-sud, échelonnés entre le méridien de la butte de la Roque et Fos-sur-Mer. Exécutée par le Département de géophysique du BRGM, l'interprétation de cette campagne a fait l'objet du rapport DS 62 A 46, du 9 août 1962. Les résultats sont synthétisés dans la figure 7.40. Cette interprétation est délicate du fait du nombre de terrains superposés à déterminer sur les diagrammes (jusqu'à 5) et du fait que le substratum est constitué vers le sud par des formations argileuses dont la résistivité se situe aux alentours de 10 ohms/m. On a admis qu'au-dessous de 9 ohms/m, le niveau inférieur était constitué par les cailloutis de Crau envahis par les eaux salées et qu'au-dessous de 9 ohms/m, il s'agissait du substratum argileux.

Sur le profil nord, le substratum est connu par

---

(1) Point non rattaché au nivellement - 1019. 7. 40 -

quelques sondages<sup>(1)</sup>, le plus méridional étant le forage Esso (cf. coupe fig. 3.325) qui a touché le Crétacé supérieur argileux à - 34 m (terrain à 10 - 15 ohms/m).

Au nord, le substratum à 30 - 50 ohms/m, correspondrait à l'Helvétien et localement au Burdigalien.

Selon les données de la géophysique, ce substratum remonterait vers le sud, au delà du forage Esso, ce qui est possible (proximité de la pointe St-Gervais), plus loin il s'abaisserait de nouveau.

Les données de la campagne de géophysique ont été vérifiées par les sondages ultérieurs des Ponts & chaussées dans la zone maritime qui ont toujours rencontré de l'eau salée ou saumâtre dans les cailloutis de Crau, au sud de la limite de la zone de diffusion figurée sur la carte fig. 7.40.

Cette même campagne a permis de préciser l'interface eau douce - eau salée. En effet, on a vu sur un des sondages (R 11<sup>b</sup> entre les profils M et N le long de la route de Port-Saint-Louis) qu'on avait pu mesurer la charge de la nappe. Dans les conditions définies précédemment (chap. 7.2) il n'y a pas abouchement à la mer de la nappe captive et l'interface eau douce - eau salée résultant d'un équilibre hydrostatique se trouve à la cote - 17 m définie par

$$hb = 0,44 \frac{d^1}{d^2 - d^1}$$

ce qui est en accord avec les données du profil M.

---

(1) Cf. carte du substratum des cailloutis fig. 3.32 -

Une zone de diffusion étroite (zone à 5 ohms/m) séparerait, dans la zone aval des marais, la nappe d'eau douce des cailloutis (terrain à 200 ohms/m) de la même formation envahie par l'eau salée (zone de résistivité inférieure à  $7\Omega$ /m).

Sur le profil M, dans la partie septentrionale, le substratum à 9 ohms/m correspondrait plutôt à l'Helvétien qu'au Crétacé supérieur. Plus à l'aval, le substratum n'est pas déterminé, le niveau le plus bas semblant correspondre aux cailloutis de Crau envahis par l'eau salée, à la partie inférieure<sup>(1)</sup>. La zone de diffusion (5 - 35 ohms/m) dessine vers l'aval une lentille allongée entre les limons superficiels salés (terrains de résistivité voisine de 2 ohms/m) et les niveaux inférieurs des cailloutis de Crau envahis par l'eau salée (entre 1 et 6 ohms/m).

Sur le profil L, l'allure du substratum calcaire (Urgonien) a été précisée dans la zone de la Roque, postérieurement à la campagne de géophysique - résistivité par une campagne de sismique. Dans la partie nord du profil, le substratum à 25 ohms/m correspond au Tortonien; vers le sud le substratum n'est pas déterminé<sup>(2)</sup>. Comme sur le profil M, la zone de diffusion dessine une lentille très allongée.

#### 7.42 - Données fournies par calcul

D'après l'exposé théorique sur l'équilibre entre eau douce - eau salée figurant au paragraphe 2, nous pouvons

- 
- (1) Il peut aussi s'agir de l'Helvétien dont l'invasion ou le recouvrement sur une faible épaisseur par les eaux salées ferait diminuer la résistivité.
  - (2) Cailloutis de Crau envahis par l'eau salée, ou recouvrement du Tortonien par une faible épaisseur d'eau salée.



comparer les résultats du calcul avec les précisions apportées par la géophysique dans le cas des zones sans écoulement vers la mer et les zones avec écoulement.

7.421 - Profil\_\_L (zone sans écoulement vers la mer)

Au sondage électrique 11, le niveau piézométrique est à environ + 0,8 m, soit :

$$\begin{aligned} \text{hm} &= 38,5 \text{ ha} \\ &= 30,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Il ne peut y avoir équilibre entre eau douce et eau salée que si la base des cailloutis est à une profondeur supérieure à 30,8 m. La géophysique donne au sondage 11 le niveau de base des cailloutis à - 21 m et comme résistivité 200 ohms/m, ce qui représente une eau d'imprégnation parfaitement douce. On est ici en accord avec le calcul et il ne peut y avoir d'eau salée.

Au sondage 12 (200 m au sud du 10), le niveau piézométrique est sensiblement le même. La géophysique donne la base des cailloutis à la cote - 31 m et la résistivité égale à 180 ohms/m. La cote - 19 étant dépassée, il y a équilibre entre l'eau douce et l'eau salée : on est ici au sommet du biseau salé.

Au sondage 16, la nappe peut encore être considérée comme libre et le niveau piézométrique se situe à + 0,4 m environ.

$$\text{hm} = + 0,4 \text{ ha} = 15,40 \text{ m}$$

A partir d'une profondeur de 15 m, on doit rencontrer de l'eau salée. La géophysique donne la base des cailloutis à 41 m et une résistivité de 55 ohms/m qui marque une nette pollution par l'eau salée.

7.422 - Profil N (Zone avec écoulement vers la mer)<sup>(1)</sup>

La proximité de la mer commence à se faire sentir au sondage 10 et très rapidement la résistivité chute de 200 à 4 ohms/m (sondage 13). Il est probable qu'à partir du sondage 13, il n'y a plus à proprement parler d'eau douce mais c'est une eau déjà saumâtre qui s'écoule vers la mer.

Débit de l'écoulement :

Si une nappe captive se déverse dans la mer, le débit unitaire d'eau douce est approximativement :

$$q = \frac{1}{2} \frac{d^2 - d^1}{d^1} \frac{K e^2}{L} \quad (2)$$

Si nous prenons :

e = épaisseur de l'aquifère = 10 m

d<sup>2</sup> = densité de l'eau salée = 1,026

d<sup>1</sup> = densité de l'eau douce = 1

K = coefficient de perméabilité de la formation  
aquifère = 10<sup>-2</sup> m/s

L = longueur d'invasion marine = 2 000 m

q = 1/2 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/s

---

(1) cf. 7 31

(2) cf. G. Castany - Traité pratique des eaux souterraines.

Soit pour une longueur d'émergences de 2 000 m :

$$q = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si on admet  $K = 10^{-3} \text{ m/s}$ .  $q = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$

Le débit d'écoulement de la nappe vers la mer doit être compris entre ces valeurs. On notera qu'elles sont extrêmement faibles.

## 7.5 - CONCLUSIONS

Il n'existe pas de limite franche entre l'eau douce et l'eau salée : elle est estompée par la diffusion du sel.

Il semble que la limite de l'influence de la mer se trouve en moyenne au dessous de la ligne où le niveau piézométrique de la nappe est à la cote + 0,8. Ceci résulte de l'équilibre statique entre l'eau douce et l'eau salée compte tenu de la cote de la base des cailloutis qui se trouve entre - 20 et - 30 dans la zone nord des marais. La limite nord de la zone de diffusion est sensiblement parallèle à la ligne des émergences de la nappe de la Crau, le long de la limite nord de la zone des marais.

o

o

o

## Chapitre 8

### CHIMIE DE LA NAPPE

-----

#### 8.1 - GENERALITES

On ne possède pas un nombre important d'analyses complètes réparties sur l'étendue de la nappe de la Crau. Par contre, un grand nombre d'analyses ont été faites sur les sondages réalisés dans la partie sud de la nappe, en amont des émergences par le Ministère de la construction, en aval des émergences par les Ponts & chaussées. De plus, le B.R.G.M. a effectué dans la zone des marais une campagne de mesures sur le terrain (résistivité, chlorures, titre hydrotimétrique). Aussi étudierons nous en détail les résultats intéressant la partie aval de la nappe.

D'une façon générale, dans la partie centrale et septentrionale de la nappe<sup>(1)</sup>, la composition chimique est assez uniforme. Le degré hydrotimétrique est normalement inférieur à 30°, il dépasse 30° au sud et de part et d'autre de l'étang d'Entressen ainsi que sur les bordures orientales et septentrionales (voir carte fig. 8.10). Ces eaux sont assez "dures", riches en carbonates et pauvres en chlorures. Ainsi qu'on le verra plus loin, l'augmentation de la minéralisation sur les bordures orientales et méridionales est due à la proximité du substratum miocène. La source de Grans, issue de la nappe de Crau, mais dont l'exutoire est au contact du Miocène, a un degré hydrotimétrique de 43°.

---

(1) Il ne sera question ici que de la Crau dite "quaternaire" ou Crau de Miramas.

Au nord de Salon, les sources situées en bordure du massif de Vernegues, au sein des cailloutis de Crau, sont en grande partie sous la dépendance du Crétacé calcaire : la minéralisation est plus faible (sources des Aubes :  $Dh^{\circ} = 24^{\circ}$ ). Par contre, le forage de Curebourse, dans la même région, dont nous donnons la composition en annexe, a une composition chimique caractéristique des eaux de Crau ( $Dh^{\circ} = 36^{\circ}$ ).

La comparaison des graphiques fait apparaître la similitude de composition des eaux de la Durance et des eaux de la nappe de Crau.

## 8.2 - COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DE LA PARTIE SUD DE LA NAPPE

Les eaux sont, en général, peu minéralisées dans toute la zone considérée. Le titre hydrotimétrique oscille entre  $21^{\circ}$  et  $28^{\circ}5$  dans la partie centrale.

Dans la partie orientale, le titre augmente et dépasse  $30^{\circ}$ . Ceci peut être imputable d'une part, à la présence du substratum miocène qui remonte, et où existent des circulations de faible débit d'eaux plus chargées en Ca et Mg, mais on remarque, également, qu'on est ici en zone de forte irrigation.

Sur la bordure orientale, les eaux sont plus minéralisées. Le titre est nettement supérieur à  $30^{\circ}$ . La nappe de la Crau draine les eaux de la bordure miocène plus riches en calcaire et magnésie (intercalation de molasses calcaires et d'argiles). La dureté de l'eau augmente de façon notable et dépasse  $40^{\circ}$  dans cette région ; elle atteint même  $60^{\circ}$  localement au sud-ouest d'Istres.

Cependant, dès que l'on revient vers l'ouest, la dilution se fait rapidement, c'est ainsi que sur 900 mètres à l'ouest d'Istres le

titre passe de 44°5 à 36°.

Dans la partie sud, les eaux sont également minéralisées ; le titre atteint 40° au nord de Fos-sur-Mer, au lieu-dit Fontaine de Guigue. On est également à proximité d'affleurements miocènes.

#### 8.21 - Chlorures

La nappe de la Basse Crau, dans son ensemble, est peu chlorurée. Les teneurs les plus importantes (100 à 300 mg/l) se rencontrent au voisinage des émergences et se localisent pour la plupart autour des zones de pompage intensif ; ceux-ci, déprimant la nappe, créent des circulations à partir des eaux plus chargées de la zone des marais, c'est le cas des régions des mas de la Demoiselle et mas d'Icard, au sud du Retour des Aires, où l'on voit très nettement se dessiner la station d'exploitation et, dans le sud, de la fontaine de Guigue, lieu de pompage important pour une cartonnerie et la commune de Fos, et de plus, située à proximité des marais.

En ce dernier point intervient vraisemblablement un autre fait. On remarque, en effet, que dans la région des Carabins, les courbes de teneurs en chlorures qui dénotent une augmentation rapide de celles-ci (de 30 à 100 mgr), sont ouvertes au sud vers l'étang de l'Estomac, qui est salé. Les argiles rouges du Crétacé supérieur qui affleurent à Fos peuvent ne pas créer partout un écran imperméable et la molasse burdigalienne, vers le carrefour des routes à Istres et Fos, peut permettre des diffusions à partir de l'étang salé de l'Estomac.

Dans la Crau proprement dite, la teneur moyenne en

chlorures est inférieure à 22 mmg pour les régions qui ne sont pas exploitées.

Dans cette région peut aussi intervenir un certain effet de dilution à partir d'infiltrations superficielles (eau de pluie) car les prélèvements ont été faits en surface. Le fait a été observé sur un puits entre Peyre Estève et mas Guirand au nord-ouest de l'aérodrome. Ce puits est, en effet, situé dans une faible dépression et collecte les eaux de ruissellement. Un prélèvement ayant été fait après une forte pluie, la teneur en Cl a été de 10,65 mgl, teneur anormale pour la Crau.

Les régions dans lesquelles les puits sont exploités d'une manière plus intensive, et qui sont éloignés des affleurements miocènes, ont une teneur moyenne voisine de 25 mgl.

Au contraire, la région située le long de la bordure miocène, voit la teneur en chlorures augmenter et atteindre 50 mgl. Quelques points dépassent cette teneur. C'est ainsi, que dans un puits situé à proximité des déblais de l'usine de Rassuen (engrais), on a mesuré 56 mgl et dans une région très localisée, au sud-ouest d'Istres, on a obtenu sur deux puits 160 et 177 mgl.

Pour expliquer ces concentrations locales et dans l'hypothèse d'une augmentation de la teneur en ClNa, due à une alimentation en provenance du Miocène, des analyses complètes ont été effectuées sur des échantillons prélevés sur les puits intéressés et sur des puits situés au sein des affleurements miocènes. Les analyses chimiques (cf. diagrammes logarithmiques joints) révèlent une parenté très nette entre ces différentes eaux.

## BORDURE ORIENTALE

-----

N ° IRH	DESIGNATION	Th	Ca	Mg	Na	Total Cations	Co <sub>3</sub>	So <sub>4</sub>	Cl	Total Anions	RESIDU SEC en mg/l
1019. 4. 6	Puits au lieu dit Pipi	49°5	7,7	2,2	3,3	13,2	5,25	6,7	1,5	13,45	840
1019. 4.45	Puits de Mazet	87°25	12,8	4,65	6,95	24,4	5,8	13,4	6,-	25,2	1 616
1019. 4.76	Puits de Grange	81°	12,4	3,8	6,15	22,35	5,74	13,4	6,-	25,14	1 692
994. 1.77	Forage Cure- bourse	36°	5,8	1,5	1,75	9,05	7,3	1,65	0,5	9,45	485
993. 8.70	Miramas S. 2	30°8	5,-	1,2	0,7	6,9	3,9	2,1	0,7	6,7	506
EMERGENCES											
	Laumon sur pro- fil géoph.	36°8	6,2	1,1	0,5	7,8	5,2	2,-	0,7	7,9	585



L'influence du Miocène paraît donc certaine. On notera toutefois que l'analyse complète du puits 45 révèle une teneur en ClNa plus forte que celle trouvée par l'analyse sommaire. Il est donc possible qu'il existe une cause de contamination (proximité d'un canal d'irrigation).

Dans la zone des émergences les "laurons", orifices naturels de la nappe au sein des marais, ont donné une eau faiblement minéralisée, avec une teneur en chlorures de 25 mg/l.

#### 8.22 - Qualité chimique des eaux

Les analyses chimiques complètes effectuées montrent que les eaux de la Basse Crau sont, en général, bicarbonatées calciques. Leur salinité totale oscille autour de 500 mg/l. Elles sont donc faiblement minéralisées (fig. 8.220 à 8.228).

Les rapports caractéristiques  $\frac{So^4}{Cl}$  et  $\frac{Mg}{Ca}$  sont voisins de 2,8 et 0,15 pour la plus grande partie des sondages.

On remarque cependant, que pour les sondages  $S_3$  et  $S_7$ , le rapport  $\frac{Mg}{Ca}$  est plus grand (0,3) le rapport  $\frac{So^4}{Cl}$  restant constant.

On ne tire d'ailleurs pas d'explication de la position particulière des sondages. On remarque seulement que dans le cas de  $S_7$ , le pompage a pour effet de faire diminuer la valeur de ce rapport.

# Fig.8.220

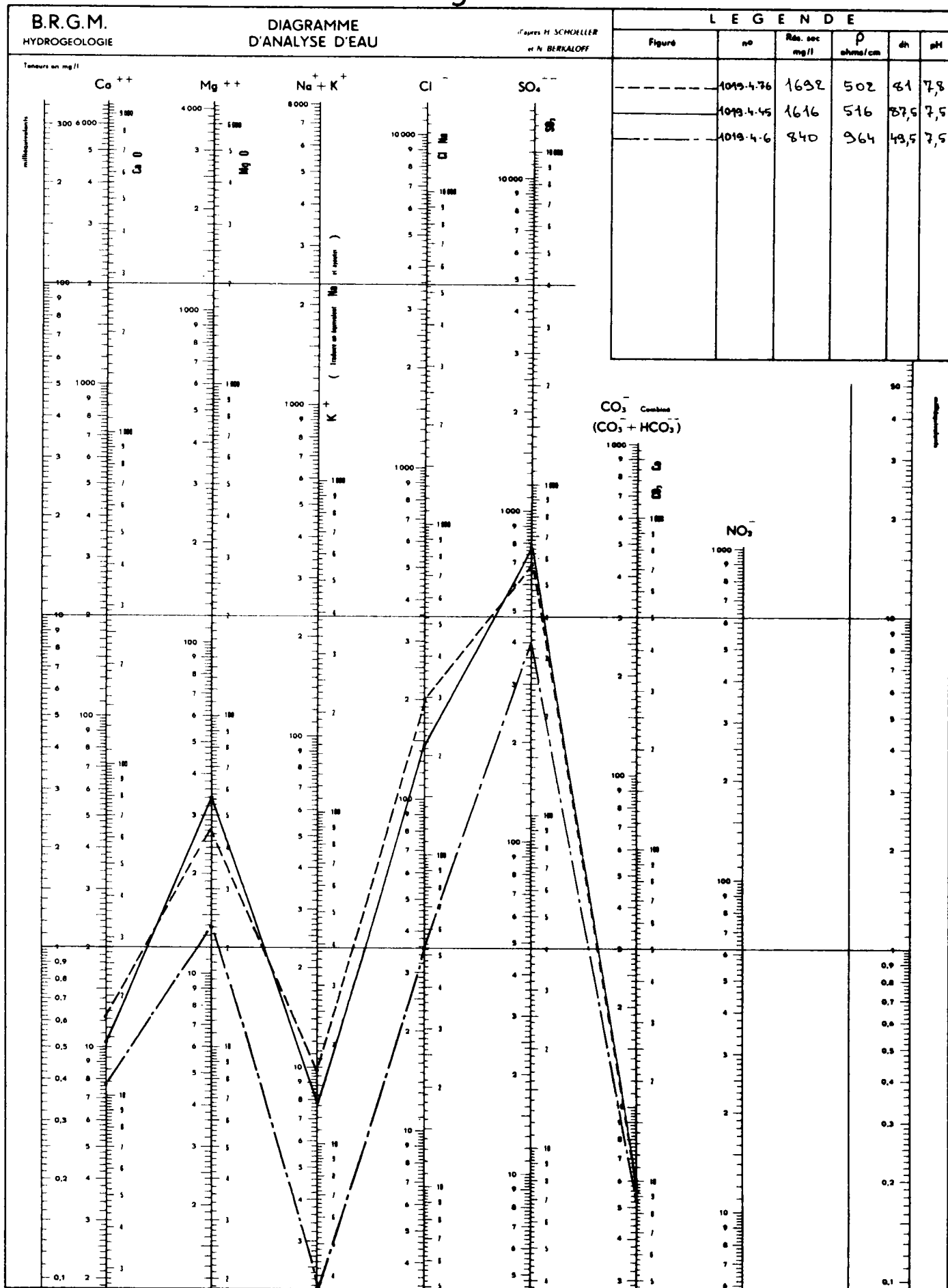


Fig.8.221

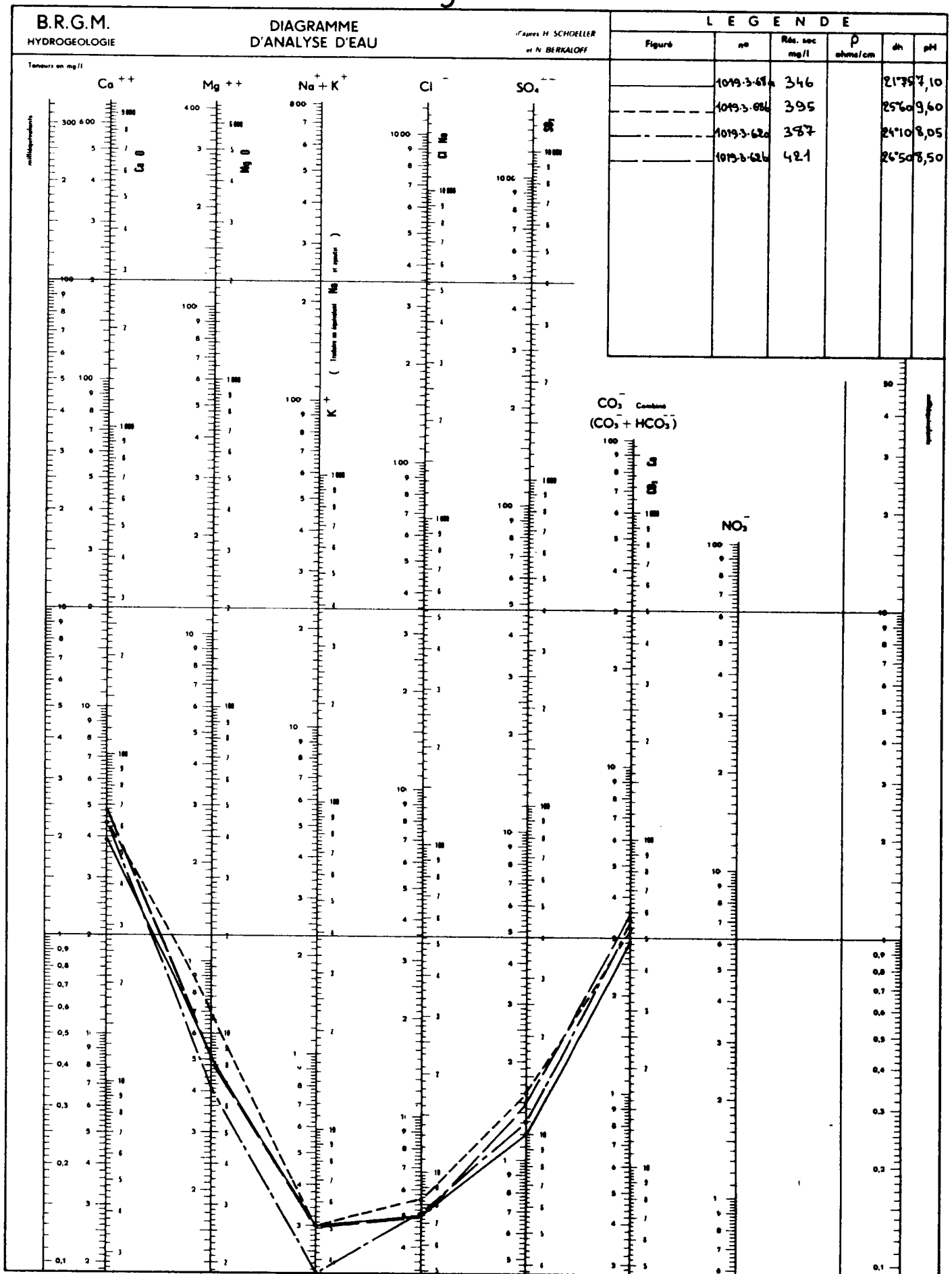


Fig. 8.22 2

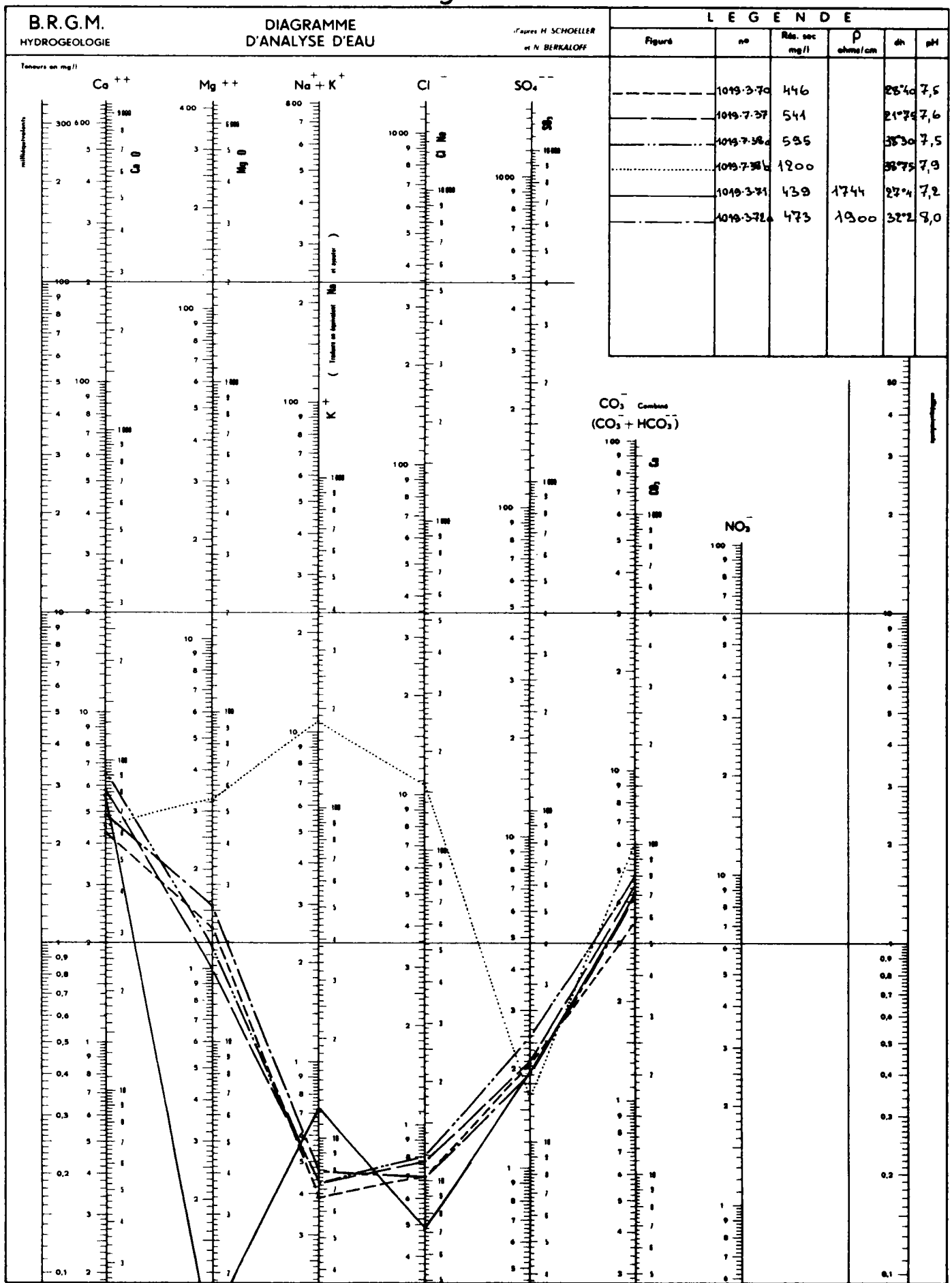


Fig. 8.223

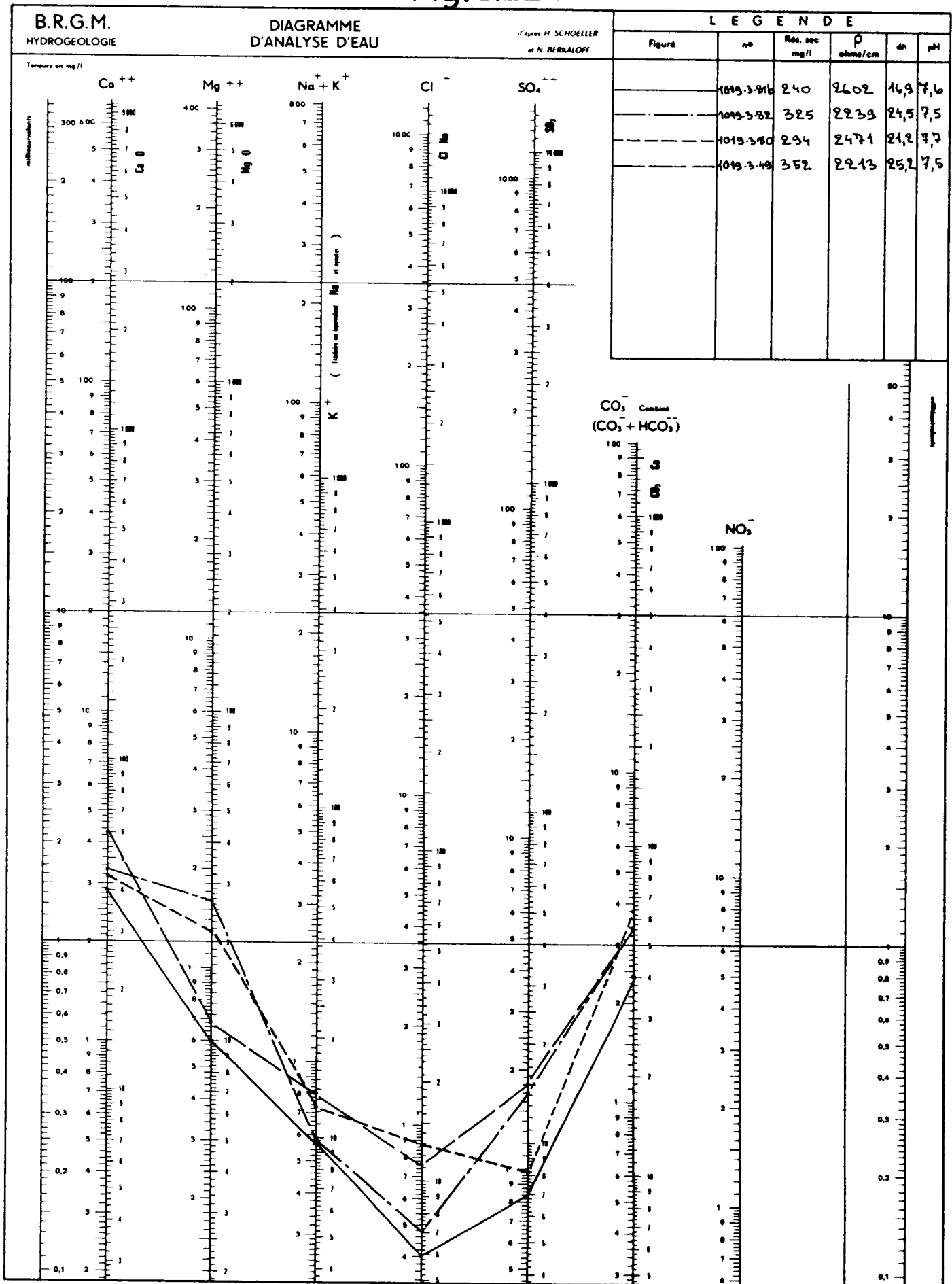


Fig. 8.22 4

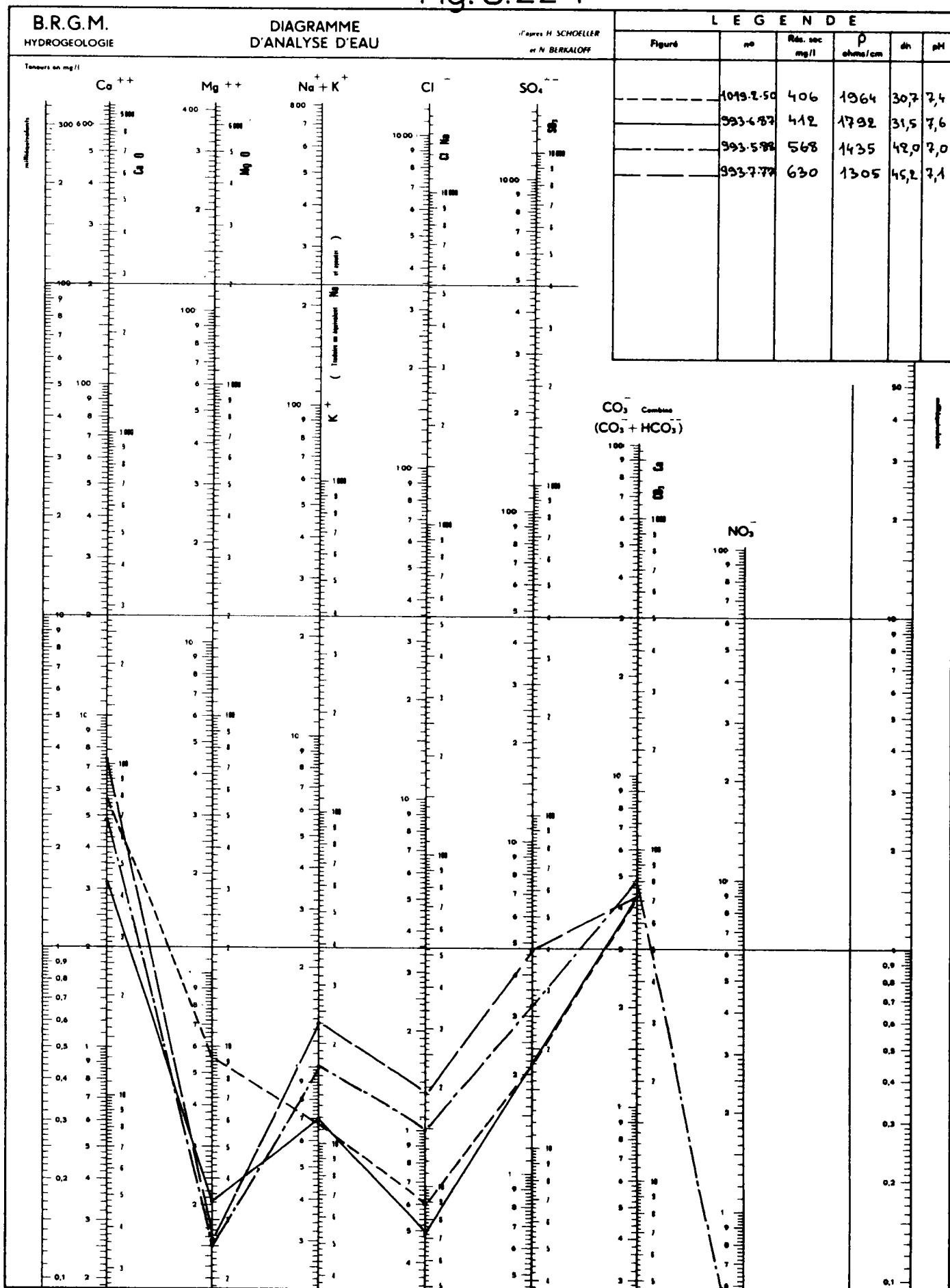


Fig. 8. 225

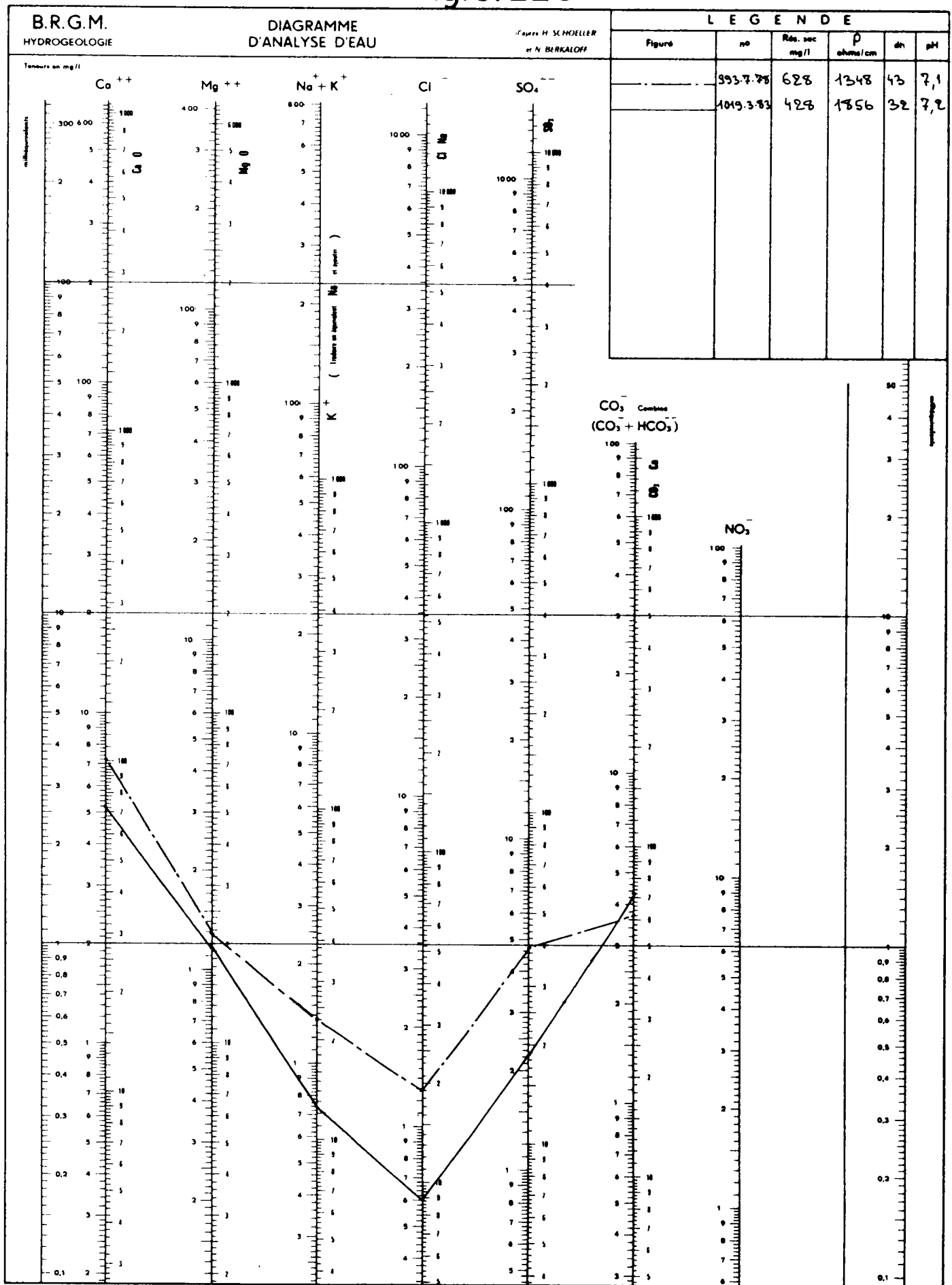


Fig. 8.22 6

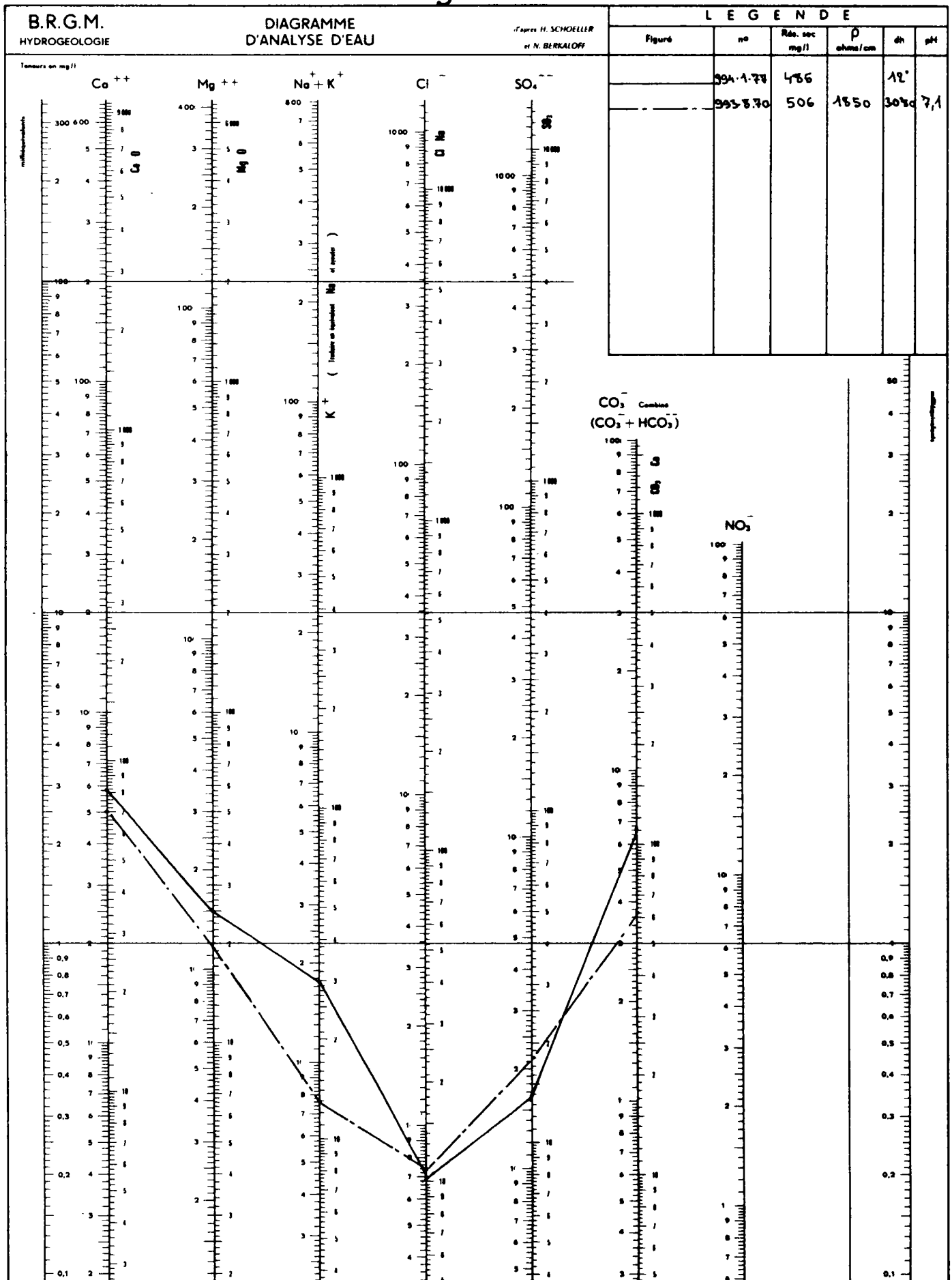




Fig.8.227

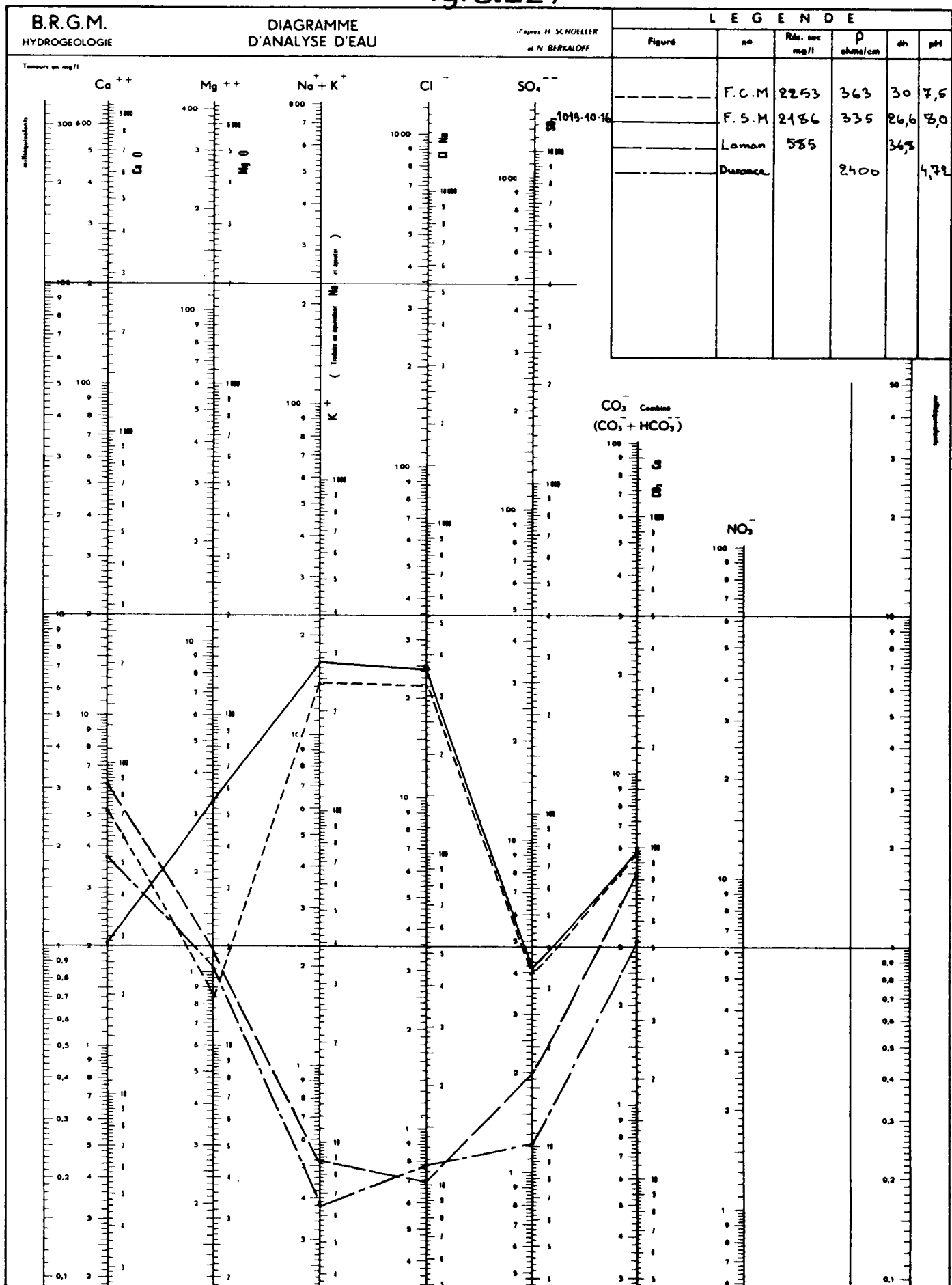
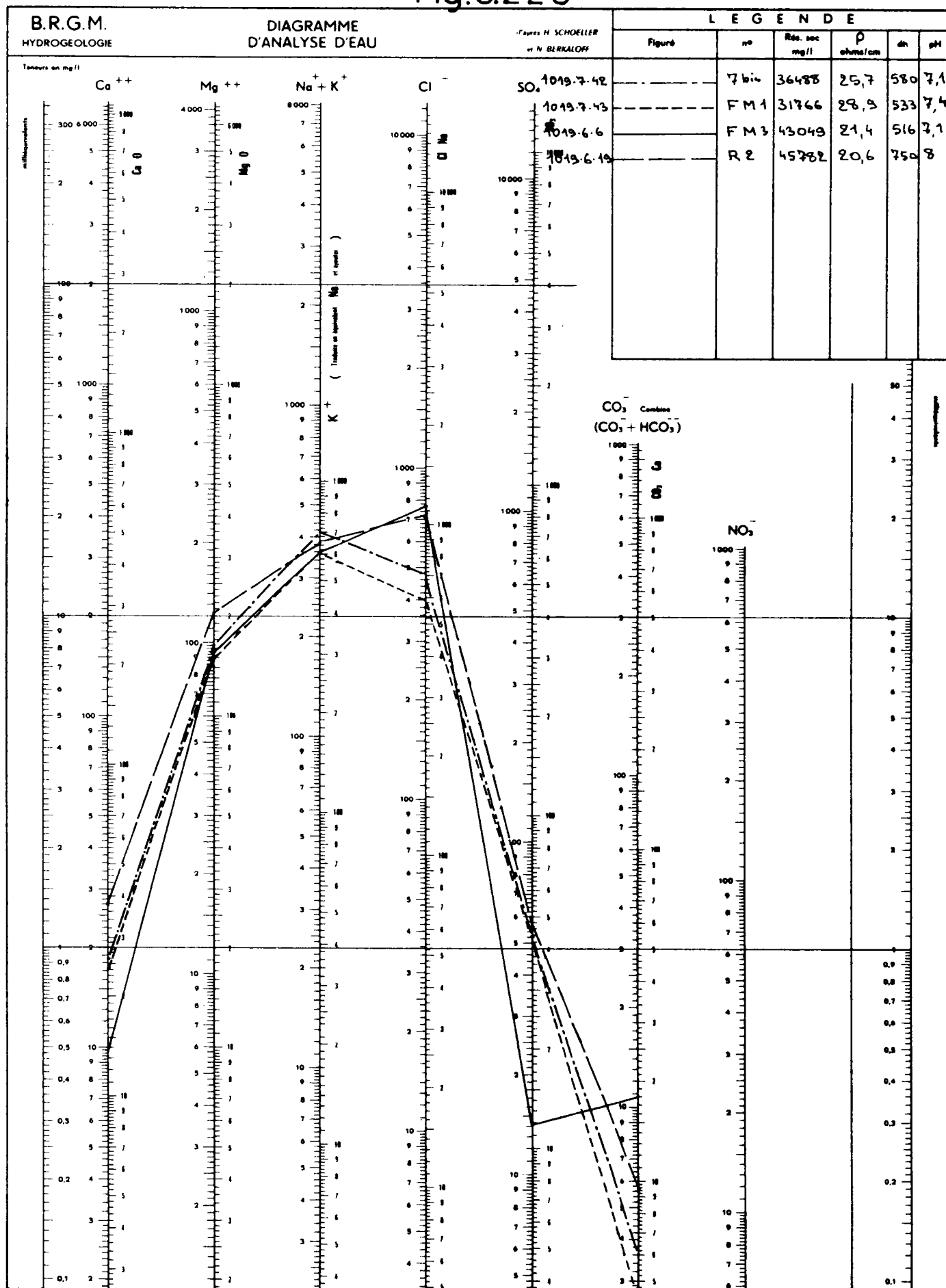
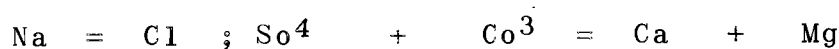


Fig.8.228



Un cas particulier est fourni par S<sub>6</sub> sur lequel l'analyse révèle une eau en non-équilibre ; une eau souterraine normale (eau de pluie chargée en Co<sup>2</sup>, dans la partie superficielle du sol, et ayant dissous Ca, Mg, ClNa et So<sup>4</sup>Ca), est caractérisée par les équilibres suivants entre les millivalences :



Ce n'est pas le cas de l'eau de S<sub>6</sub>. Il semble que l'on doive faire intervenir ici des causes extérieures (méthode de conservation d'échantillon par exemple).

Un fait, de prime abord inquiétant, est la forte augmentation de teneur ClNa de l'eau du sondage S<sub>5</sub> après pompage, car on peut se demander si l'on n'a pas fait remonter la nappe salée ou du moins la zone de diffusion qui lui est superposée. On a vu (7.2) que l'équilibre est conditionné par les différences de densité. Comme ha (charge de la nappe aux émergences) est au moins égal à 0,40, on a :

$$hm \text{ (altitude de l'interface)} = 11,5 \text{ m}$$

Le rabattement ayant été très faible (quelques centimètres), il ne paraît guère possible que le pompage ait permis la remontée de la zone de diffusion.

Mais étant donné que S<sub>5</sub> se trouve à proximité de la zone des Carabins où la carte des chlorures permet de déceler une forte augmentation de la teneur, vraisemblablement en liaison avec la proximité de l'étang salé de l'Estomac, c'est plutôt un appel sur les circulations existant dans cette zone qu'il

faut faire intervenir pour expliquer l'augmentation de la teneur en ClNa au cours du pompage.

D'ailleurs, à la suite d'un rapide pompage à 70 l/s effectué par la Société Esso-Standard, à proximité d'un sondage de reconnaissance exécuté par elle en bordure des marais au sud des Carabins, il n'a été constaté aucune modification du chimisme de l'eau.

En général, les pompages dans les sondages n'ont pas entraîné d'augmentation notable de la minéralisation et particulièrement de la teneur en Cl, même dans le cas du pompage à fort débit sur le forage d'essai. Une légère augmentation de la teneur en chlore s'observe seulement au sondage 8 bis, mais on notera que cet ouvrage se trouve dans une zone à fort gradient de la nappe, résultant d'une faible épaisseur des cailloutis et d'une faible perméabilité de ceux-ci.

Au contraire, une diminution des teneurs en chlorures s'observe quelquefois (sondages 9, 10, 11), la minéralisation restant relativement constante.

#### 8.23 - Conclusion

On peut dire que la nappe de la Basse Crau est peu minéralisée (Th° inférieur à 30°, 25 mg/l de chlorures en moyenne). Le degré hydrotimétrique tend à augmenter le long de la bordure orientale (irrigation) et atteint son maximum au voisinage des affleurements du substratum miocène.

Les teneurs en chlorures augmentent vers l'aval et peuvent atteindre 170 mg/l au voisinage des points de pompage importants. Localement, au nord de Fos, on constate une augmentation de la teneur en chlorures en liaison vraisemblablement avec le voisinage de l'étang salé de l'Estomac.

# COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DE LA CRAU

## Valeurs des rapports caractéristiques

				So <sup>4</sup> / Cl	Mg/Ca
1019. 7. 38	Sondage	5	a	2,5	0,3
	"		b	0,1	1,25
1019. 7. 37	Sondage	4	a	2,-	0,3
	"		b		
1019. 3. 70	Sondage	3		2,-	0,5
1019. 3. 71	Sondage	6		3,-	0,006
1019. 3. 72	Sondage	7		2,-	0,5
1019. 3. 68 a	Sondage	1	a	1,75	0,2
	"		b	2,-	0,2
1019. 3. 69	Sondage	2	a	2,-	0,15
	"		b	2,-	0,2
1019. 4. 6				5,2	3,-
1019. 4. 45				4,8	5,-
1019. 4. 76				2,5	4,-
1019. 3. 81 bis	Sondage	8	bis	2,1	0,2
1019. 3. 82	Sondage	9		2,5	0,8
1019. 3. 80	Sondage	10		0,8	0,7

COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DE LA CRAU

Valeurs des rapports caractéristiques (Suite)

			So <sup>4</sup> / Cl	Mg/Ca
1019. 2. 49	Sondage	11	1,75	0,29
1019. 2. 50	Sondage	12	3,-	0,19
993. 6. 87	Sondage	13	4,-	0,07
993. 5. 88	Sondage	14	2,5	0,04
993. 7. 77	Sondage	15	2,5	0,04
993. 7. 78	Sondage	15 bis	3,-	0,3
1019. 3. 83	Sondage	16	2,7	0,38
1019. 6. 16	FSM		6,-	1,6
	FCM		0,1	0,3
1019. 7. 43	FM		0,1	5,15
1019. 6. 6			0,018	9,6
1019. 6. 7			0,02	8,75
1019. 7. 42			0,1	5,18
1019. 6. 19			0,007	4,5
1019. 6. 21			0,009	6,05
1019. 7. 59	Salins de Giraud		0,06	4,70
			0,06	8,50

TABLEAU DES TENEURS DES PRINCIPAUX ELEMENTS DISSOUS  
EXPRIMEES EN CONCENTRATIONS EN IONS

-----

1) Campagne Ministère de la construction 1962

N° IRH	DESIGNATION Sondage	Th	Ca	Mg	Na	Total Cations	Co <sub>3</sub>	So <sup>4</sup>	Cl	Total Anions	Observations	RESIDU SEC en mgl
1019/7/37	4	34°5	5,90	1,-	0,43	7,33	4,49	2,08	0,76	7,33	Avant pomp.	541
1019/7/37	4	32°5	5,50	1,-	0,43	6,93	4,-	2,17	0,76	6,93	Après "	507
1019/3/76	Forage Gd diamètre	31°6	5,20	1,1	0,60	6,90	4,10	3,10	0,70	6,90		518
1019/7/38	5	38°3	6,50	1,16	0,43	8,09	4,80	2,50	0,79	8,09	Avant pomp.	595
1019/7/38	5	38°75	4,50	3,25	10,70	18,45	6,05	1,63	10,77	18,45	Après "	1.200
1019/3/68	1	21°75	3,85	0,50	0,30	4,65	2,93	1,22	0,50	4,65	Avant pomp.	346
1019/3/68	1	25°6	4,40	0,66	0,30	5,36	3,20	1,60	0,56	5,36	Après "	395
1019/3/69	2	24°1	4,40	0,41	0,21	5,02	3,21	1,31	0,50	5,02	Avant pomp.	387
1019/3/69	2	26°5	4,80	0,50	0,30	5,60	3,60	1,50	0,50	5,60	Après "	421

EXPRIMEES EN CONCENTRATIONS EN IONS

-----

Campagne Ministère de la construction 1962

N° IRH	DESIGNATION SONDAGE	Th	Ca	Mg	Na	Total Cations	Co <sub>3</sub>	So <sub>4</sub>	Cl	Total Anions	Observa.	RESIDU SEC en mgl
1019.3.70	3	28°4	4,35	1,33	0,39	6,14	3,44	2,-	0,70	6,14	Avant pom.	446
1019.3.70	3	24°25	3,85	1,-	0,35	5,25*	2,70	1,85	0,70	5,25	Après "	378
1019.3.71	6	27°4	5,6	0,03	0,73	6,36	4,3	1,99	0,49	6,69	Avant "	439
1019.3.72	7	32°2	4,87	1,57	0,47	6,91	4,35	1,98	0,70	7,03	Avant "	473
1019.3.72	7	32°1	5,3	1,11	0,48	6,98	4,25	2,63	0,70	7,58	Après "	441

\* k = 0,05



## CAMPAGNE MINISTERE DE LA CONSTRUCTION 1963

-----

(avant pompage)

N° IRH	DESIGNATION SONDAGE	Th	Ca	Mg	Na	Total Cations	Co <sub>3</sub>	So <sup>4</sup>	Cl	Total Anions	RESIDU SEC en mg/l
1019. 3. 81b	8 bis	16°9	2,88	0,5	0,57	3,95	2,4	0,84	0,40	3,64	240
1019. 3. 82	9	24°5	3,27	1,64	0,58	5,49	3,32	1,7	0,49	5,51	325
1019. 3. 80	10	22°5	3,2	1,3	0,73	5,23	3,8	0,98	0,89	5,67	294
1019. 2. 49	11	25°2	4,35	0,69	0,82	5,86	3,17	1,8	0,76	5,73	352
1019. 2. 50	12	30°55	5,55	0,56	0,68	6,79	4,15	2,13	0,60	6,88	406
993. 6. 87	13	31°5	4,28	2,04	0,70	7,02	4,35	2,16	0,49	7,-	412
993. 5. 88	14	42°	6,9	1,5	1,1	9,5	4,84	3,2	1,-	9,04	568
993. 7. 77	15	44°85	7,4	1,57	1,35	10,32	4,37	1,3	4,69	10,36	630
993. 7. 78	15 bis	43°	7,3	1,29	1,39	9,98	3,7	4,6	1,3	9,60	628
1019. 3. 83	16	32°	5,2	1,17	0,73	7,1	4,28	2,2	0,6	7,08	427

# EAUX DE LA DURANCE

-----

Th	Ca	Mg	Na	Cations	Co <sub>3</sub>	Cl	So <sub>4</sub>	Anions
23°60	3,68	1,04	0,62 KO,02	5,36	3,16	0,78	1,42	5,36

### 8.3 - COMPOSITION CHIMIQUE DES EAUX DANS LA ZONE DES MARAIS

---

L'étude a été effectuée au printemps 1963. Malgré la faible densité des points de mesure, conséquence de la grande difficulté de circulation dans les marais de Crau, on a pu mettre en évidence quelques faits.

#### 8.31 - Qualité chimique des eaux

L'eau des marais est plus chargée en sels que celle de la Crau proprement dite, on y rencontre des teneurs plus importantes du fait de la proximité de la mer, de la faible charge de l'eau douce.

Dans le secteur nord-ouest, d'une façon générale assez homogène, la courbe 250, teneur maximale tolérée au point de vue potabilité, suit approximativement le canal du Viguérat, avec une indentation marquée entre les marais du Retour et du Coucou, ce dernier en zone de plus forte teneur. Au delà de ce canal, les chlorures augmentent très sensiblement : les teneurs sont supérieures à 1 000 mg/l et dans l'étang du Galéjon supérieures à 5 000 mg/l, valeurs normales puisque cet étang est en contact avec la mer par le canal du Galéjon.

#### 8.32 - Titre hydrotimétrique (somme des concentrations calciques et magnésiennes).

Il est, en général, voisin de 30°, atteignant plus de 60° dans l'étang du Galéjon.

Il est à remarquer que de l'est à l'ouest, les ma-

rais de Fos ne se trouvent dans la zone supérieure à 30° que pour la partie orientale et tout à fait méridionale (influence des apports en provenance des affleurements miocènes et de l'étang de l'Estomac).

Les Grands Paluds sont dans la zone de teneur inférieure à 30° ainsi que tout à l'ouest les marais des Trinitaires ; par contre, les marais du Coucou et du Retour sont dans la zone supérieure à 30°.

Les avancées des zones de teneur inférieure à 30° localisent les zones de résurgences de la nappe (laurons des Trinitaires, des Grands Paluds, des marais de Fos) ; elles coïncident d'ailleurs avec des zones de basses teneurs en chlorures.

A l'extrémité nord-ouest, la limite des deux zones est voisine de celle des Craus pliocène et quaternaire. La région mas d'Icard, mas de la Demoiselle est caractérisée par des valeurs élevées du titre, en même temps que des chlorures.

### 8.33 - Chlorures

#### - Secteur nord-ouest :

Dans ce secteur, dans la région des marais du Bondoux, les courbes d'égales teneurs en chlorures, entre Cabane rouge au nord et le marais, mettent en évidence une plus forte alimentation en provenance de la nappe. Par contre, immédiatement à l'est (région marais du Retour - Le retour des Aires), on se trouve dans une zone de plus for-

te concentration : on est au voisinage d'une zone remarquable de direction nord-sud, que nous allons examiner.

- Secteur central :

Dans ce secteur, les courbes isochlores (et la courbe de valeur  $30^{\circ}$  du titre hydrotimétrique) dessinent une très forte indentation vers le sud et localisent une zone nord-sud s'étendant vers le nord, à partir de l'étang du Galéjon. Si l'on se réfère à la carte du substratum des cailloutis (fig. 3.32), on constate qu'elle dessine un **thalweg** marqué, orienté nord-sud et parallèle au méridien de la Roque : l'épaisseur des cailloutis plus forte et les circulations plus importantes, expliqueraient l'avancée vers le sud des courbes d'égales teneurs en chlorures et d'égale valeur du titre hydrotimétrique (alimentation plus forte). C'est d'ailleurs, au nord du Galéjon, que la limite cailloutis de Crau - alluvions récentes (fig. 3.11), dessine une indentation vers le sud. Il y a là, une convergence des faits qui permet de penser qu'un phénomène géologique a présidé à la distribution des cailloutis de Crau dans ce secteur (faille nord-sud passant par la Roque et abaissant à l'est le substratum des cailloutis).

- Secteur sud-est :

Ce secteur est caractérisé, dans la zone des marais de Fos, par une forte avancée des courbes isochlores de faible valeur ( $30^{\circ} - 50^{\circ}$ ) et limité au sud, au voisinage immédiat du canal d'Arles à Port-de-Bouc, par une brutale augmentation de ces valeurs. On peut penser que ce canal, en communication avec la mer et recevant des eaux en provenance

des marais salants, contribue à cette augmentation de la salure.

Cette avancée vers le sud des zones à faibles teneurs en chlorures est à mettre en parallèle avec la présence au nord, dans les cailloutis de la Crau, d'une région à forte perméabilité que met en valeur la carte de la surface piézométrique (fig. 6.50 et 6.51). On remarque aussi qu'elle coïncide approximativement avec l'étroite zone nord-sud de fort creusement du substratum, avec accroissement concomitant de l'épaisseur du remplissage alluvial mis en évidence par les sondages et la géophysique (fig. 3.32).

Vers l'est, on constate au contraire une remontée brutale vers le nord des courbes isochlores dans la zone des Carabins, à mettre en relation avec des arrivées en provenance de l'étang de l'Estomac et des pompages importants.

Vers le sud, joue la proximité de la mer.

Dans le centre même des marais de Fos, quelques valeurs anormalement fortes de chlorures (70 mmgr) localisent une zone plus colmatée, non influencée par la proximité de la mer.

D'une façon générale, cette étude chimique de la nappe contenue dans les marais, met bien en évidence les zones des "laurons" ou résurgences d'eau douce.

C'est ainsi que l'on peut les localiser : au nord du canal de Colmatage, dans les marais des Trinitaires et de

Beauchamp, au sud du mas des Platanes (est du Grands Paluds) et surtout dans la zone située au sud du mas de l'Audience, sans oublier l'ilôt d'eau douce des marais situés au sud du mas des Aulnes (marais de Fos).

#### 8.34 - Conclusion

Cette prospection chimique de la zone des marais, malgré les difficultés d'observation, une faible densité et une répartition assez inégale des points d'observations, donne une bonne image de l'évolution chimique de la nappe. Les zones de résurgences d'eau douce, les "laurons", sont bien mises en évidence.

La limite eau douce - eau saumâtre (courbe 250) passe par le canal de Colmatage jusqu'au nord du pont Clapet, suit une direction parallèle au canal d'Arles à Port-de-Bouc et à environ 1 km au sud de ce dernier, pour se rabattre ensuite au nord et suivre le canal en direction de la pointe Saint-Gervais.

#### 8.4 - COMPOSITION CHIMIQUE DE LA NAPPE A L'AVAL DES MARAIS (zone de la nappe captive).

A l'aval du canal d'Arles à Port-de-Bouc limitant au sud la zone des marais, la nappe des cailloutis de Crau s'enfonce sous les limons récents, supportant en surface une nappe salée.

La nappe des cailloutis de Crau, en communication avec la mer à l'aval, devient rapidement salée. Ainsi qu'on l'a vu au chapitre précédent, l'équilibre existant est fonction des différen-

ZONE AVAL DES EMERGENCES

N° IRH	DESIGNATION	Th	Ca	Mg	Na	Total Cations	Co <sub>3</sub>	So <sup>4</sup>	Cl	Total Anions	OBSERVATIONS	RESIDU SEC
	FCM	30°	5,15	0,83	24,- k0,81	30,79	5,67	4,-	22,-	31,67	ClNa1338,1	2.037
1019/6/16	FSM	26°6	2,06	3,3	26,4 k0,86	32,6	5,7	4,06	24,6	34,36	ClNa730mg1	2.148
1019/7/43	FM1	533°	17,5	90,5	352,- k7,7	467,7	2,8	51,9	405,-	459,7	ClNa3728 mg1	26.856
1019/6/6	FM3	516°	9,8	94,-	605,- k9,1	717,9	11,8	14,4	775,-	780,12	ClNa41.150 "	44.264
1019/6/7	FM4	513°3	10,5	92,16	492,86 k15,23	610,75	6,95	16,31	587,49	610,75	ClNa32.192 "	35.311
1019/7/42	FM7 <sup>b</sup>	580°	18,9	98,-	414,6 k9,9	541,4	3,68	52,-	480,-	535,68	ClNa26.577 "	31.257
1019/6/19	La Roque 2	750°	27,1	124,-	633,- k12,8	769,9	5,65	5,65	719,-	729,3	ClNa40137 "	45.731
1019/6/20	La Roque 3	710°	27,2	116,2	570,3 k12,8	726,5	4,64	5,44	657,-	667,08	ClNa36443 "	42.248
1019/6/21	La Roque 4	808°	23,-	140,-	486,- k10,5	659,5	2,81	5,5	563,-	571,31	ClNa29723 "	35.289
1019/7/59	La Roque 5	547°	19,5	91,4	440,7 k13,1	564,7	6,24	4,34	500,-	510,58	ClNa27897 "	34.215
	Salins de Giraud	591°75	18,35	100,-	454,18 k 4,48	577,61	6,-	33,41	537,4	577,01	ClNa29524 "	33.233



ces de densité. On a demandé à la géophysique de préciser la zone de contact : celle-ci (7.4) a montré qu'il existait une zone de diffusion, au delà de laquelle, la nappe était franchement salée. Les résultats des analyses d'eau effectuées sur les sondages exécutés par les Ponts & chaussées, confirment les résultats obtenus.

Sur le profil L (1) de la géophysique, le sondage FSM' (voir tableau) à hauteur du sondage électrique 17, a fourni une eau à 730 mg/l de ClNa, soit une résistivité de 9 ohms/m. Au droit du sondage électrique 18, à 100 m au nord-ouest, le FMC a donné une eau à 1 338 mg/l, soit une résistivité de 5 ohms/m. Ceci est en accord avec les données de la géophysique et délimite le biseau salé.

Sur le même profil, dans la zone de la Roque, tous les sondages dans les calcaires ont fourni des eaux très chargées en ClNa (entre 28 et 40 gr/l, soit une résistivité de 0,1)<sup>(2)</sup>.

A 300 m à l'ouest de la butte de la Roque, le sondage FM 3 a donné également une eau très chargée (40 gr de ClNa). La nappe des cailloutis de Crau, à l'aval du biseau salé définie par les sondages FSM' et FCM, est salée.

Entre les profils M et N, au sondage FM, on a une eau à 3,7 gr/l. de ClNa, soit une résistivité de 2,5 ohms/m : ceci doit correspondre à la lentille d'eau saumâtre existant au-dessus de l'eau salée, au droit des sondages électriques 14 et 15 du profil M. Par contre, au droit de FM1, sur le profil N, l'eau est déjà salée. Il apparaît ainsi qu'au sud d'une ligne définie par les sondages FCM et FM, l'eau de la nappe des cailloutis de Crau est salée

---

(1) fig. 7.40

(2) A la température de 17°.

## Chapitre 9

### RESUME DES RESULTATS HYDROGEOLOGIQUES DES TRAVAUX DE RECHERCHE EFFECTUES (Forages - Essais de pompage)

-----

Il ne sera traité dans ce chapitre que des travaux de forages, les résultats des campagnes de géophysique résistivité étant exposés au chapitre 6 et ayant fait l'objet de rapports séparés antérieurs (voir bibliographie).

Les travaux ont été exécutés en 2 campagnes.

La première a eu lieu en Basse-Crau (région de Fos), elle a comporté :

- 7 sondages mécaniques totalisant 267 m de perforation.
- 1 forage d'essai avec 3 piézomètres.
- 44 essais de perméabilité ponctuelle du type Lefranc.
- 7 mesures de perméabilité au micromoulinet.

Les renseignements obtenus ont été consignés dans le rapport DSGR 63 A 28 (Etude de la nappe de la Crau (B.D.R.) - Résultats de la première campagne de sondages 1962).

Au cours de la 2ème campagne, la première ligne de sondages a été prolongée vers Arles. En outre, un second sondage destiné à la reconnaissance du surcreusement du substratum dans la région de Fos a été exécuté.

Cette seconde campagne a comporté :

- 11 sondages mécaniques totalisant 208 m.
- 24 essais Lefranc.
- 8 mesures au micromoulinet.

Les résultats obtenus lors de ces 2 campagnes sont groupés dans les tableaux ci-après.

Les résultats détaillés des mesures sont consignés dans les annexes 1 et 4.

L'examen du tableau des valeurs des perméabilités obtenues par les différentes méthodes de mesure permet de faire les remarques suivantes :

- les valeurs des perméabilités obtenues à partir des formules de Dupuit et de Theis (descente) sont assez voisines,
- les valeurs des perméabilités obtenues par la méthode Lefranc paraissent faibles,
- celles obtenues à partir du micromoulinet semblent fortes,
- celles obtenues à partir des courbes de remontées calculées suivant la formule de Theis restent dans la moyenne.

Finalement nous avons retenu des valeurs de la perméabilité obtenues à partir de la remontée pour le calcul du débit percolant à travers les alluvions suivant le profil de la RN 568 Arles à Fos.

#### CONCLUSION

##### - Profil de Fos à Arles :

Des travaux exécutés sur ce profil il ressort que la perméabilité de la zone reconnue par la 1<sup>o</sup> campagne est la plus forte et que des zones de perméabilité moyenne existent aux 2 extrêmités du profil ; la perméabilité au sondage 14, sondage à l'extrêmité ouest du profil, est très faible mais celui-ci est dans l'Astien (sables argileux).

##### - Gradients :

Les valeurs de la perméabilité obtenue sur les sondages implantés sur les zones à fort gradient de la surface piézométrique sont, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, très faibles.

SONDAGES	VALEUR T R A N S M I S S I V I T E en m <sup>2</sup> /s.					Coefficient Perméabilité K en m/s.
	Essais Lefranc	Micro- moulinet	Pompage	Remontée	Valeur admise	
1	(1,6.10 <sup>-3</sup> )	1,4.10 <sup>-2</sup>	1,2.10 <sup>-2</sup>	1,2.10 <sup>-1</sup>	6.10 <sup>-2</sup>	5.10 <sup>-3</sup>
2	3.10 <sup>-2</sup>	2.10 <sup>-1</sup>	7.10 <sup>-2</sup>	4,8.10 <sup>-2</sup>	4.10 <sup>-2</sup>	4,2.10 <sup>-3</sup>
3	0,6.10 <sup>-1</sup>	4,3.10 <sup>-1</sup>	7.10 <sup>-2</sup>	3,4.10 <sup>-1</sup>	3.10 <sup>-1</sup>	2,3.10 <sup>-2</sup>
4	1,6.10 <sup>-1</sup>	2,2.10 <sup>-1</sup>	5,5.10 <sup>-2</sup>	/	3.10 <sup>-1</sup>	1.10 <sup>-2</sup>
5	1,4.10 <sup>-1</sup>	1,8.10 <sup>-1</sup>	2,6.10 <sup>-1</sup>	2,4.10 <sup>-1</sup>	2.10 <sup>-1</sup>	5.10 <sup>-3</sup>
6	0,8.10 <sup>-1</sup>	1,9.10 <sup>-1</sup>	/	3,5.10 <sup>-1</sup>	2.10 <sup>-1</sup>	7.10 <sup>-3</sup>
7	3,2.10 <sup>-1</sup>	2.10 <sup>-1</sup>	2,6.10 <sup>-1</sup>	2,4.10 <sup>-1</sup>	2,5.10 <sup>-1</sup>	8.10 <sup>-3</sup>
8			/	/		
8bis	0,22.10 <sup>-3</sup>	1,8.10 <sup>-3</sup>	1.10 <sup>-3</sup>	4,5.10 <sup>-3</sup>	1.10 <sup>-3</sup>	1,6.10 <sup>-3</sup>
9	0,52.10 <sup>-2</sup>	5,56.10 <sup>-2</sup>	1,7.10 <sup>-2</sup>	5,2.10 <sup>-2</sup>	2.10 <sup>-2</sup>	3.10 <sup>-3</sup>
10	3,64.10 <sup>-2</sup>	2,23.10 <sup>-2</sup>	2,1.10 <sup>-2</sup>	6.10 <sup>-2</sup>	2,5.10 <sup>-2</sup>	2,2.10 <sup>-3</sup>
11	0,64.10 <sup>-2</sup>	6,19.10 <sup>-2</sup>	2,1.10 <sup>-2</sup>	9,1.10 <sup>-2</sup>	2.10 <sup>-2</sup>	1.10 <sup>-3</sup>
12	0,66.10 <sup>-2</sup>	5,55.10 <sup>-2</sup>	2,6.10 <sup>-2</sup>	4.10 <sup>-2</sup>	3,5.10 <sup>-2</sup>	3,3.10 <sup>-3</sup>
13	0,25.10 <sup>-2</sup>	8,9.10 <sup>-2</sup>	6,1.10 <sup>-2</sup>	4,6.10 <sup>-2</sup>	4,6.10 <sup>-2</sup>	4,9.10 <sup>-3</sup>
14	1,02.10 <sup>-3</sup>	/	3.10 <sup>-3</sup>	1,6.10 <sup>-3</sup>	1,5.10 <sup>-3</sup>	0,25.10 <sup>-3</sup>
15	4.10 <sup>-6</sup>	/	2.10 <sup>-3</sup>	3,9.10 <sup>-3</sup>	3.10 <sup>-3</sup>	1,1.10 <sup>-3</sup>
15bis	/	/	/	/	/	/
16	3,12.10 <sup>-2</sup>	4,7.10 <sup>-2</sup>	1.10 <sup>-2</sup>	/	2.10 <sup>-2</sup>	1.10 <sup>-3</sup>

Perméabilités comparées  
de la 2<sup>o</sup> campagne  
obtenues à partir de différentes formules

N <sup>o</sup> SONDAGES	VALEUR de la P E R M E A B I L I T E en m/s.					Coefficient Perméabilité en m/s.
	Formule Dupuit	Formule Descente	Theis Remontée	Lefranc	Micromoulinet	
8	$0,25 \cdot 10^{-4}$			$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	
8bis	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$4,43 \cdot 10^{-4}$	$1,62 \cdot 10^{-3}$	$0,86 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
9	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$10,7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
10	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,72 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$
11	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$0,45 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
12	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$0,87 \cdot 10^{-3}$	$7,21 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$
13	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$0,25 \cdot 10^{-3}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$
14	$0,22 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	/	$0,25 \cdot 10^{-4}$
15	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$0,65 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	/	/	$1,1 \cdot 10^{-3}$
15bis	$0,75 \cdot 10^{-5}$	/	/	/	/	/
16	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	/	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$

## Chapitre 10

### REGIME DE LA NAPPE

-----

#### 10.1 - REGIME ANNUEL

##### 10.11 - Caractère général

L'étude du régime annuel des fluctuations de la surface piézométrique est basée sur les observations mensuelles du niveau d'eau effectuées par l'E.D.F dans les 240 puits de la région depuis 1954, donc depuis 10 années. Le régime annuel de la nappe paraît être en relation étroite avec celui des précipitations et avec les irrigations.

Cette influence s'exprime par l'inconstance du régime annuel qui varie selon les années tant par l'amplitude des fluctuations que par la date des maximums et des minimums.

Toutefois, si le régime pluviométrique moyen annuel se caractérise par 4 périodes (voir fig.4.33) comportant 2 maximums et 2 minimums de valeur inégale, le régime annuel des fluctuations de la surface piézométrique ne comporte qu'un maximum et un minimum. Ce fait s'explique par l'influence des irrigations qui survenant en période d'étiage principal de mai à septembre, entraînent une surélévation de la surface piézométrique.

Le volume d'eau apporté à la nappe par les irrigations pouvant être sensiblement plus fort que le volume d'eau apporté en saison pluvieuse d'automne, le maximum de hauteur du niveau piézométrique se place souvent en août et septembre.

Pour définir un régime annuel moyen nous avons calculé pour la période de 1954 à 1961 inclus les fréquences des mois à maximum et des mois à minimum :

MAXIMUMS		MINIMUMS	
Mois	Fréquence en %	Mois	Fréquence en %
Août	12,95	Mars	35,20
Septembre	8,80	Avril	7,25
Octobre	3,62	Juillet	4,15
Juillet	2,59	Août	3,11
Décembre	2,07	Septembre	2,07
Janvier	1,04	Janvier	1,55
Mai	0,52	Novembre	1,04
Juin	0,52	Décembre	1,04
Novembre	1,04	Février	0,52
variable	66,90	variable	44,10
	<hr/> 100,05		<hr/> 100,03

Le tableau ci-dessus montre que la dispersion aussi bien des mois à maximum que des mois à minimum est si



grande qu'il est difficile de parler d'un régime annuel moyen.

Il en résulte l'impossibilité de définir rationnellement une "année hydrologique" commune valablement à l'ensemble de la Crau, ce qui atténue la signification des calculs d'"amplitude" moyenne qui suivent.

10.12 - Hauteurs moyennes annuelles des fluctuations de la surface piézométrique

Deux cartes ont été établies :

- l'une des hauteurs moyennes annuelles des fluctuations de la surface piézométrique pour la période de 1954 à 1962 (voir fig. 10.120).

- l'autre de la hauteur extrême annuelle de fluctuation de l'année 1962 (voir fig. 10.121).

L'analyse de ces cartes montre qu'en moyenne la hauteur des fluctuations du plan d'eau varie selon les points entre 0,3 et 7,7 m mais dépasse rarement 3 m. La hauteur de fluctuation la plus fréquente est comprise entre 1 et 2 m.

On observe aussi que ces hauteurs sont faibles au centre et à l'aval de la nappe, ce qui s'explique aisément si l'on considère que le niveau de base est fixé par la zone des marais à plan d'eau variable. Au voisinage des limites amont les hauteurs dépassent souvent 4 mètres.

On notera aussi que les plus fortes hauteurs des fluctuations correspondent à la zone de dépression de la surface piézométrique dans le thalweg de St-Tropez.

10.13 - Abaissements saisonniers de la surface piézométrique

Pour étudier les baisses saisonnières de la surface piézométrique, nous avons dépouillé les observations faites sur 17 puits munis de limnigraphes enregistrant les variations journalières du plan d'eau depuis 1958.

La baisse saisonnière du niveau piézométrique commence en général en fin d'été (septembre - octobre) et dure en moyenne 3 à 6 mois.

Bien que les baisses se produisent en régime beaucoup moins influencé que les montées, il serait difficile de considérer cette période comme une période de régime non influencé pur.

En effet, pendant les mois de minimum pluviométrique, les irrigations surviennent et la nappe se trouve alimentée presque continuellement. Les apports d'eau s'exprimant par une remontée du niveau et un décalage de la courbe de descente ou seulement un ralentissement de la vitesse de descente, rendent difficile l'étude du tarissement. Nous avons donc essayé de construire pour chaque puits une courbe moyenne de tarissement pour la période 1958 à 1962 par la combinaison des parties descendantes des courbes après chaque période de recharge (voir fig. 10.130 et 10.134).

Fig. 10.1.30

hauteur d'eau  
 $h = p_b - p$   
 en mètres

St Martin de Grau P. 61

(1993-6-27)

$p_b = 5,0 \text{ m}$

$t_0 = 26 \text{ jours}$

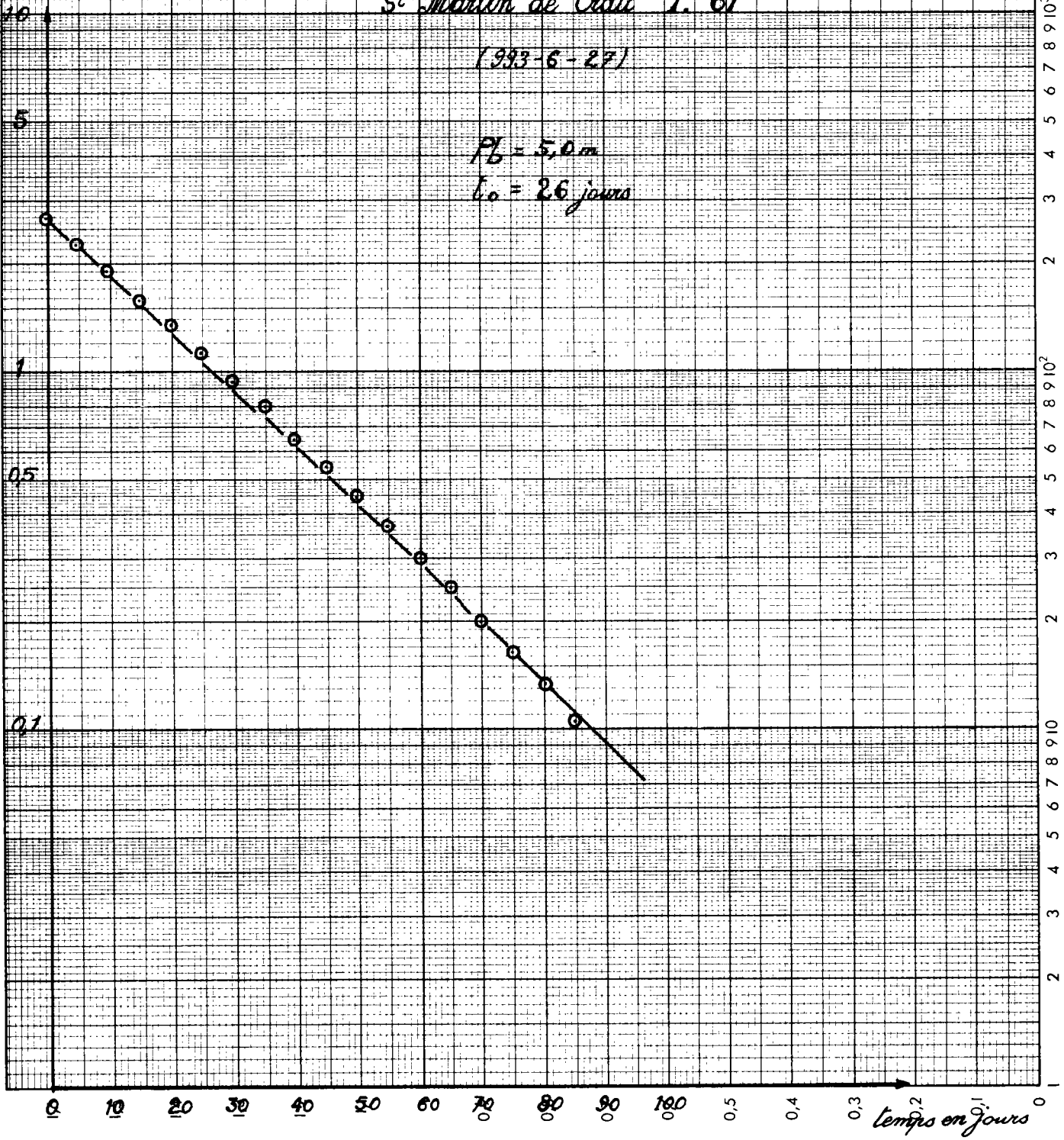


Fig. 10.1.31

*St Martin de Crau P.18*

*( 993-8-24 )*

*profondeur  $p$   
en mètres*

$p_b = 9,0 m$

3,0

4,0

5,0

6,0

7,0

8,0

9,0

0

10

20

30

40

50

100

*Courbe moyenne de descente*

*temps en jours*

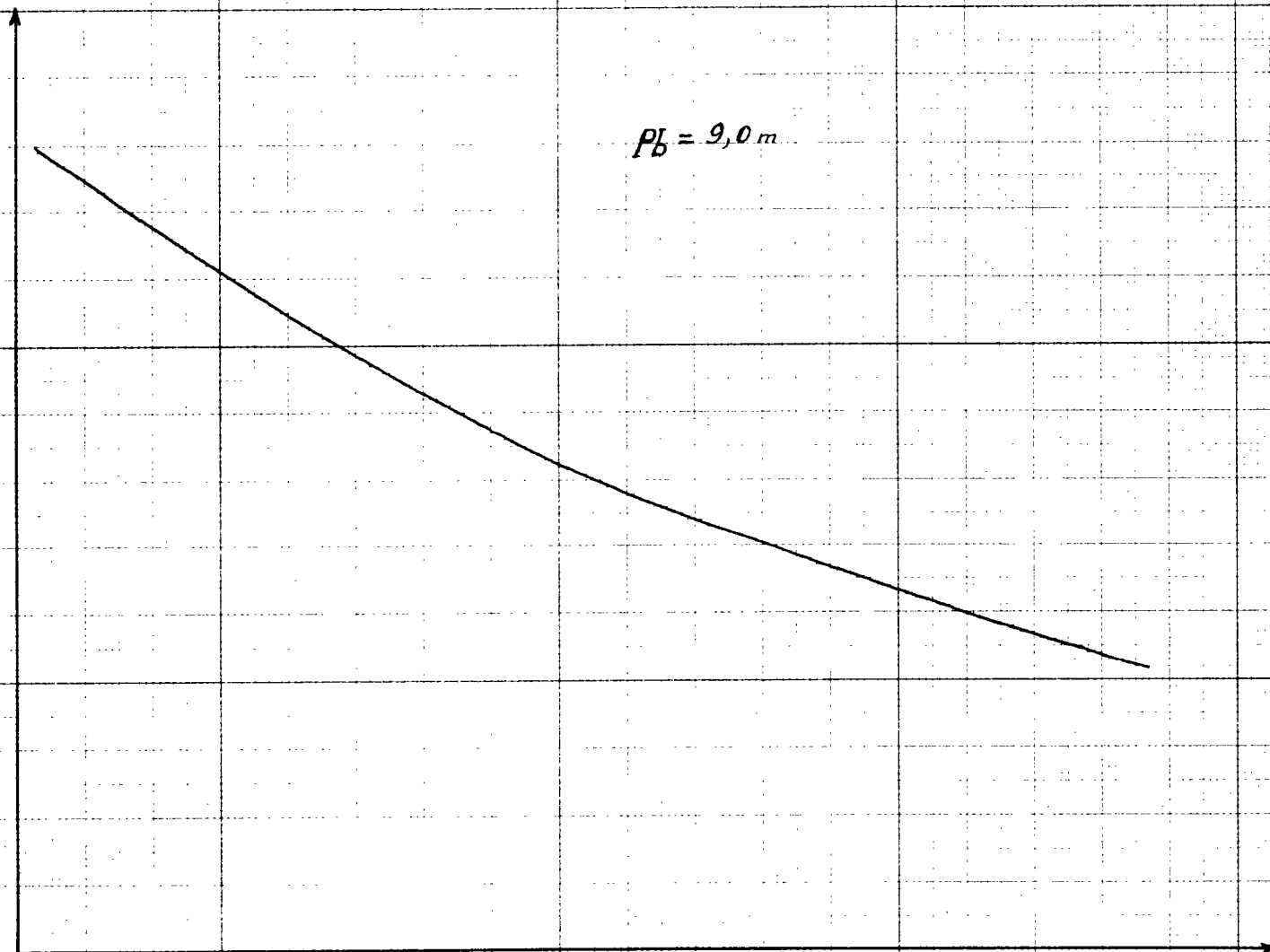
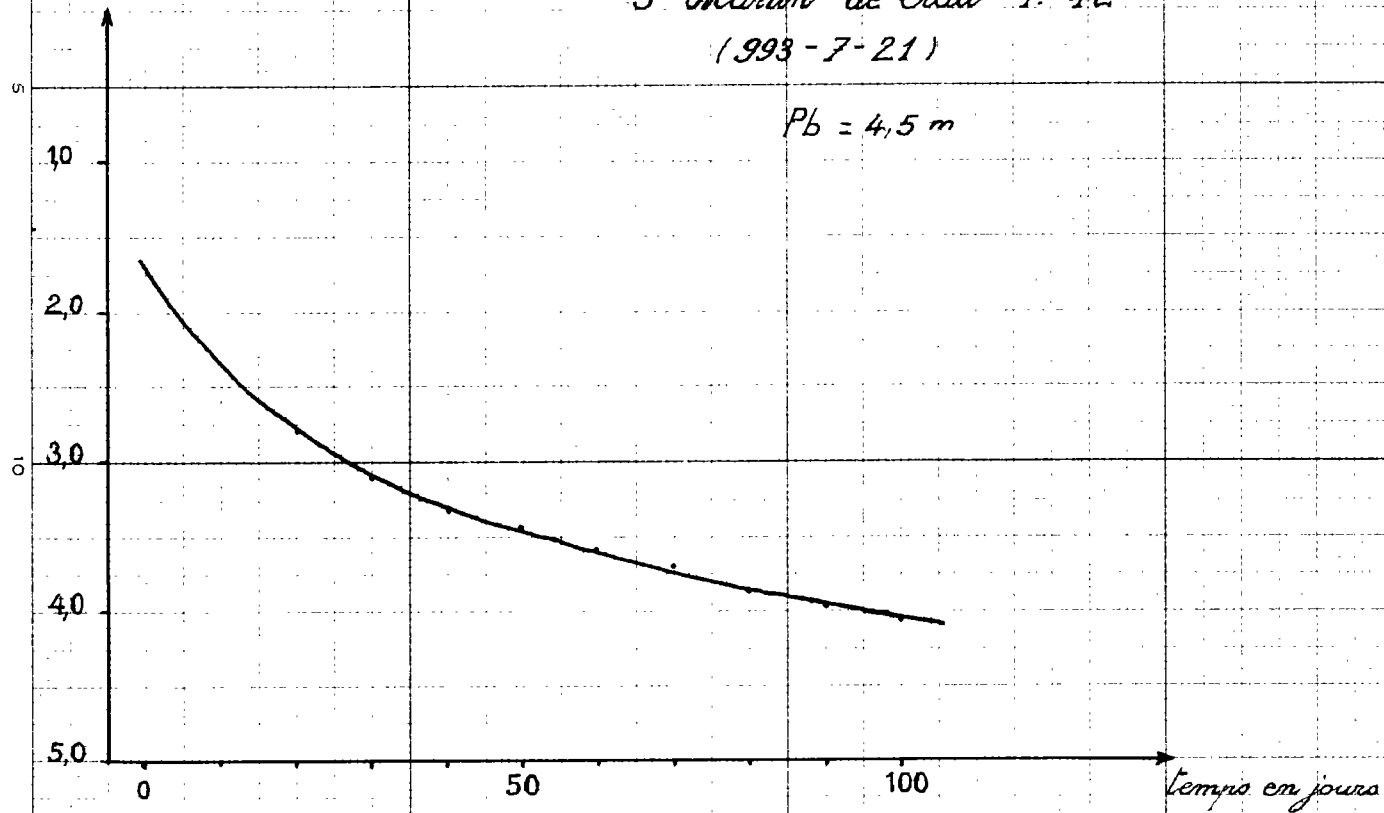


Fig 10.1.32

profondeur  $p$   
en mètres

St Martin de Crau P 42  
(1993-7-21)

$P_b = 4,5 \text{ m}$



Courbe moyenne de descente

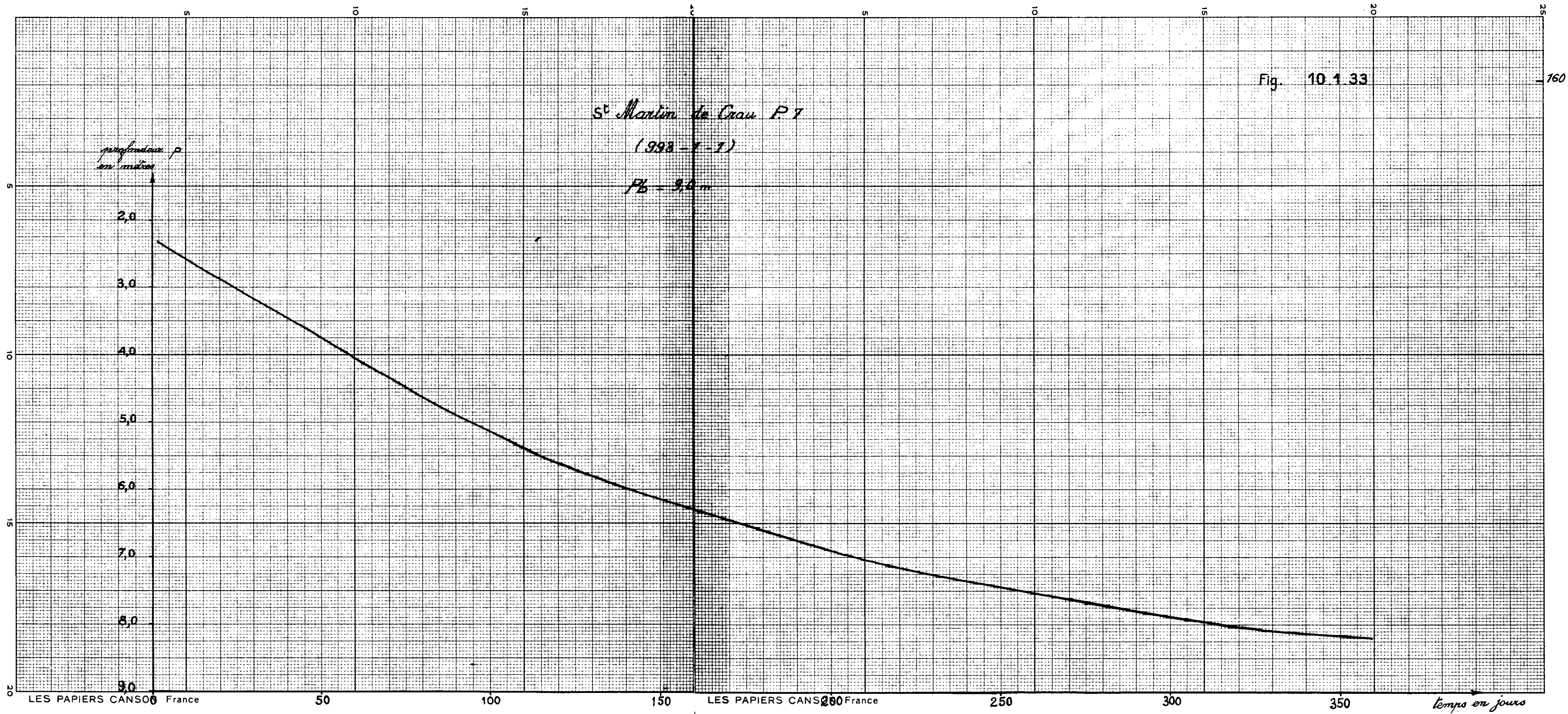
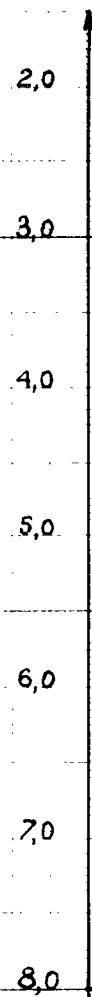


Fig. 10.1.34

*Très P. 45*  
(993-5-57)

*profondeur p  
en mètres*

$p_b = 8,0m$



*Courbe moyenne de descente*

*temps en jours.*

Fig. 10.1.35

St Martin de Grau P.61  
(993-6-27)

$P_b = 5,0\text{ m}$

profondeur  $p$   
en mètres

2,0

3,0

4,0

5,0

0

50

100

temps en jours

Courbe moyenne de descente



L'analyse mathématique de quelques courbes moyennes montre qu'en éliminant les périodes d'alimentation la baisse du plan d'eau obéit à peu près à la relation suivante :

$$h = h_0 e^{-\frac{t}{t_0}} = h_0 e^{-\frac{2Tt}{4R^2S}}$$

où :

$h$  hauteur d'eau par rapport au niveau de base à l'instant  $t$

$h_0$  hauteur d'eau par rapport au niveau de base à l'instant  $t = 0$

$e = 2,718$  - base des logarithmes népériens

$t_0 = \frac{4R^2S}{2T}$  - durée de temps nécessaire pour que la hauteur primitive décroisse dans le rapport de 1 à  $\frac{1}{e} = 0,3678$  partie de sa valeur initiale.

$T$  - transmissivité

$S$  - coefficient d'emmagasinement ou porosité utile

$R$  - longueur de la nappe.

La première analyse des courbes de tarissement a été faite à l'aide d'un abaque en coordonnées arithmétiques comportant une famille de courbes de la fonction  $\log h = \frac{t}{t_0}$  pour différentes valeurs de  $t_0$ .

Elle nous a permis de trouver une valeur approchée de la profondeur de base "Pb" et du temps  $t_0$ .

Fig. 10.1.36

hauteur d'eau  $h = p_b - p$   
en mètres

St Martin de Crau P18

(393 - 8 - 24)

$p_b = 9,0 \text{ m}$

$t_0 = 155 \text{ jours}$

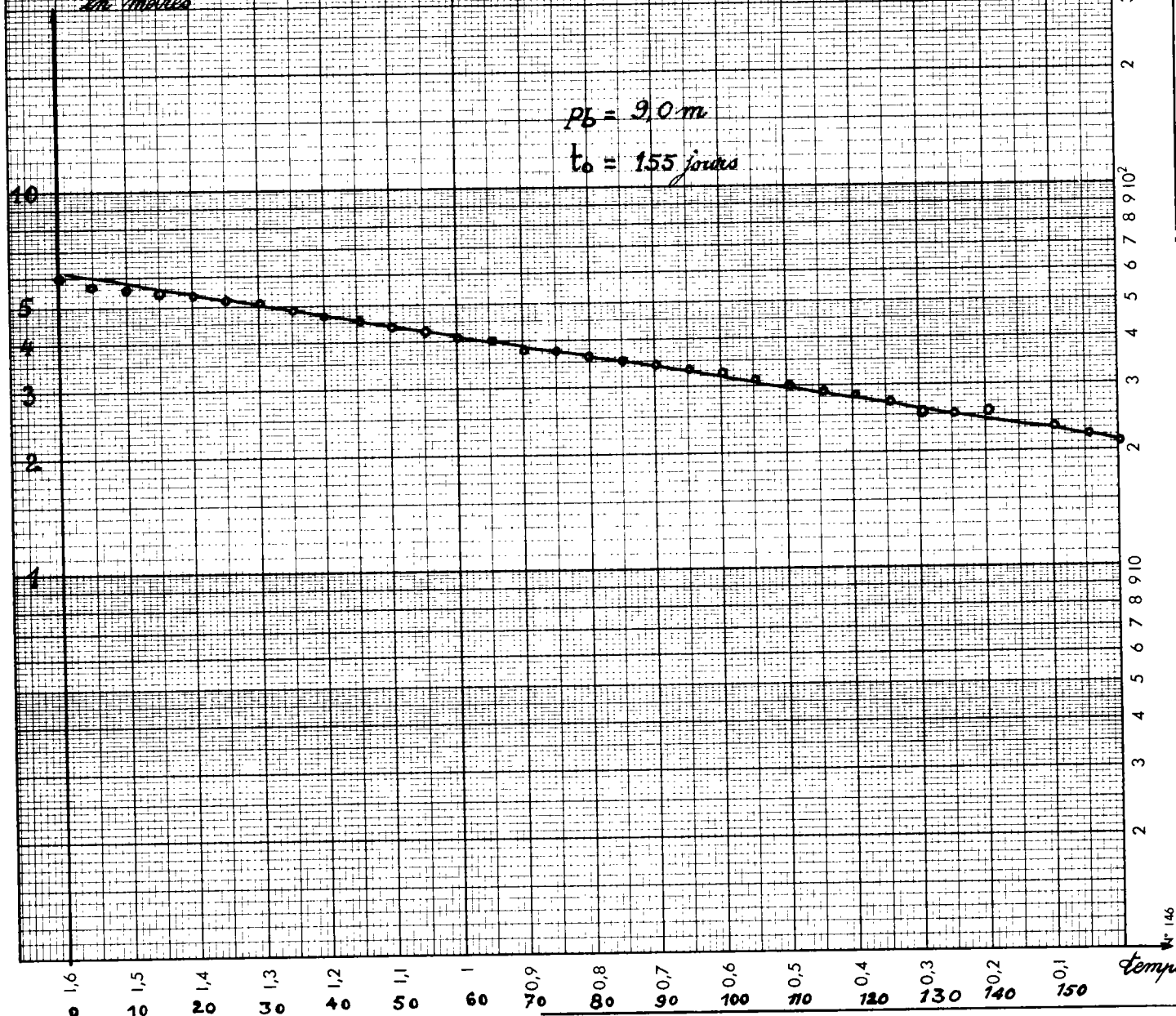


Fig 10.1.37

hauteur d'eau  $h = p_b - p$   
en mètres

St Martin de Croix P. 42

(1993-7-21)

$p_b = 4,5 \text{ m}$

$t_0 = 57 \text{ jours}$

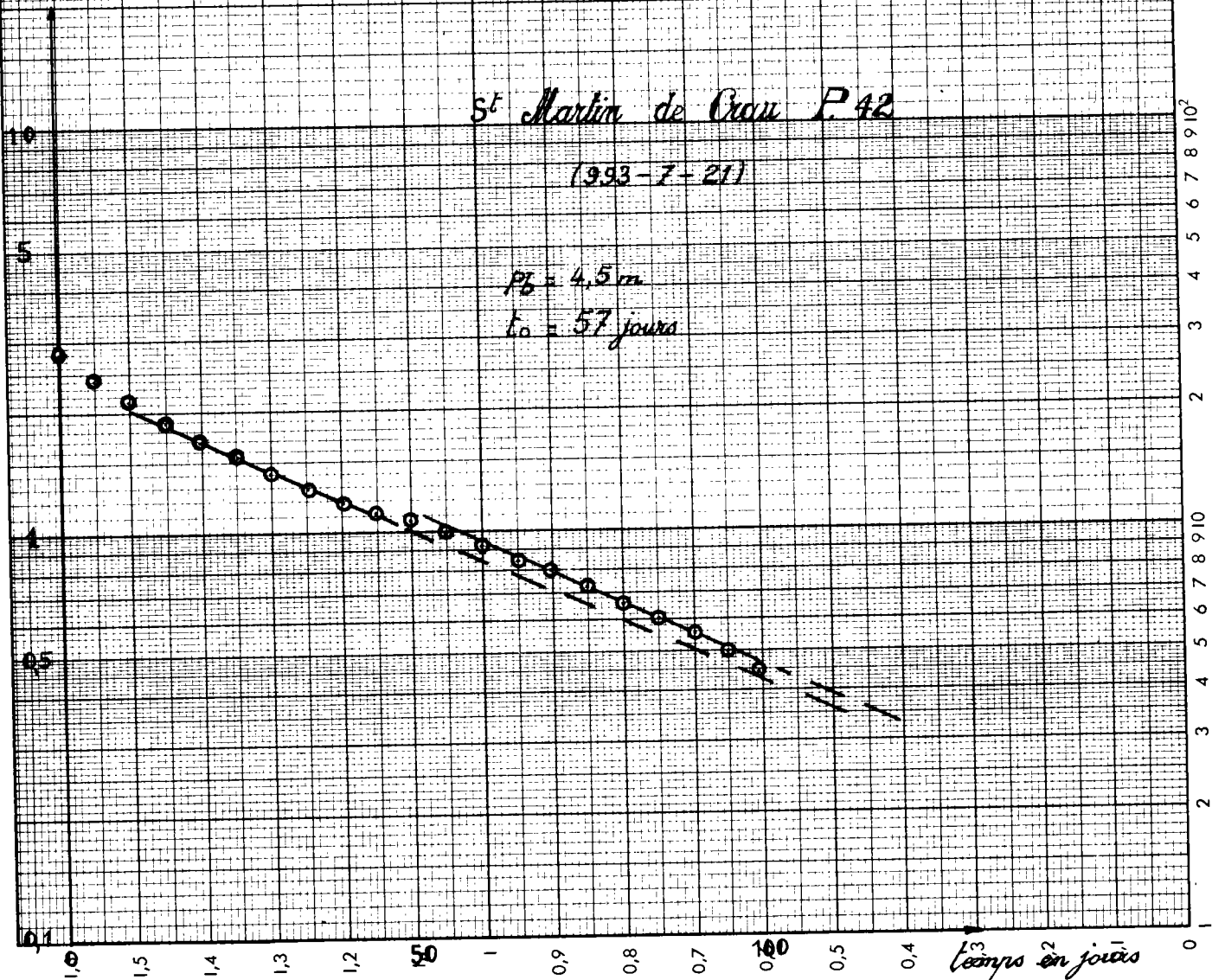




Fig. 10.1.38

*St Martin de Crau P. 7*

*(95.1-1)*

*$P_b = 3,0$  m*

*$t_0 = 1,77$  jours*

*hauteur d'eau  $h = p_b - p$   
en mètres*

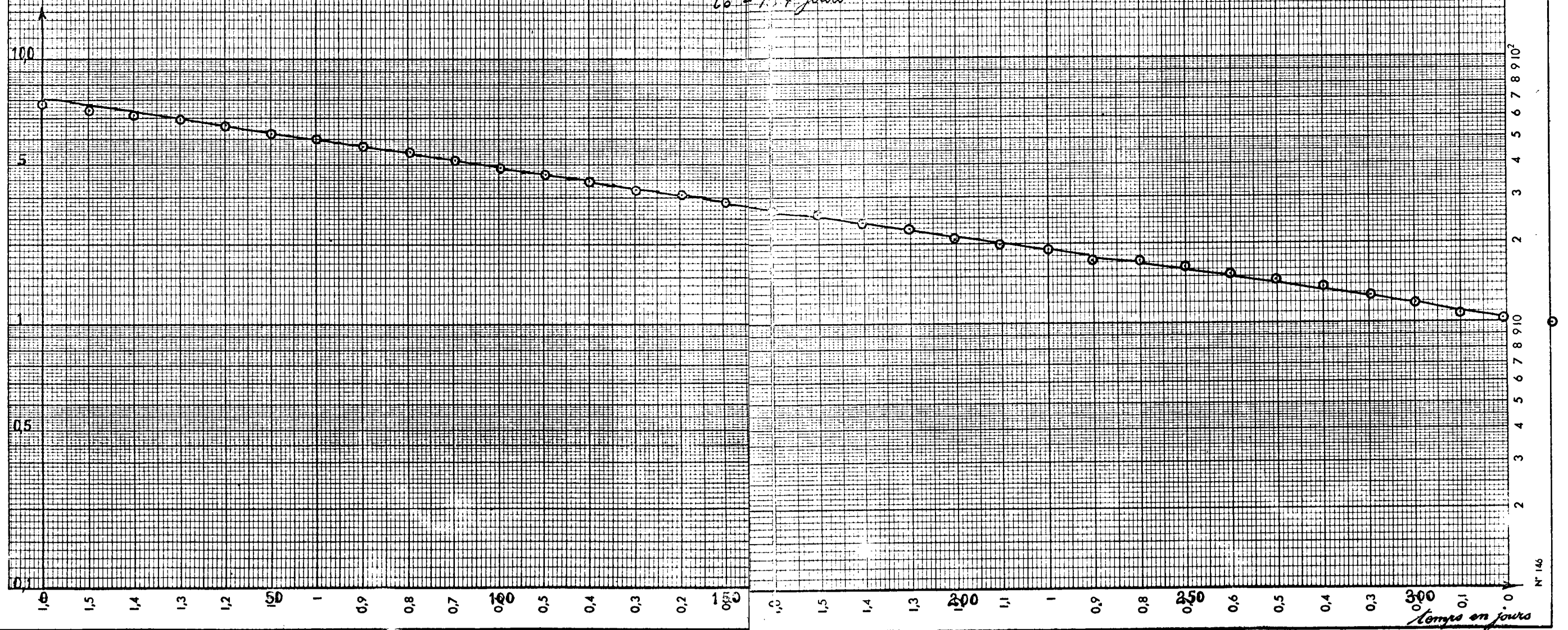


Fig. 10.1.39

Artes P.45

(993-5-57)

hauteur d'eau

$h = P_5 - P$   
en mètres

$p_5 = 8,0 \text{ m}$

$t_0 = 93 \text{ jours}$

10

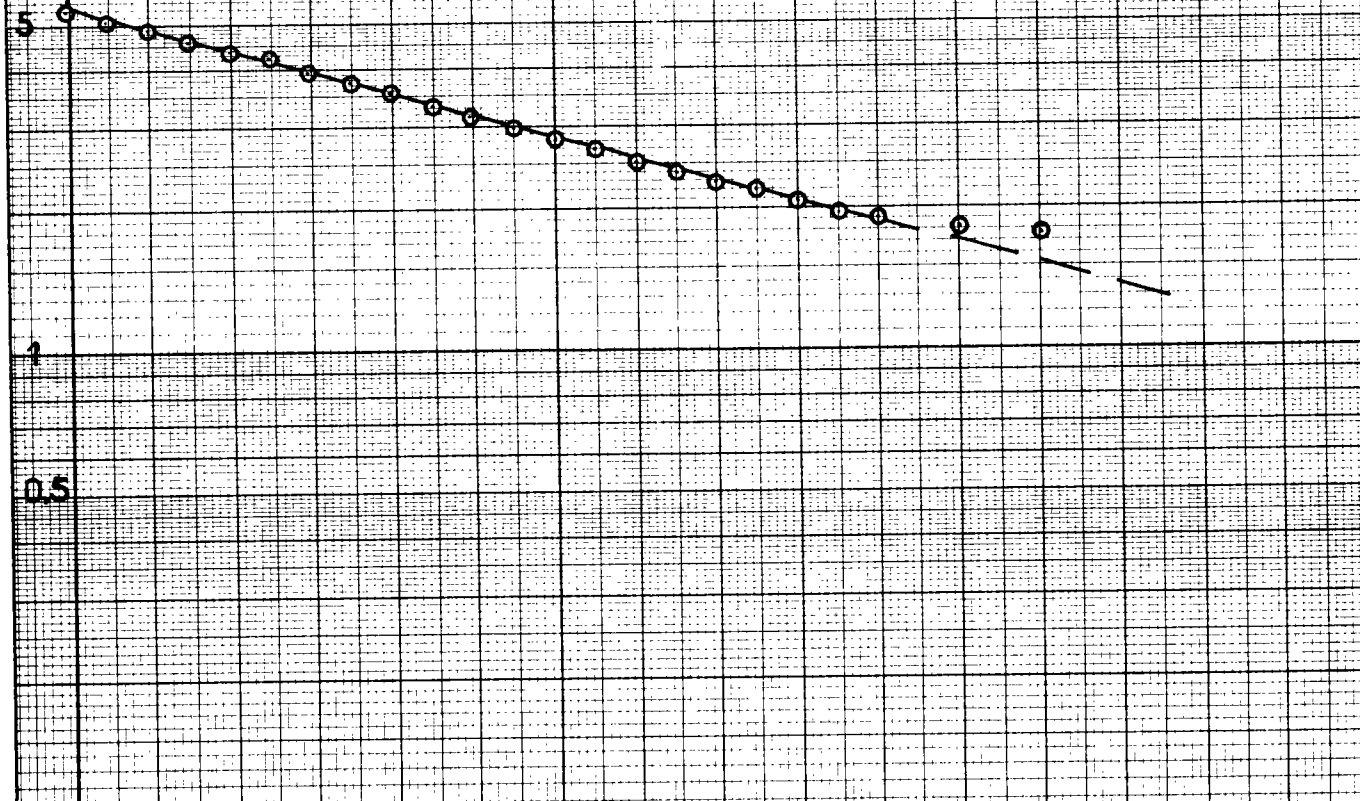
1

0.5

0.1

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 0.5 0.4 0.3 temps en jours

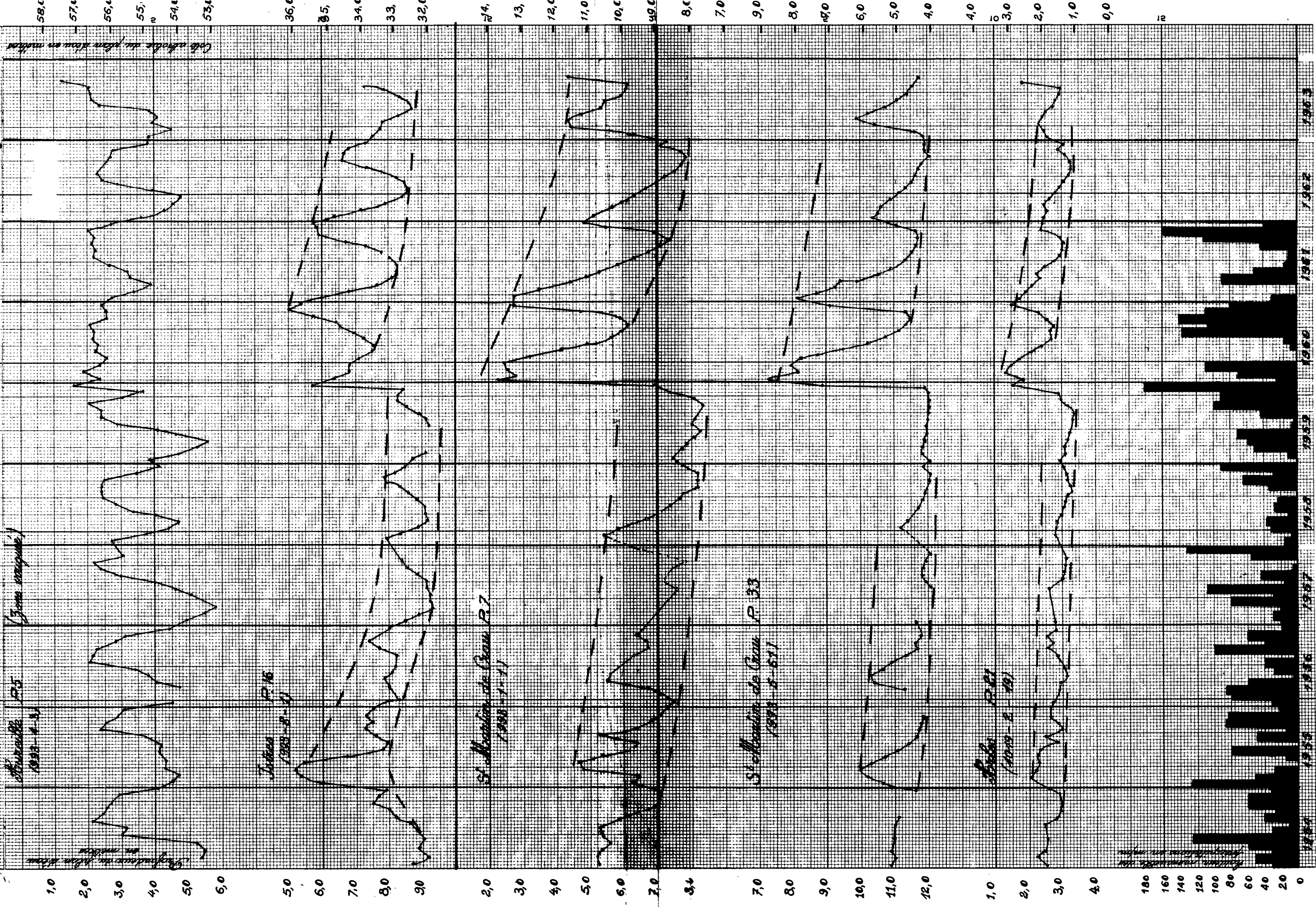
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<sup>4</sup>  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<sup>3</sup>  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<sup>2</sup>  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10<sup>1</sup>





# Variation décennale du niveau d'eau dans Epuis se/estronnes.

Fig. 10.20



Les valeurs trouvées étaient celles de la courbe théorique qui coïncidait le mieux avec la courbe moyenne observée. Avec ces premières valeurs de  $P_b$ , nous avons pu tracer sur le graphique en coordonnées semi-logarithmiques des droites en portant :

en ordonnées : les hauteurs d'eau par rapport au niveau de base :

$$h = P_b - p$$

( $p$  étant la profondeur observée à l'instant considéré) suivant l'échelle logarithmique.

en abscisses : le temps correspondant en jours suivant l'échelle arithmétique  
(voir fig. n° 10.135 à 10.139).

Les données reportées sur le graphique doivent être alignées suivant une droite ; sinon, il faut appliquer une correction à la valeur de  $P_b$  trouvée précédemment.

La pente de la droite permet le calcul de  $t_0$ .

Les résultats obtenus ainsi figurent dans le tableau suivant :

Puits Commune et n°		Repère NGF (cote d'origine)	Profondeur de base Pb en mètres	Cote du niveau de base	to en jours
Aureille	P4	72,78	8,7	64,08	170
St-Martin- de-Crau	P18	54,52	9,0	45,52	155
-d°-	P42	32,20	4,5	27,70	57
-d°-	P7	15,95	9,0	6,95	167
-d°-	P61	24,05	5,0	19,05	26
Arles	P21	4,40	3,5	0,90	120
-d°-	P45	21,40	8,0	13,40	93
-d°-	P9	8,25	8,0	0,25	104
Istres	P8	46,50	5,5	41,00	30
-d°-	P29	24,60	6,5	18,10	155
Miramas	P7	55,00	14,0	41,00	180

L'analyse de ces résultats fait apparaître les faits suivants :

a) trois puits : P61 et 42 de la commune de St-Martin-de-Crau et P8 d'Istres se distinguent visiblement du reste des puits par la faible valeur de to.

Comme to est proportionnel aux dimensions et au coefficient d'emmagasinement de la nappe et inversement proportionnel à la transmissivité de celle-ci, trois hypo-



thèses se présentent :

- soit qu'existe dans cette zone une nappe suspendue de faibles dimensions qui tarit relativement vite.

- soit que les trois puits se trouvent dans une zone de transmissivité relativement élevée.

- soit que le coefficient d'emmagasinement (ou la porosité utile) soit faible.

De ces trois hypothèses la seconde paraît la plus probable, dans chaque cas.

b) chaque puits possède son propre niveau de base qui, sauf pour les P21 et P9 appartenant à la commune d'Arles, ne correspond pas à celui de la zone des marais supposée comme l'exutoire de la nappe, mais souvent à la cote du canal d'irrigation le plus proche.

L'influence des irrigations est donc encore une fois sensible.

## 10.2 - REGIME PLURIANNUEL

Les variations du niveau piézométrique de la nappe de la Crau pendant la période de 10 ans d'observations : 1954 - 1963 peuvent être illustrées par les graphiques de la fig.10.20.

Il apparaît qu'en dehors des zones irriguées où les variations naturelles du niveau piézométrique sont difficiles à déceler le régime de cette période décennale se caractérise par :

- une période de 5 ans de 1955 à 1960, pendant laquelle le niveau moyen de la nappe a baissé continuellement. Comme la nappe de la Crau est peu exploitée, on peut constater que l'alimentation pendant cette période est plus faible que l'écoulement de la nappe ; elle se vide comme se viderait un réservoir insuffisamment alimenté.
- une brève période de réalimentation à la suite de fortes pluies de la fin de l'année 1959 et de l'année 1960 à laquelle succède :
- une nouvelle période de vidange

En conclusion, on notera que le régime pluriannuel des fluctuations de la nappe est en relation étroite avec le régime des précipitations qui, dans les zones non irriguées, paraissent être l'unique source d'alimentation.

### 10.3 - VARIATIONS DU VOLUME DE ROCHE AQUIFERE

Une carte schématique des hauteurs des fluctuations de la surface piézométrique " $\Delta h$ " pour la période du 1/5/62 au 30/4/63 a permis, par planimétrie des surfaces comprises entre deux courbes d'égale " $\Delta h$ " de calculer grossièrement l'ordre de grandeur de la variation du volume de roche aquifère.

Elle s'élève à + 110 millions de  $m^3$  environ.

A défaut d'une connaissance approchée du coefficient d'emmagasinement "S", il est impossible de calculer la variation de la réserve d'eau souterraine pour la période considérée. L'unique valeur de  $S = 0,18$  déduite de l'interprétation du comportement de la nappe lors d'essais de pompage à Fos-sur-Mer ne peut pas être extrapolée pour l'ensemble de la nappe.

Si on prenait comme valeur moyenne du coefficient d'emmagasinement 0,1 (soit 10%), cela signifierait que la réserve de la nappe se serait accrue de 11 millions de  $m^3$  d'eau environ de mai 1962 à avril 1963.

o

o

o

## Chapitre 11

### BILAN DE LA NAPPE

-----

#### 11.1 - PRELEVEMENTS PAR POMPAGE DANS LA NAPPE

Le tableau joint donne le détail des prélèvements destinés à l'industrie ou à l'alimentation urbaine (carte de situation fig.11.10, total pompé :  $47.606 \text{ m}^3/\text{jour}$  ou  $0,55 \text{ m}^3/\text{s.}$ ). Sur ce total  $20.906 \text{ m}^3/\text{jour}$  ( $0,23 \text{ m}^3/\text{s.}$ ) sont conduits à des points d'utilisation situés hors de Crau. Les pompages agricoles sont développés mais temporaires, le débit total n'excède pas, selon l'enquête effectuée,  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$

#### 11.2 - BILAN DE LA NAPPE

##### 11.21 - Prélèvements et exutoires

Pompages	0,9 $\text{m}^3/\text{s.}$
Ecoulement occulte à la mer <sup>(1)</sup>	0,1 "
Evaporation sur les marais	2,- "
Canaux de drainages et collatures	13,5
Canal d'Arles à Bouc (drainage)	1,5 (15 $\text{m}^3/\text{s.}$ )
Sources	1,-
Variation de réserve <sup>(2)</sup>	(0,2 pour mémoire)
Total	= 19,- $\text{m}^3/\text{s.}$

- 
- (1) Débit de la nappe se faisant par jour aux émergences et circulant dans les cailloutis de Crau, sous les limons récents à l'aval des émergences. Cette nappe est en équilibre avec l'eau salée : la position du biseau salé est proche des émergences (cf. chap. 7) ; la charge est faible ; a priori le débit est faible. Pour  $K = 10^{-3}$  et pour une longueur d'invasion de 2 km le débit par km de front est de  $0,002 \text{ m}^3/\text{s.}$  ou 20 l/s. pour 20 km.
- (2) Différence entre les volumes de cailloutis noyés en mai 62 et mai 63. Cette différence est fonction de la variation annuelle du volume des précipitations ; elle peut être déduite des cartes des surfaces piézométriques aux deux époques considérées (cf. chap. 10) ; elle est de l'ordre de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s.}$

TABLEAU DES PRINCIPAUX PRELEVEMENTS  
(industrie et alimentation urbaine)

N° B.R.G.M	Désignation	Consommation exprimée en m <sup>3</sup> /j.	Observations
993/5/16	Station de pompage de Raphèle-Moulès	80	
993/5/75	Mas Thibert	70	Alimentation de la commune
993/6/76	Saint-Martin-de-Crau	200	" "
993/6/79	Usine de la Dynamite	500	Alimentation de l'usine
993/6/80	Usine de la Dynamite	40	" "
993/8/17	E.R.G.M	140	Alimentation de l'entrepôt
993/8/76	Nouveau forage du triage	1.580	
993/8/75	C.E.A	9.600	
1019/4/51	Rassuen	114	Alimentation de l'usine
1019/4/53	Chateau d'eau	5.760	Alimentation de la commune
1019/4/84	Base aérienne	1.600	
1019/7/2	Fontaine de Guigue	720	Alimentation de l'usine
1019/7/15	Maison Richier	170	" Fos
1019/3/1	Puits de Fanfarigoule	5.184	" Port-de-Bouc
1019/3/49	La Pissarotte	4.652	" Port-Saint-Louis
1019/3/75	et 75bis Le Moutonnier	11.100	" C.F.R
994/5/49	Base aérienne	1.500	
994/5/50	Source Marie-Rose	1.200	" Grans
994/1/66	La Guérite	85	" Lamanon
994/1/78	Captage des Aubes	3.160	" Salon
994/1/139	Armée de l'Air	85	
994/1/141	Laiterie Stassalait	66	
		47.606	

Si l'on introduit cette valeur des débits infiltrés dans le bilan de surface restreint, dressé plus haut, (chap. 5), on a donc :

$$28,5 \text{ m}^3/\text{s} = \text{Evaporation} + 19 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{d'où :} \quad \text{Evaporation} &= 28,5 \text{ m}^3/\text{s} - 19 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 9,5 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

L'évaporation est donc sensiblement égale à  $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . comprenant l'évaporation sur les zones irriguées et les zones non-irriguées.

L'infiltration  $19 \text{ m}^3/\text{s}$ . est importante par rapport à la quantité d'eau reçue en surface (pluie + irrigations) ; elle est égale à 60%.

$$\frac{19}{27,5} = 0,6$$

Il faut noter que ce chiffre ne s'applique pas uniquement aux cailloutis de Crau mais à un ensemble hétérogène (petits bassins latéraux crétacés et miocènes, Crau villafranchienne et Crau quaternaire, calcaires du massif de Mouriès), ce qui permet de supposer que la valeur de l'infiltration dans les cailloutis de Crau proprement dits est supérieure à 60%.

#### 11.22 - Apports

Les apports devant être égaux aux débits sortants, puisque l'on a tenu compte de la varia-

tion de la réserve (d'ailleurs minime), on peut les évaluer à environ  $19 \text{ m}^3/\text{s}$ . pour l'année considérée. Ce débit provient intégralement des infiltrations, des précipitations et des irrigations.

### 11.3 - BILAN TOTAL (eaux de surface et eaux souterraines)

#### 11.31 - Apports

Pluie sur la totalité de la surface du bassin versant ( $544 \text{ mm}$ sur $642 \text{ km}^2$ )	$11 \text{ m}^3/\text{s}$ .
Canaux	<u><math>17,5</math></u>
Total :	$28,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 11.32 - Prélèvements

Ecoulement occulte à la mer :  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Débit écoulé à la périphérie :

Drains et collatures <sup>(1)</sup>	$15 \text{ m}^3/\text{s}$ .
Sources	1
Pompage	<u><math>0,9</math></u>
Total :	$17 \text{ m}^3/\text{s}$ .

+ Evaporation globale.

#### 11.33 - Valeur de l'évaporation

L'évaporation globale est donc égale à :

$$29 - 17 = 12 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Elle a été calculée directement (chap. 5)

---

(1) dont  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  pour le drainage par la canal d'Arles à Bouc ; ce chiffre paraît élevé ; il faut faire remarquer que deux jaugeages seulement ont été effectués. Les canaux de navigation sont en général colmatés.

Elle se décompose comme suit :

- Evaporation sur les marais et les étangs  
(superficie  $66 \text{ km}^2$ ) : elle a été estimée à  
environ  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Evaporation en zone irriguée :  $170 \text{ km}^2$ .  
La valeur calculée de l'évapotranspiration  
potentielle d'après Thornthwaite (cf. chap. 5)  
serait de  $765 \text{ mm}$ .

D'après Turc elle serait plus plausiblement de  
 $1.380 \text{ mm}$ , ce qui donnerait les volumes évaporés  
suivants :

$$3,9 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{et} \quad 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

La moyenne probable pouvant être estimée à  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- Evapotranspiration en zone non irriguée (surface  
cailloutis de Crau + garrigues des bordures).

Du total de  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  il resterait :

$$12 - (2,7 + 6) = 3,3 \text{ m}^3/\text{s}.$$

évaporés sur ces surfaces qui couvrent :

$$578 - 170 = 408 \text{ km}^2.$$

Cela correspondrait à une hauteur moyenne d'éva-  
potranspiration réelle de  $250 \text{ mm}$ .

- Résumé de l'évaporation réelle :

Marais	}	$2,7$	$23\%$
Etangs			



zone irriguée	6	50%
Reste de Crau	3,3	27%
Total :	12	m <sup>3</sup> /s.

Si l'on essayait de calculer le volume d'eau employée pour l'irrigation, en tenant compte du débit estimé d'irrigation en Crau (prairies) de 0,55 l/s/ha<sup>(1)</sup>, on arriverait au chiffre de 9 m<sup>3</sup>/s. En admettant que 1/3 du débit retourne à la nappe, le volume évaporé serait alors de 6 m<sup>3</sup>/s, la valeur se rapprochant plus de celle obtenue pour l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Turc (7,5).

En fait c'est 1 l/s/ha qui est distribué, soit 17 m<sup>3</sup>/s. C'est donc près des 2/3 du débit qui retourneraient à la nappe.

11.4 - EN RESUME LE BILAN HYDRAULIQUE DE LA CRAU S'ETABLIT COMME SUIVANT :

<u>Entrées</u> :	Précipitations	11,5 m <sup>3</sup> /s
	(sur bassin versant total, zone des marais incluse)	
	Canaux d'irrigation	17,5 "
	Total :	29,- m <sup>3</sup> /s

(1) 34 l/s pendant 6 h par semaine et durant 6 mois d'après G. BECCA. Congrès de l'eau en Crau p. 156. C'est également la valeur admise pour l'estimation des besoins des départements des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse lors des réunions du Comité technique de l'eau en mars 1964 (21.000 m<sup>3</sup>/an/ha). Le calcul à partir du débit des canaux de Crau (17,5 m<sup>3</sup>/s) et la superficie irriguée (17.000 ha) conduit à une valeur plus forte (1,02 l/s/ha) mais il faut tenir compte des pertes d'eau dans le réseau.

<u>Sorties</u> :	Collatures	15,- m <sup>3</sup> /s
	Sources	1,- "
	Pompages	0,9 "
	Evaporation étangs et marais	2,7 "
	Evapotranspiration zone non-irriguée	3,5 "
	Evapotranspiration zone irriguée	6,- "
	Ecoulement occulte à la mer	pour mémoire
Total :		<hr/> 29,- m <sup>3</sup> /s

Le coefficient d'infiltration sur la totalité du bassin versant est voisin de 60%.

o

o

o

## Chapitre 12

### EVALUATION DES RESSOURCES EN EAU

-----

On utilisera pour l'évaluation des ressources moyennes en eau, les résultats obtenus lors du calcul du bilan à partir des éléments de l'année 1962 (précipitations et jaugeages). Cette période se rapproche beaucoup quant aux précipitations d'une année moyenne (544 contre 585 - coefficient 0,95).

#### 12.1 - DONNEES SUR LES RESERVES

Les réserves en eaux souterraines peuvent se diviser en plusieurs catégories :

Les réserves régulatrices comprises entre les niveaux piézométriques maximal et minimal. Le volume est déduit de la carte des amplitudes de la nappe ; il est pour l'année 1962 sensiblement égal à  $110.10^6 \text{ m}^3$  ce qui, pour une porosité de 0,10, correspond à un débit de  $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Les réserves géologiques correspondent au remplissage du réservoir entre le niveau piézométrique minimal et le substratum imperméable.

L'ensemble constitue les réserves naturelles.

Les réserves d'exploitation sont déterminées par les réserves régulatrices et une partie des réserves géologiques.

Au point de vue ressources, on distingue :

Les ressources potentielles théoriques :  
volume d'eau parvenant à la nappe par suite de l'infiltration efficace des précipitations et des irrigations.

Le ruissellement étant nul, elles sont dans le cas présent égales à  $29 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Ressources potentielles réelles : elles sont déduites des précédentes par soustraction de l'évapotranspiration et des pertes (ici : sources et évaporation sur les étangs), soit :

$$6 + 3,3 + 0,9 + 2,7 = 12,9 \neq 13$$

$$29 - 13 = 16 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Sur cette quantité  $1 \text{ m}^3$  est déjà utilisé par pompages. Les ressources potentielles sont donc égales à  $15 \text{ m}^3$  correspondant sensiblement au débit des collatures.

## 12.2 - RESSOURCES EXPLOITABLES

Elles correspondent à la fraction des ressources potentielles réelles ( $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ) dont l'exploitation dépend des réserves (réserves régulatrices + fraction des réserves géologiques éventuellement) et des possibilités d'exploitation des nappes aquifères.

Nous distinguerons les ressources de la Crau de Miramas (Crau quaternaire) et celles de la Crau d'Arles (Crau villafranchienne).

12.21 - Crau quaternaire (Crau de Miramas)

Une estimation des ressources exploitables peut être tirée du débit percolant à travers la section aval des nappes.

12.211 - Débit percolant à travers la section aval sud de la nappe (Fos-mas de Pernes)

Le débit qui peut être prélevé, est celui passant à travers une section aval de la nappe, en amont des émergences et des sorties des collatures ; il peut être calculé si l'on connaît les dimensions de la section considérée, les valeurs de la perméabilité et la pente de la nappe ou la longueur du front de nappe, la transmissivité et la pente <sup>(1)</sup>. Les travaux de reconnaissance (sondages et essais de pompage) exécutés sur la partie aval de la nappe entre Fos et la mas de Pernes, apportent dans cette zone les éléments de calcul.

a) Estimation du débit d'après la perméabilité et la section :

Les sondages exécutés entre Fos et le mas de Pernes (au sud de la Dynamite) au cours des deux campagnes de travaux ainsi que le profil géophysique, permettent de définir la section des

---

(1)  $Q = K.S.i = T.L.i$   
(K : perméabilité S : section T : transmissivité L : longueur  
i : pente de la nappe).

alluvions noyées. Les essais de perméabilité effectués ont permis d'établir pour chaque sondage une valeur moyenne de la perméabilité des alluvions (cf. chapitre 9). Par ailleurs, les cartes isopiézométriques de la nappe permettent de calculer la pente de celle-ci. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau joint ; voir aussi fig. 3.323.

La longueur du profil est de 21 km. Le débit total estimé de :

$$3,5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Mais les perméabilités et les sections sont très inégalement réparties.

La partie orientale de la Crau quaternaire, entre le S.E. 18 et la bordure est, correspond à un sillon profond du substratum où l'épaisseur des alluvions est importante et la perméabilité très forte (encore que la perméabilité des niveaux profonds soit beaucoup plus réduite) : le débit est de  $0,77 \text{ m}^3/\text{s}$  pour une longueur de front de 2,5 km ; le débit unitaire :  $0,30 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$ .

Dans la partie centrale (Crau quaternaire, entre S.E. 18 et PK 10,2),

Définition de la section (S.E. sondage électrique P.K. point kilométrique S. sondage mécanique)	S Surface de la section en m <sup>2</sup>	K Perméabilité	i Pente	Q Débit en m <sup>3</sup> /s.
S5 (bordure est à S.E. 23)	20.850	$5.10^{-3}$	2/1.000	0,210
S4 (S.E. 23 à S.E. 18)	28.100	$1.10^{-2}$	2/1.000	0,560
S3 (S.E. 18 à S.E. 12)	18.900	$2,3.10^{-2}$	2/1.000	0,670
S2 (S.E. 12 à S.E. 5)	14.000	$4,2.10^{-3}$	2/1.000	0,115
S1 (S.E. 5 à P.K. 19,1)	24.500	$5.10^{-3}$	2/1.000	0,245
S10 (P.K. 19,1 à P.K. 16)	$\frac{36.600}{1.200*}$	$\frac{6.10^{-3}}{2.10^{-4}*}$	2/1.000	$\frac{0,440}{0,050}$
S11 (P.K. 16 à P.K. 12,9)	36.000	$5,8.10^{-3}$	2/1.000	0,420
S12 (P.K. 12,9 à P.K. 10,2)	27.000	$3,3.10^{-3}$	2/1.000	0,175
S13 (Villafranchien) (P.K. 10,2 à P.K. 7)	$\frac{25.600}{5.200*}$	$\frac{4,9.10^{-3}}{2,5.10^{-4}*}$	4/1.000	$\frac{0,520}{0,050}$
S14 (Astien)	24.500*	$2,5.10^{-4}*}$	5/1.000	0,030

\* Conglomérats astiens

l'épaisseur des cailloutis, plus uniforme, est moindre ; la valeur de la perméabilité, encore bonne, est moindre également. Les sondages ont mis en évidence - ainsi que la géophysique - la présence locale de cailloutis astiens à la base, dont la perméabilité a été mesurée.

Débit estimé :  $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . pour 12,8 km de front

Débit unitaire :  $0,180 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$

La perméabilité de l'Astien est faible :  $0,018 \text{ m}^3/\text{s}$ . pour 2,5 km de front.

b) Estimation du débit d'après la transmissivité et la longueur le long du profil Fosmas de Vincent (profil géophysique) :

L'épaisseur de la couche aquifère "H" varie de 30 à 10 mètres environ et la transmissivité hydraulique "T" de  $1.300 \text{ m}^2/\text{h}$  à  $144 \text{ m}^2/\text{h}$  ( $3,6 \cdot 10^{-1}$  à  $4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ). Pour les sondages ayant traversé une grande épaisseur d'alluvions (30 à 40 m) les perméabilités vers la base sont souvent faibles.

Le débit moyen de la nappe dans sa section aval et sur 17 km de front serait de l'ordre de  $5 \text{ m}^3/\text{s} = 18.000 \text{ m}^3/\text{h}^{(1)}$  (valeur moyenne déduite du bilan et du calcul du débit percolant à travers la

---

(1) Cette méthode de calcul faisant intervenir la transmissivité et la longueur au lieu de la perméabilité et la section conduit à une valeur différente (voir page 185).



section Fos-mas de Vincent). La méthode de calcul adoptée admet la nappe aquifère homogène partagée en quatre zones le long du profil Fos-mas de Vincent, de façon que les caractéristiques hydrauliques dans chacune d'elles soient peu variables.

En commençant par Fos, nous avons:

- Zone A -

transmissivité moyenne  $T_m = 3,0 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$

pente moyenne de la surface piézométrique  $i_m = 0,003$

longueur admise du front d'écoulement  $l = 3 \text{ km}$

débit du front d'écoulement  $Q_A = T i l = 2,7 \text{ m}^3/\text{s}$

- Zone B -

$T_m = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$

$i_m = 0,003$

$l = 4 \text{ km}$

$Q_B = T i l = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$

- Zone C -

$$T_m = 8,4.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$i_m = 0,002$$

$$l = 6 \text{ km}$$

$$Q_C = T i l = 1,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Zone D -

$$T_m = 4,1.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$i_m = 0,003$$

$$l = 4 \text{ km}$$

$$Q_D = T i l = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit total sur 17 km de front étant  
égal à:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C + Q_D = 4,8 \text{ m}^3/\text{s} = 17.300 \text{ m}^3/\text{h}$$

12.212 - Bilan de la Crau de Miramas

(établi sur les données de l'année 1962-  
Précipitations et jaugeages).

La limite entre la Crau d'Arles

et la Crau de Miramas est déduite de la carte isopiézométrique de la nappe (ligne de partage des eaux : fig. 6.50 et 6.51) : elle va du sud des marais de Meyranne (mas de l'Hoste) au sommet du massif des Opiés, en passant par la Dynamite, le mas de Rouvian, la Cabanasse, la Samatane, le mas d'Archimbaud et le Grand Brays.

Superficie :  $425 \text{ km}^2$  dont  $50 \text{ km}^2$  de bassins crétacés et miocènes.

Apports :

Précipitations  $0,544 \text{ m} \times 425 \cdot 10^6 = 7,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Canaux - stations 6-7-8-1

$(1,1 + 5,2 + 0,25 + 2,4) = 8,9 \text{ m}^3/\text{s}$   
(par défaut, car Eyguières est alimenté par une autre branche : le canal d'Eyguières :  $2 \text{ km}^2$  d'irrigation).

Total :  $16,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Prélèvements et exutoires :

Canaux - stations 12-18-20-21-22-23

+ drainage Arles à Port-de-Bouc  
 $1,7 + 0,04 + 3,6 + 0,19 + 1,2 + 0,11 + 1,6$   
 $= 8,4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Pompages  $\neq 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Evaporation :

Etangs  $0,10 \text{ m}^3/\text{s}.$

Marais  $48,5 \text{ km}^2 \times 1.300 \text{ mm} = 2,- "$

Zones irriguées  $95 \text{ km}^2$   
 $95 \text{ km}^2 \times 1.000 \text{ mm} = 3,- "$

Zone non-irriguée

$425 - 95 = 330$   
 $330 \times 300 \text{ mm} = 3,2 "$

Ecoulement occulte à la mer :

$0,1$  pour mémoire

Total :  $17,6 \text{ m}^3/\text{s}.$

Le volume théoriquement disponible est  
égal à :

Evaporation marais  $1,4$

canaux  $8,4$

Ecoulement occulte à la mer : pour mémoire

---

$9,8 \text{ m}^3/\text{s}.$

Chiffre fort vis à vis de la  
valeur des débits calculés passant à  
travers la section aval : entre  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$   
et  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  selon la méthode de calcul em-  
ployée.

Mais il faut faire les remar-  
ques suivantes :

- D'une part, le débit des  
canaux ( $8,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) est jaugé à l'aval des

marais : il faudrait connaître le débit des canaux de collatures au droit de la section de la nappe considérée pour le retrancher (ces jaugeages n'ont pas été effectués, on peut estimer ce débit voisin de  $0,5 \text{ m}^3$ ). On doit aussi déduire des  $9,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . le volume infiltré des précipitations tombant sur la surface des cailloutis situés en aval ( $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .), ainsi que le volume des précipitations sur les marais (environ  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .), soit au total environ  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- D'autre part, il existe une cause d'erreur possible dans le calcul du débit percolant à travers la section considérée. En effet, les valeurs de la perméabilité et de la transmissivité utilisées ne sont que des moyennes établies à partir de mesures ponctuelles. Or, il peut passer localement un très fort débit sur une section réduite ainsi que l'ont montré les très fortes valeurs de perméabilité obtenues localement<sup>(1)</sup>.

Des deux méthodes employées pour calculer le débit percolant à travers la section aval, celle utilisant les

---

(1) Le rôle du substratum est d'autre part difficile à définir : il n'est pas rigoureusement imperméable et un certain débit percole en particulier dans la molasse miocène, débit qui n'a pas été pris en considération.

valeurs de la transmissivité est sans doute préférable car, faisant intervenir l'épaisseur des cailloutis noyés, elle intègre mieux les caractéristiques du terrain en ne faisant pas intervenir le calcul de la section arbitraire malgré les données de la géophysique. De toutes façons, les deux méthodes n'utilisent que des données ponctuelles largement extrapolées, aussi la méthode du bilan est celle qui introduit la plus faible marge d'erreur.

Le débit de la nappe de la Crau de Miramas sur la section Fos-mas de Pernes est donc compris entre les deux valeurs extrêmes 8,5 et 3,5 m<sup>3</sup>/s. On admettra le chiffre de 5 m<sup>3</sup>/s sachant d'ailleurs que ce débit n'est pas entièrement mobilisable (on ne peut par pompage évacuer toute l'eau contenue dans le sol).

12.22 - Crau villafranchienne (Crau d'Arles)

12.221 - Bilan<sup>(1)</sup>

Superficie : 642 - 425 = 217 km<sup>2</sup>

Apports :

Précipitations 0,544 mm x 217.10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> =  
3,5 m<sup>3</sup>/s

---

(1) En l'absence de sondages l'on ne dispose pour l'évaluation des ressources disponibles que de la méthode du bilan partiel.

Canaux - stations 2-4-5

$$6,2 + 1,7 + 0,3 = 8,2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

(évaluation par excès, une fraction de ce débit, que la disposition des stations de jaugeages ne permet pas de mesurer, n'allant pas à la Crau d'Arles).

Total :  $11,7 \text{ m}^3/\text{s}.$   
(par excès)

Prélèvements et collatures :

Canaux - stations 12-13 et 17

$$1,7 + 0,97 + 1,5 = 4,1 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Pompages 0,1 "

Sources 0,9 "

Evaporations marais de Meyranne et des Baux  
 $(15,5 \text{ km}^2 + 4,8 \text{ km}^2) \times 1,3 \text{ m} = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}.$

zones irriguées

$$170 - 95 = 75 \text{ km}^2$$

$$75 \text{ km}^2 \times 1.000 \text{ mm} = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}.$$

zones non irriguées

$$217 - 75 = 142 \text{ km}^2$$

$$142 \text{ km}^2 \times 300 \text{ mm} = 1,3 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Total :  $9,5 \text{ m}^3/\text{s}.$

Le volume théoriquement disponible est égal à :

évaporation sur les marais	0,8
canaux (station 17)	1,5
Total :	2,3 m <sup>3</sup> /s.

Le débit mobilisable serait un peu inférieur à 2 m<sup>3</sup>/s.

On peut aussi estimer que la valeur de 17 m<sup>3</sup>/s pour le bilan de la Crau de Miramas correspond aux 60/100 de celle de la Crau totale (29 m<sup>3</sup>/s).

Le volume théorique disponible pour la Crau de Miramas étant de 8,5 m<sup>3</sup>/s dont 4 à 5 seraient mobilisables, l'on aurait donc pour la Crau d'Arles :

Débit théoriquement disponible

$$\frac{8,3 \times 40}{100} = 3,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Débit mobilisable

$$\frac{4 \times 40}{100} = 1,6 \text{ m}^3/\text{s}$$



### 12.3 - CONCLUSION

Chiffre moyen admissible.

Les ressources potentielles réelles de la Crau ont été évaluées à  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ . D'autre part, le calcul du débit percolant à travers une section des alluvions de la Crau de Miramas en amont des émergences, et compte tenu des valeurs de perméabilité mesurées ne serait que de l'ordre de  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Par une autre méthode des bilans fractionnés de la Crau de Miramas et de la Crau d'Arles conduisent à évaluer les débits théoriquement disponibles suivants en amont des émergences :  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  pour la Crau de Miramas et  $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$  pour la Crau d'Arles.

Nous retiendrons comme valeur des débits d'exploitation possible de la Crau de Miramas, un débit moyen de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

o

o      o

## Chapitre 13

### PROJET D'EXPLOITATION DE LA NAPPE

--==----

Les besoins en eau créés par l'installation future d'un important complexe industriel dans la région de Fos-sur-mer posent le problème du captage maximal de la nappe des cailloutis quaternaires de la Crau.

L'exploitation de cette nappe dépend étroitement du débit d'écoulement hors de la nappe et qui a été évalué à 5 m<sup>3</sup>/s environ (chapitre 12 page 186).

En effet, le débit total d'exploitation ne doit pas dépasser ce débit sinon, les puits ou les forages puiseront dans la réserve de la nappe qui n'a qu'une durée limitée.

D'autre part, on sait, que les cailloutis, recouverts au-delà de la zone d'émergences par des limons, s'enfoncent vers la mer où ils sont envahis par l'eau salée.

Le problème d'invasion éventuelle d'eau salée peut être résolu en admettant que dans le cas d'un forage implanté dans une nappe libre dont l'écoulement s'effectue vers une zone d'émergences à niveau d'eau constant, il n'y a pas d'inversement de sens d'écoulement donc, dans notre cas, d'arrivée d'eau salée tant que le débit du forage reste inférieur à certain débit limite (voir annexe 5).

Il s'agit donc de choisir l'emplacement et le débit de futurs forages de telle sorte que le débit moyen de la nappe (5 m<sup>3</sup>/s) soit exploité au maximum sans provoquer une invasion d'eau salée.

### 13.1 CONDITIONS D'IMPLANTATION DES OUVRAGES DE CAPTAGE.

#### 13.11. Crau de Miramas.

Les caractéristiques de la nappe de la Crau n'étant connues que dans sa partie aval, comprise entre Fos et Mas de Vincent, nous limiterons les calculs et les prévisions des modalités optimales du captage à cette partie de la nappe.

Ces caractéristiques peuvent être résumées dans le tableau suivant:

épaisseur de la couche aquifère "H"	varie entre 30 et 10 mètres
perméabilité "K"	vraie entre $2,6 \cdot 10^{-2}$ m/s et $4,2 \cdot 10^{-3}$ m/s
transmissivité "T"	varie entre $3,6 \cdot 10^{-1}$ m <sup>2</sup> /s et $4,2 \cdot 10^{-2}$ m <sup>2</sup> /s
pente moyenne de la surface piézométrique "i <sub>m</sub> "	0,003
longueur du front d'écoulement "L"	17 km
débit moyen de la nappe "Q"	5 m <sup>3</sup> /s

La méthode de calcul du débit optimal d'exploitation est exposée dans l'annexe 5.

# Résultats de calculs.

En raison de l'hétérogénéité des conditions, surtout des variations d'épaisseur de la couche aquifère, de perméabilité et de transmissivité, les calculs ont été effectués par tranches de terrain relativement homogènes c'est-à-dire dans lesquelles les caractéristiques hydrauliques sont peu variables.

En commençant par la région de Fos, nous avons distingué 4 zones: A, B, C et D dont les caractéristiques admises figurent dans le tableau ci-dessous:

Caractéristiques moyennes admises	ZONE A	ZONE B	ZONE C	ZONE D
épaisseur de la nappe " $H_m$ "	20m	10m	14m	10m
perméabilité " $K_m$ "	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	$6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	$4,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
transmissivité " $T_m$ "	$3,0 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$	$5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$8,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$4,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
pente de la surface piézométrique " $i_m$ "	0,003	0,003	0,002	0,003
longueur du front d'écoulement " $l$ "	3000m	4000m	6000m	4000m
débit du front d'écoulement " $Q$ "	2,7 m <sup>3</sup> /s	0,6 m <sup>3</sup> /s	1,0 m <sup>3</sup> /s	0,5 m <sup>3</sup> /s

Les calculs du débit maximal admissible d'exploitation ont été faits séparément pour chaque zone en supposant un forage et un alignement de forages situé parallèlement à la ligne d'émergences à des distances  $D = 1$  et  $2 \text{ km}$ .

L'implantation des forages à la proximité de la ligne d'émergences et parallèlement à elle paraissant la plus judicieuse pour deux raisons :

- 1°) elle permettra de récupérer le débit des sources de trop-plein et l'eau évapotranspirée dans la zone d'émergences ;
- 2°) elle se situe dans la zone la plus proche du futur complexe industriel de Fos-sur-mer.

Le rabattement maximal admissible a été pris comme égal à 5 mètres.

Le diamètre des forages étant supposé égal à  $450 \text{ mm}$ .

Les résultats de calculs figurent dans le tableau I.

Il en résulte que la zone la plus propice au captage est la zone A.

Le débit que l'on peut obtenir par forage en rabattant le niveau piézométrique de 5 mètres et en l'implantant à  $1 \text{ km}$  de la zone d'émergences est de l'ordre de  $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Or, un tel débit paraît difficile à pomper dans un seul forage.

Le problème peut être résolu en réalisant au lieu d'un forage, un groupe de 5 forages disposés suivant un cercle de rayon  $R = 50$  mètres.

Le débit , calculé d'après la formule (3) de l'annexe 5, pourrait être de l'ordre de  $800 \text{ m}^3/\text{h}$  par forage et de  $4000 \text{ m}^3/\text{h}$  par groupe (ceci pour  $y = 5,0$  mètres et  $D = 1 \text{ km}$ ) et il resterait toujours inférieur au débit

T A B L E A U   I  
Débits maximaux des ouvrages.

Z O N E	D   =   1.000m						D   =   2.000m					
	$q_o$	$q_o'$		$q_{max}$	$q_{max}'$		$q_o$	$q_o'$		$q_{max}$	$q_{max}'$	
		a=1,5D	a= 2D		a= 1,5D	a= 2D		a= 1,5D	a=2D		a= 1,5D	a= 2D
A	10.150	4.700	5.900	2.400	2.000	2.160	20.300	9.400	11.800	2.200	1.900	2.000
B	1.700	780	990	470	400	420	3.400	1.570	1.970	440	370	400
C	1.880	860	1.100	710	600	640	3.760	1.700	2.200	630	510	570
D	1.400	640	800	390	330	350	2.800	1.200	1.600	360	300	320

- D - distance en mètres jusqu'à la zone d'émergences
- $q_o$  - débit limite d'un forage en m3/h pour ne pas provoquer la venue d'eau salée (formule 4 - annexe 5)
- $q_o'$  - débit limite d'un forage en m3/h pour ne pas provoquer la venue d'eau salée dans le cas d'un alignement de forages (déduit du rapport  $\frac{q_o'}{q_o}$  pour  $\frac{Q}{D} = 1,5$  et  $\frac{a}{D} = 2$  annexe 5)
- $q_{max}$  - débit maximal d'un forage en m3/h en fonction du rabattement maximal = 5 mètres (formule 1 - annexe 5)
- $q_{max}'$  - débit maximal d'un forage en m3/h pour le même rabattement = 5m dans le cas d'un alignement de forages (déduit du rapport  $\frac{q_{max}'}{q_{max}}$  annexe 5).
- a - distance séparant 2 forages successifs.

limite d'exploitation " $Q_o$ " pour ne pas provoquer l'invasion d'eau salée qui est de l'ordre de 5000 m<sup>3</sup>/h pour cette zone.

En se plaçant toujours à 1 km de la zone des émergences et en respectant que la distance entre 2 forages successifs soit égale au moins à 1,5 de la distance jusqu'à la zone d'émergences, le débit maximal d'exploitation par forage est de l'ordre de:

400 m<sup>3</sup>/h dans la zone B

600     -     -     -     -     C

300     -     -     -     -     D

Ces débits restent toujours inférieurs au débit limite avec lequel commencerait l'inversement du sens d'écoulement ( l'écoulement qui s'effectue vers la zone d'émergences) donc la remontée d'eau salée.

Ainsi, nous proposerions:

- dans la zone A:

2 groupes distants de  $a = 1,5$   $D = 1,5$  km, chaque groupe comportant 5 forages;

Chaque groupe pompant un débit  $Q = 4000$  m<sup>3</sup>/h;

débit total  $Q_{tA} = 2 Q = 8000$  m<sup>3</sup>/h = 2,22 m<sup>3</sup>/s;

degré d'utilisation de la nappe :  $\frac{Q_{tA}}{T_{il}} = 82\%$

- dans la zone B:

2 forages distants de  $a = 1,5$   $D = 1,5$  km

à débit  $Q = 400$  m<sup>3</sup>/h;

débit total  $Q_{tB} = 2 Q = 800$  m<sup>3</sup>/h = 0,22 m<sup>3</sup>/s

degré d'utilisation de la nappe :  $\frac{Q_{tB}}{T_{il}} = 37\%$

- dans la zone C :

4 forages distants de  $a = 1,5$   $D = 1,5$  km

à débit  $Q_v = 600$  m<sup>3</sup>/h;

débit total  $Q_{tC} = 4 Q_v = 2400$  m<sup>3</sup>/h = 0,67 m<sup>3</sup>/s

degré d'utilisation de la nappe  $\frac{Q_{tC}}{Til} = 67\%$

- dans la zone D :

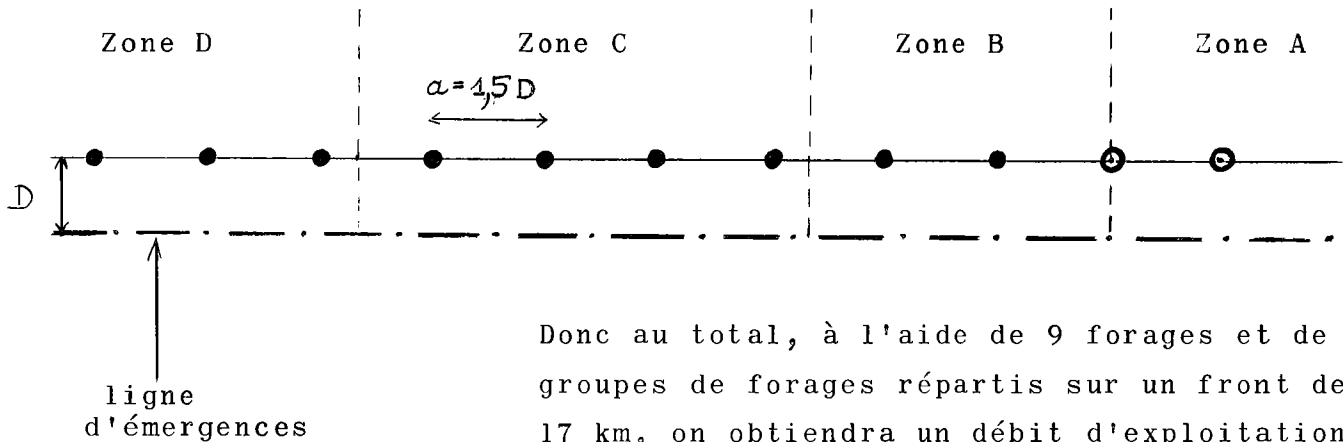
3 forages distants de  $a = 1,5$   $D = 1,5$  km

à débit  $Q_v = 300$  m<sup>3</sup>/h;

débit total  $Q_{tD} = 3 Q_v = 900$  m<sup>3</sup>/h = 0,25 m<sup>3</sup>/s

degré d'utilisation de la nappe:  $\frac{Q_{tD}}{Til} = 51\%$

Nous joignons ci-dessous un schéma de répartition de forages dans chaque zone. Il n'est valable que dans les limites des hypothèses admises:



Donc au total, à l'aide de 9 forages et de 2 groupes de forages répartis sur un front de 17 km, on obtiendra un débit d'exploitation  $Q_T$ :

$$Q_T = Q_{tA} + Q_{tB} + Q_{tC} + Q_{tD} = 12.100 \text{ m}^3/\text{h} = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

et la nappe sera exploitée à 70% environ.



### 13.2 - REALIMENTATION DE LA NAPPE DE CRAU.

L'irrigation intervient pour une part très importante dans l'alimentation de la nappe de la Crau. Le pourcentage des terres irriguées n'a fait jusqu'ici que croître, augmentant le débit de la nappe (1). L'installation d'établissements industriels peut entraîner le processus inverse, occasionnant une diminution de l'alimentation de la nappe alors que croîtra la demande. Il sera possible d'envisager la réalimentation de la nappe à partir de puits ou de tranchées; la perméabilité des cailloutis de Crau permet d'envisager favorablement l'opération. L'écueil à éviter sera le colmatage des ouvrages à partir des eaux très chargées de Durance. Une décantation préalable devra être envisagée.

Des essais de réalimentation artificielle de nappe ont été effectués avec succès par Electricité de France en basse Durance.

---

(1) A partir de 1963, la mise en service d'un nouveau canal dans la Crau d'Arles, au nord des marais de Meyranne, a entraîné une remontée importante du niveau de la nappe dans cette zone, au point que la nécessité d'un drainage s'est imposée. Le Génie rural effectue actuellement une étude de ce réseau de drainage.

Dans des formations alluviales de perméabilité un peu inférieure à celle de Crau ( $2 \text{ à } 4.10^{-3} \text{ m/s}$ ) et présentant des variations assez importantes (dépôts lenticulaires),  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . a été injecté pendant un mois : la stabilisation immédiate de la nappe qui baissait a été obtenue et ensuite la remontée au niveau maximum moyen sur une superficie de  $4.000 \text{ ha}^{(1)}$ .

Il est également possible d'envisager une recharge de la nappe à l'aval des zones de pompages au cas où, à la suite de prélèvements intensifs, le niveau de l'interface eau douce - eau salée aurait dépassé la cote limite à prévoir mais si le phénomène peut être stoppé, il est difficilement réversible.

o

o

o

---

(1) A. Decelle, M. Guelton, R. Muller-Feuga - Exemple d'alimentation artificielle de la nappe phréatique d'un bassin alluvial de  $5.000 \text{ ha}$  situé en basse Durance. 2<sup>o</sup> Congrès international des irrigations et du drainage - Alger 12-17 avril 1954

## CONCLUSIONS

Des études effectuées il ressort que les ressources potentielles réelles de la Crau (volume d'eau parvenant à la nappe par suite de l'infiltration efficace des précipitations et des irrigations dont on a déduit l'évaporation et les pertes) : sont de 15 m<sup>3</sup>/s. environ.

Ce débit n'est pas entièrement mobilisable. En effet, compte tenu des valeurs mesurées sur sondages de la perméabilité des alluvions, le débit percolant à travers la section aval de la Crau de Miramas (Crau quaternaire) serait de 3,5 m<sup>3</sup>/s. environ. Si l'on admet, d'autre part, que pour cette même partie de la Crau, le débit écoulé est celui correspondant aux collatures et à l'évaporation sur les marais, on obtient le chiffre de 8 m<sup>3</sup>/s. environ; on peut admettre que le débit exploitable est compris entre ces deux valeurs et voisin de 5 m<sup>3</sup>/s.

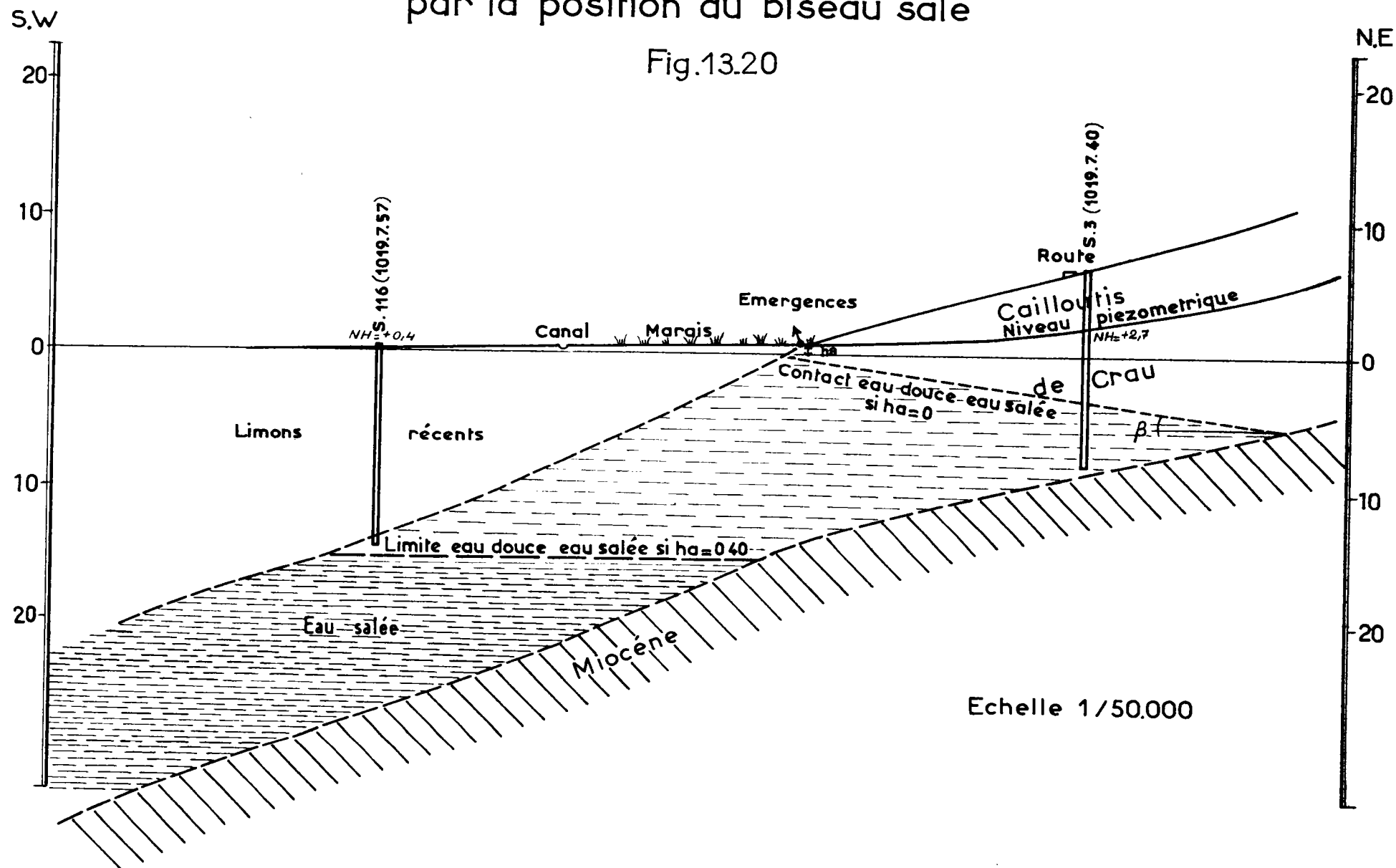
Pour la Crau d'Arles (Crau villafranchienne), la seconde méthode, seule utilisable en l'absence de sondages, conduit au chiffre de 2,5 m<sup>3</sup>/s., le débit exploitable pouvant être estimé à 1,8 m<sup>3</sup>/s.

Pour la totalité de la Crau, le débit exploitable ne serait donc pas inférieur à 7 m<sup>3</sup>/s. dont 5 pour la seule Crau quaternaire.

En ce qui concerne la Crau quaternaire, 70 % de ce débit pourrait être prélevé à 1 km en amont des émergences par une ligne de forages de 450 mm de diamètre, distants de 1,5 à 2 kms, sous un rabattement de 5 m.

# Limitation de l'exploitation de la nappe par la position du biseau salé

Fig.13.20



Cette exploitation tient compte de la nécessité de ne pas perturber les conditions d'équilibre entre eau douce et eau salée, à l'aval des émergences, et de ne pas faire remonter l'interface au-dessus d'une certaine cote, la position de cet interface étant conditionnée par la charge aux émergences, sachant qu'une variation négative de celle-ci de 0,10 m fait remonter l'interface de 3,9 m.

Il importe de noter que ces conclusions reposent sur un ensemble de travaux d'importance relativement réduite : les jaugeages n'ont été effectués que pendant un peu plus d'une année, la fréquence de ceux-ci n'étant que mensuelle. D'autre part, le plan de jaugeage n'avait pas été conçu pour l'établissement de bilans fractionnés (Crau quaternaire et Crau villafranchienne), l'établissement de la carte de la surface piézométrique n'ayant mis qu'ultérieurement en évidence deux unités hydrogéologiques distinctes.

D'autre part, on ne dispose que de mesures ponctuelles peu nombreuses de la perméabilité et de la transmissivité des alluvions de Crau (18 sondages effectués dans le cadre de cette étude dont 10 sur le seul profil Fos-mas de Pernes, en amont des émergences, les autres étant localisés en amont de ce profil dans l'angle sud-est de la Crau, région sud de l'aérodrome d'Istres - résultat d'essais de pompages effectués sur 3 ouvrages d'alimentation en eau - Pissarotte, Grand Moutonnier, Fanfarigoule - tous dans la basse Crau également). Un seul essai de pompage a été mené en vue de la recherche d'un coefficient d'emmagasinement.

Les campagnes géophysiques effectuées en vue de la détermination de l'épaisseur des alluvions couvrent également une superficie réduite de la Crau (la même que celle couverte par les sondages mécaniques).

Malgré l'importance des résultats obtenus, il y a donc lieu de souligner le caractère limité de l'étude effectuée, du moins au stade des travaux de reconnaissance, et, par conséquent, le caractère limité des conclusions.

La fixation précise du débit exploitable et la mise au point du dispositif de captage optimal de la nappe sans risque d'invasion d'eau salée ont fait l'objet d'un calcul numérique nécessairement approximatif. Une solution plus rigoureuse serait du ressort des méthodes analogiques (rhéoelectrique notamment): il pourrait donc être utile de prévoir un complément d'étude dans ce sens. Toutefois, la mise en oeuvre de ces méthodes n'aurait une pleine efficacité que si le nombre et le degré de précision des paramètres connus (perméabilité, transmissivité, emmagasinement) de la nappe étaient accrus. Il serait donc souhaitable de faire précéder la "mise en modèle analogique" de travaux de reconnaissance complémentaires (forages et essais de pompage essentiellement), si l'on désire bâtir avec un minimum d'inconnues un projet de captage optimal de la nappe de la Crau.

L'étude effectuée a, d'autre part, souligné la dépendance étroite de l'alimentation de la nappe vis-à-vis des irrigations (17 m<sup>3</sup> contre 11): la diminution de ces dernières aurait une conséquence immédiate sur celle-ci (baisse de niveau, diminution du débit des émergences et de la charge aux émergences donc remontée du biseau salé).

Ainsi apparaît la nécessité d'un contrôle permanent de la nappe de la Crau: contrôle des débits d'entrée et de sortie (jaugeages des canaux de collatures), contrôle du niveau de la nappe sur toute son étendue (réseau de piézomètres), con-

trôle de la position du biseau salé (mesure de la charge de la nappe et de la variation de la résistivité sur quelques piézomètres à l'aval des émergences).

Marseille, le 3 août 1964

B. DELLERY	Géologue au B.R.G.M.
G. DUROZOY	Docteur es sciences - Chef du Service géologique régional Provence-Corse - B.R.G.M.
J. FORKASIEWICZ	Ingénieur géologue au B.R.G.M.
Cl. GOUVERNET	Agrégé de l'université - Docteur es sciences - Professeur de géologie appliquée - Faculté des sciences de Marseille.
J. MARGAT	Ingénieur E.N.S.G.N. - Chef du Service hydrogéologique du B.R.G.M.

S U M M A R Y

- Page 63 - Figure 440 : la légende des courbes est donnée par le figuré des différentes abscisses.
- Page 114 - 1ère ligne de la note infrapaginale, fin de la ligne : lire M. l'ingénieur des Ponts et chaussées maritimes.
- Page 168 - Paragraphe 11.21 - évaporation sur les marais : remplacer 2 m<sup>3</sup>/s par 2,7 m<sup>3</sup>/s et dans le total 19 m<sup>3</sup>/s par 19,7 m<sup>3</sup>/s, soit en arrondissant 19,5 m<sup>3</sup>/s.
- Page 170 - A la 4ème, à la 5ème, à la 10ème et à la 13ème lignes - remplacer 19 m<sup>3</sup>/s par 19,5 m<sup>3</sup>/s. A la 5ème et 6ème lignes remplacer 9,5 m<sup>3</sup>/s par 9 m<sup>3</sup>/s. A la 13ème ligne, remplacer 0,6 par 0,69.
- Page 171 - 2ème ligne - remplacer 19 m<sup>3</sup>/s par 19,5 m<sup>3</sup>/s. Dans le paragraphe 11.31 - Apports : lire 11,5 m<sup>3</sup>/s au lieu de 11 m<sup>3</sup>/s, et 29 m<sup>3</sup>/s au lieu de 28,5 m<sup>3</sup>/s.
- Page 190 - 4ème ligne du 5ème paragraphe - lire "inversion" au lieu de "inversement".
- Page 194 - 2ème ligne du 2ème paragraphe - lire "inversion" au lieu de "inversement".
- Page 280 - 3ème ligne du 4ème paragraphe - remplacer "17 m<sup>3</sup> contre 11" par "60 %".



## ANNEXES

- Annexe 1 - Coupes des sondages  $S_1$  à  $S_{16}$
- Annexe 2 - Microfaunes recueillies dans les échantillons du substratum atteint par les sondages
- Annexe 3 - Exposé des méthodes de calcul des valeurs de la perméabilité K et de la transmissivité T
- Annexe 4 - Diagrammes relatifs aux essais de débit effectués sur les sondages  $S_1$  à  $S_{16}$
- Annexe 5 - Nappe limitée par une ligne d'émergence - Calcul du débit maximal d'un forage en fonction du rabattement maximal du niveau d'eau - Calcul du débit limite d'exploitation pour ne pas provoquer la venue d'eau salée.
- Annexe 6 - Histoire géologique de la Crau

A N N E X E    1

---

ETUDE DE LA NAPPE DE CRAU

-----

Coupes des sondages  $S_1$  à  $S_{16}$

DÉPARTEMENT

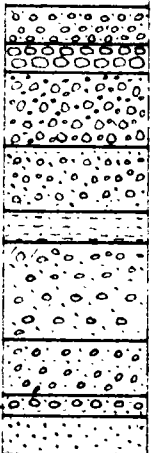
COMMUNE

Désignation

Bondage n° 1 près du mas de la Côte du Sol 215 126,100  
Ponsolle

Coupe établie par : Ph. CHARDONNIER

Interprétation de : Ph. CHARDONNIER

Profondeurs et Cotes	Tubage et Cimentation	Plan d'eau	Méthode de forage	Stratigraphie	Étage	Description Géologique	Valeur K en 10 <sup>-3</sup> mis Lefranc	
0	Lycollex 113-125	N.H.	Percussion (Tépan et curette)		Alluvions. Pic-jet. de la Crau	Graviers, galets, sables limoneux	Niveau var. 5.5 0.15 0.7 1 0.6	
	4.5	4.4			1.1	Conglomerat dur		
					1.9	Galets et graviers cimentés		
5	7.4				4.3	Galets, graviers, sables, traces de ciment		
					6.5	Gravier légèrement argileux		
10					7.5	Galets, graviers, un peu de sable micacé		
						Traces de cimentation		
					11	Sables, galets, graviers		
					12.6	Galets et graviers		
15	4 1/2				13.2	Graviers et sable silteux		
			14.8	Sable micacé, rares graviers, Helvétien remanié				
			Rotation 12.6 / 12.7	Helvétien moyen	16.2	Grès fin micacé, dur puis grès jaune tendre fissuré	Niveau var. 0.004 0.014	
			Percussion		18.3	Calcaire détritique et lumachellique		
20	10.1		Rotation couronne diamantée Carottage 70/		19.7	Grès fin micacé tendre		
					25	Grès fin micacé		
25	25.0				25.6	Observation		
30						Tube d'équip. rempli par sédiments de 16,25 à 25,60		

Perméabilité faible

1-1

DÉPARTEMENT BOUCHES-du-RHÔNE

COMMUNE FOS-sur-MER

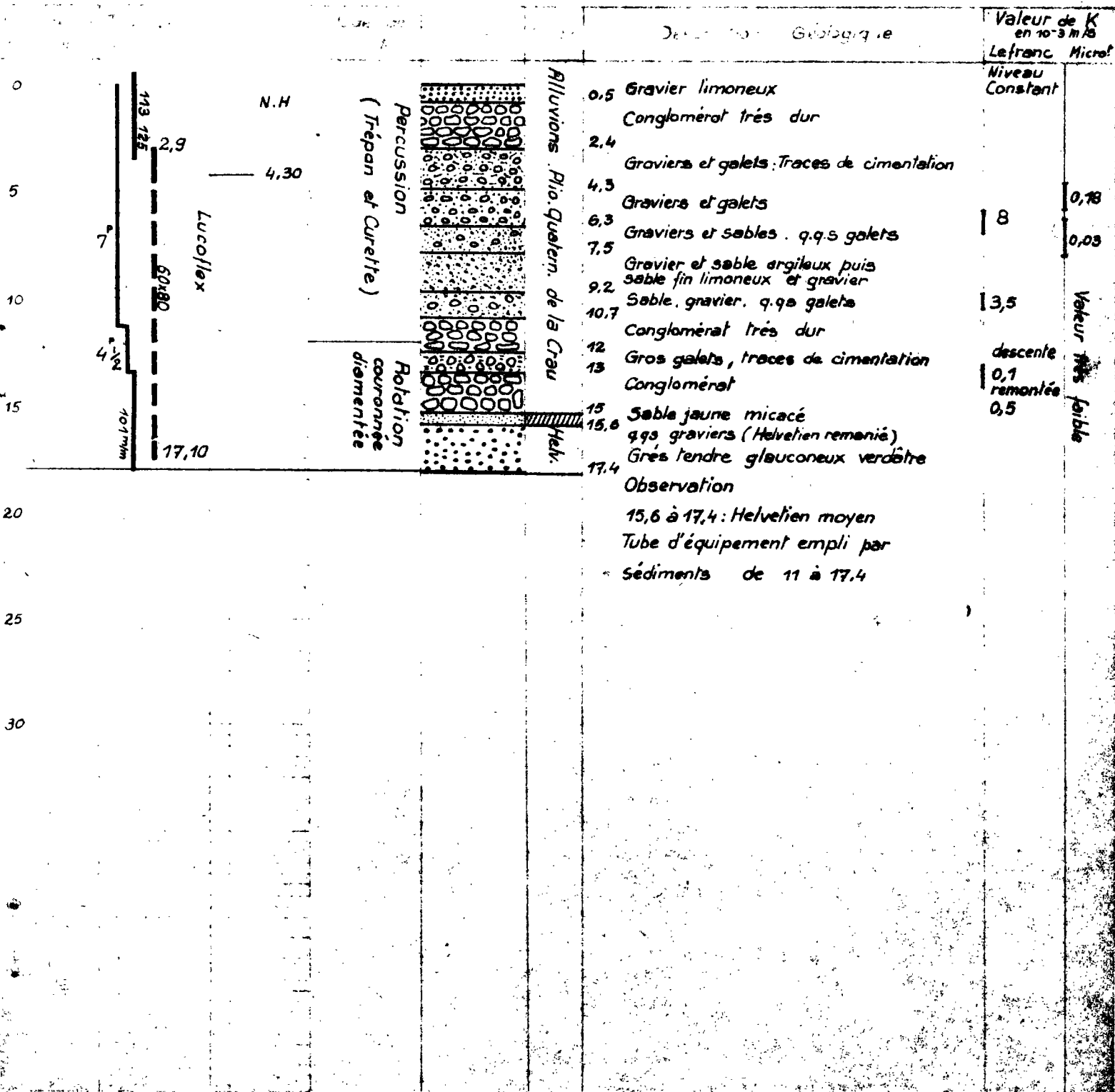
Indice de classement 1019 3 69

Désignation sondage n° 2

Cote du Soliz. + 6,00m

Coupe établie par Ph. CHARBONNIER

Interprétation Ph. CHARBONNIER



DÉPARTEMENT BOUCHES-du-RHÔNE

COMMUNE FOS-sur-MER

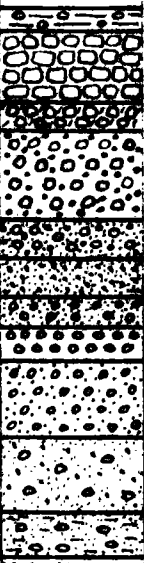
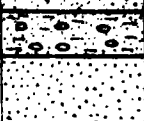
Indice de classement : 1019 3 70

Désignation Sondage n° 3

Cote du Sol (x) = + 6,00m

Établi par : Ph. CHARBONNIER

Interprétation de : Ph. CHARBONNIER

Profondeur (m)	Age et Stratigraphie	Plan (m)	Mode de forage	Coupe	Étage	Description Géologique	Valeur de K en 10 <sup>-3</sup> m/s	
							Lefranc	Micro
0		N.H	Percussion (Trepan et curette)		Alluvions. Plio. quatern. de la Crau	0,5 Galets et limon brun-rouge Conglomérat		
2,5	113/125					2,5 Galets, gravier traces de cimentation		
3,4	3,8	3,15				Graviers et galets	0,7	80
6,7						6,7 Gros galets, gravier, sable		
8,2						8,2 Sable et gravier	4	
9,4						9,4 Galets et sable	1,5	
10,7						10,7 Galets	15	30
11,4						Gravier et galets		
13,8						13,8 Gravier et sable. q.qs galets	5	très faible
16,4						16,4 Sable siliceux micacé, q.qs galets		
18			Rotation		Helv.	18 Grès verdâtre glauconieux à passées de grès sableux fin		
21								

Observations

16,4 à 18 : Helvétien remanié

DÉPARTEMENT BOUCHES-du-RHÔNE

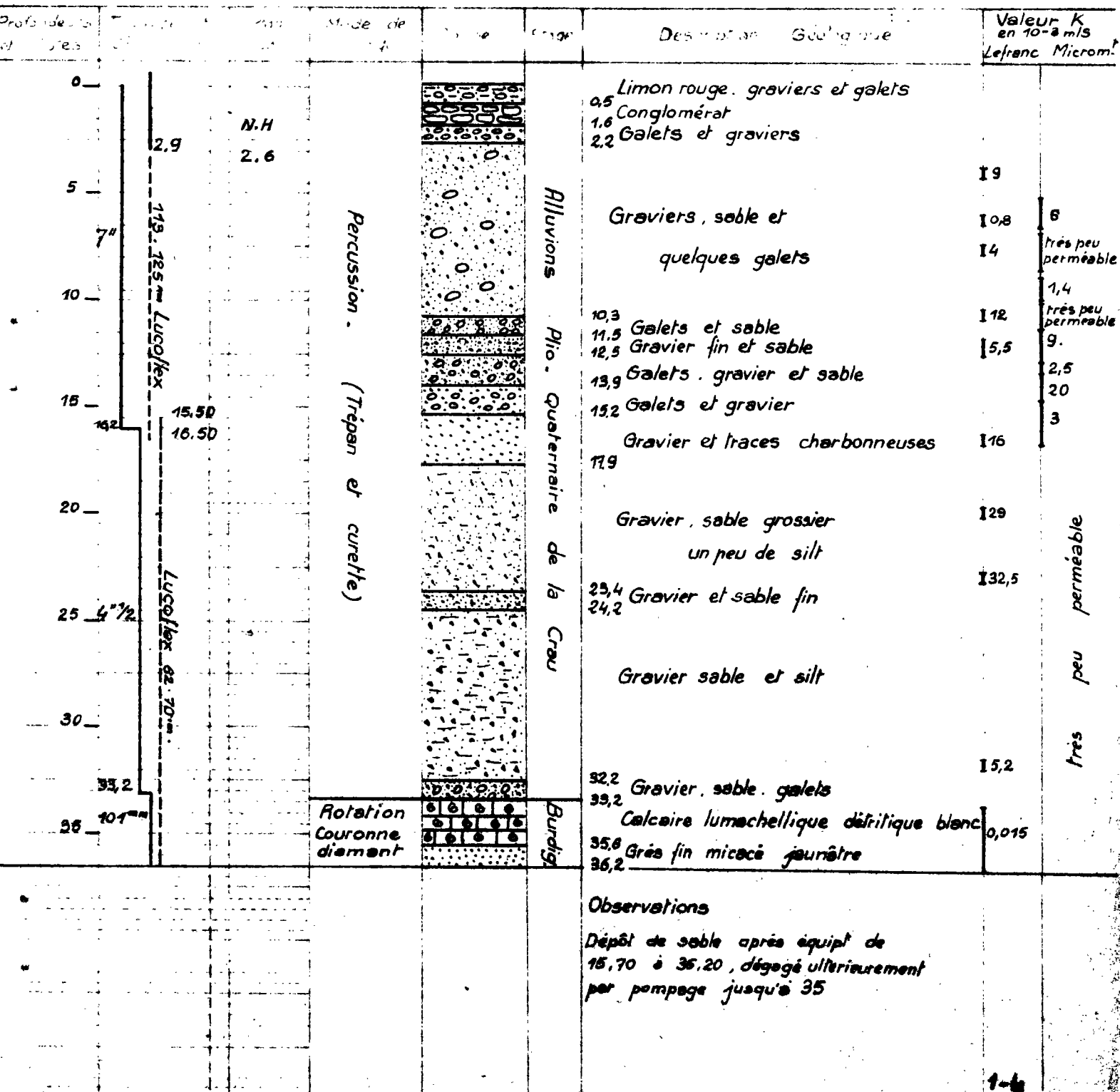
COMMUNE FOS-sur-MER

Indice de classement : [ 1019 | 7 | 37 ]

Désignation Sondage n° 4 Cote du Solize  $\pm 5,03m$

Coupe établie par Ph. CHARBONNIER

Interprétation de Ph. CHARBONNIER



DÉPARTEMENT BOUCHES-du-RHÔNE

FOS-sur-MER

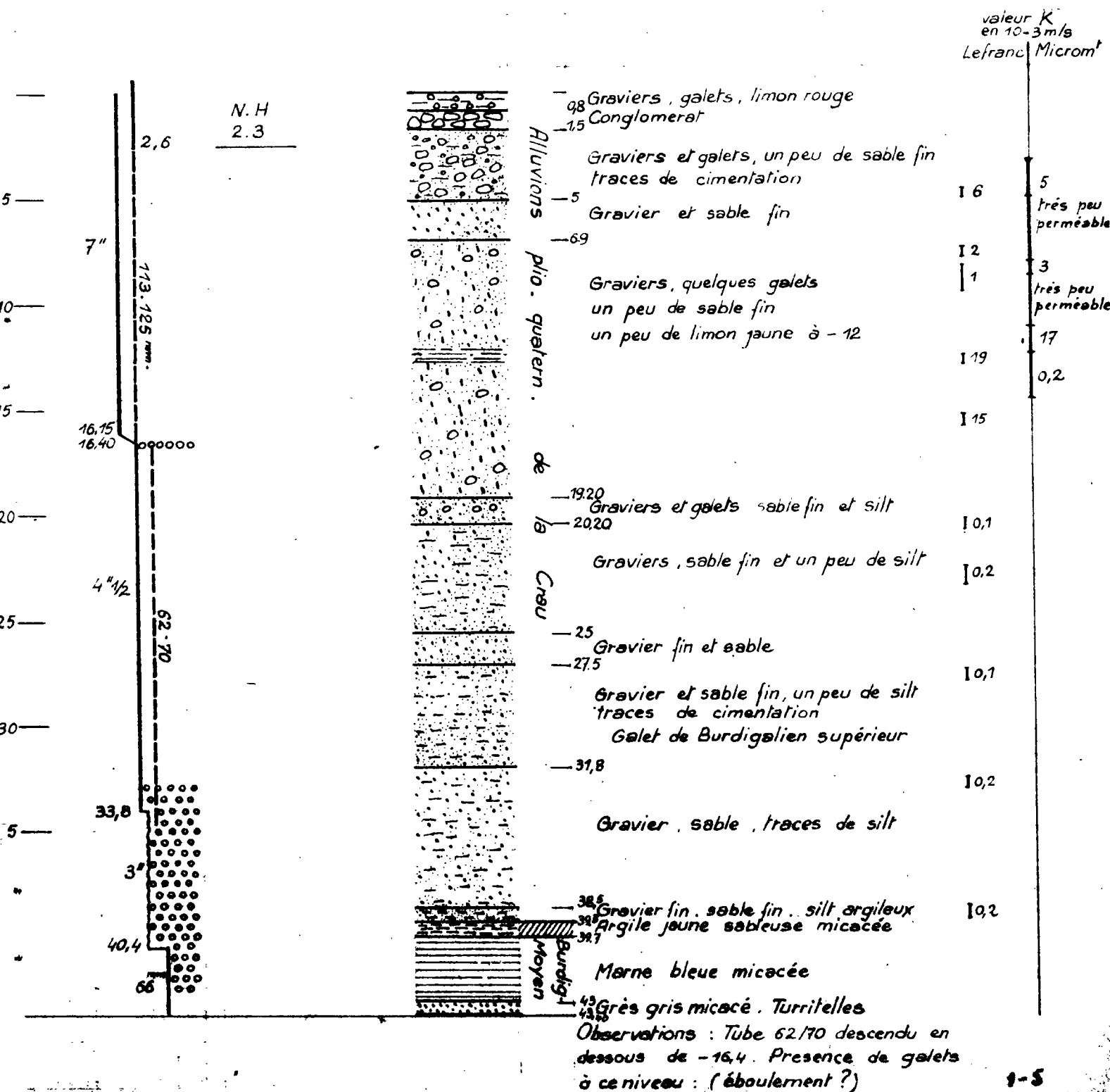
1019 7 33

Sondage n° 5

+ 3,00m

Ph. CHARDONNIER

Ph. CHARBONNIER



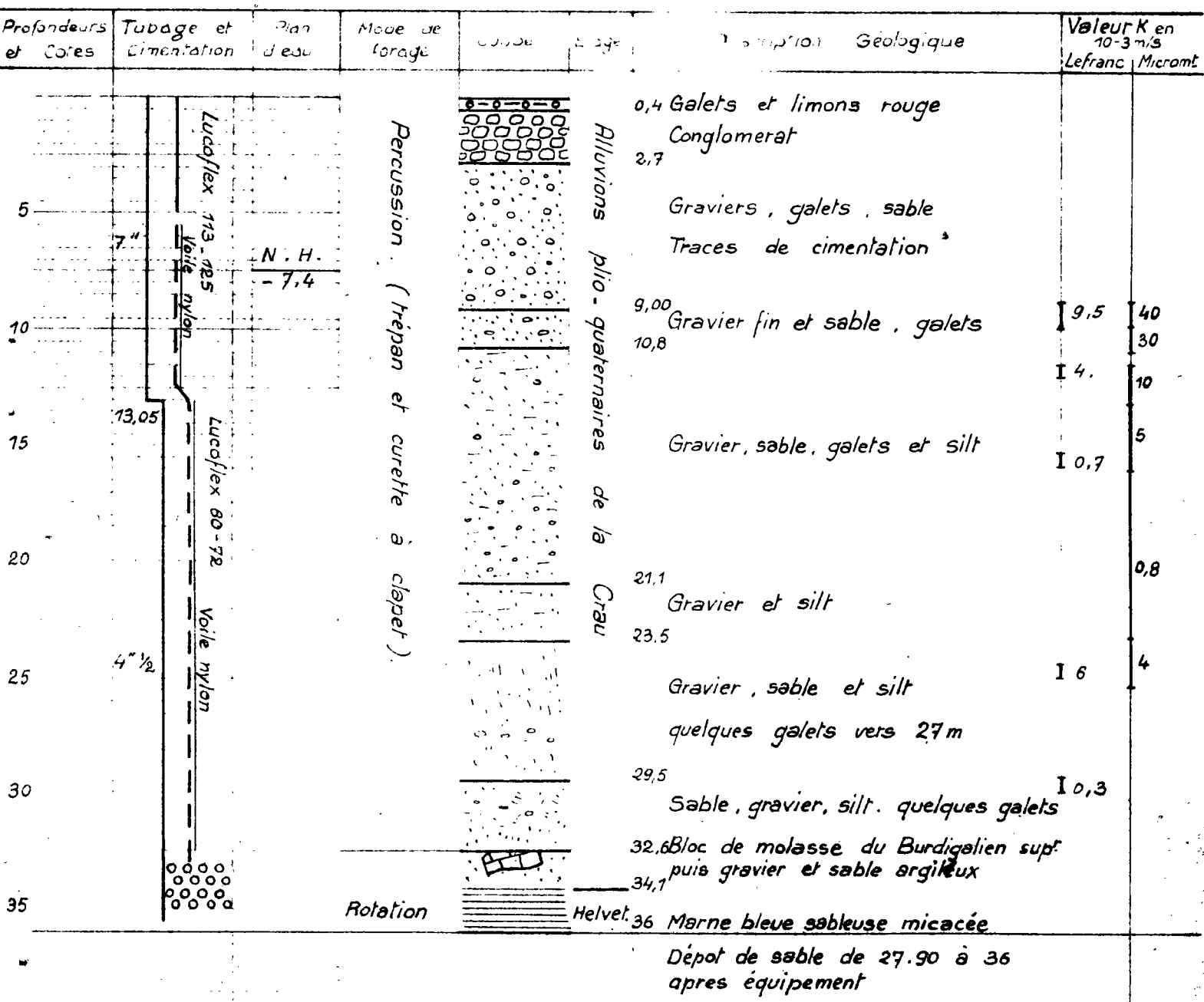
DÉPARTEMENT DOUBES-du-RHÔNE

COMMUNE FOS-SUR-MER

code de classement 1019 | 3 | 71

Désignation Sondage n° 6 Cote du Sol (z) + 14,05m

Coupe établie par : Ph. CHARBONNIER  
Interprétation de : Ph. CHARBONNIER





DÉPARTEMENT BOUCHES-du-RHÔNE

COMMUNE FOS-sur-MER

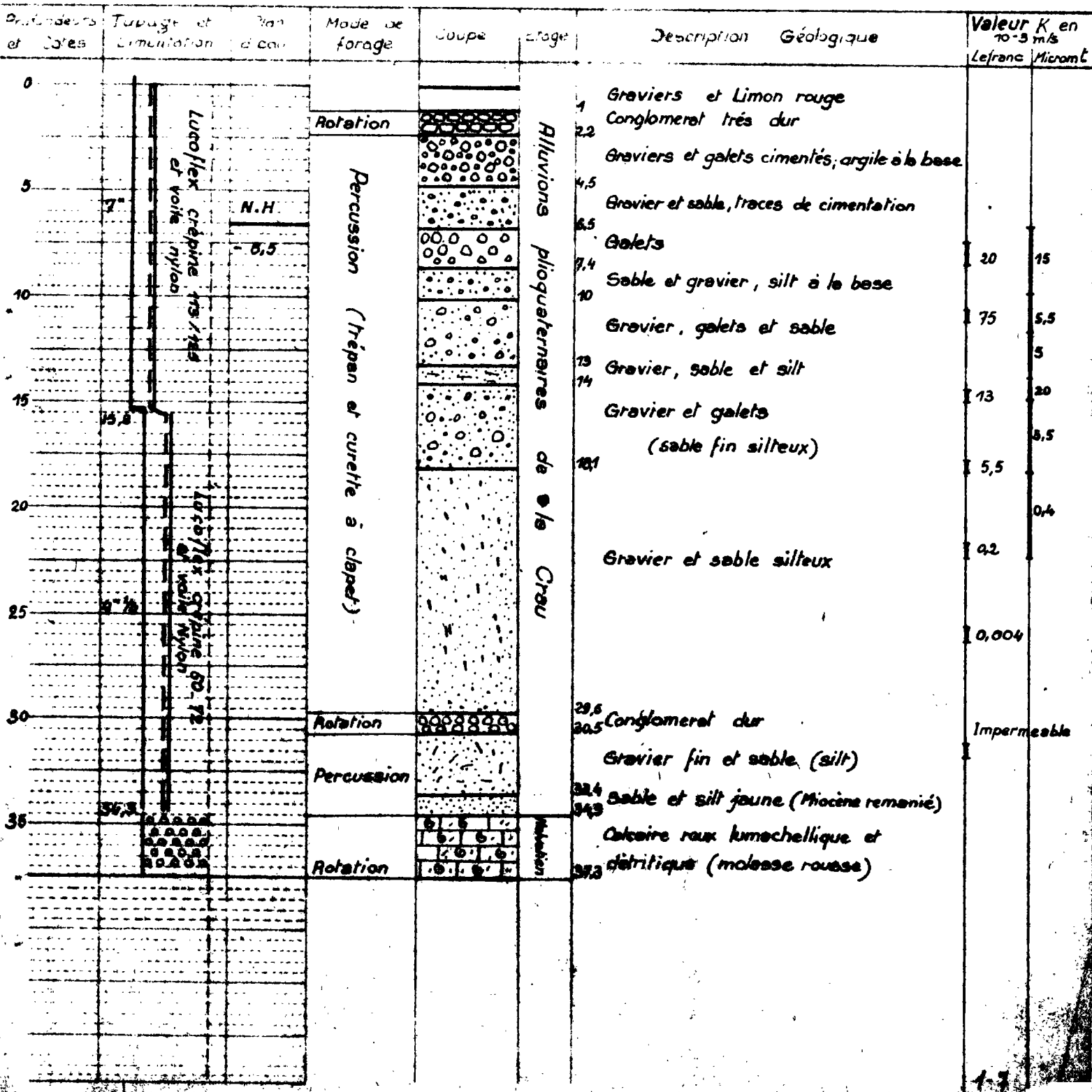
Indice de classement : 1019 3 72

Désignation sondage n° 7

Cote du Sol (z) :

Coupe établie par : Ph. CHARBONNIER

interprétation de Ph. CHARBONNIER



DÉPARTEMENT : *Bouches du Rhône*

COMMUNE : *Istres*

x *806,870*  
y *140,120*  
z *+19,24 RNS*

Coupe établie par : *VIALA*

*Sondage 8*

Indice de classement

<i>1019</i>	<i>3</i>	<i>81</i>
-------------	----------	-----------

Interprétation de M. *DELLERY*

Profond.	Demi-coupe technique	Nappes et plans d'eau	Echant.	Coupe	Description géologique par---	Etages
+ 0,25 0 0,30		<i>NS</i> - 5,06			<i>0</i> <i>Limons rougeâtres et galets</i> <i>0,30</i> <i>Poudingue à gros éléments siliceux</i> <i>2,70</i> <i>Cailloutis à galets de calcaire de quartzite ; grès siliceux ; petits galets.</i> <i>7,50</i> <i>Poudingue à gros et petits éléments très consolidés.</i> <i>8,50</i> <i>Marne rougeâtre graveleuse noduleuse</i> <i>9,00</i> <i>Marne jaune verdâtre graveleuse et noduleuse</i> <i>10,70</i> <i>Marne jaunâtre.</i> <i>12,40</i>	<i>Cailloutis de Crau</i>
5,65						<i>Astien</i>
8,30						<i>Fraisien - creu</i>
10,30						
12,40						

x 807,220  
y 140,220  
z +20,41 RNG

Sondage 8 bis

Interprétation de M. DELLERY

### Indice de classement

1019

3

**81 bis**

49

DÉPARTEMENT : *Bouches du Rhône*

COMMUNE : *Fos-sur-Mer*

x 806,520

Coupe établie par : *VIALA*

Sondage 9

y 139,890

z +18,38 RMG

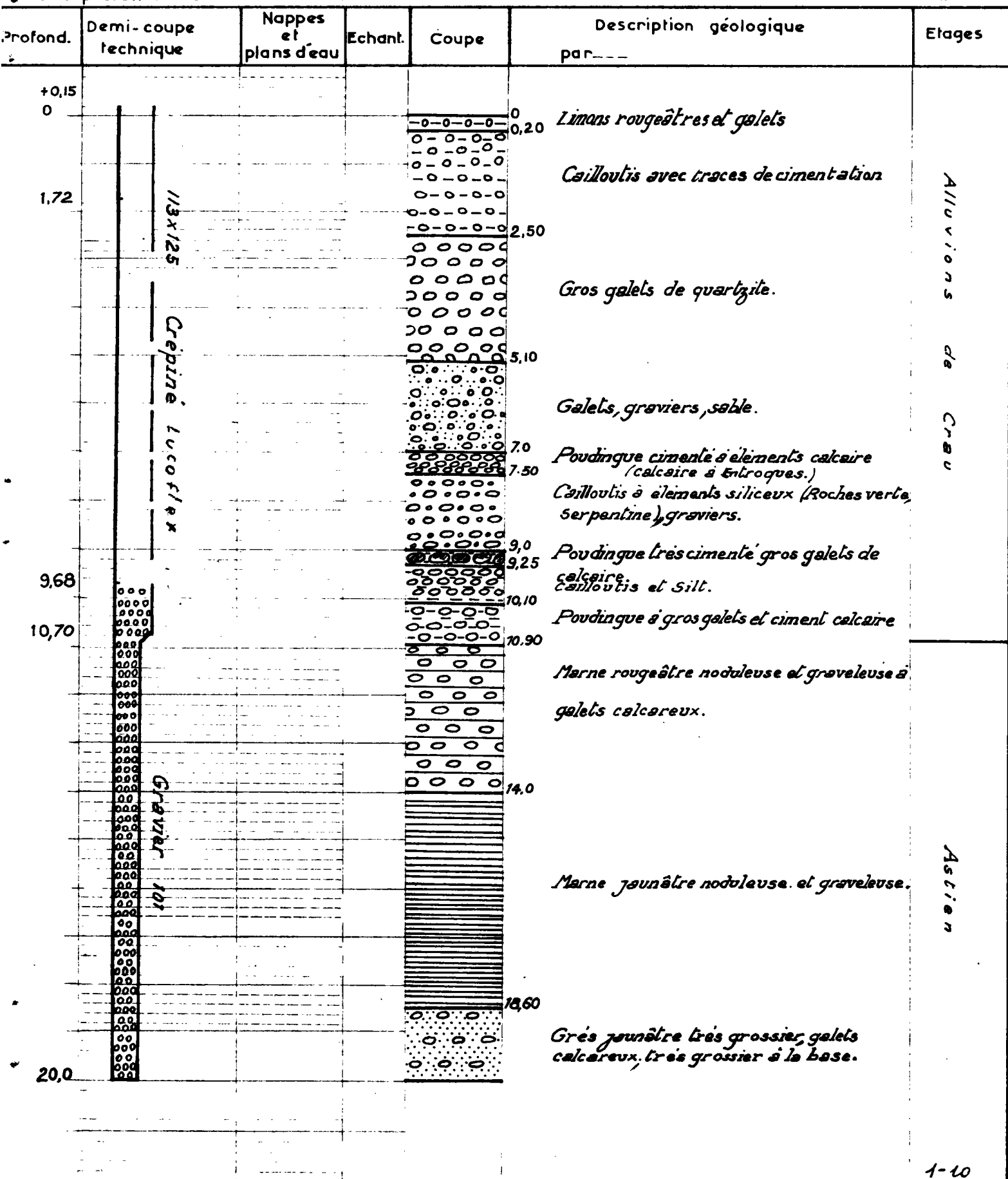
Interprétation de M. *DELLERY*

Indice de classement

1019

3

82



DÉPARTEMENT : *Bouches du Rhône* COMMUNE : *Fos-sur-Mer*

Coupe établie par : *VIALA*

*sondage 10*

x *803,800*  
y *137,530*  
z *6,51 BNG*


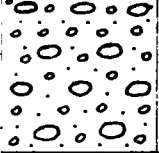


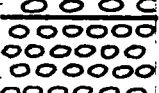
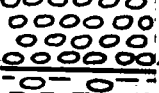
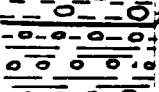
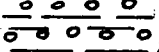
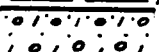
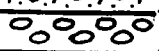
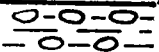
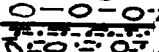
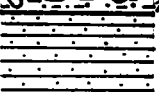
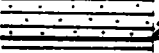

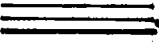
Interprétation de M. *DELLERY*

Indice de classement

*1019*

*3*

*80*

Profond.	Demi-coupe technique	Nappes et plans d'eau	Echant.	Coupe	Description géologique par----	Etages
+0,20						
0	<i>Lucifex</i>				0,30 <i>Limons rougeâtres et galets.</i>	
					<i>Cailloutis à gros galets de quartzite ; sable grossier.</i>	
					4,0 <i>Poudingue à gros galets avec cimentation.</i>	
5,00	<i>NS</i>	<i>4,745</i>				
	<i>113 x 125</i>				7,0 <i>Poudingue à gros éléments de quartzite et de calcaire.</i>	
					10,30 <i>Cailloutis à gros galets de quartzite, serpentine, avec pâte argileuse.</i>	
	<i>Crépin</i>				11,30 <i>Cailloutis, graviers, pâte argileuse.</i>	
					14,20 <i>Gravier et silt</i>	
					15,30 <i>Poudingue cimenté avec éléments siliceux.</i>	
					16,20 <i>Cailloutis à éléments calcaire.</i>	
18,00					17,80 <i>Grès grossier à éléments calcaire et ciment</i>	
					18,70 <i>argile calcaire.</i>	
					<i>Marne gréseuse rougeâtre à traces charbonneuses.</i>	
21,20					21,20	
	<i>Gravier</i>				<i>Marne rougeâtre.</i>	
31,00					31,00	

*Alluvions de Crœu*

*Astion*

DÉPARTEMENT : *Bouches du Rhône* COMMUNE : *Arles*

x 801,540  
y 139,860  
z + 7,14 R.N.G.



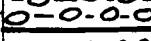
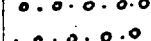
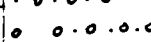
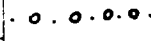
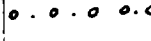
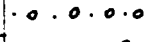


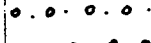

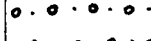
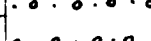






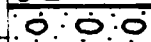



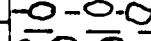

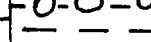


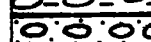

Coupe établie par : *VIALA.*

Sondage 11

Indice de classement

1019	2	49
------	---	----

Interprétation de M. *DELLERY.*

Profond.	Demi-coupe technique	Nappes et plans d'eau	Echant.	Coupe	Description géologique par---	Etages
+0,25 0	<i>Luciflex 113 X 125</i>				0 <i>Limons rougeâtres et galets.</i>	<i>Alluvions de Crau</i>
					0,30 <i>Poudingue très cimentée à éléments siliceux et calcaire cimenté grasseux.</i>	
					1,30	
						
4						
5						
		<i>NS</i>				
6,75		<i>6,076</i>				
						
						
	<i>Craie</i>				9,60 <i>Poudingue à galets calcaires et siliceux.</i>	<i>Alluvions de Crau</i>
						
11,75					11,70 <i>idem.</i>	
						
					12,25 <i>Galets, sable</i>	
						
					15,30 <i>Galets, argile rougeâtre.</i>	
					15,72	
						
						
	<i>Gravier</i>				19,50 <i>Poudingue à ciment sableux.</i>	<i>Alluvions de Crau</i>
						
20,80					20,50 <i>Passage marno-calcaire avec petites nodules calcaire.</i>	
					20,80 <i>Marna bariolée argileuse blanche.</i>	
						
						
						
						
						
						
23,00					23,00	

VIALA

Sondage 12

donnée de classement

1019 2 50

DELLERY

Données géologiques

Etages

par

4

+0,13

0

Lucifex 113x125

4,50

NS

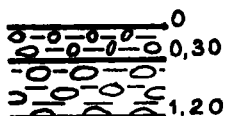
- 4,740

Crepine

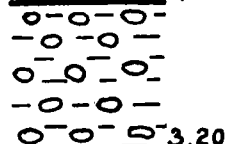
12,50

gravier 12

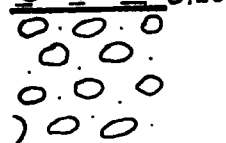
16,20



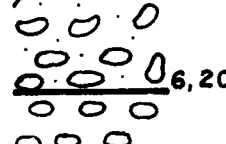
0  
0,30 *limons rougeâtres et galets*  
*Poudingue cimentée*



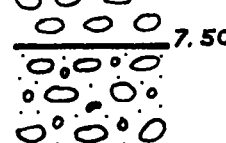
1,20  
*Gailloutis avec traces de cimentation*



3,20  
*Poudingue à galets calcaire*



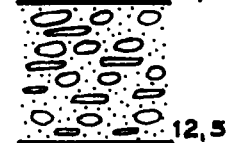
6,20  
*Gailloutis à galets de quartzite; concrétions de calcite.*



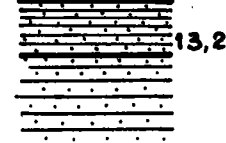
7,50  
*Gailloutis, graviers à ciment sableux.*



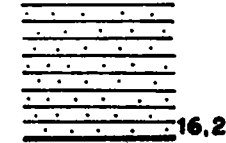
10,60  
*Gailloutis avec galets plats de plus petite dimension, et sable.*



12,50  
*Marne rougeâtre noduleuse et sableuse.*



13,20  
*Marne rougeâtre sableuse à cimentation gréseuse.*



16,20

Alluvions de Crœu

Astien

DÉPARTEMENT : *Bouches du Rhône*

COMMUNE : *Saint-Martin-de-Crau*

x 797,960

y 143,980

z + 6,93 RMG

Coupe établie par : *VIALA*

Sondage 13

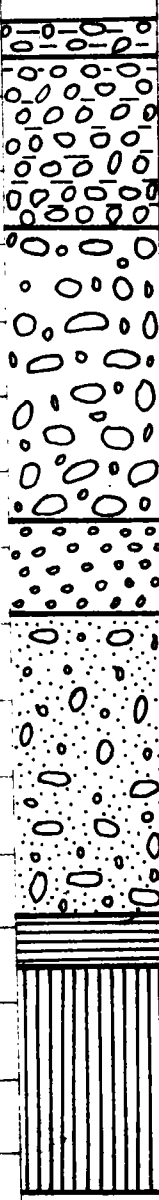
Indice de classement

993

6

87

Interprétation de M. *DELLERY*

Profond.	Demi-coupe technique	Nappes et plans d'eau	Echant.	Coupe	Description géologique par---	Etages
+0,20 0	<i>Lucioflex</i>	<i>NS</i> <i>- 1.86</i>			0 0,20 <i>Limons rougeâtres, galets</i>	<i>Alluvions de Crau</i>
					<i>Poudingue très cimentée à quartzite et galets calcaire.</i>	
					2,70 <i>Cailloutis à gros galets de quartzite, gravier, cimentation par un grès très grossier par place.</i>	
4,00					6,60 <i>Graviers</i>	
					7,80 <i>Galets grossiers, sable grossier.</i>	
	<i>113x125</i>				11,80 <i>Marne gris verdâtre légèrement granuleuse argileuse.</i>	
12,00					12,50 <i>Argile gris verdâtre plastique avec galets de quartzite.</i>	
	<i>Crépine</i>					
	<i>gravier 101</i>					
15,50						

*Astren*



x 795,770  
y 146,440  
z +11.89 RING

z + 11.89 RING

993	5	88
-----	---	----

*Alluvions de Crau*

# Astoria

993	7	77
-----	---	----

# A s t r e n

DÉPARTEMENT : *Bouches du Rhône*

COMMUNE : *Saint-Martin-de-Crau*

x 804,780

Coupe établie par *VIALA*

Sondage 15bis

y 145,150

z +24,16 R.N.G.

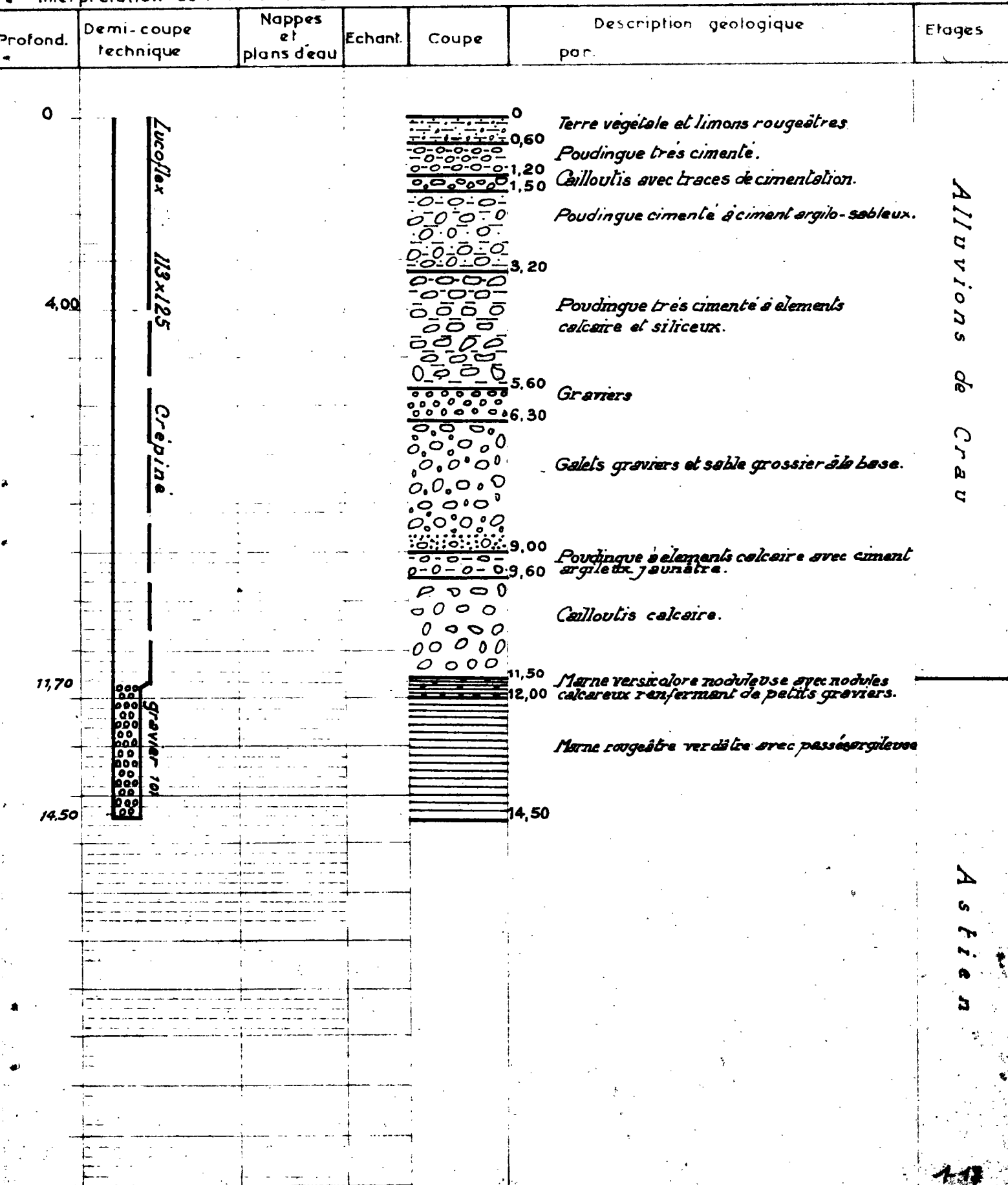
Interprétation de M *DELLERY*

Indice de classement

993

7

78



x 809,250  
y 133,410  
z + 6,93 RNG

*Burdigalien Supérieur*

A N N E X E    2

ETUDE DE LA NAPPE DE LA CRAU

-----

Microfaunes recueillies  
dans les échantillons du substratum  
atteint par les sondages

Etude effectuée par Madame LE CALVEZ - BRGM

Sondage n° 1

Profondeur : 23 m

Molasse tendre de couleur jaunâtre, contenant une micro-faune pauvre et très mal fossilisée.

Globulina gibba  
Rotalia beccarii

d'Orb.  
Lin.

Sondage n° 2  
=====

Profondeur : 15,60 m

Molasse tendre de couleur jaunâtre après lavage, micacée et légèrement glauconieuse, contenant des débris de Mollusques (Pélicypodes).

Foraminifères abondants et riches en formes planctoniques.

Globigerina bulloides	d'Orb.
Globigerina inflata	d'Orb.
Globigerina cf. ampliapertura	Bolli
Globigerinoïdes trilobus	Reuss
Globigerinoïdes sacculiferus	Brady
Globigerinoïdes sp.	
Orbulina bilobata	d'Orb.

et parmi les formes benthiques, qui n'existent le plus souvent qu'avec 1 ou 2 individus :

Bolivina dilatata	Reuss
Cassidulina crassa	d'Orb.
Cassidulinoïdes bradyi	Norman
Caucasina sp.	
Cibicides lobatulus	W. et J.
Cibicides umgerianus	d'Orb.
Elphidium crispum	Lin.
Entosolenia orbignyana	Seg.
Gyroïdina soldani	d'Orb.
Hopkinsina bononiensis	Forn.
Lenticulina intermedia	d'Orb.
Marginulina sp.	
Nonion boueanum	d'Orb.
Siphonodosaria jarvisi	Cushm.
Siphonodosaria verneuili	d'Orb.
Virgulina schreibersiana	Czjzeck

Helvétien moyen.

Sondage n° 3  
=====

Profondeur : 18 m - 21 m

Molasse tendre sableuse et très glauconieuse, présentant après lavage une couleur jaune verdâtre ; renfermant des débris d'Oursins, de Mollusques et de Bryozoaires, avec une très belle faune de Foraminifères.

Bolivina dilatata	Reuss
Bulimina pupoides	d'Orb.
Cancris auriculus	F. et M.
Cassidulina crassa	d'Orb.
Cassidulina laevigata	d'Orb.
Caucasina sp.	
Cibicides boueanus	d'Orb.
Cibicides ratabulus	W. et J.
Cibicides mexicanus	Nuttall.
Cibicides umgerianus	d'Orb.
Dentalina sp.	
Entosolenia marginata	
Entosolenia orbignyana	Seg.
Eponides haidingeri	d'Orb.
Eponides praecinctus	Karrer
Eponides schreibersii	d'Orb.
Globigerina bulloides	d'Orb.
Globigerinoides trilobus	Reuss
Globorotalia menardi	d'Orb.
Globulina gibba	d'Orb.
Hopkinsina bononiensis	Forn.
Lagena sulcata	W. et F.
Lenticulina cultrata	Montf.
Lenticulina submamilligera	Cushm.
Lenticulina intermedia	d'Orb.
Lenticulina orbicularis	d'Orb.
Lenticulina rotulata	Lmk.
Marginulina glabra	d'Orb.
Marginulina sp.	



Sondage n° 3 (suite)

Nonion boueanum	d'Orb.
Nonion granosum	d'Orb.
Nonion tuberculatum	Mont.
Nonion umbilicatum	d'Orb.
Orbulina bilobata	d'Orb.
Pullenia bulloides	d'Orb.
Siphonodosaria verneuili	d'Orb.
Siphonodosaria jarvisi	Cushm.
Sphaeroidina bulloides	d'Orb.
Textularia abbreviata	d'Orb.
Textularia articulata	d'Orb.
Textularia deperdita	d'Orb.
Uvigerina rutila	Cushm.
Vaginulina legumen	Lin.

Helvétien probablement plus supérieur que le n° 2.

Sondage n° 4  
=====

Profondeur : 36,10 m

Molasse gréseuse extrêmement peu fossilifère. Quelques débris de coquilles de Mollusques et de rares Rotalia encroûtés et impossibles à déterminer spécifiquement.

Sondage n° 5

Profondeur : 40 à 43 m

Molasse grise, très micacée, contenant des débris de coquilles de Pecten et de radioles d'Oursins (ces dernières très abondantes).

Microfaune très pauvre et de très petite taille, composée, en grande partie de Nonions :

Cancris auriculus	F. et M.
Cibicides sp.	
Elphidium cf. rugosum	d'Orb.
Nonion boueanum	d'Orb.
Nonion sp.	
Pullenia bulloides	d'Orb.
Rotalia beccarii	Lin.

Burdigalien supérieur ou Helvétien inférieur.

Sondage n° 6  
=====

Profondeur : 36 m

Conglomérat marneux, contenant des galets roulés, du quartz de provenances diverses, de la glauconie, du mica.

Foraminifères peu abondants, assez riches en formes planctoniques :

Globigerina bulloides	d'Orb.
Globigerina ampliapertura	Bolli
Globigerina inflata	d'Orb.
Globigerinoides trilobus	Reuss
Globorotalia menardi	d'Orb.

et parmi les espèces benthiques :

Cancris auriculus	F. et M.
Cassidulina laevigata	d'Orb.
Eponides haidingeri	d'Orb.
Gyroidina soldanii	d'Orb.
Marginulina murex	Batsch
Nonion soldanii	d'Orb.
Nonion sp.	
Pullenia bulloides	d'Orb.
Trifarina bradyi	Cushm.
Uvigerina rutila	Cushm.

chaque espèce ne comprenant qu'un ou deux individus.

Helvétien.

Sondage n° 7  
=====

Profondeur : 37,20 m

Calcaire lumachellique et détritique roux.

Molasse très gréseuse et dure.

Quartz, quelques petits grains calcaires, glauconie,  
mica blanc assez rare.

Lamellibranches, Oursins

Microfaune : néant

Foraminifères : néant

Sondage n° 8bis  
=====

Profondeur : 9,80 - 11,10 m

Argile un peu sableuse de couleur jaunâtre, très riche en Foraminifères. Ceux-ci sont en général de très petite taille et appartiennent aux espèces suivantes :

Spiroplectammina carinata	d'Orb.
Marginulina costata	Batsch.
Robulus calcar	d'Orb.
Robulus rotulatus	Lmk.
Nodosaria scalaris	Batsch.
Dentalina sp.	
Saracenaria italica	Defr.
Nonion boueanum	d'Orb.
Elphidium listeri	d'Orb.
Hopkinsina bononiensis	Forn.
Uvigerina peregrina	Cushm.
Bulimina inflata	Seg.
Bulimina pupoides	d'Orb.
Pullenia bulloides	d'Orb.
Pullenia quinqueloba	Reuss
Eponides umbonatus	Reuss
Eponides praecinctus	Karrer
Valvulineria bradyana	Forn.
Gyroidina soldanii	d'Orb.
Orbulina universa	d'Orb.

Pliocène (Plaisancien)

11,10 - 13 m

Textularia abbreviata	d'Orb.
Spiroplectammina carinata	d'Orb.
Dorothia gibbosa	d'Orb.
Marginulina costata	Batsch.
Marginulina glabra	d'Orb.

Robulus calcar	d'Orb.
Robulus rotulatus	Lmk.
Dentalina sp.	
Hopkinsina bononiensis	Forn.
Uvigerina peregrina	Cushm.
Bulimina pupoides	d'Orb.
Bulimina buchiana	d'Orb.
Nonion padanum	Percing
Nonion boueanum	d'Orb.
Elphidium granosum	d'Orb.
Eponides praecinctus	Karrer
Eponides umbonatus	Reuss
Gyroidina neosoldanii	Brotzen
Gyroidina umbonata	Reuss
Valvulineria bradyaba	Forn.
Streblus beccarii	Lin.
Pullenia bulloides	d'Orb.
Cibicides lobatulus	W. et J.
Cibicides boueanus	d'Orb.
Globigerina apertura	Cushm.

Pliocène (Plaisancien)

Sondage n° 13

Argile d'origine continentale.

Quelques grains de quartz, un peu de limonite, débris de calcaire.

Fragment de piquants d'Oursins remaniés.

Age réel :

Impossible à préciser.



Sondage n° 16  
=====

Profondeur : 39 - 39,10 m

Echantillon de même faciès que le précédent. Quelques Foraminifères mal dégagés à peu près spécifiquement indéterminables ont été récoltés :

Streblus beccarii	Lin.
Elphidium crispum	Lin.
Elphidium sp.	
Rotalia sp.	

Burdigalien supérieur probable.

Profondeur : 39,10 - 40,60 m

Calcaire molassique blanc-jaunâtre, très fossilifère : fragments de Bryozoaires, Polypiers, Algues calcaires, Lamelli-branches, Oursins, mais toujours encroûtés et mal conservés.

La microfaune est extrêmement pauvre, mal dégagée réduite à quelques Ostracodes et Foraminifères. Ces derniers sont des :

Streblus beccarii	Lin.
Elphidium crispum	Lin.
Rotalia sp.	

Cet échantillon correspond à un faciès très littoral, de mer chaude, mais il est impossible par la microfaune de le dater exactement. Il s'agit probablement de :

Burdigalien supérieur.

Profondeur : 40,60 - 41 m

Calcaire blanchâtre, contenant des débris de Lamelli-  
branches et d'Oursins, le plus souvent encroûtés. La microfaune  
très rare est composée d'Ostracodes et de Foraminifères mal  
conservés correspondant à des individus de faciès très littoral,  
voir lagunaire :

Elphidium crispum	Lin.
Streblus beccarii	Lin.
Triloculina trigonula	Lmk.

Ces espèces se rencontrent dans tout le Miocène et ne  
permettent pas de dater le sédiment ; rien ne s'oppose à ce qu'il  
s'agisse bien de :

Burdigalien supérieur.

A N N E X E 3

ETUDE DE LA NAPPE DE LA CRAU

-----

Exposé des méthodes de calcul  
des valeurs de la perméabilité K  
et  
de la transmissivité T

TABLE DES MATIERES  
(Annexe 3)

Méthodes employées pour le calcul du coefficient  
de perméabilité K

- 1 - Essais Lefranc
- 2 - Micromoulinet
- 3 - Essais de débit en fin de forage et interprétation  
par la méthode de Theis

# METHODES EMPLOYEES POUR LE CALCUL DU COEFFICIENT DE PERMEABILITE

## 1 - Essais Lefranc

### 11 - Généralités

La méthode tire son nom de celui de son inventeur qui a montré que, si à la base d'un forage tubé au sein d'un matériau perméable existait un vide de forme quelconque (lanterne), le débit  $Q$  injecté ou pompé à travers la surface de cette lanterne était égal à :

$$K \cdot \Delta h \cdot f$$

$Q$  = débit en  $m^3$

$K$  = coefficient de perméabilité en m/s

$\Delta h$  = surcharge ou décharge de la nappe en m

$f$  = coefficient de forme de la lanterne en m

La valeur du coefficient  $f$ , qui dépend de la forme de la lanterne, est donnée par une formule générale<sup>(1)</sup> ou plus simplement des abaques.

Il s'agit ici d'essais "ponctuels" et la cavité réalisée doit être petite.

---

(1) Formule Solétanche (d'après Schneebeli)

$$C = \frac{2 \pi}{2,303} \cdot \frac{d \cdot \sqrt{\frac{l^2}{d^2} - 1}}{\log_{10} \left( \frac{1}{d} + \sqrt{\frac{l^2}{d^2} - 1} \right)}$$

$l$  = longueur de la cavité  
 $d$  = diamètre

Les essais sont effectués au fur et à mesure de l'avancement selon la nature du terrain traversé, et à des profondeurs déterminées par le géologue suivant la nature des terrains, et sont réalisés soit par pompage (mesure du débit et de la dénivellation correspondante) soit par injection (mesure de la vitesse de descente après remplissage du forage).

Après différents essais, lors de l'exécution du sondage 1, on a adopté uniformément la méthode du pompage ; la représentation graphique du débit en fonction de la dénivellation permet de mesurer la pente de la droite obtenue (pour des valeurs petites de h) et de calculer la perméabilité K :

$$K = \frac{1}{f \cdot \alpha}$$

## 12 - Exécution des essais

Pour exécuter les essais on disposait d'une pompe Richier capable d'un débit de 4 à 5 l/s., d'une sonde électrique, d'un chronomètre et d'un bac de 200 l.

Dans les alluvions les essais ont été espacés les uns des autres de 3 à 4 mètres. Pour les sondages 5, 6 et 7, ils ont été plus rapprochés dans la partie supérieure de la nappe que dans la partie inférieure qui s'est révélée moins perméable, donc intervenant moins dans la transmissivité.

Trois essais ont été réalisés dans les calcaires fissurés du substratum.

121 - Préparation des essais

Dans les sondages n° 1 et 2 il a été possible de réaliser des poches basses (hauteur inférieure à deux fois le diamètre) en travaillant à la curette sous le sabot de la colonne de tubage, car les alluvions étaient légèrement cimentées.

Dans le substratum il a été possible de réaliser des poches hautes (hauteur supérieure à deux fois le diamètre) car les calcaires avaient une bonne cohésion.

Par contre dans les autres sondages les alluvions aquifères avaient tendance à s'ébouler et à combler toute cavité créée sous le sabot de la colonne de tubage. Il a fallu procéder de la façon suivante :

- Placer dans le forage, curé jusqu'au sabot de la colonne de tubage, 60 à 70 cm de gravier propre (10/30 mm),

- remonter la colonne de 30 à 50 cm.

On obtenait ainsi une poche soutenue par le gravier dont la perméabilité est beaucoup plus grande que celle du terrain. On peut alors cal-

culer l'essai comme si la poche était vide.

## 122 - Exécution de l'essai

Selon la valeur de la perméabilité plusieurs méthodes furent employées :

### - Fortes perméabilités (supérieures à $10^{-4}$ m/s)

Après avoir noté le niveau d'eau la pompe était mise en marche vanne fermée. Les débits étaient augmentés par paliers, pour chaque palier le débit et le niveau d'équilibre étaient mesurés, (38 essais sur 44).

On réalisait ainsi 4 à 5 débits croissants puis deux à la redescende après le débit maximum.

On notait finalement le niveau d'eau revenu à l'équilibre après l'essai.

### - Perméabilités assez faibles ( $10^{-4}$ à $10^{-5}$ m/s) (5 essais sur 44). Après avoir noté le niveau d'eau, on mettait la pompe en marche pour vider le forage et ensuite on mesurait la remontée du niveau d'eau en fonction du temps.

On notait le niveau stabilisé à la fin de l'essai.



## 123 - Interprétation

- Etablissement des graphiques. Immédiatement après l'exécution de l'essai la courbe du rabattement en fonction du débit était tracée sur papier millimétré pour se rendre compte si l'essai était correct et interprétable.

On devait obtenir une droite pour les débits faibles s'infléchissant ensuite avec une allure parabolique pour les débits plus forts, sinon l'essai était incorrect et devait être repris.

- Calcul du coefficient de perméabilité. Le coefficient de forme C pouvait être évalué sur le chantier à l'aide des formules de Schneebeli, ce qui permettait d'avoir rapidement une valeur du coefficient de perméabilité.

Ensuite le bureau d'études de Solétanche déterminait C au moyen d'abaques.

Il n'y a jamais eu beaucoup de divergence entre les valeurs de K obtenues par les deux méthodes (celles qui seront données ici sont celles calculées par le bureau d'études Solétanche).

## 2 - Micromoulinet

### 21 - Principe

Le micromoulinet Solétanche (construit par

Neyrpic) permet de mesurer les vitesses verticales de l'eau aux différents niveaux d'un sondage. Son principe est identique à celui des hélices utilisées pour mesurer la vitesse des cours d'eau.

## 22 - Appareillage

Il comprend une petite cage dans laquelle se trouve une hélice fixée sur un axe vertical ; celle-ci tourne en face d'électrodes, et à chaque tour un redan de l'hélice modifie la résistance du circuit électrique, d'où une impulsion qui est transmise par un fil à la surface où elle est enregistrée par un compteur.

## 23 - Mise en oeuvre

La cage de l'hélice est descendue dans le forage par paliers (généralement de 50 cms). A chaque palier on note le nombre d'impulsions enregistrées pendant un temps donné.

L'intérêt de l'appareil est qu'il permet des mesures pratiquement continues des vitesses verticales dans le forage. Il est en effet possible de serrer à volonté les paliers dans une zone intéressante.

## 24 - Interprétation

Le micromoulinet peut être employé sans pompage; il mesure alors les vitesses naturelles qui permettent de déterminer des horizons qui fournissent de l'eau et d'autres qui en absorbent.

Avec pompage, des courbes d'étalonnage permettent de passer d'un nombre X de tours par seconde à une vitesse V qui s'établit sous l'effet d'un rabattement Z.

Pour une tranche AB du sondage, on en déduit le débit Qab sortant du terrain et, dans le cadre des hypothèses de Dupuit, on peut calculer le coefficient de perméabilité de la tranche AB par la formule simplifiée suivante :

$$K_{ab} = \frac{Q_{ab}}{AB \cdot Z}$$

Kab = coefficient de perméabilité pour une tranche de terrain AB

Qab = débit sortant du terrain entre A et B

Z = rabattement créé par le pompage

AB = hauteur de la tranche de terrain considéré.

### 3 - Essais de débit en fin de forage et interprétation par la méthode de Theis

Le détail de l'équipement sera donné pour chaque forage qui comportait toujours un tubage crépiné sur la hauteur de l'aquifère et plein à la partie supérieure (tubes Lucoflex).

Les pompages ont été réalisés avec une pompe Richier de faible débit (5 l/s.) par paliers successifs. Les débits étaient jaugés avec un fût de 200 l. Les temps étaient pris au

chronomètre à une demi-seconde près; les rabattements étaient mesurés avec une sonde électrique à 1 mm près (les mesures au micromoulinet étaient réalisées lors du pompage).

Le dispositif général était le suivant :

L'aspiration comprenait un tube vertical  $\phi$  42-48 mm, un coude à 90°, 0,5 m de tube métallique 2", un flexible de 4,8 m  $\phi$  48 mm interne. Le refoulement comprenait 5 m de flexible  $\phi$  intérieur 48 mm, une vanne de 2", un coude à 90°.

### 31 - Principe de la méthode de Theis

L'équation de l'écoulement transitoire pur est :

$$s = \frac{2,303 Q}{4 \pi T} \log \frac{2,25 T t}{r^2 S}$$

s = rabattement au temps t à distance r du puits (en m)

Q = débit de pompage constant (en m<sup>3</sup>/s.)

S = coefficient d'emmagasinement

T = transmissivité de l'horizon aquifère (en m<sup>2</sup>/s.)

t = temps écoulé depuis l'origine du pompage (en sec.)

La transmissivité, produit de l'épaisseur d'une formation aquifère par sa perméabilité, est la grandeur représentant le mieux l'aptitude d'une formation aquifère à conduire l'eau, la perméabilité étant définie par le coefficient de Darcy K selon l'équation :

$$Q = K A i$$

(la chute de pression subie par l'eau au passage de la formation aquifère est proportionnelle à la vitesse de filtration).

$i$  = pente de la ligne piézométrique

$A$  = section empruntée par le débit  $Q$

Une représentation graphique du rabattement en fonction du temps permet de déterminer  $T$  et  $S$ .

On démontre que

$$T = \frac{0,183}{\Delta \frac{s}{Q}}$$

$\Delta \frac{s}{Q}$  = accroissement du rabattement spécifique pour un cycle log.

$$S = \frac{2,25 T t}{r^2}$$

La représentation graphique du rabattement en fonction du débit est faite en coordonnées semi-logarithmiques. L'évolution de la fonction

$$s = \frac{2,303 Q}{4\pi T} \log \frac{2,23 T t}{r^2 S}$$

pour plusieurs débits est ainsi représentée par des droites ayant même origine sur l'axe des temps, en ordonnée étant par ailleurs porté le quotient du rabattement par

le débit, ou rabattement spécifique (le rabattement est fonction linéaire du débit).

Les essais de débits ayant été effectués ici sans mesure de l'influence du pompage sur piézomètres on ne dispose pas de mesure de rabattement à une distance  $r$  du puits ; seules donc ont pu être calculées les valeurs de  $T$  et  $S$  (sauf pour l'essai de pompage sur forages grand diamètre où l'on disposerait de piézomètres).

0

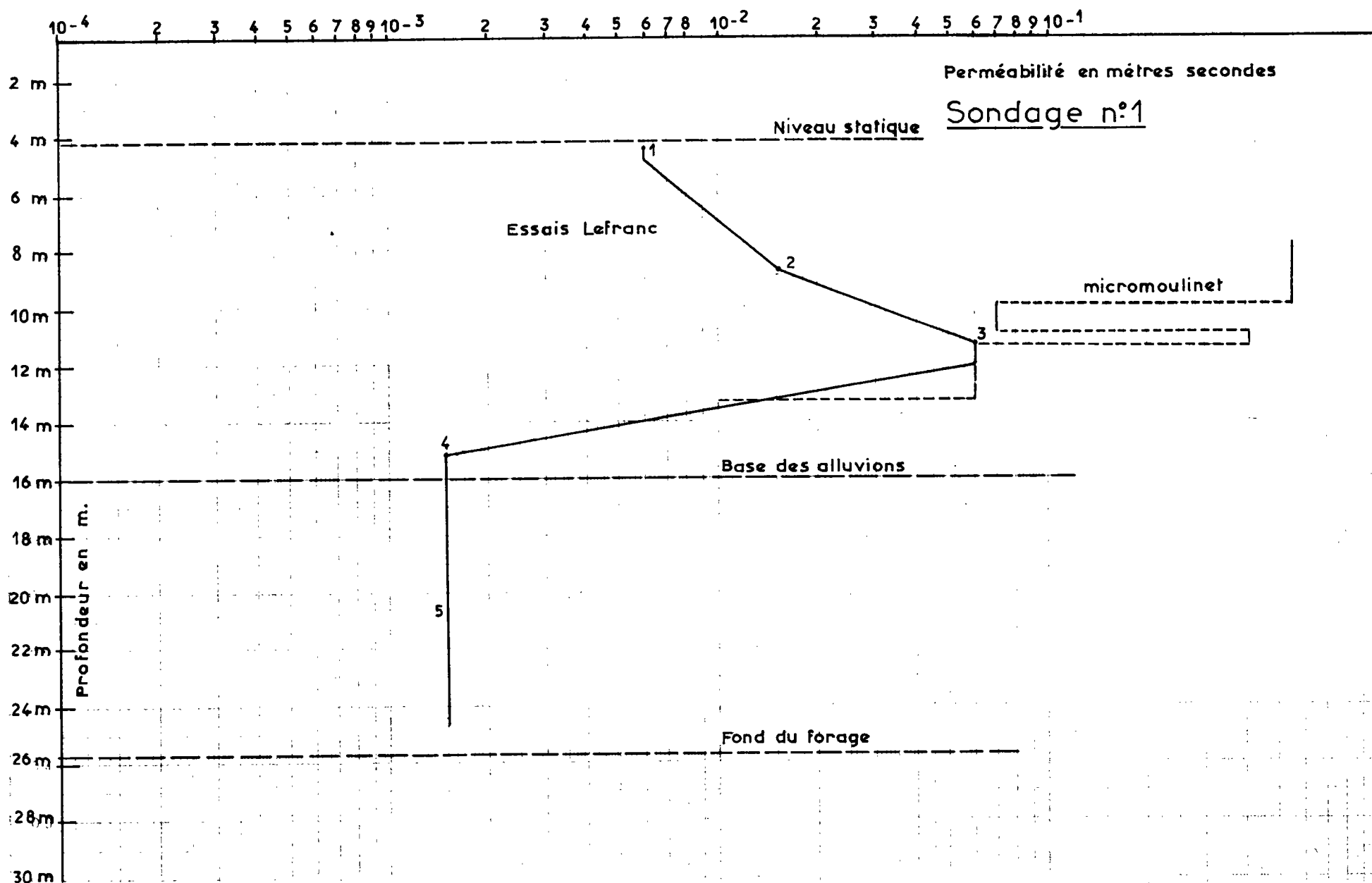
0

0

## A N N E X E 4

### DIAGRAMMES

Essaiss\_de débit



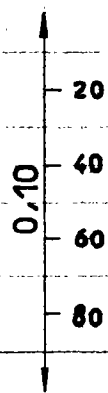


Sondage N°1

Caractéristique

$$Q = f(\Delta h)$$

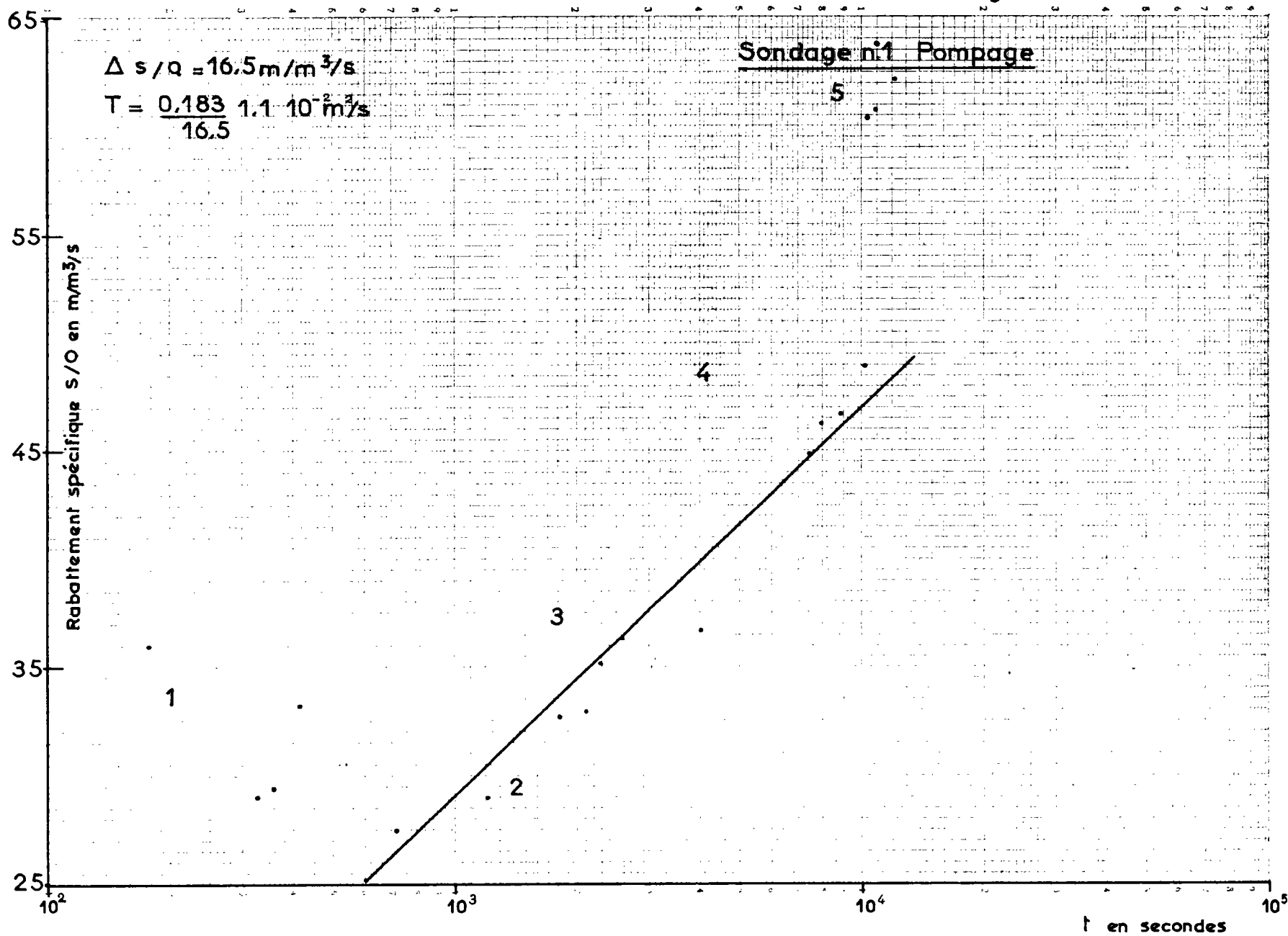
Rabatement



① = Palier de pompage

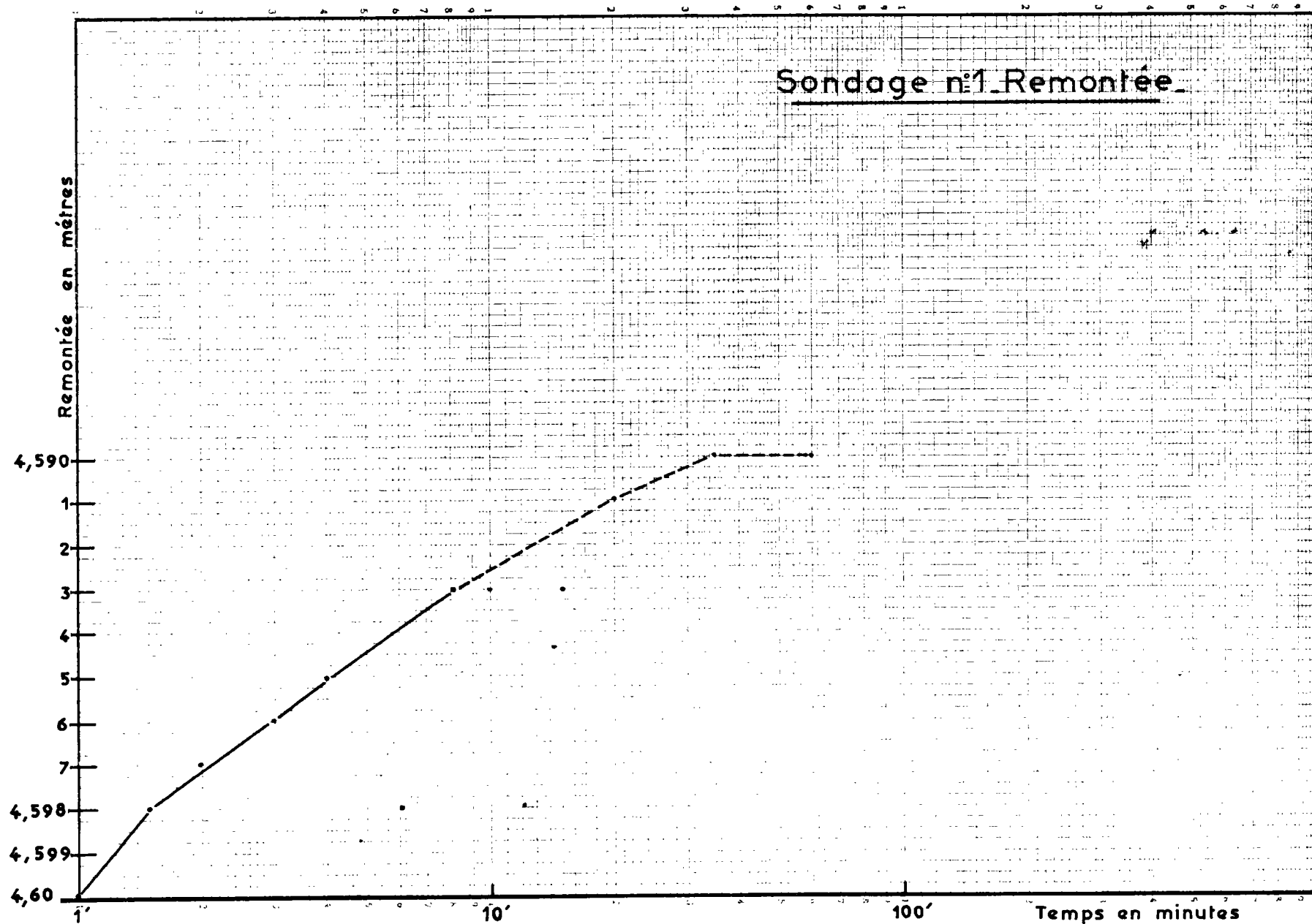
Annexe 4

Fig 1\_3



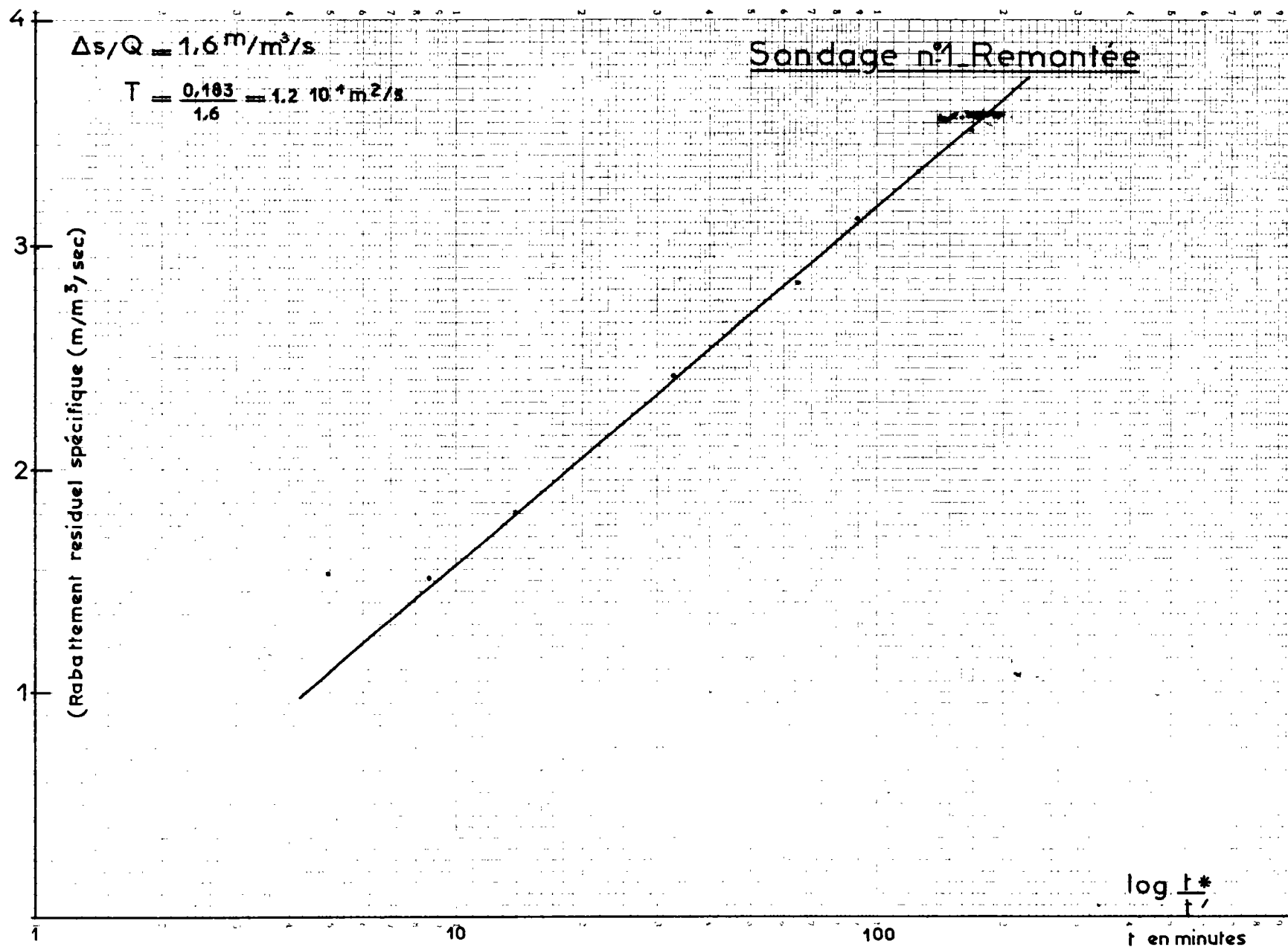
Annexe 4

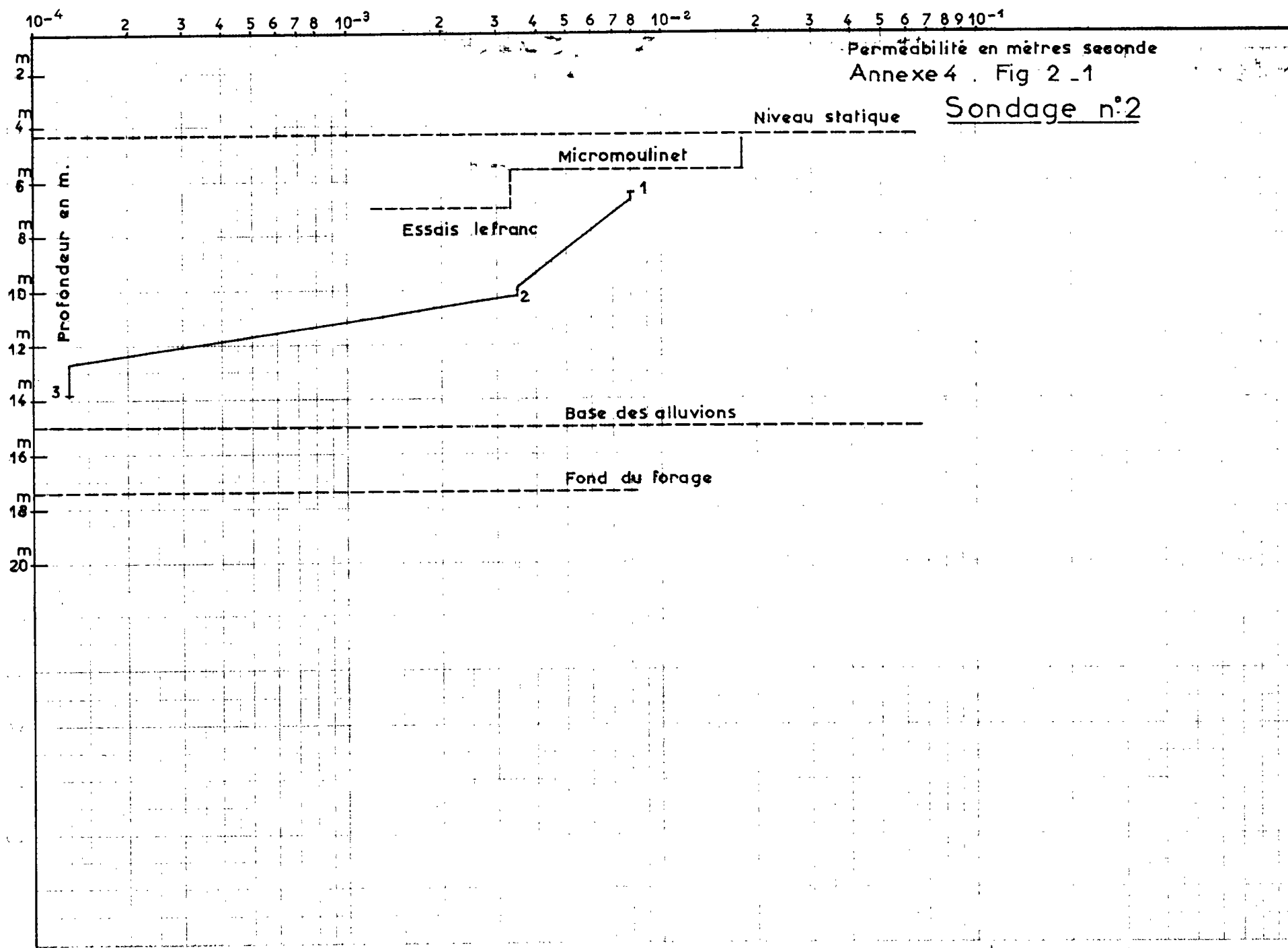
Fig 1-4



Annexe 4

Fig 1 - 5





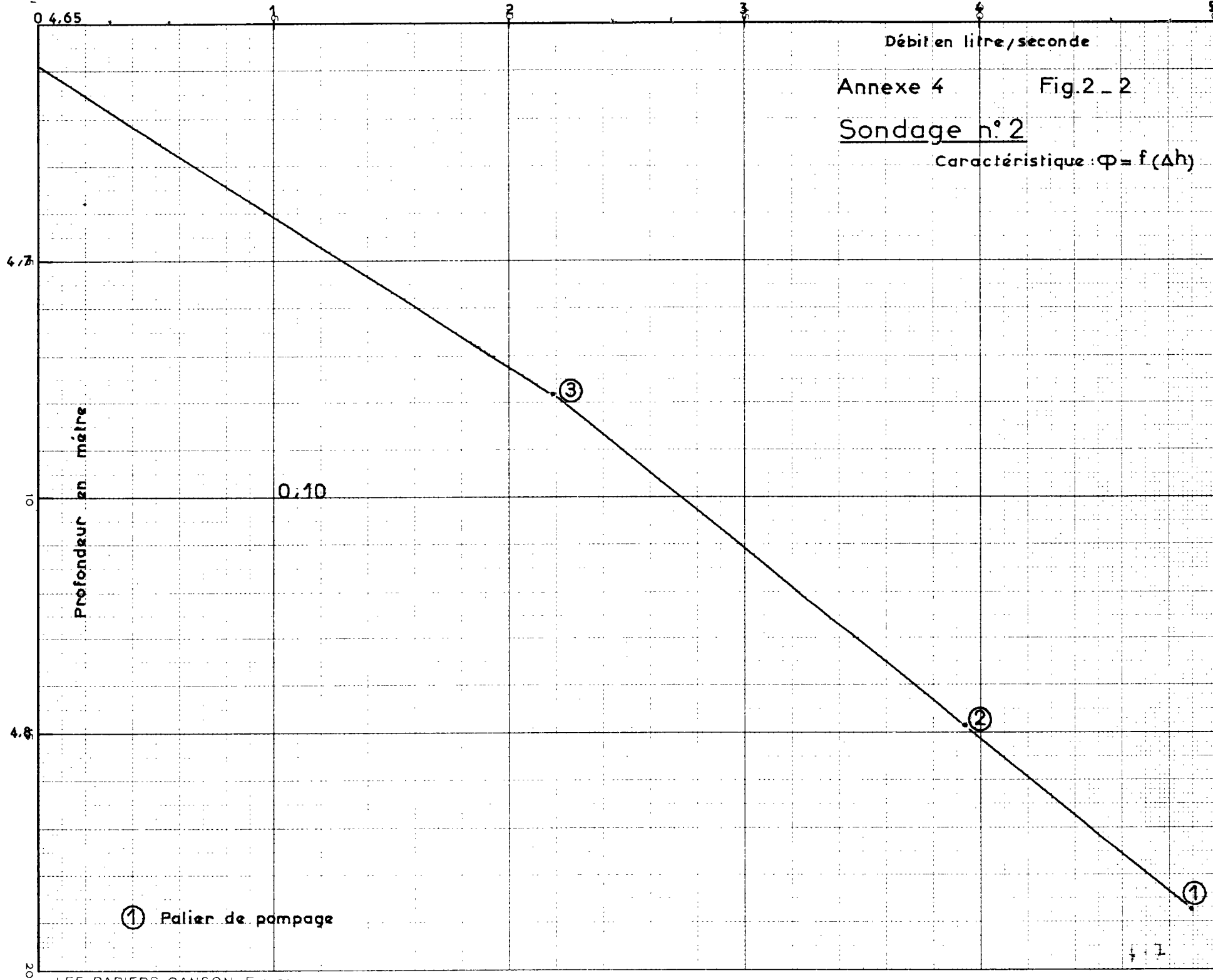
Débit en litre/seconde

## Annexe 4

Fig.2\_2

Sondage n° 2

Caractéristique :  $\varphi = f(\Delta h)$



Annexe 4 -

Fig. 2 - 3

Sondage n°2 Pompage

$$\begin{array}{l} \Delta s/Q \quad 2,5 \text{ m/m}^3/\text{s} \\ T \quad \frac{0,183}{2,5} \quad 7 \cdot 10^{-2} / \text{m}^2/\text{s} \end{array}$$

Rabatement spécifique  $\Delta S/Q \text{ m/m}^3/\text{s}$ 40  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
30

t en minutes

100

10

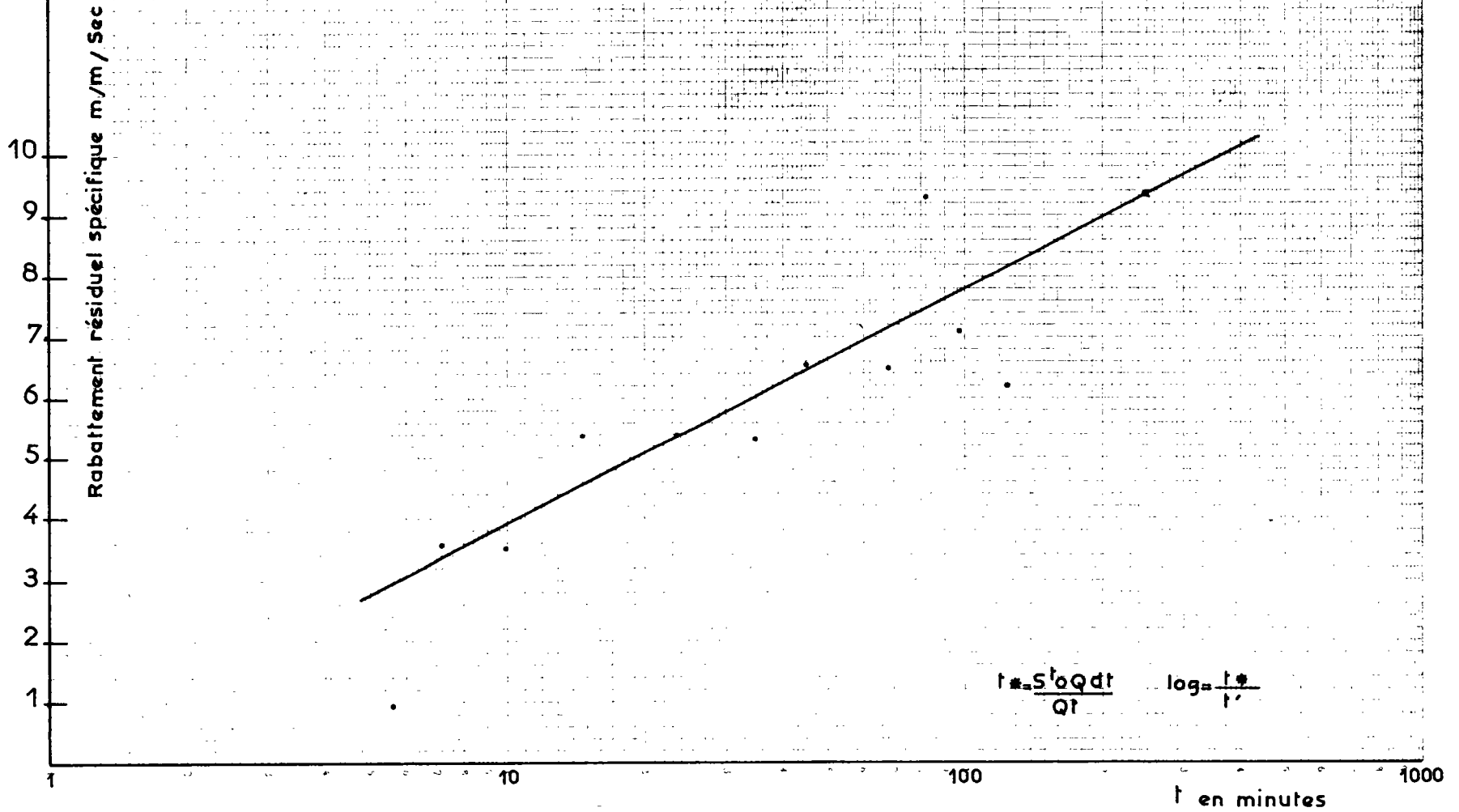
4-2

Annexe 4

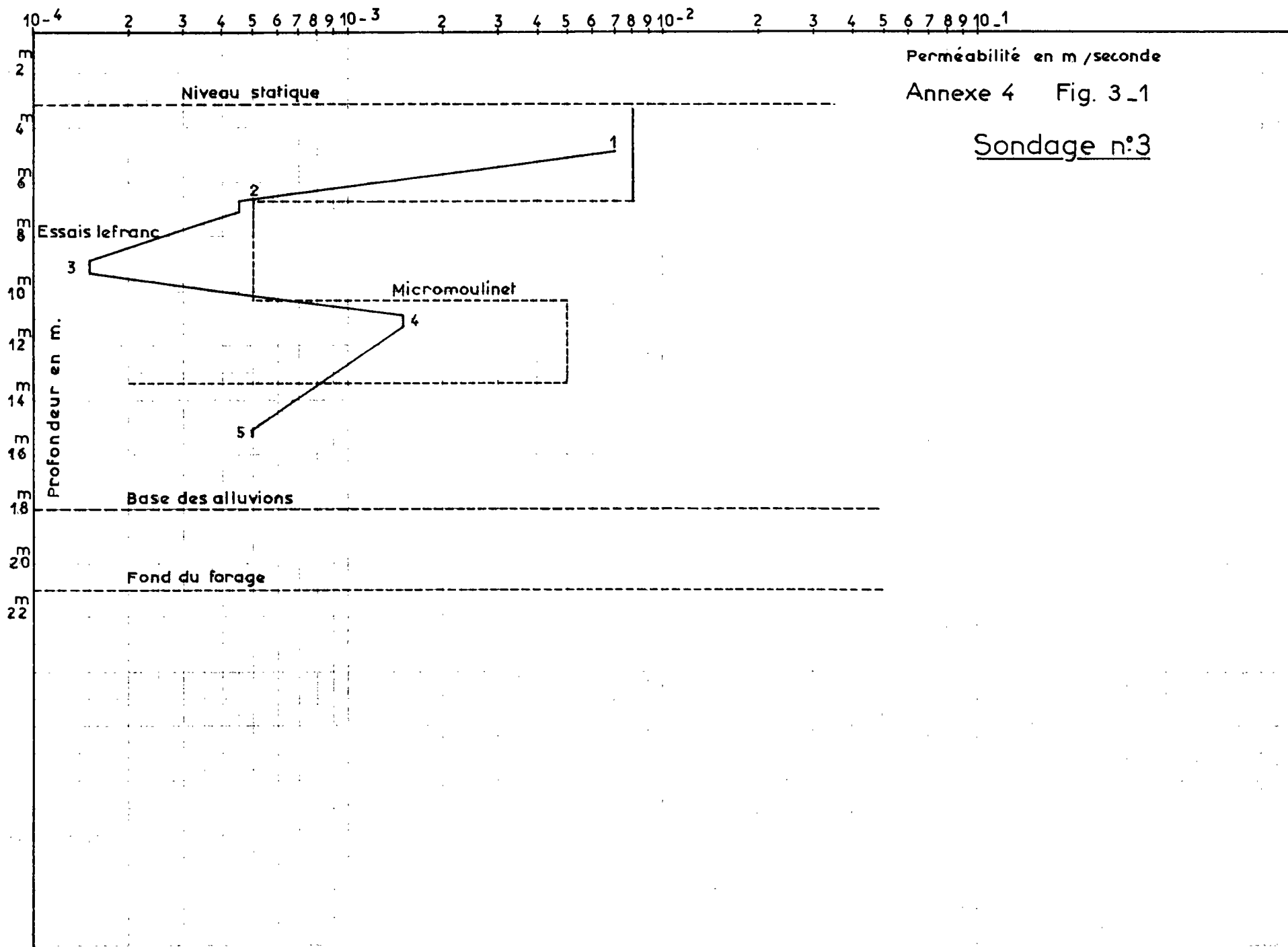
Fig. 2\_4

Sondage n°2 Remontée

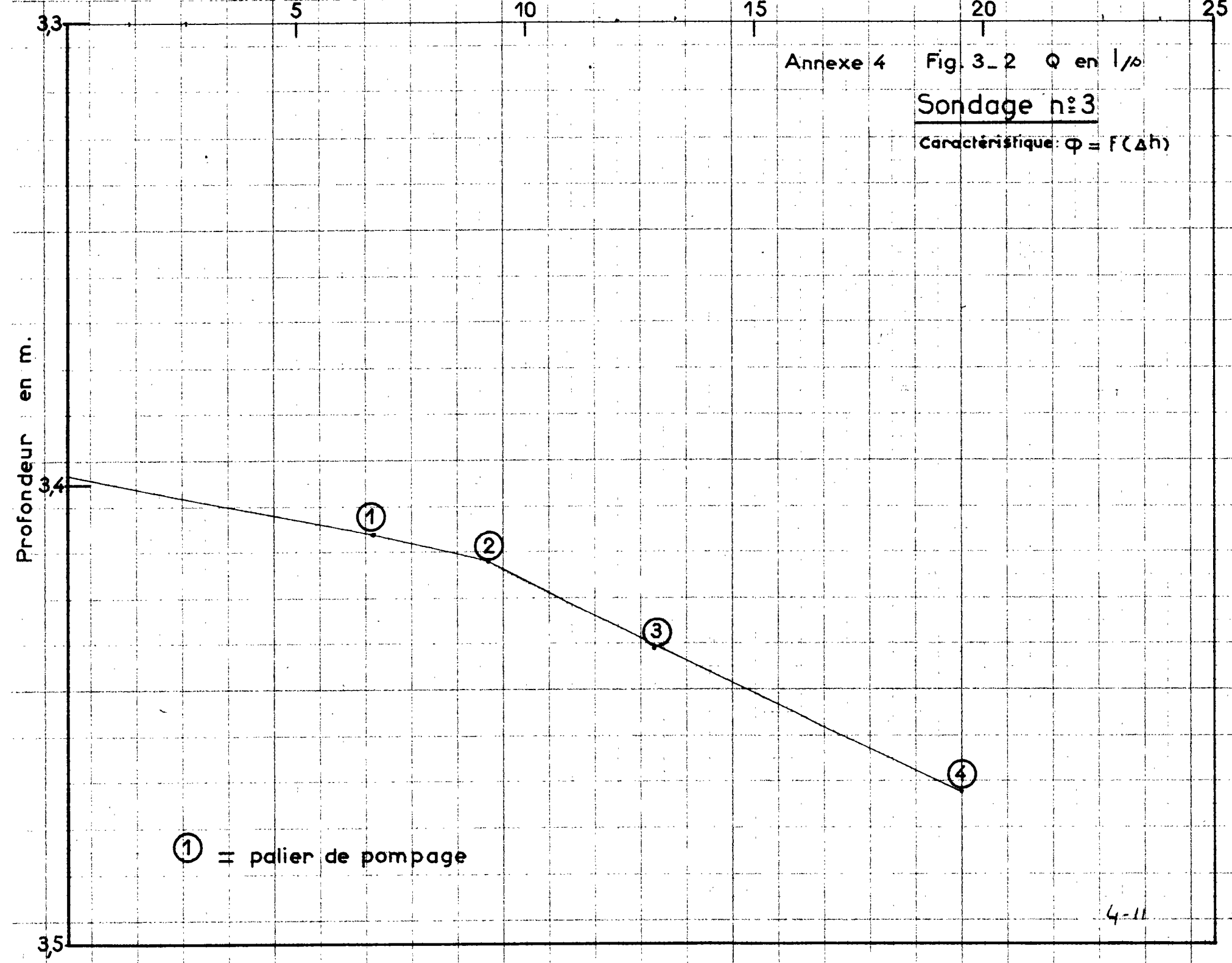
$$\begin{aligned} \Delta s/Q & 3.9 \text{ m/m/s} \\ T & \frac{0.183}{\Delta s/Q} = 4.7 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

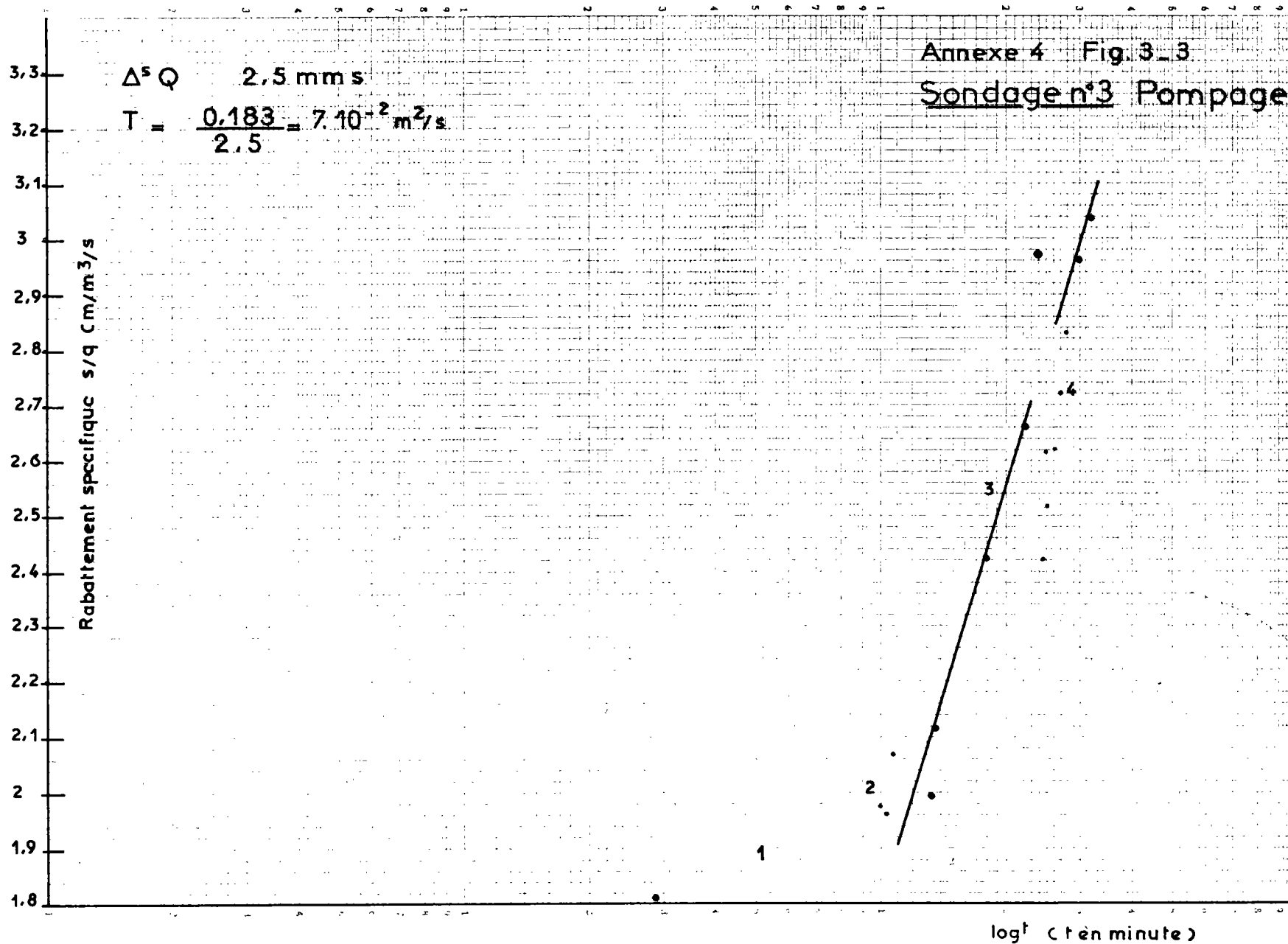


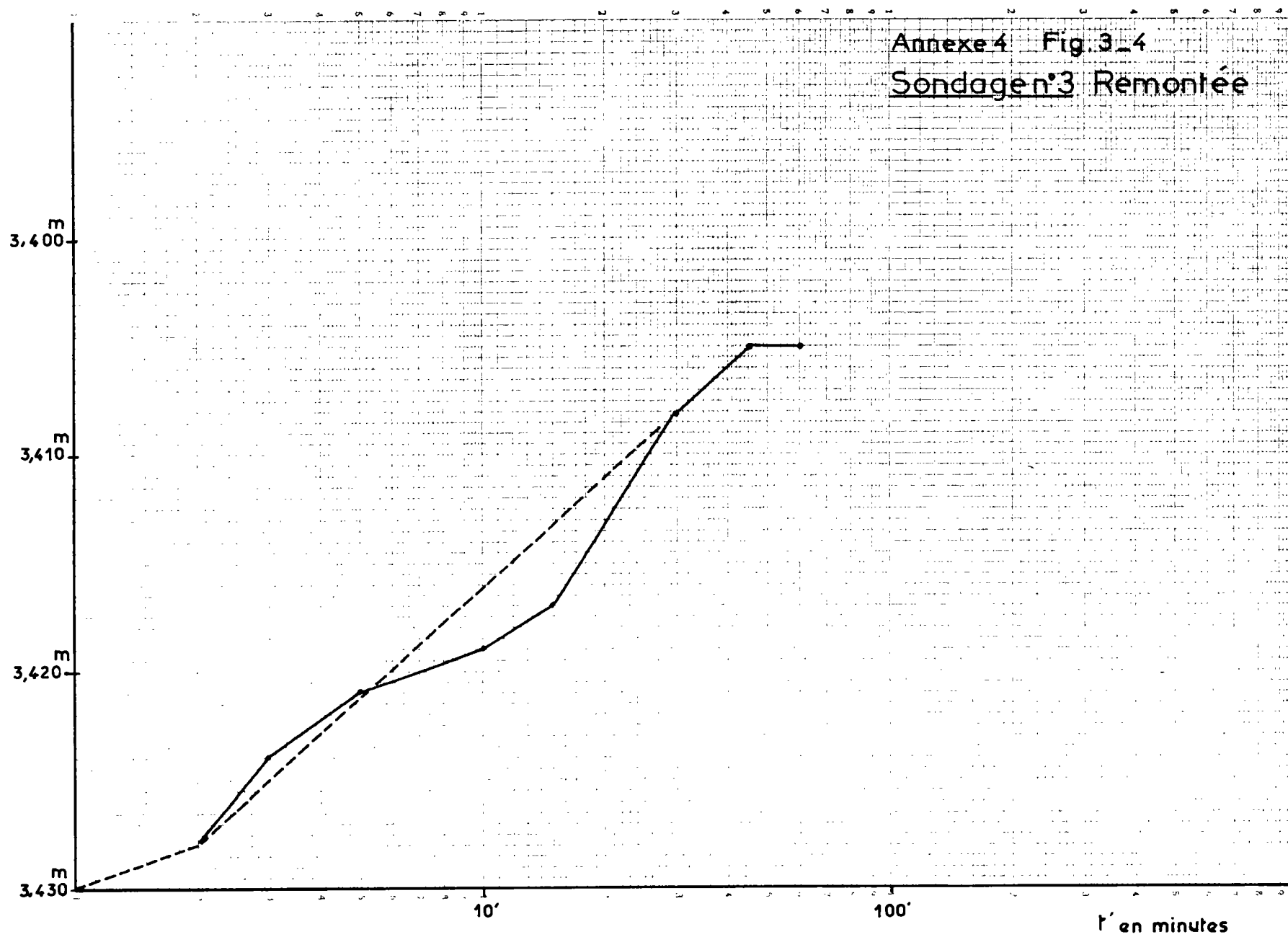


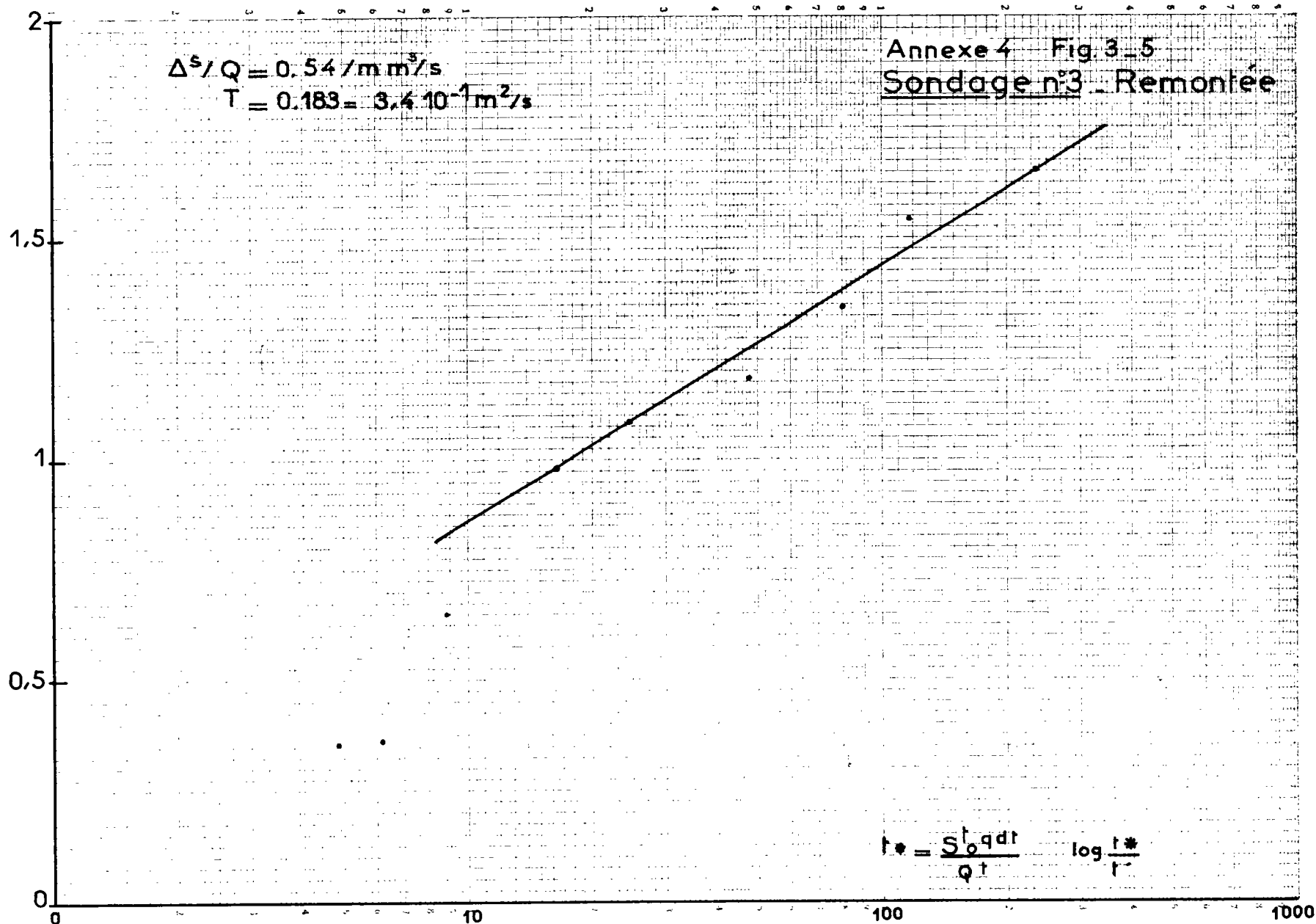


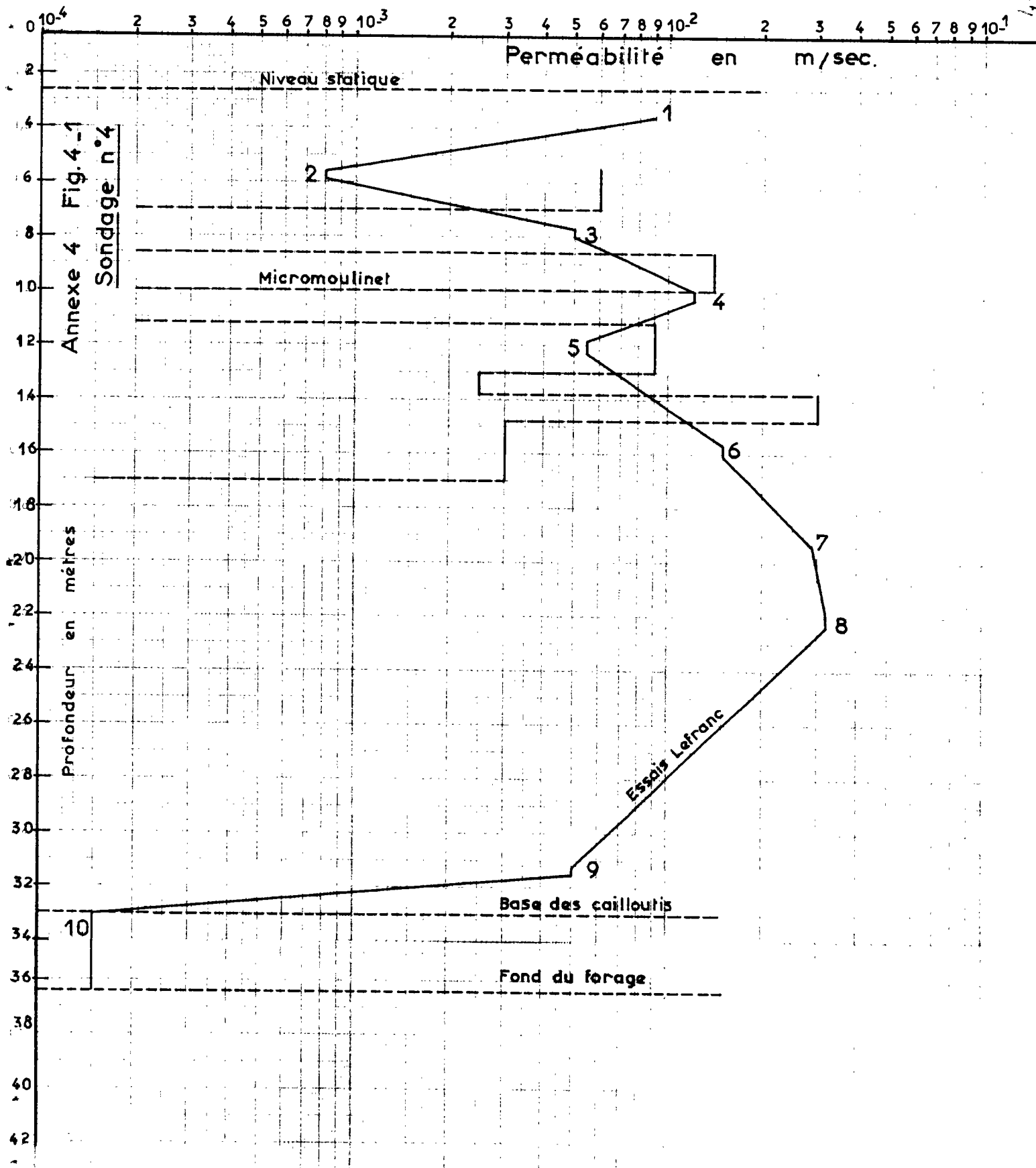
Sondage n°3

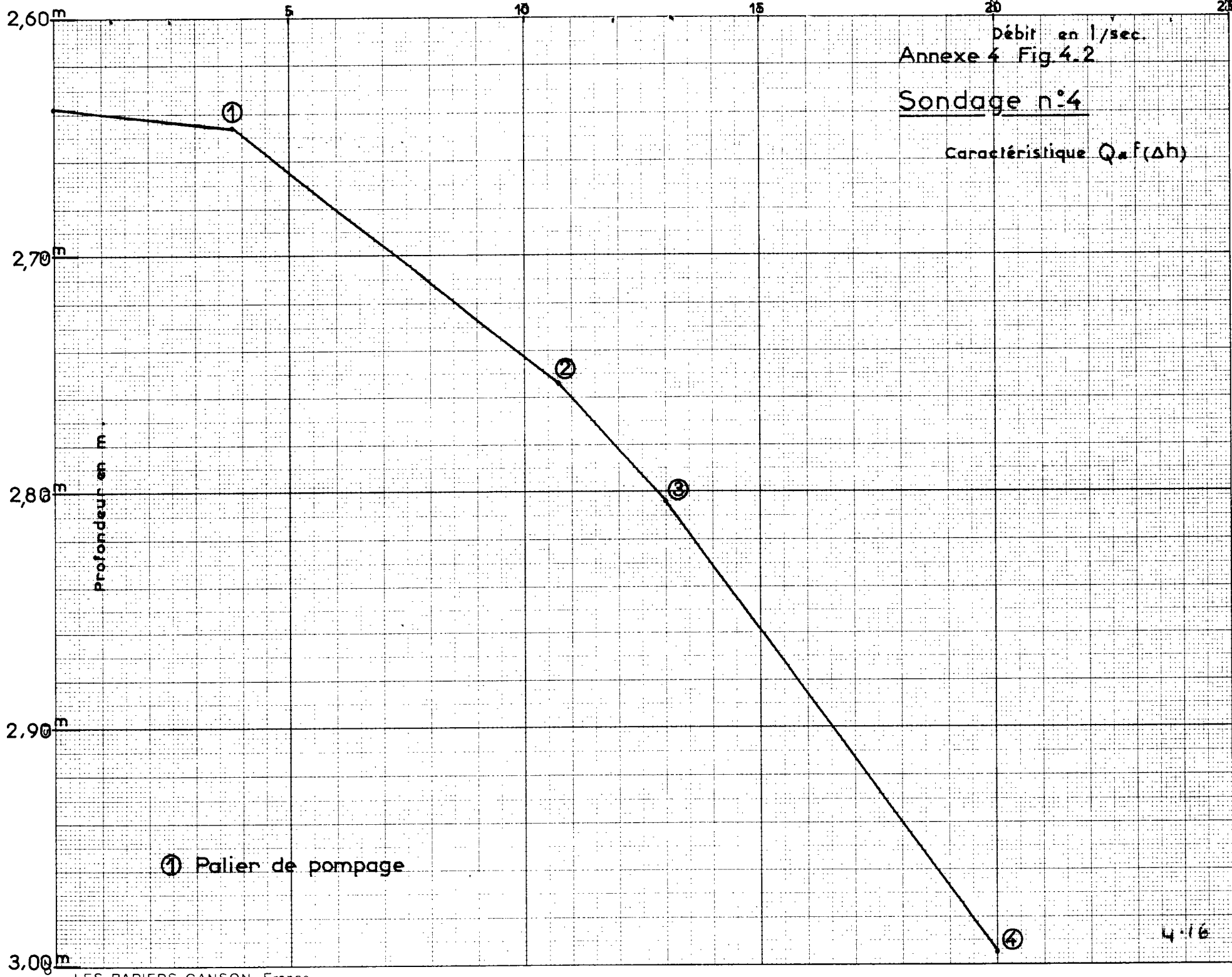
Caractéristique:  $q = f(\Delta h)$ 







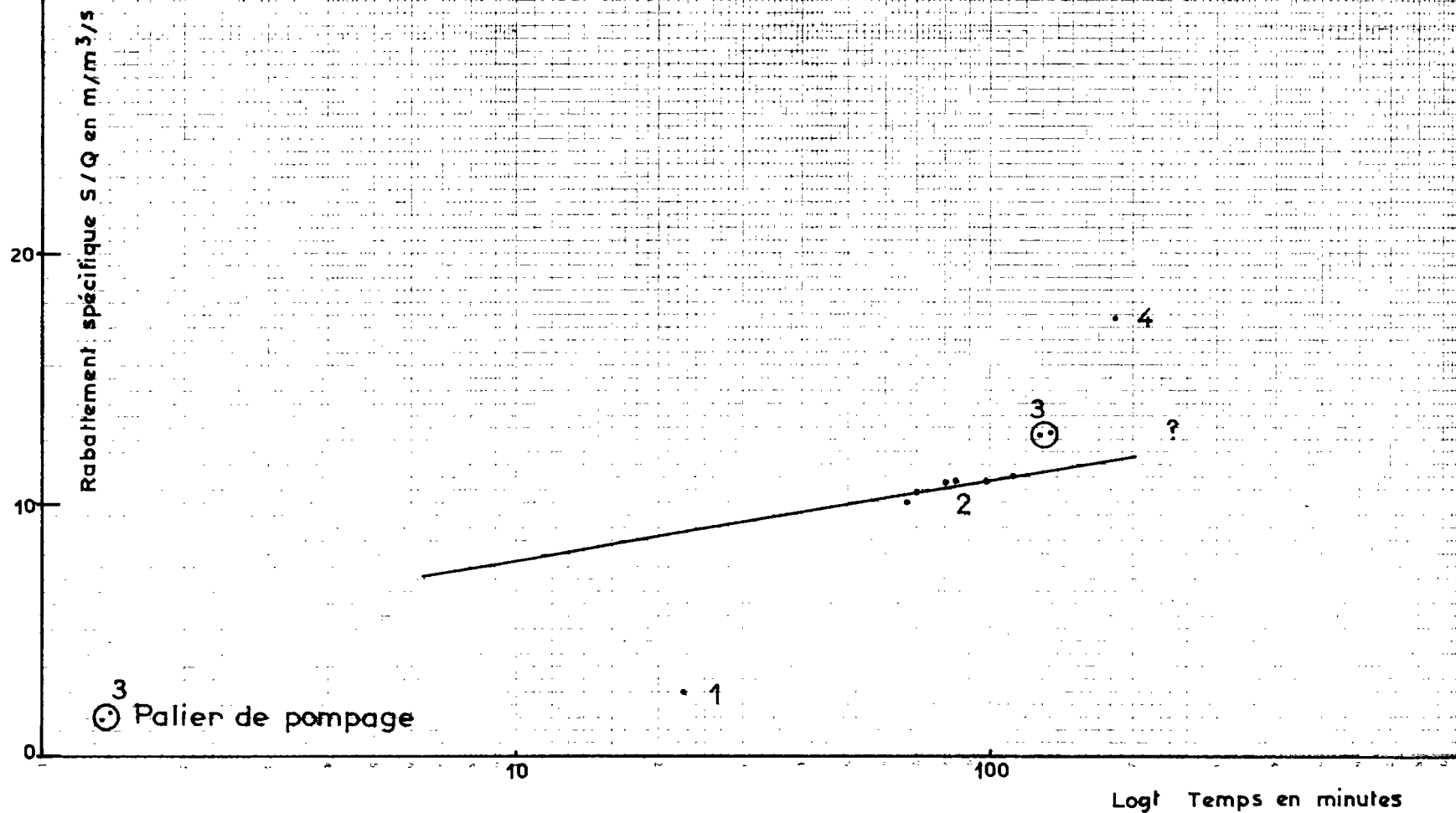




Annexe 4 Fig. 4.3  
Sondage n°4 Descente

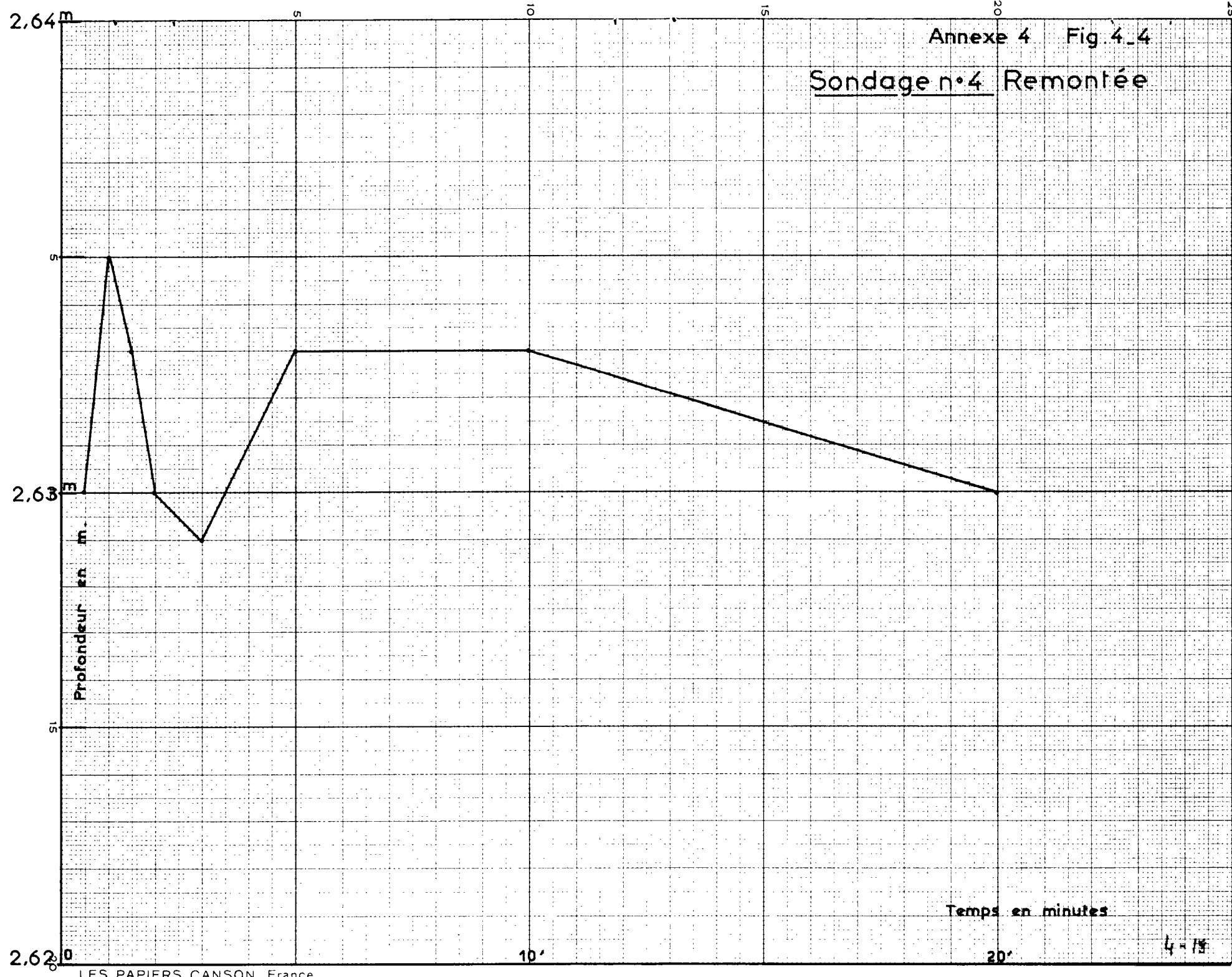
$$\Delta s/Q = 3,3 \text{ m/m}^3/\text{s}$$

$$T = \frac{0,183}{3,3} = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$





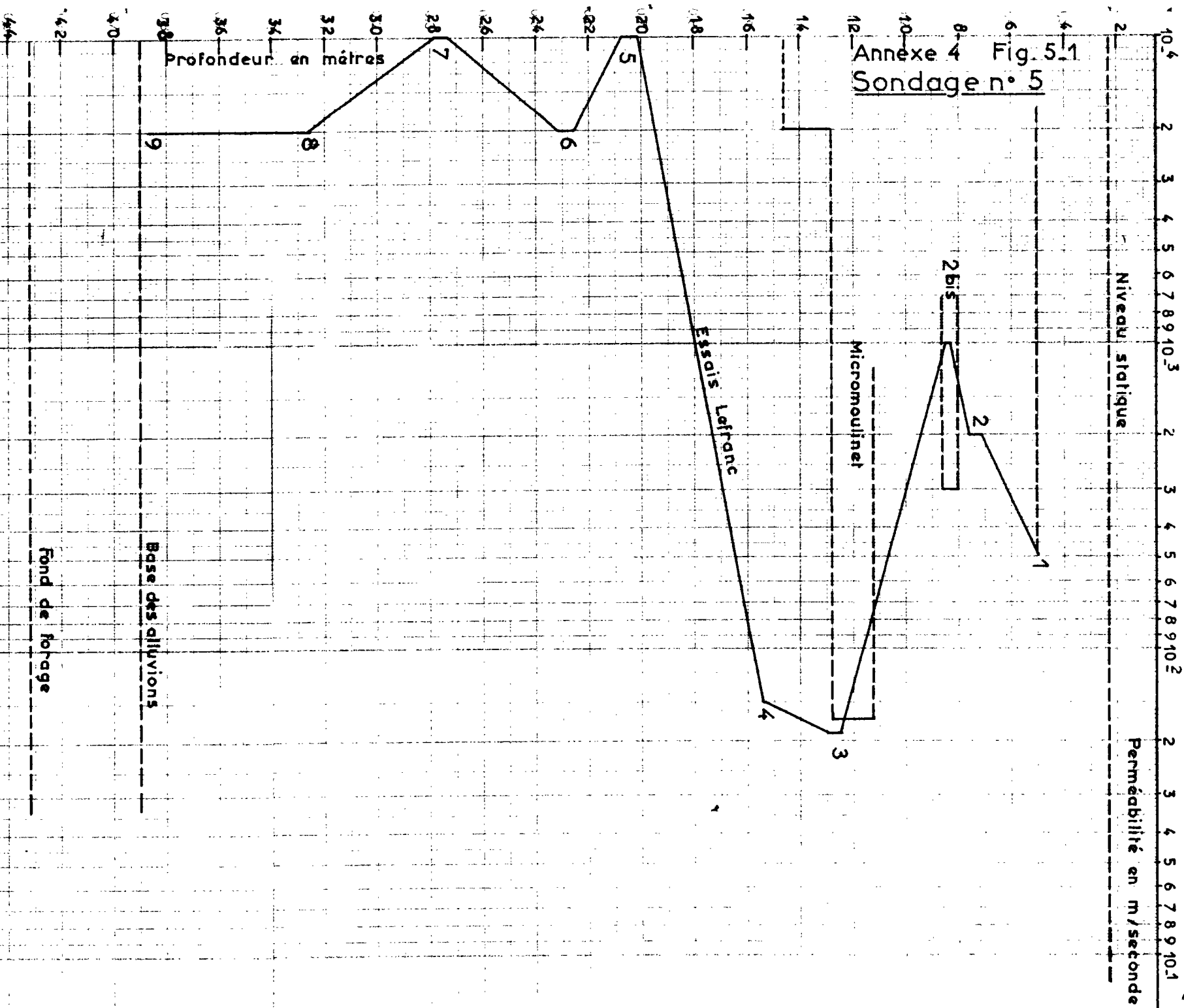
Sondage n°4 Remontée

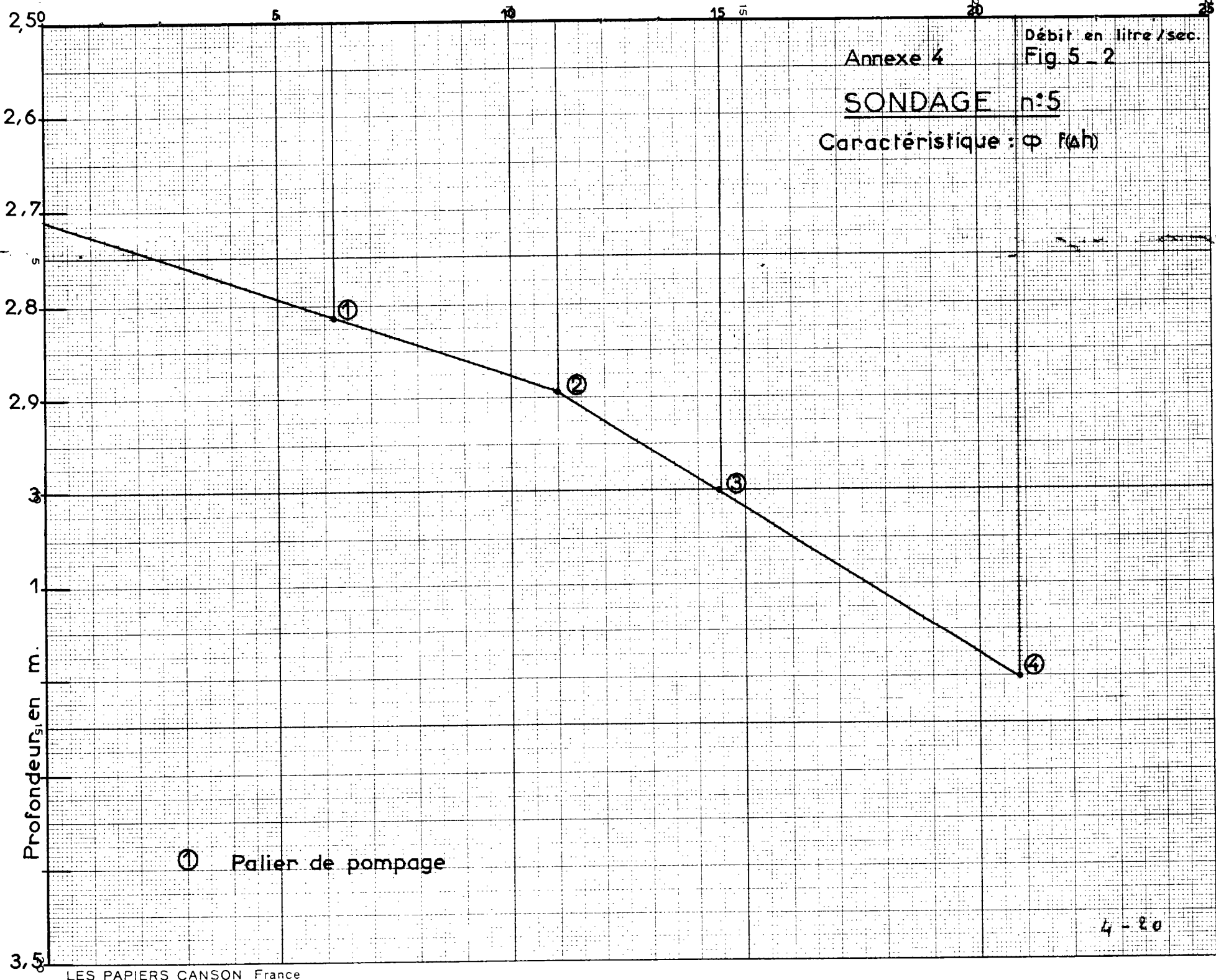


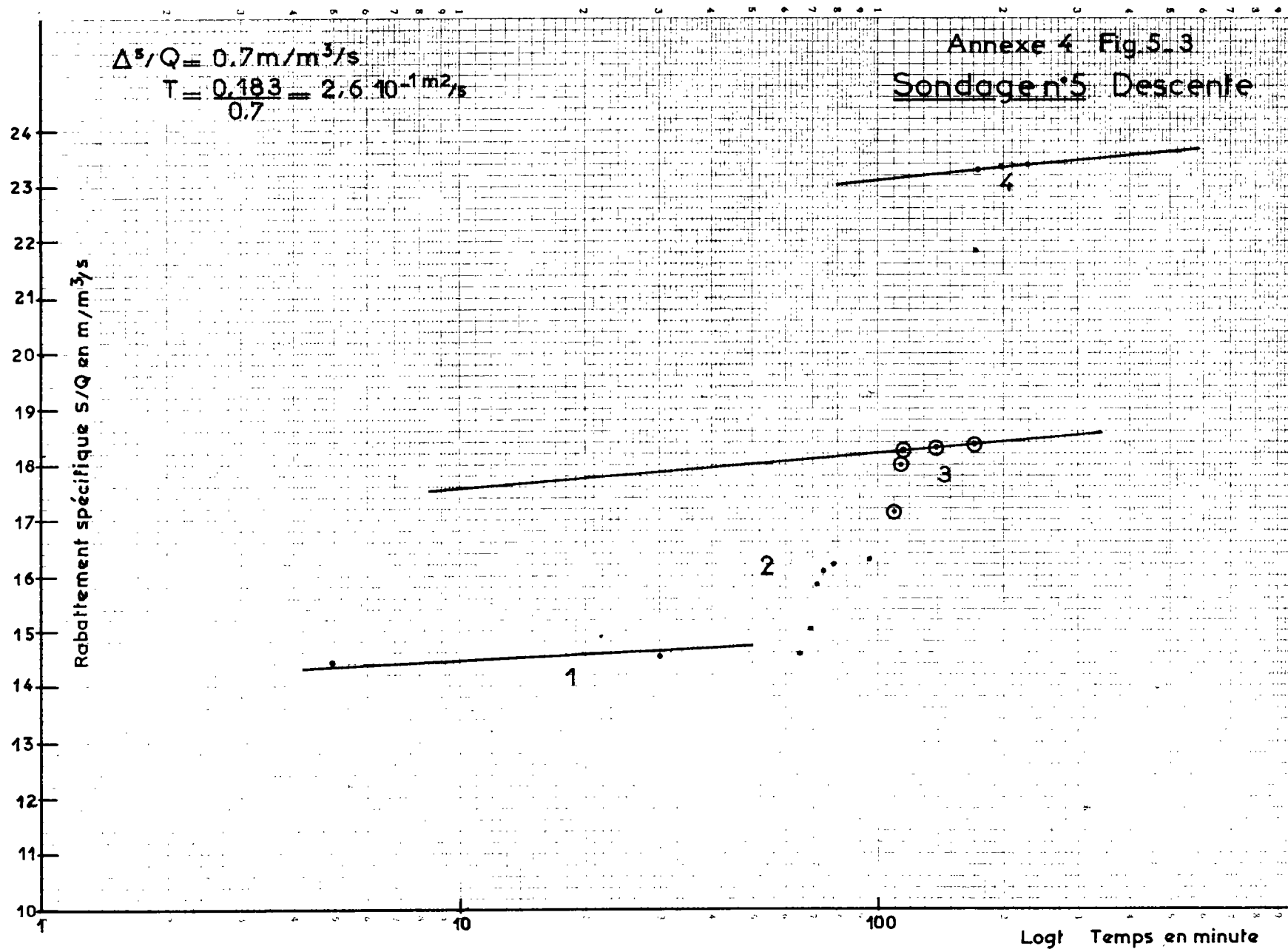
Temps en minutes

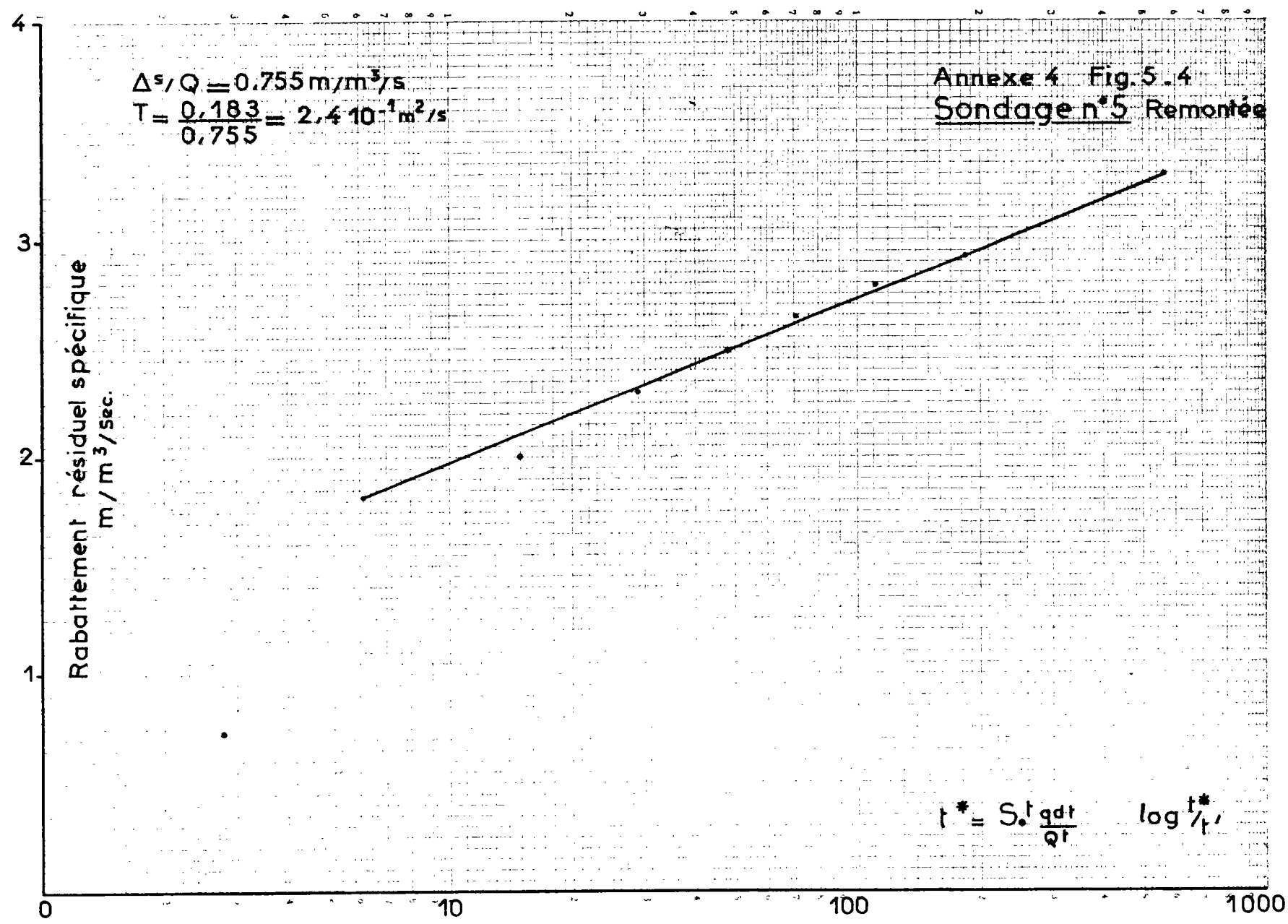
4 - 18

Annexe 4 Fig. 5.1  
Sondage n° 5



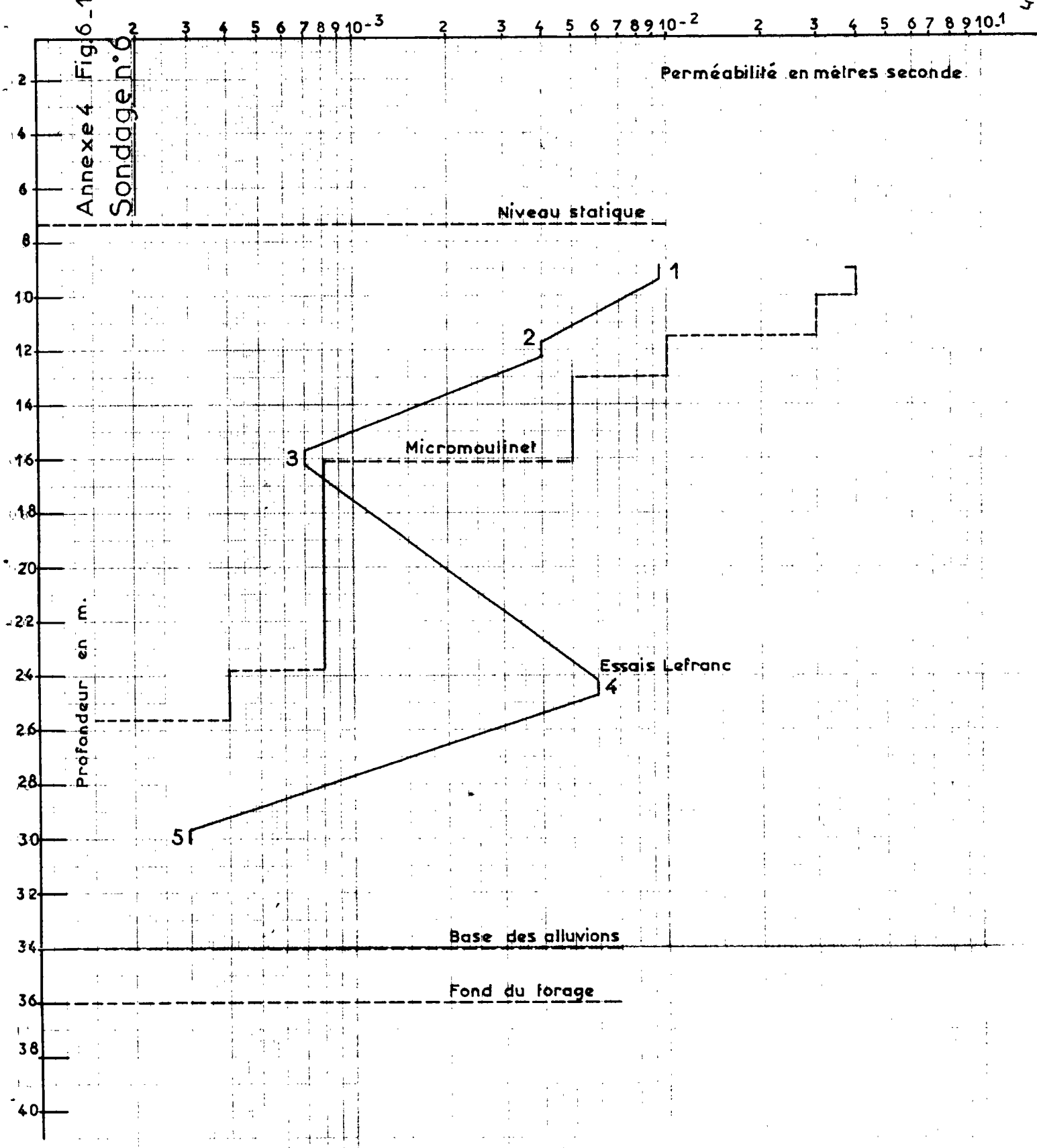


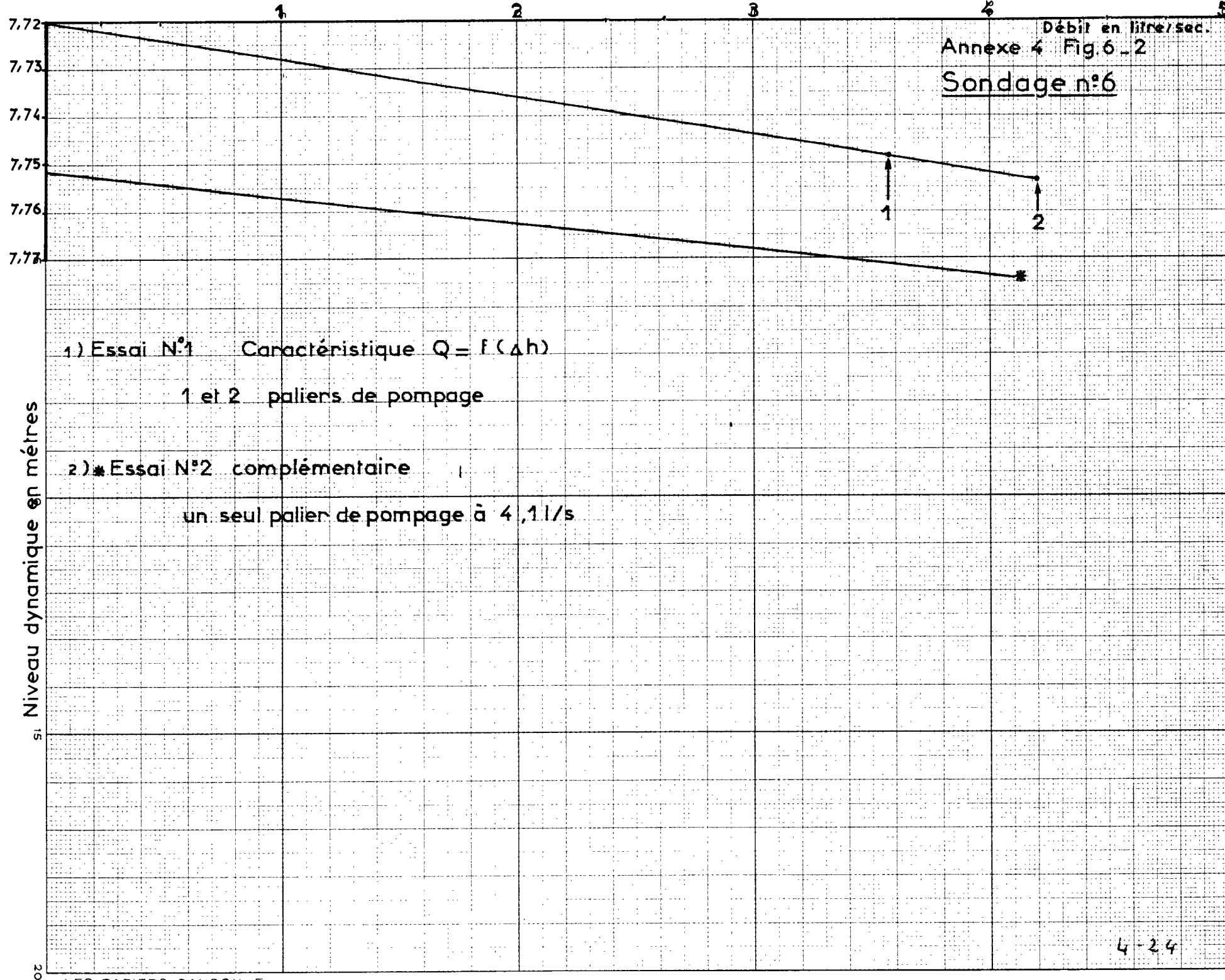


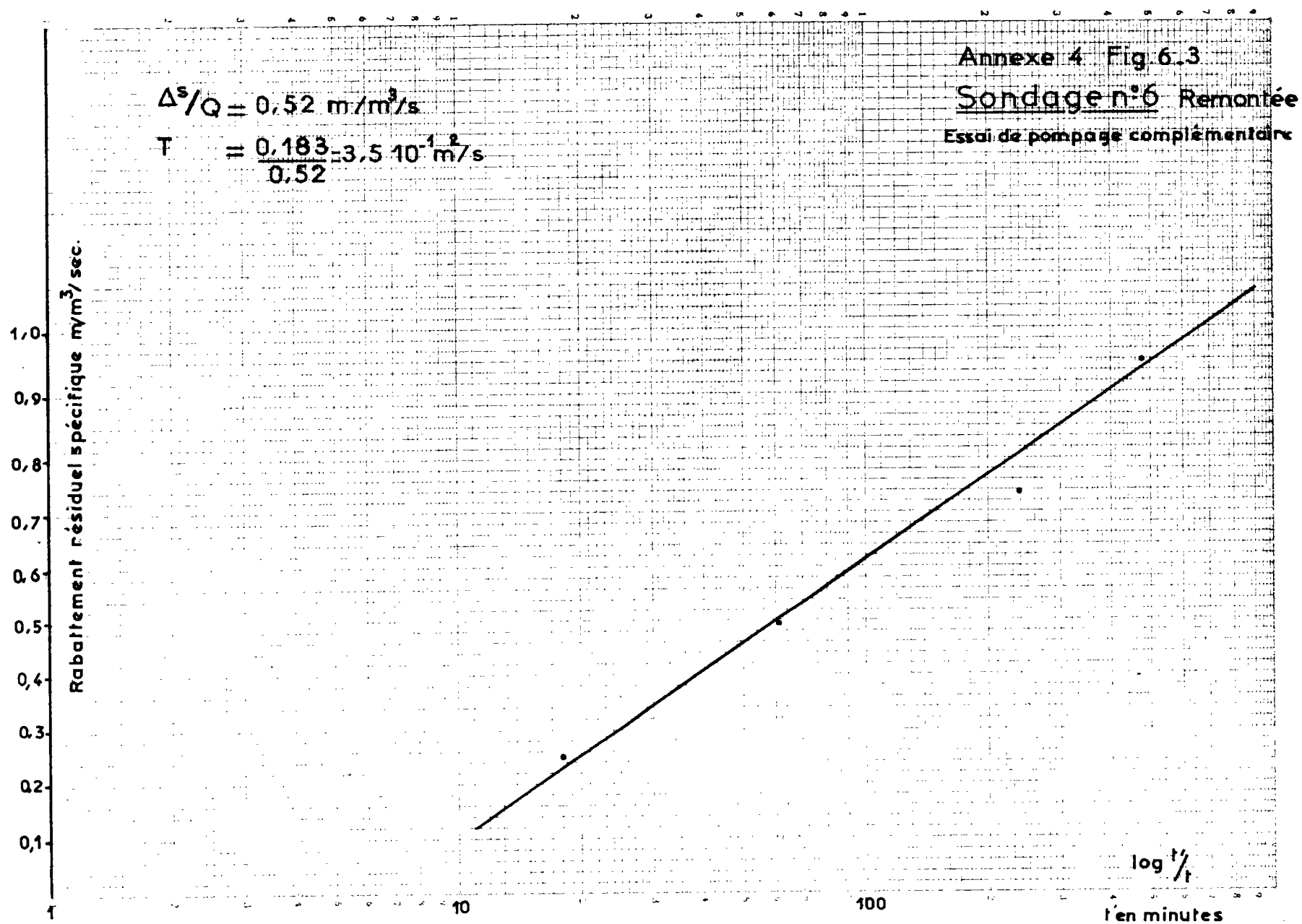


Annexe 4 Fig. 6.1

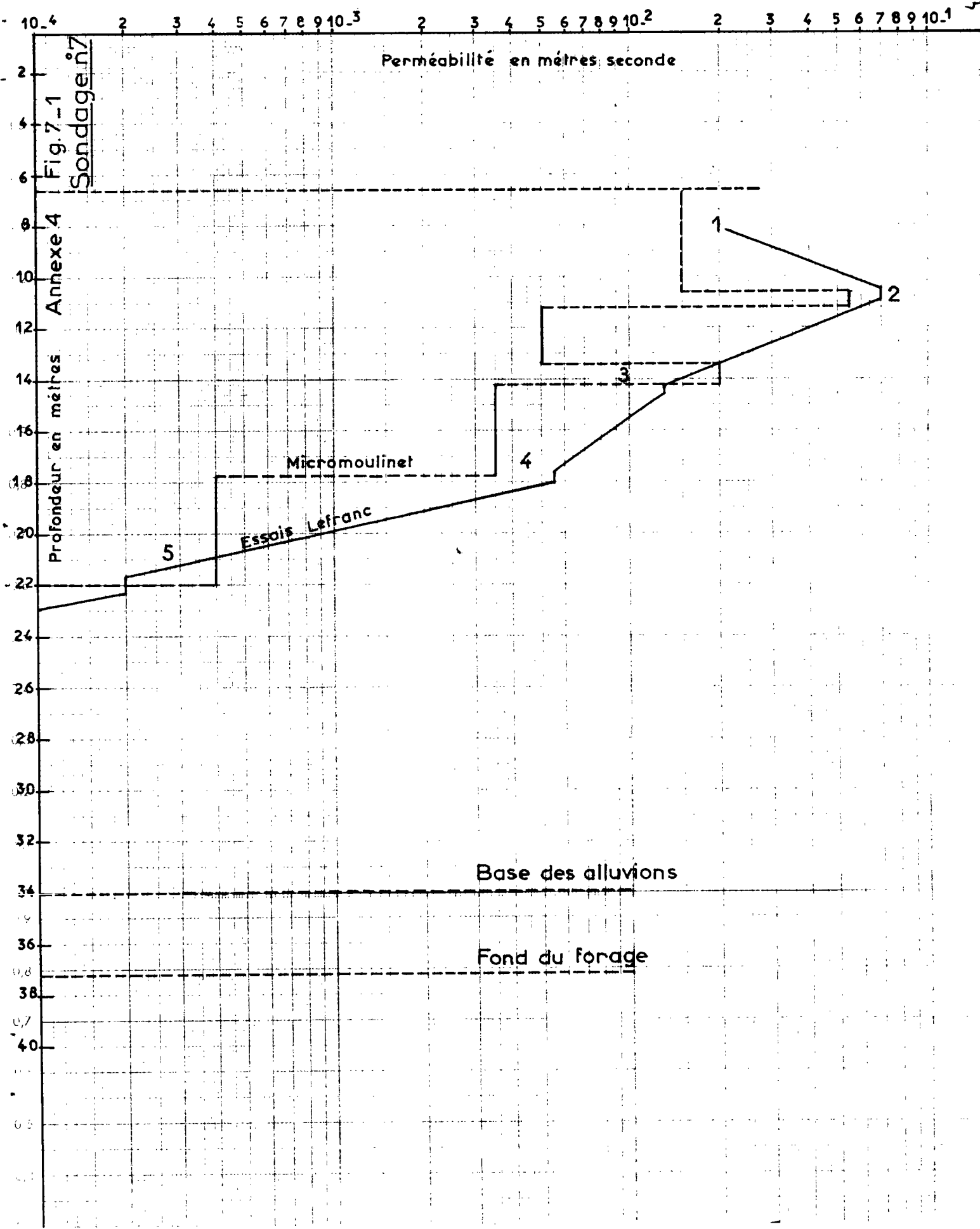
Sondage n° 6

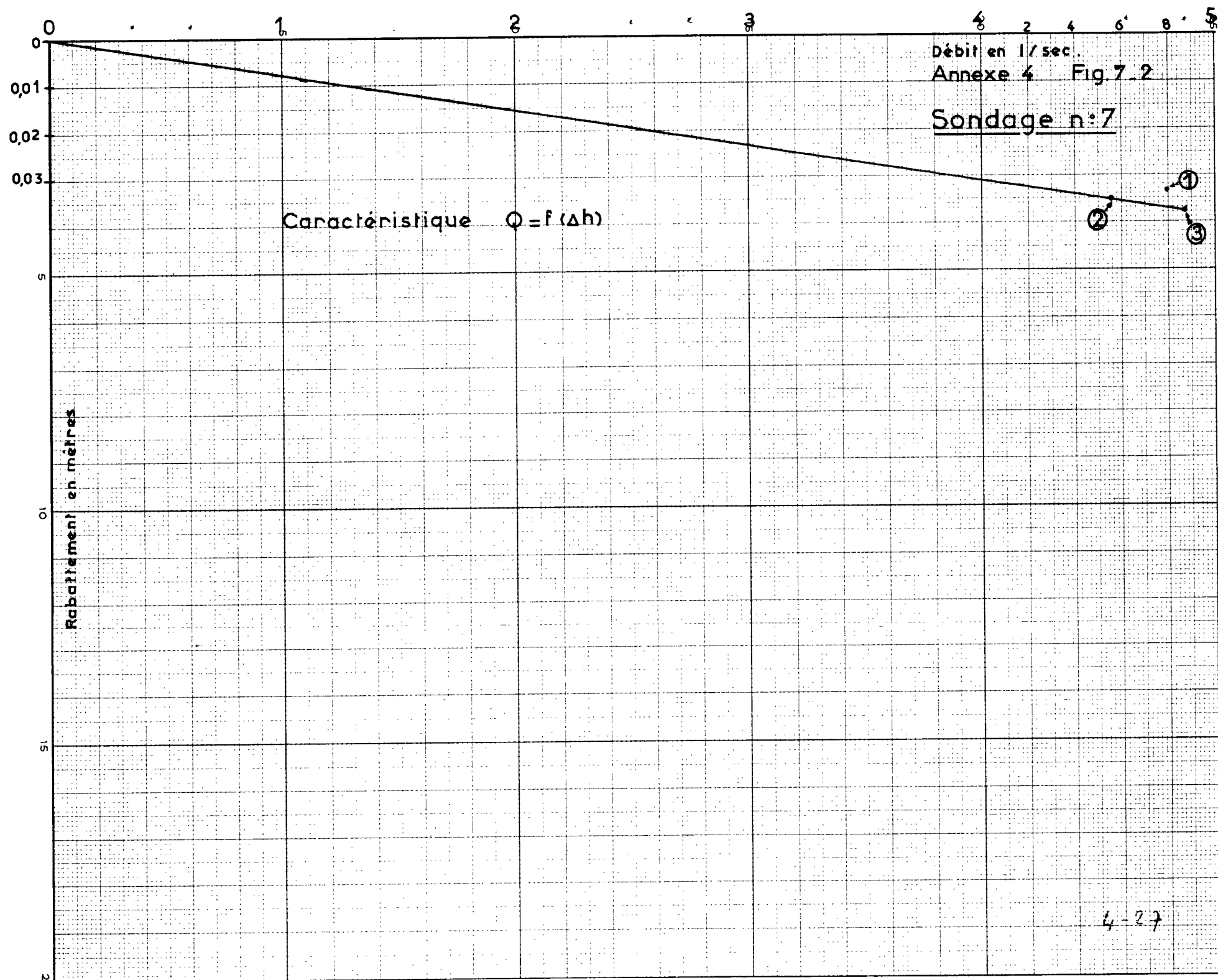


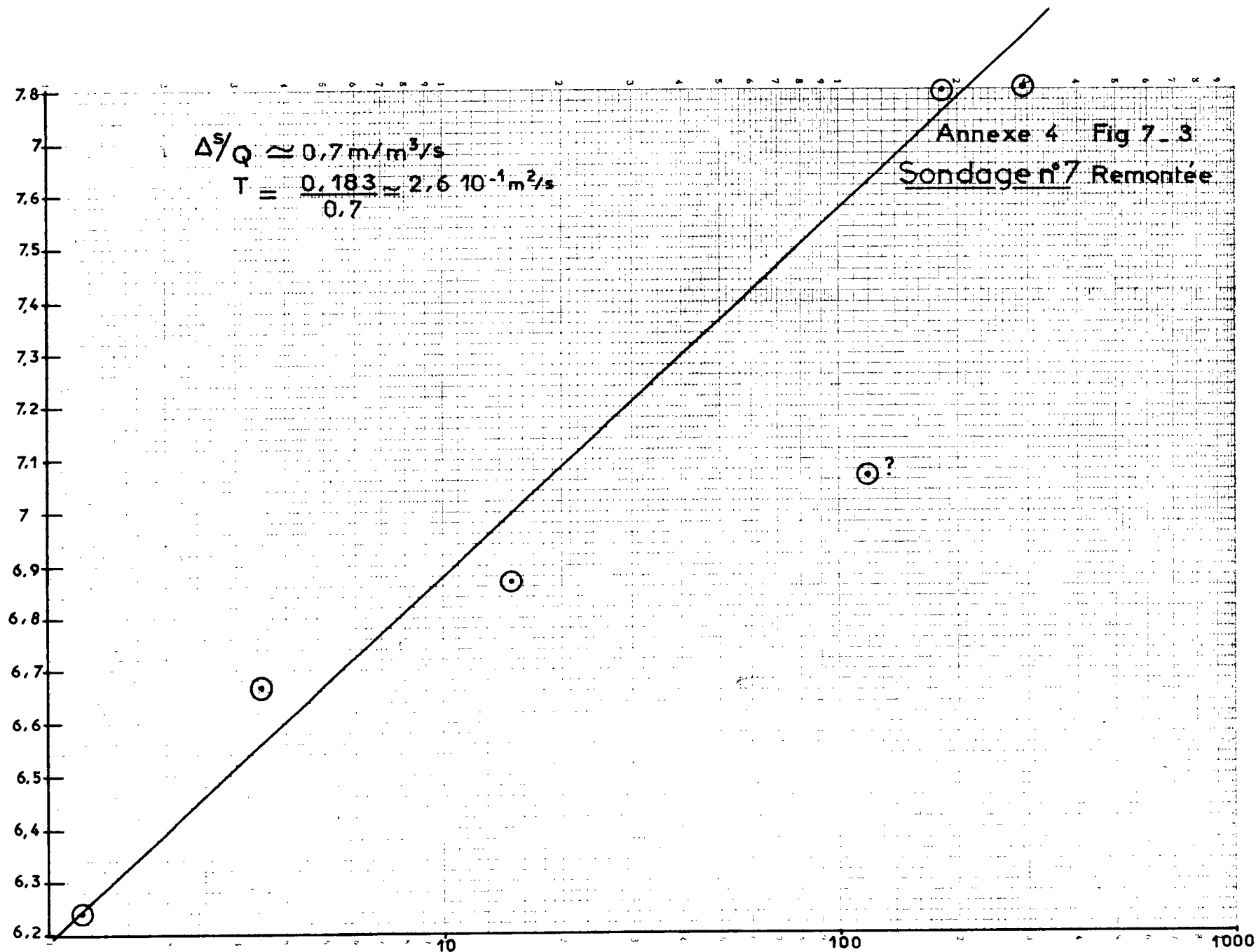










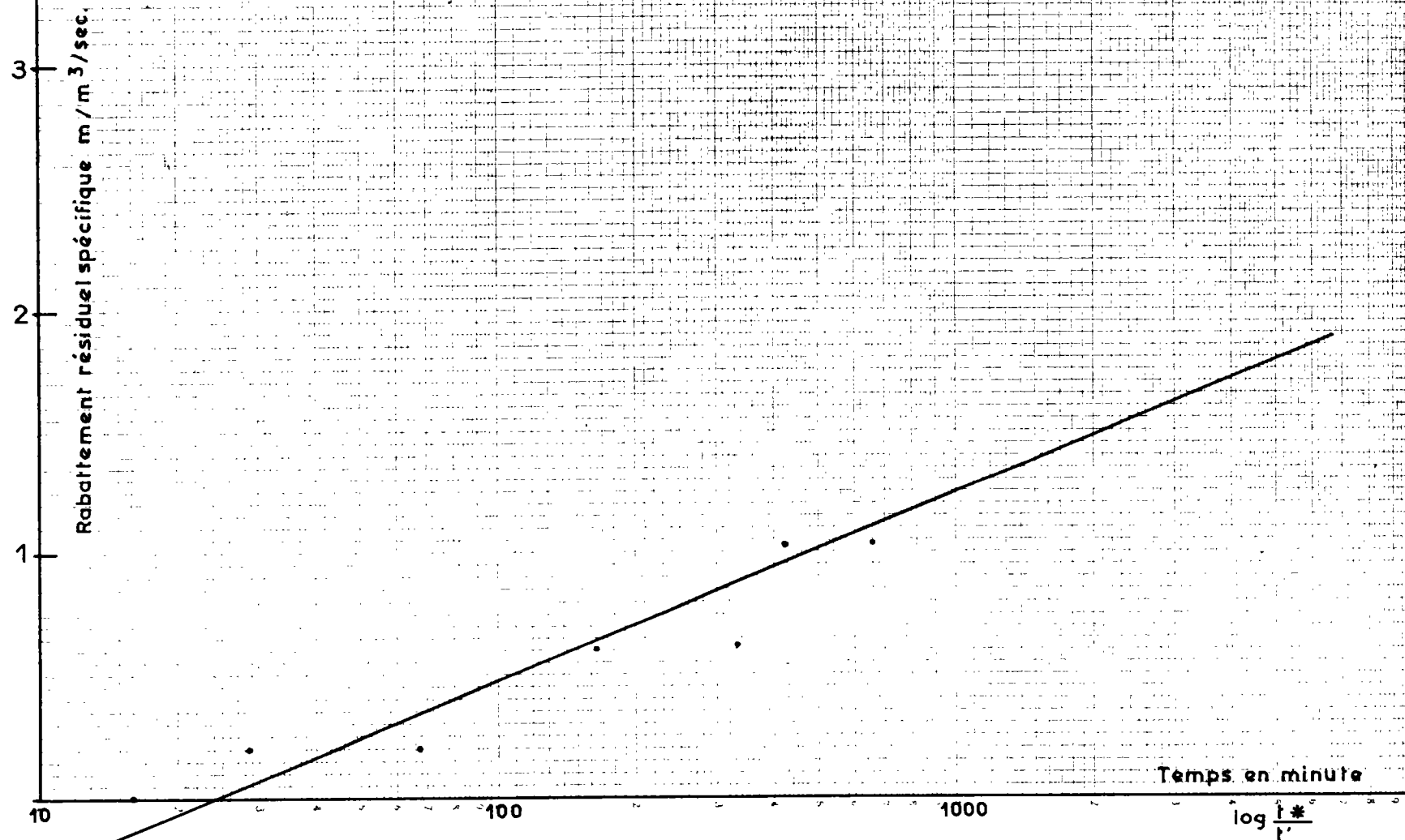


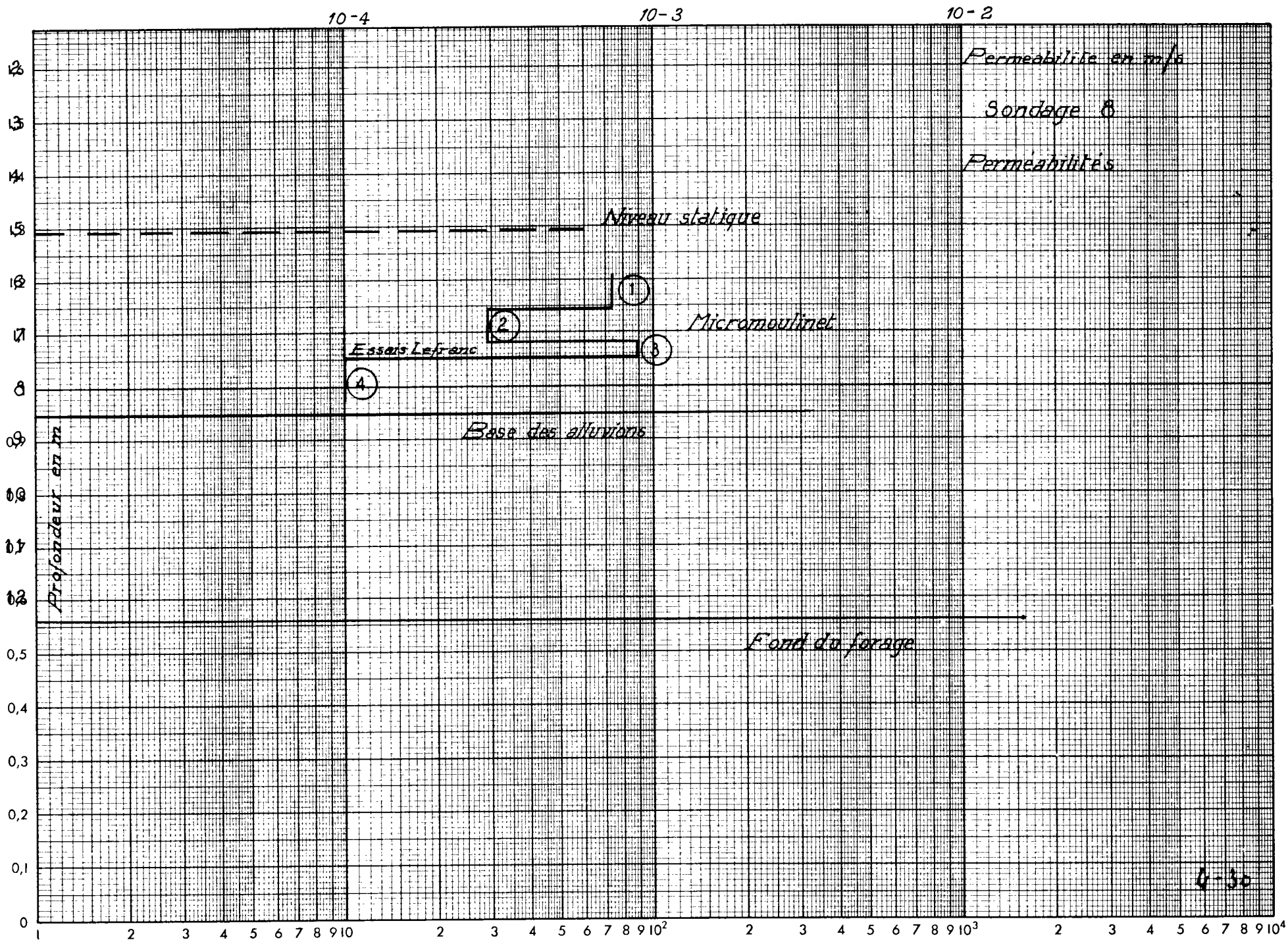
Annexe 4 Fig. 7.4

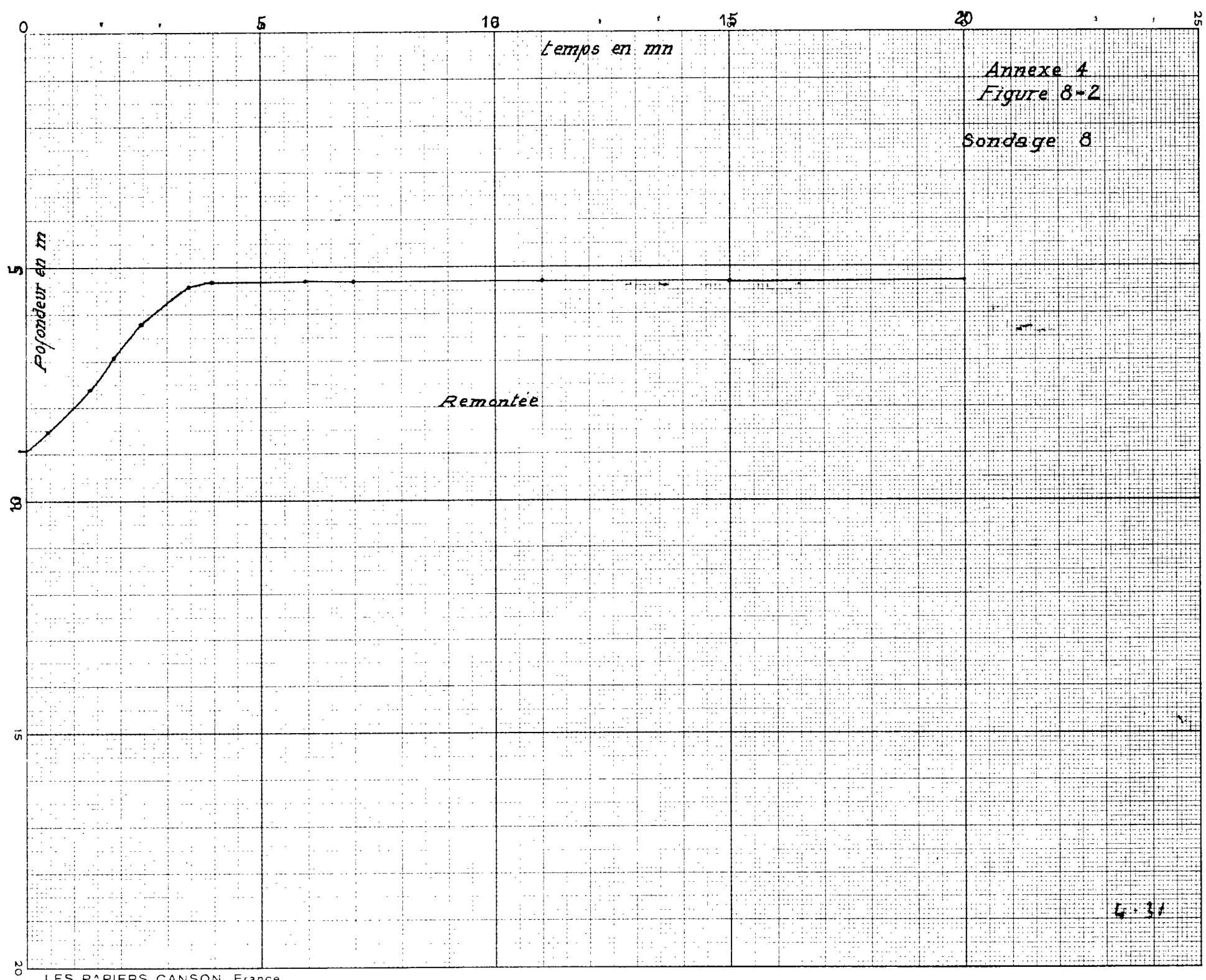
Sondage n°7 Remantée

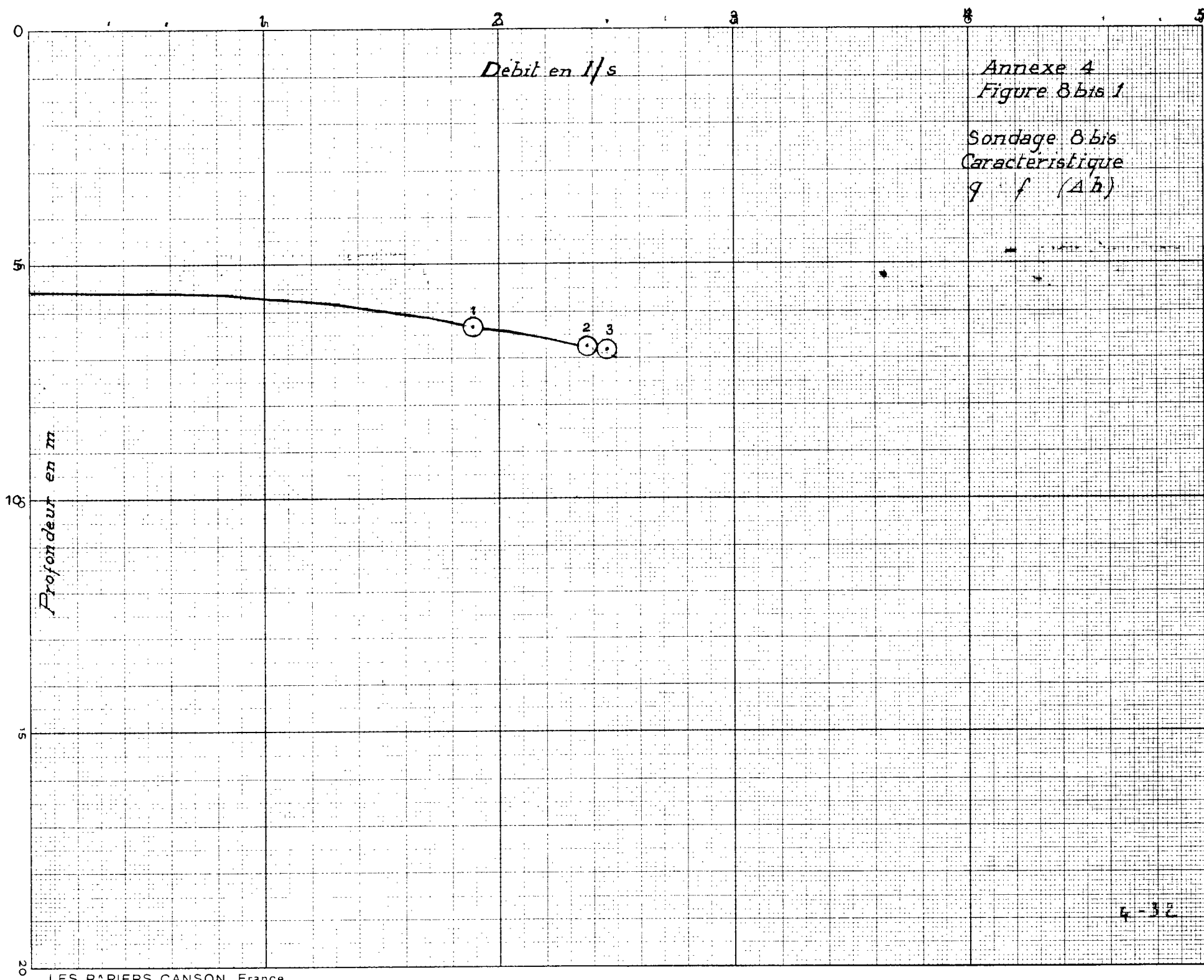
$$\Delta s/a = 0.75$$

$$T = \frac{0.183}{0.75} 2.4 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$$









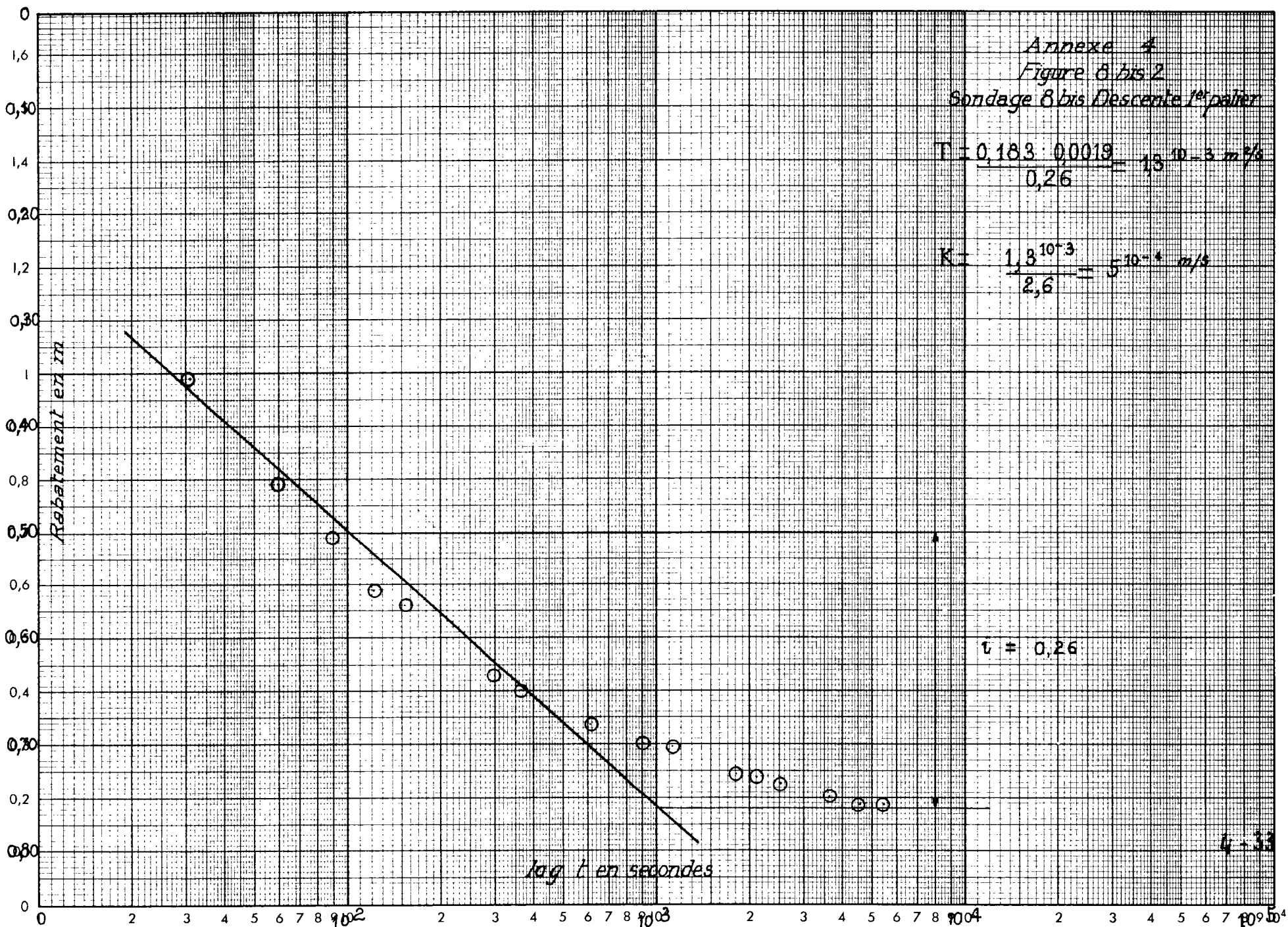
Annexe 4  
Figure 8 bis 2  
Sondage 8 bis Descente 1<sup>er</sup> palier

$$T = \frac{0,183 \cdot 0,0019}{0,26} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{1,3 \cdot 10^{-3}}{2,6} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$v = 0,26$$

$$4 - 33$$

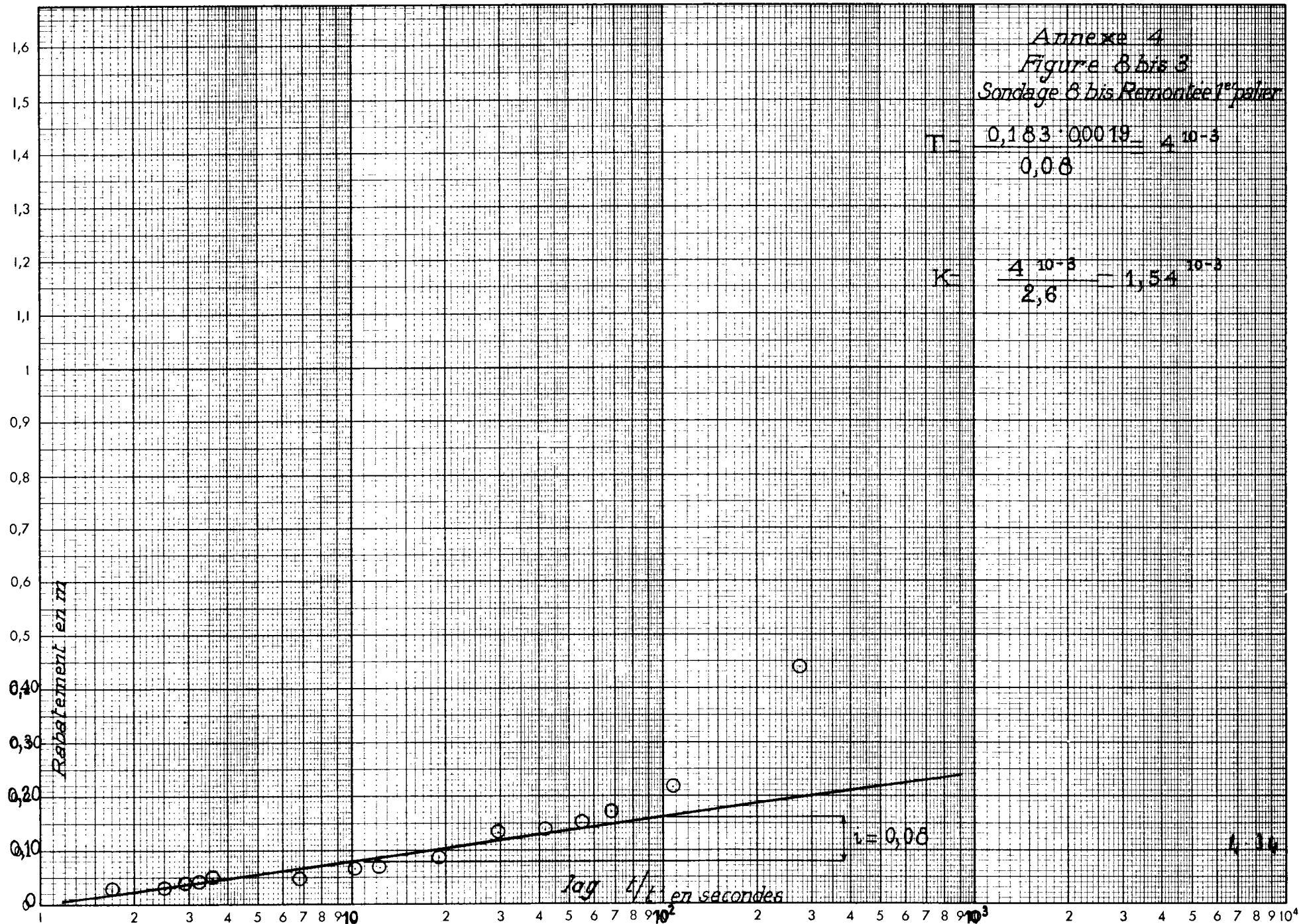


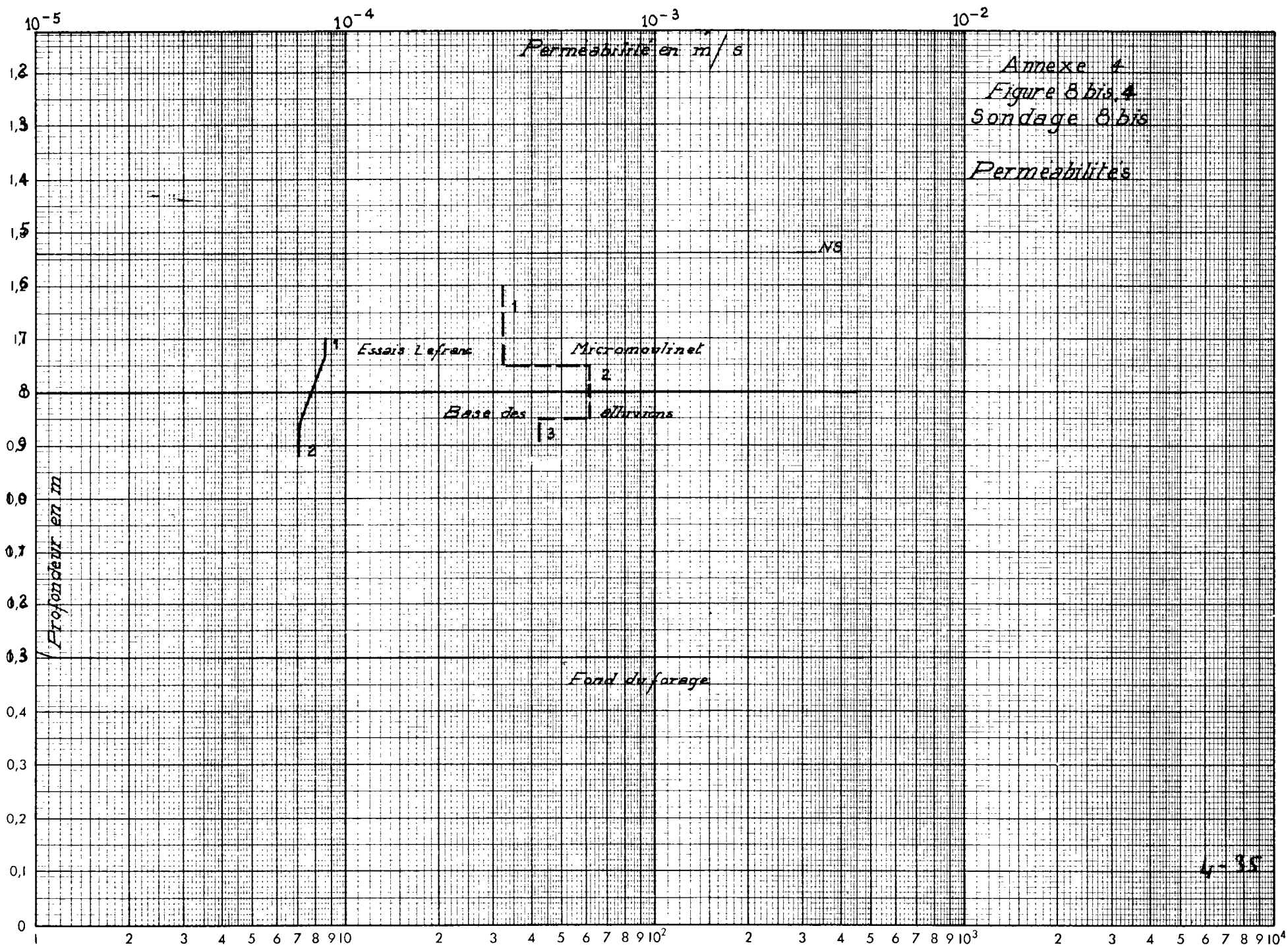


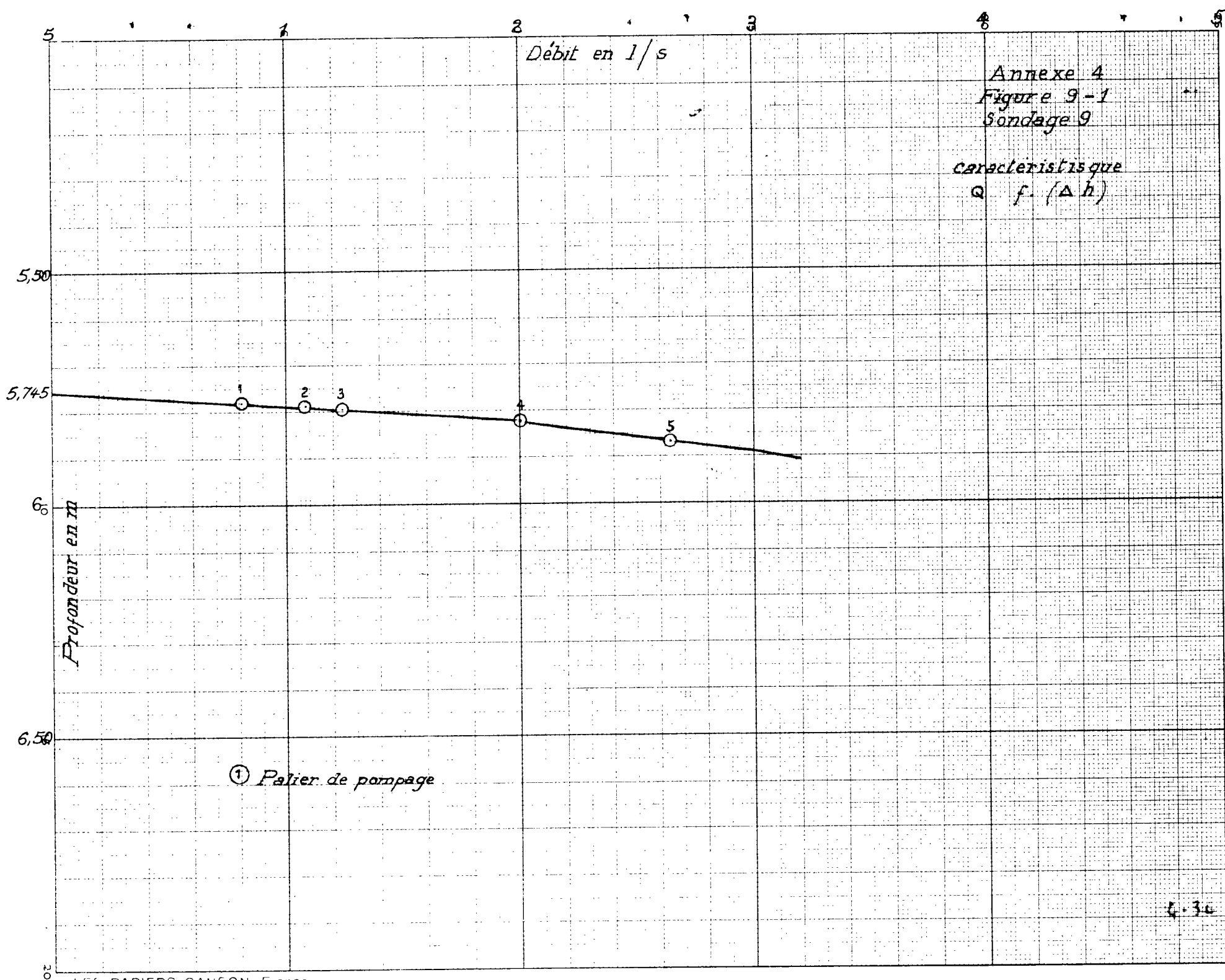
Annexe 4  
Figure 8 bis 3  
Sondage 8 bis Remontée 1<sup>re</sup> palier

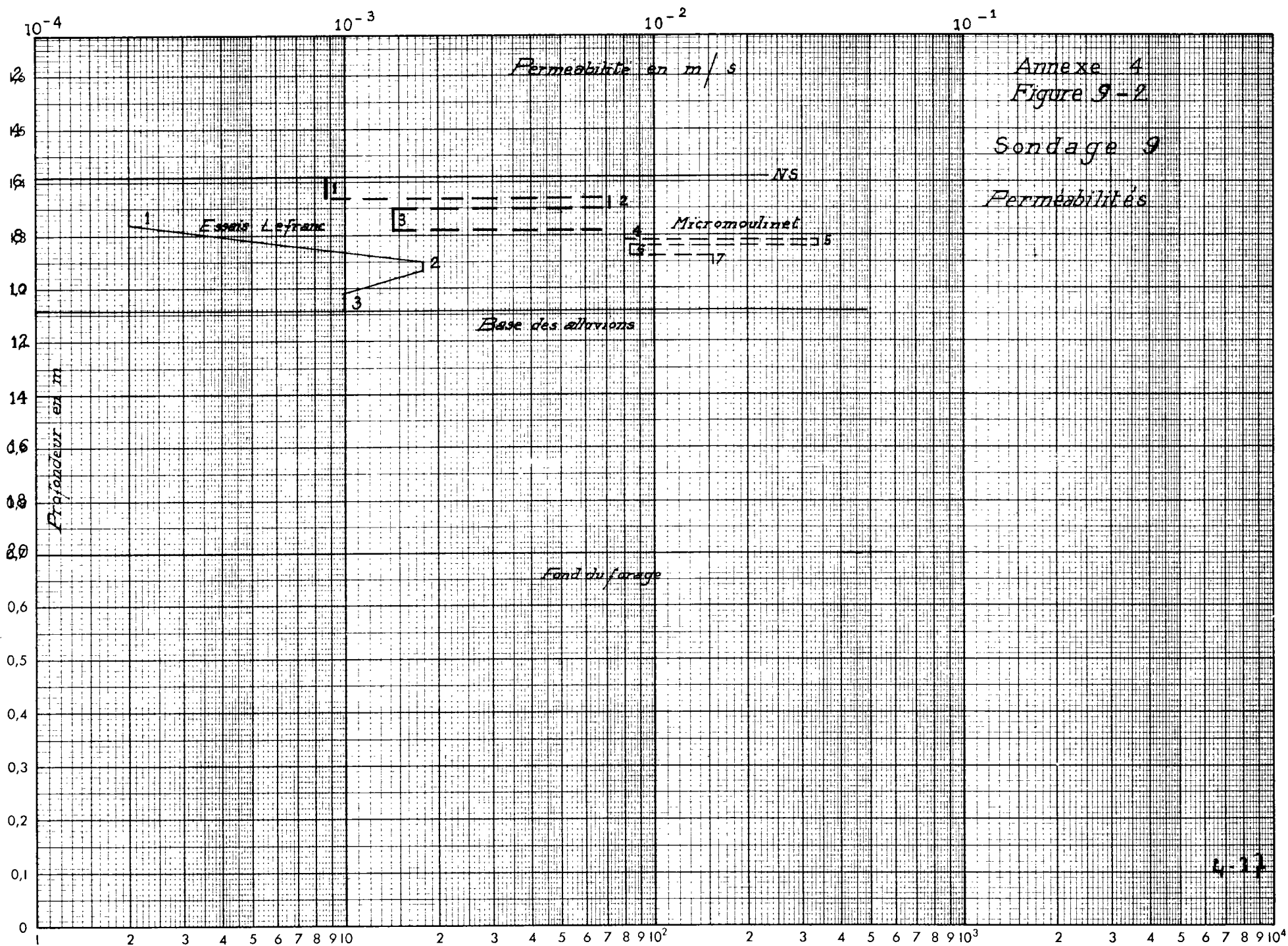
$$T = \frac{0,183 \cdot 0,0019}{0,08} = 4 \cdot 10^{-3}$$

$$K = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{2,6} = 1,54 \cdot 10^{-3}$$

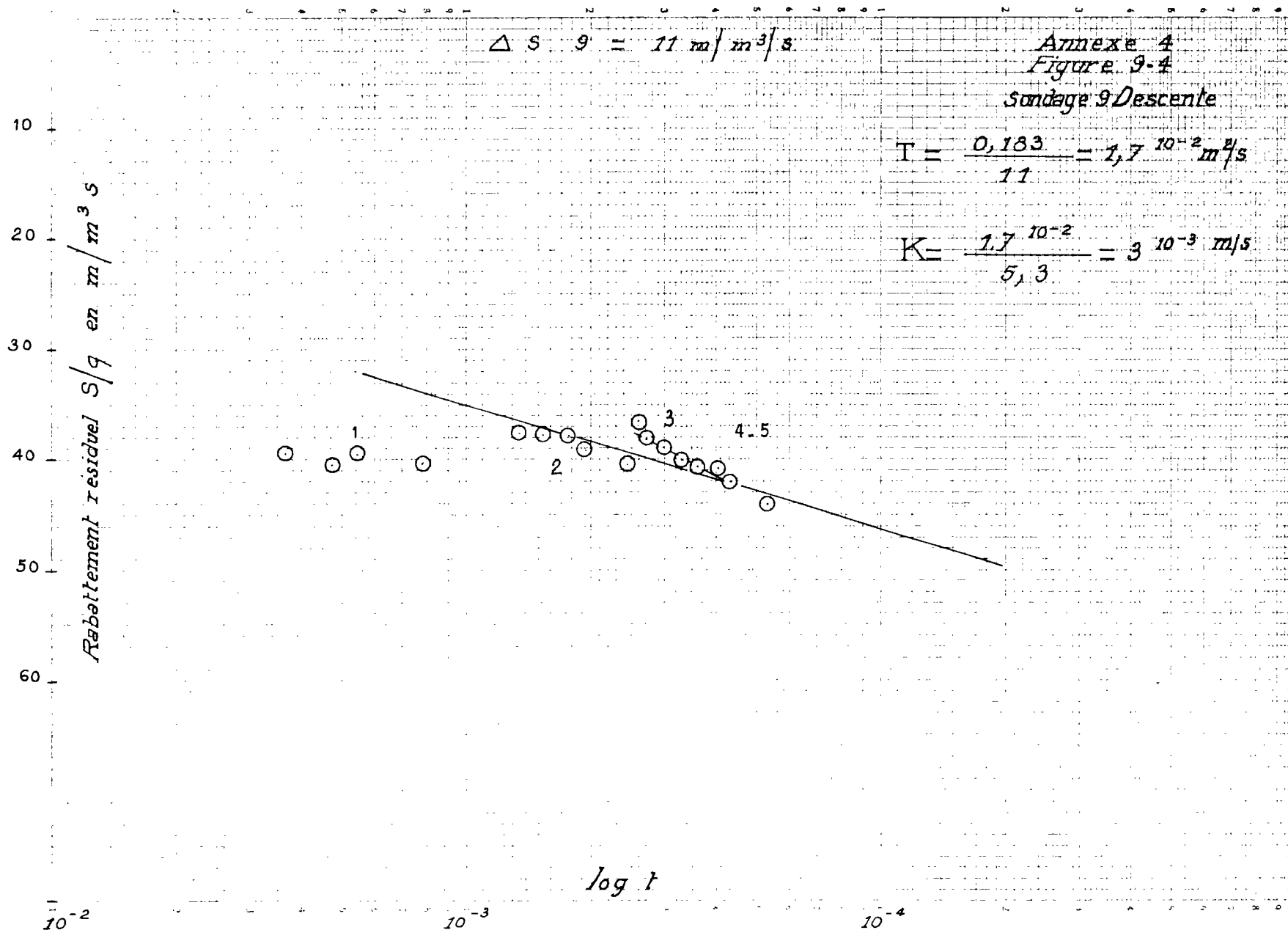




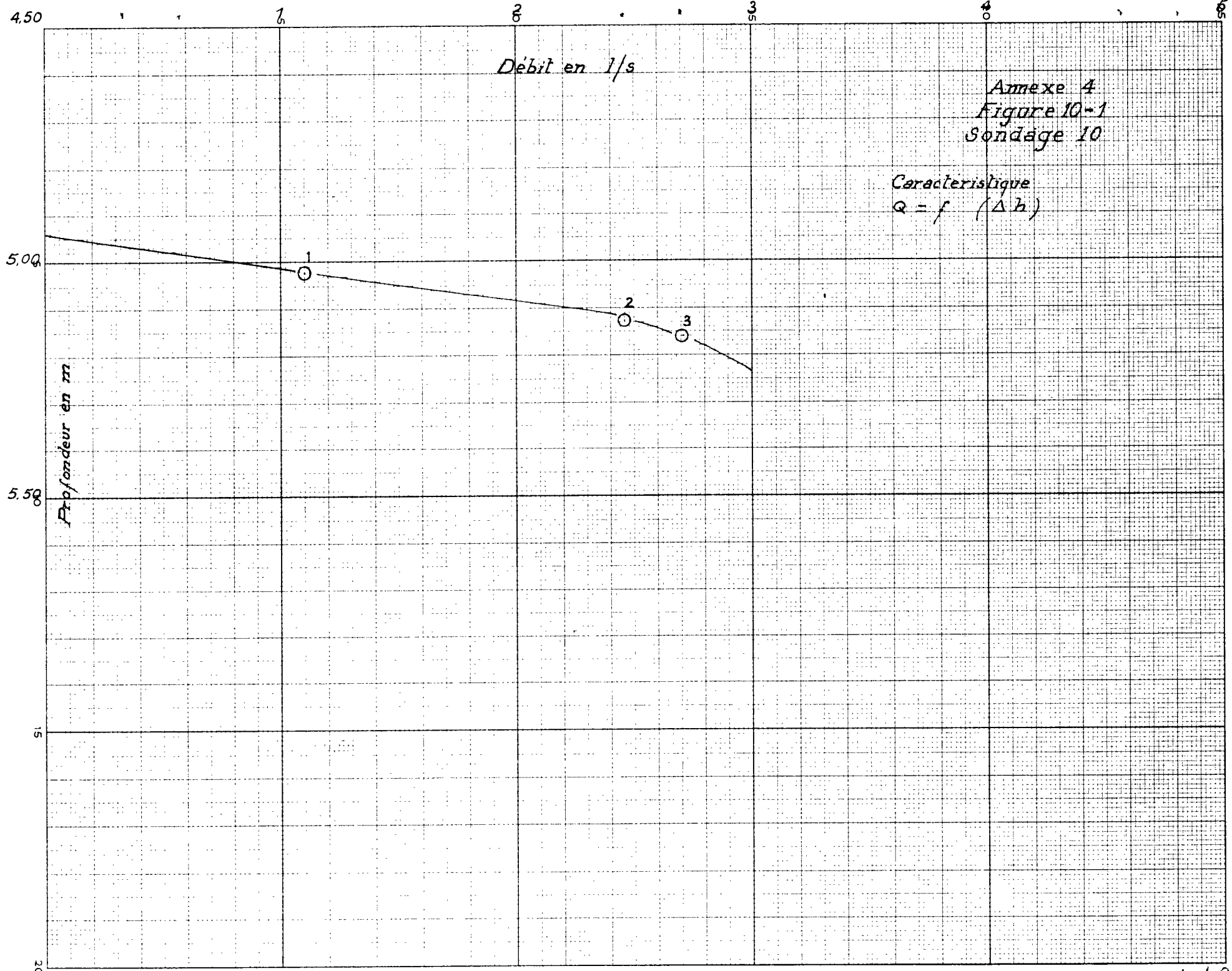


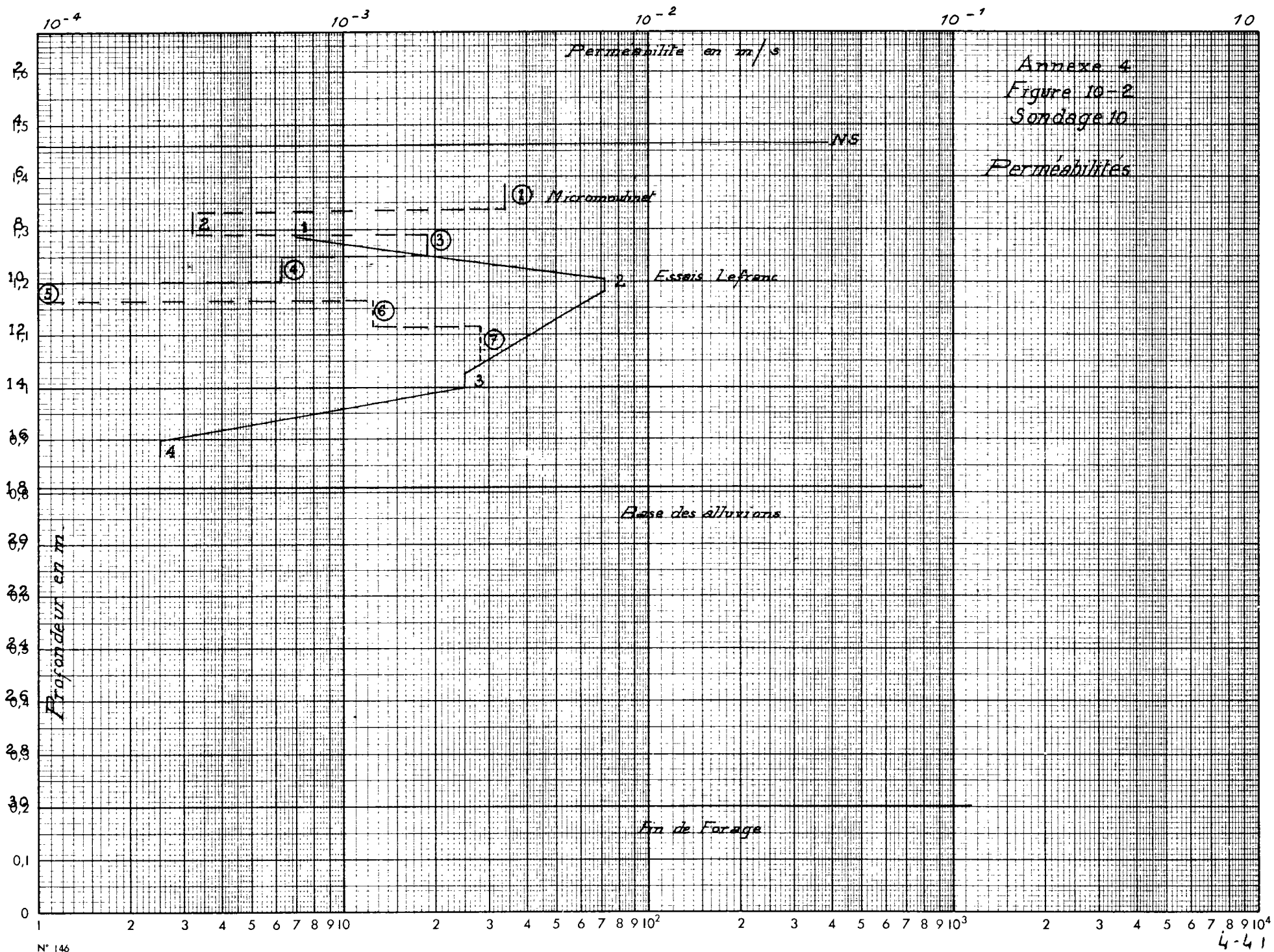




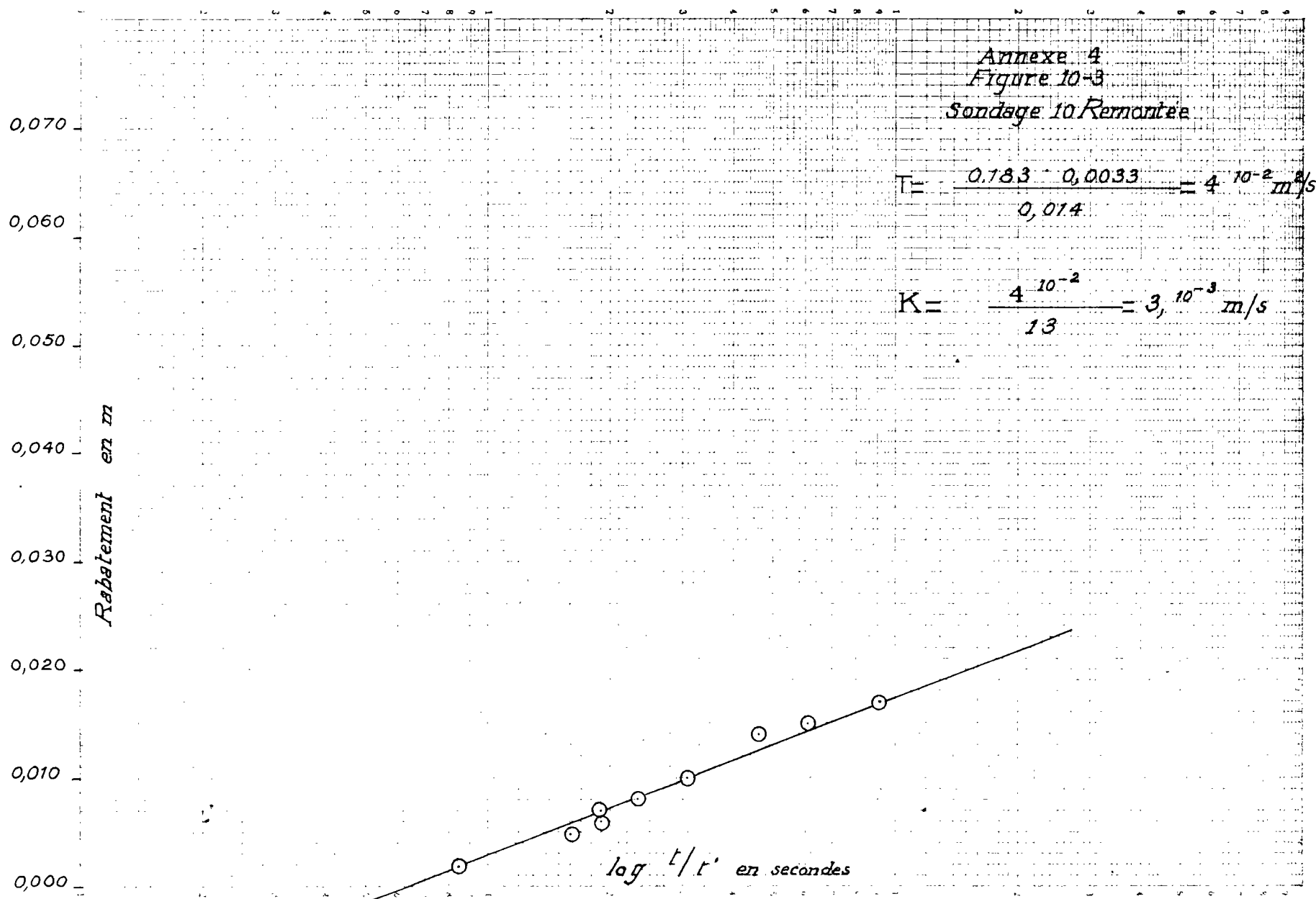


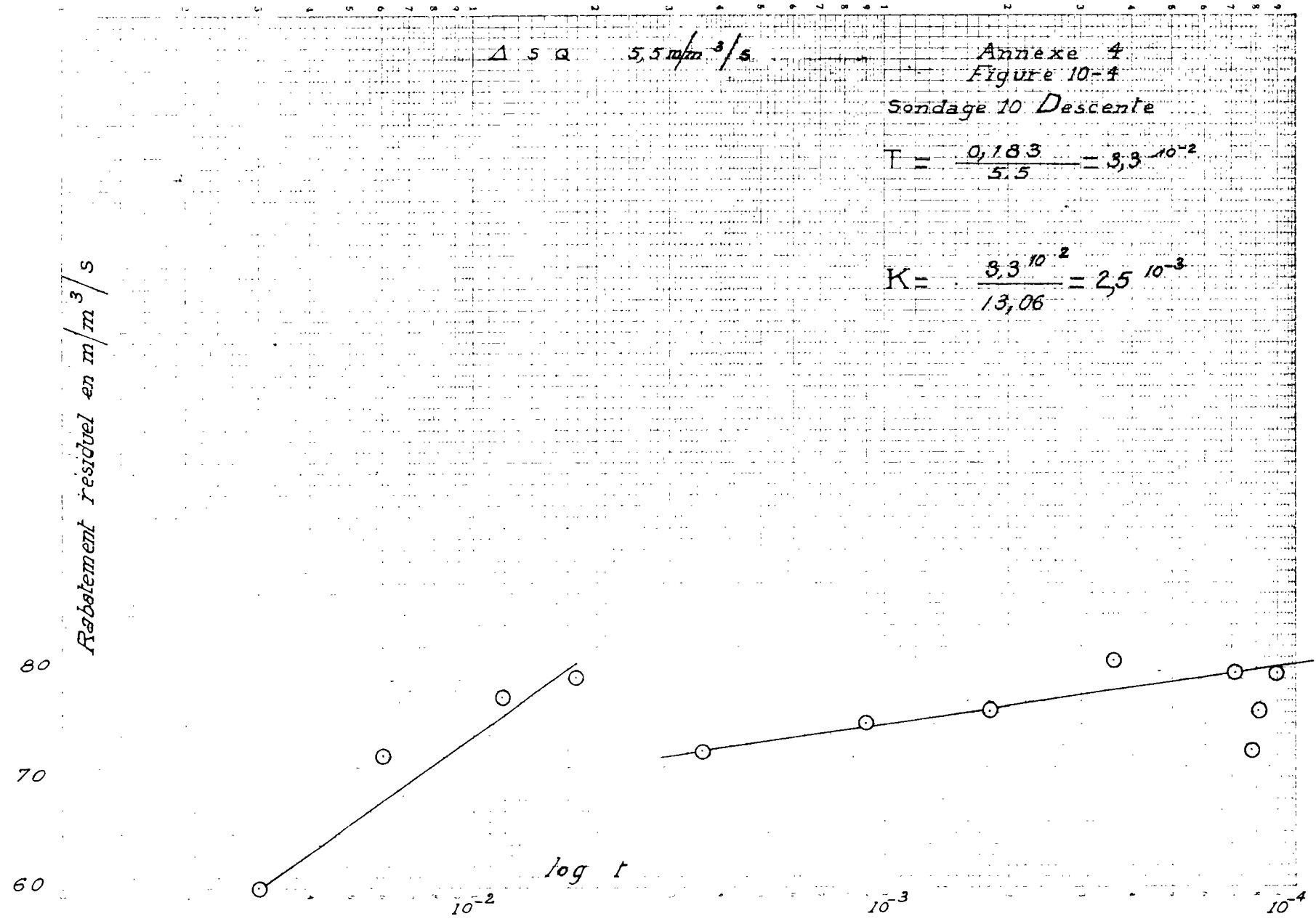


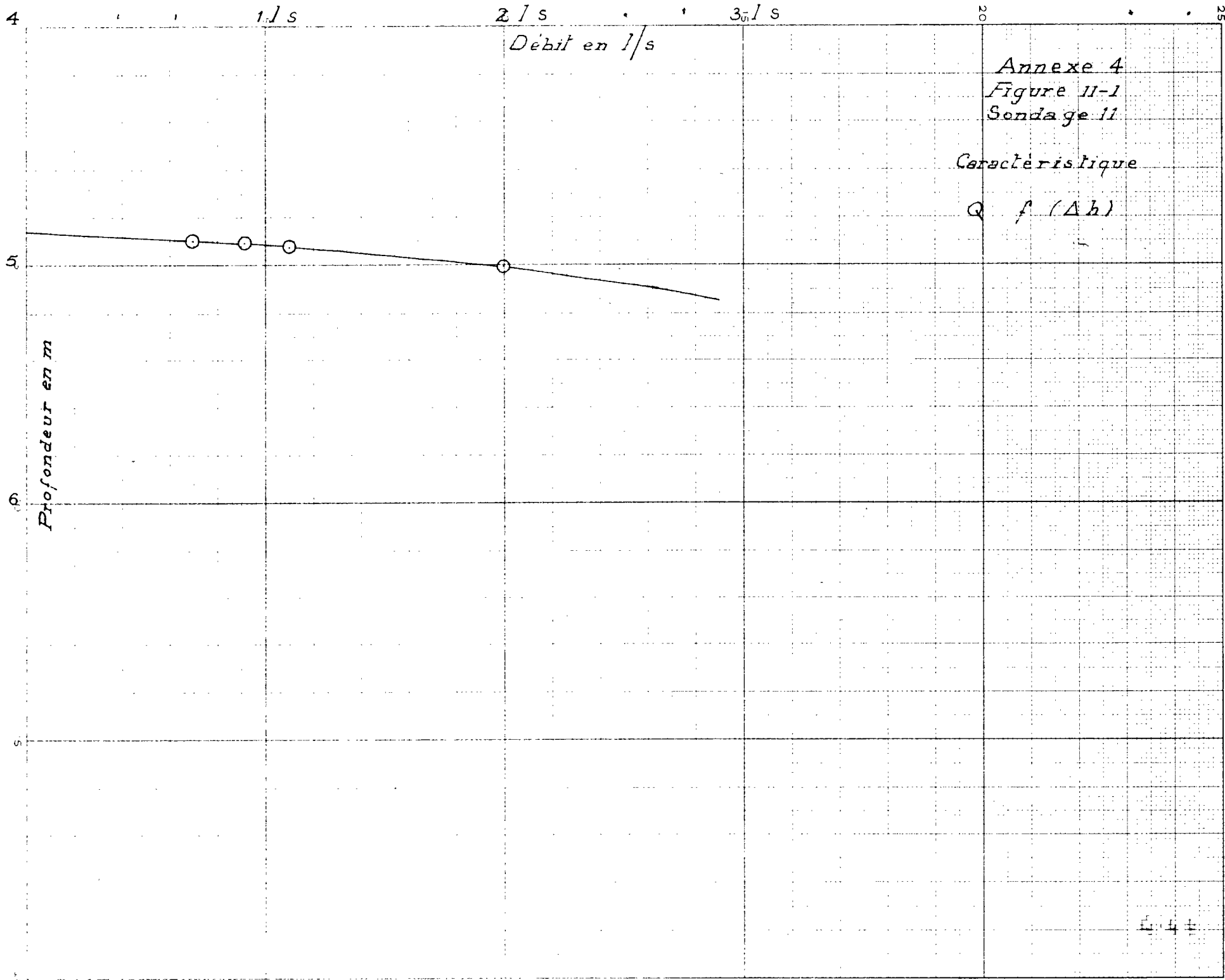


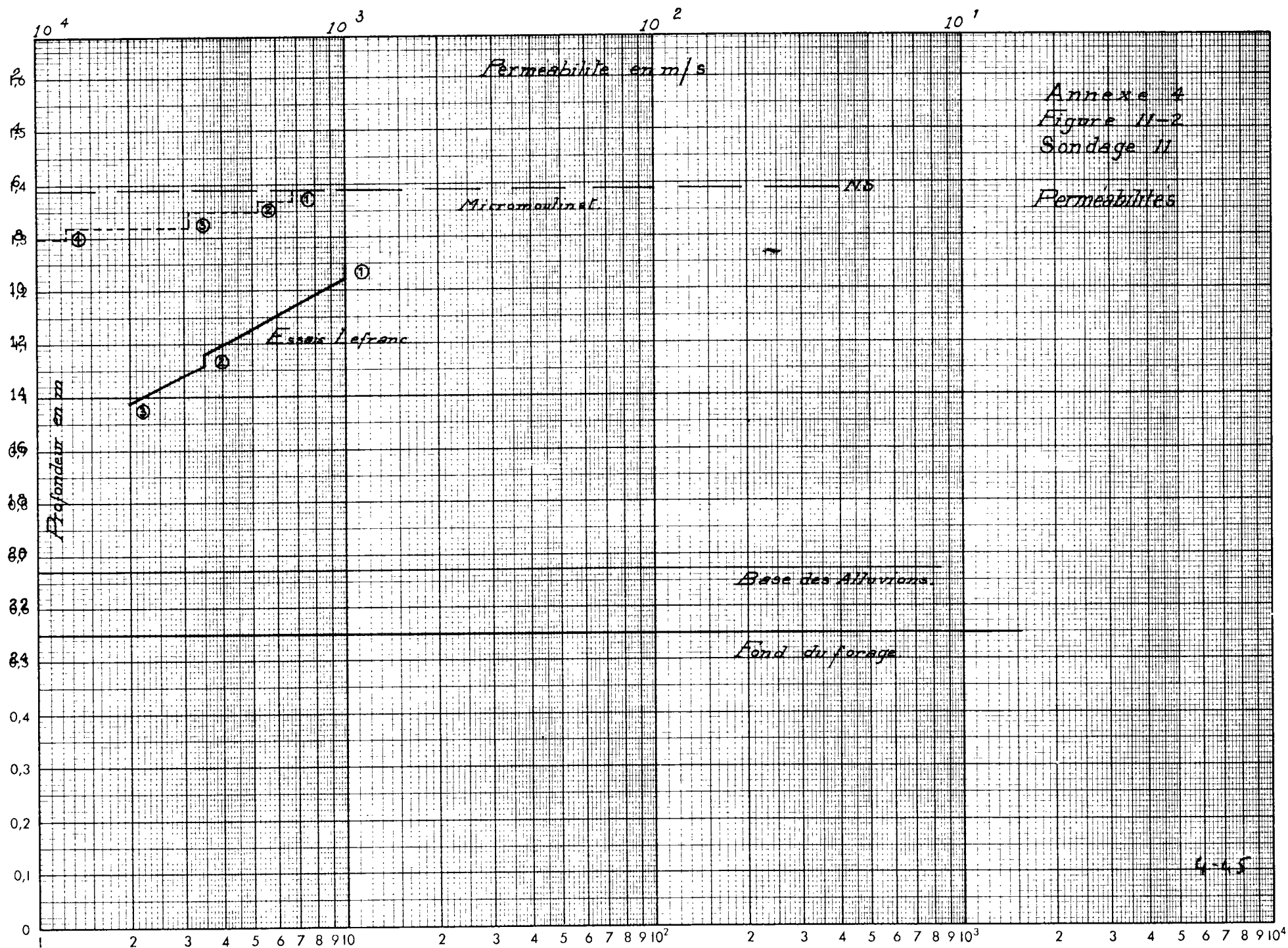










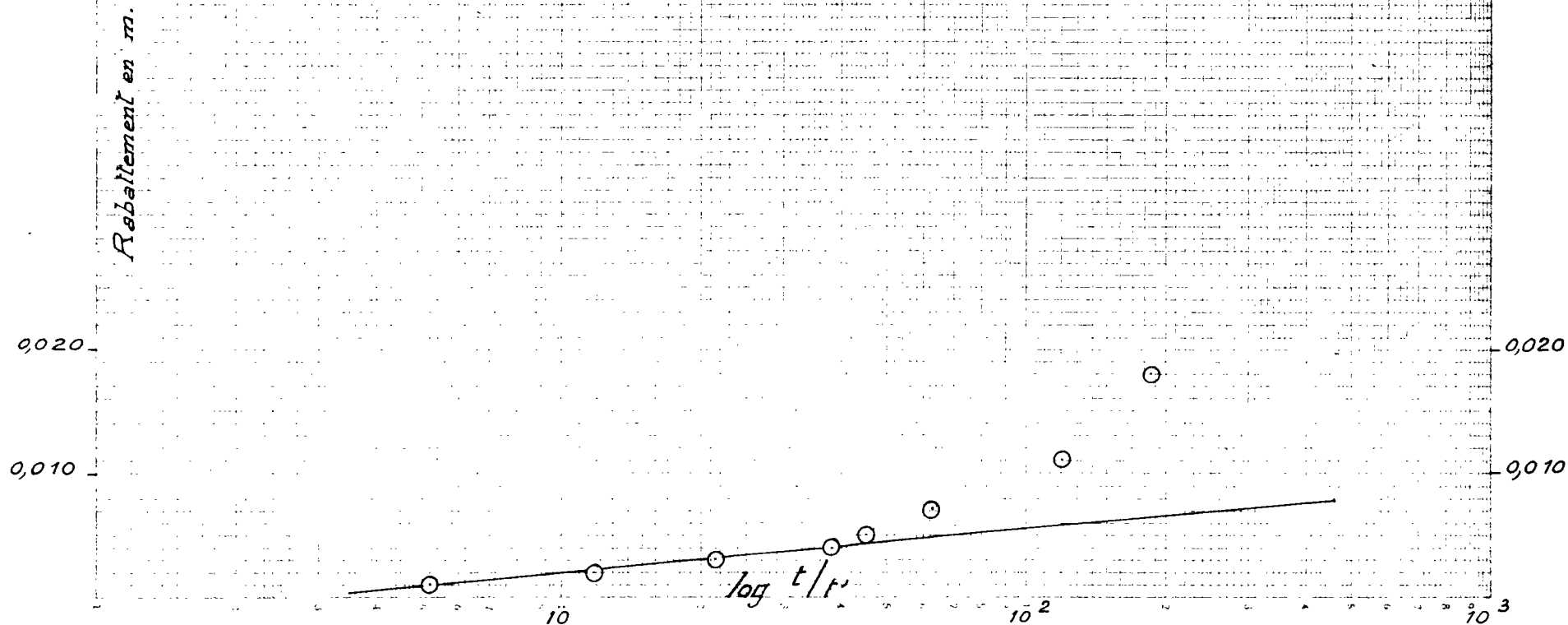


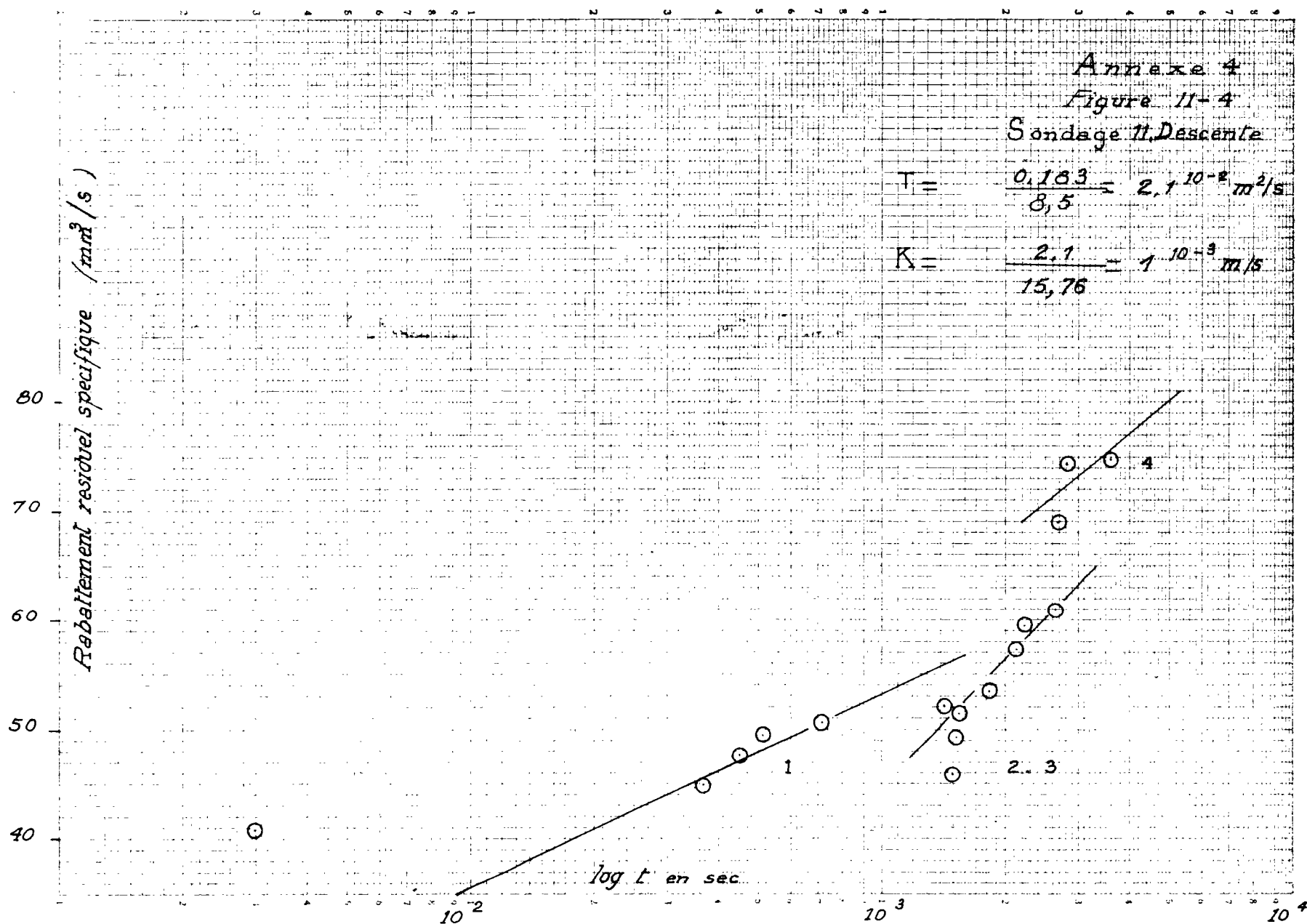
Annexe 4  
Figure 11-3

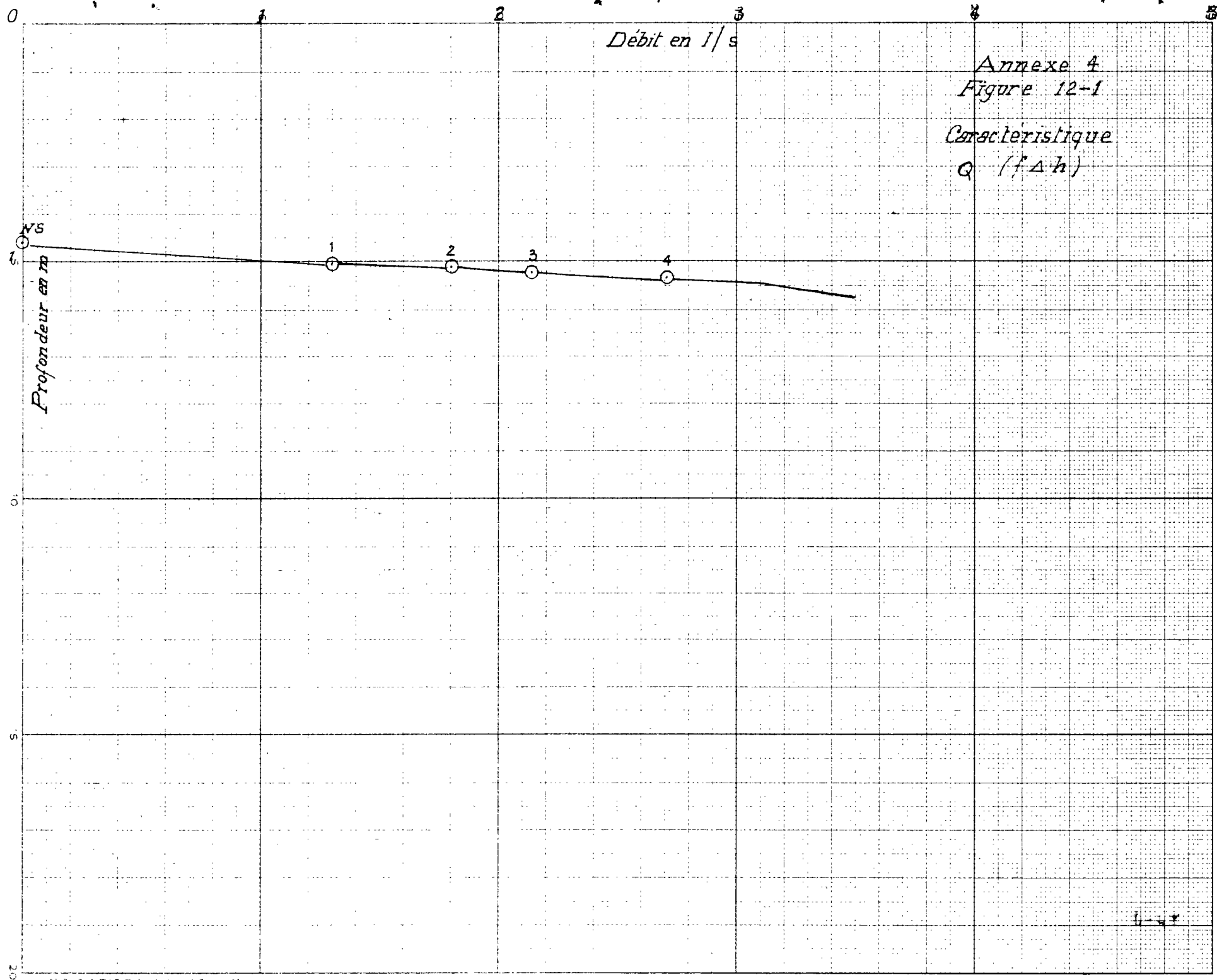
Sondage 11 Descente

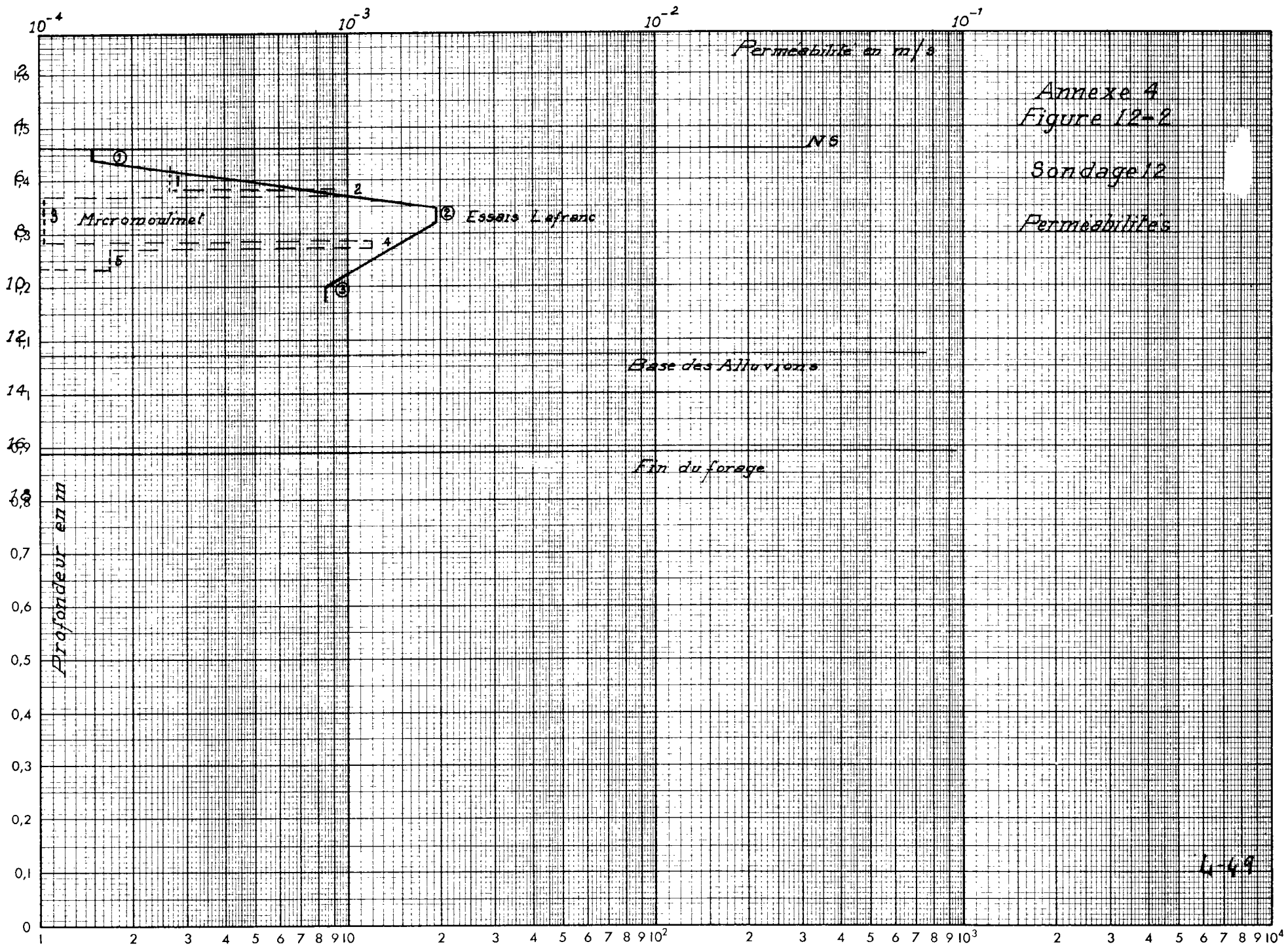
$$T = \frac{0,183 \cdot 0,002}{0,004} = 9,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{9,1 \cdot 10^{-2}}{15,76} = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

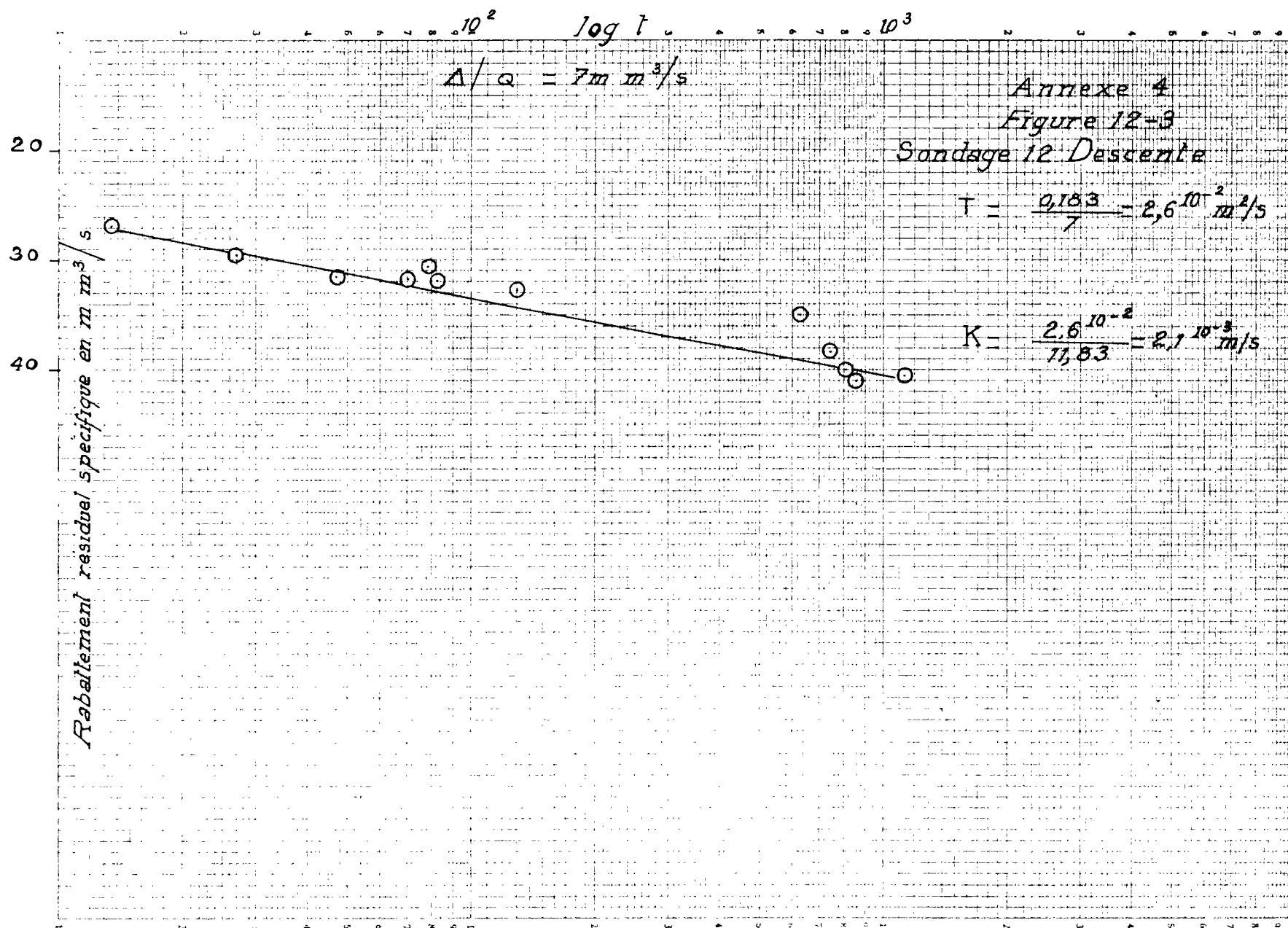


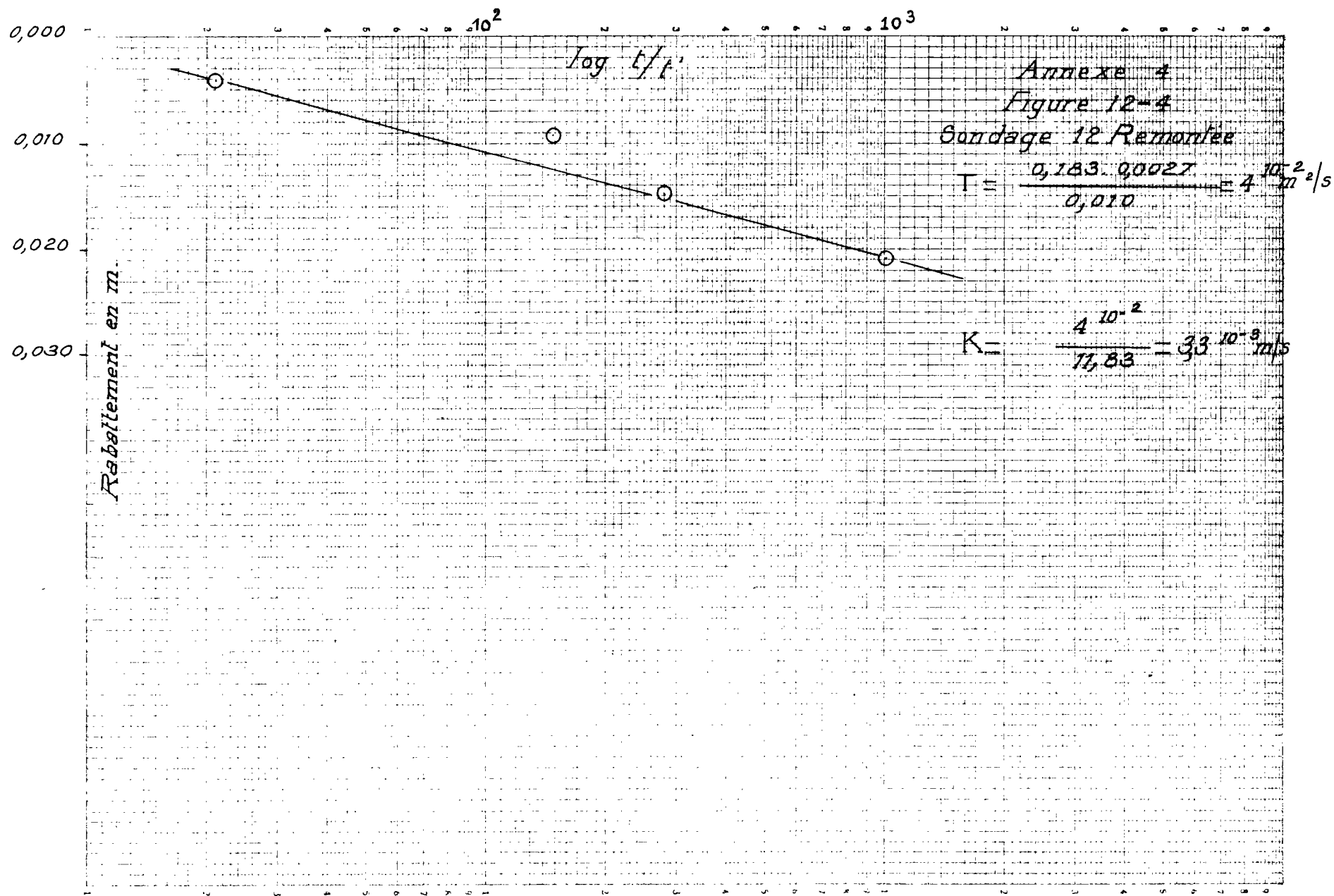


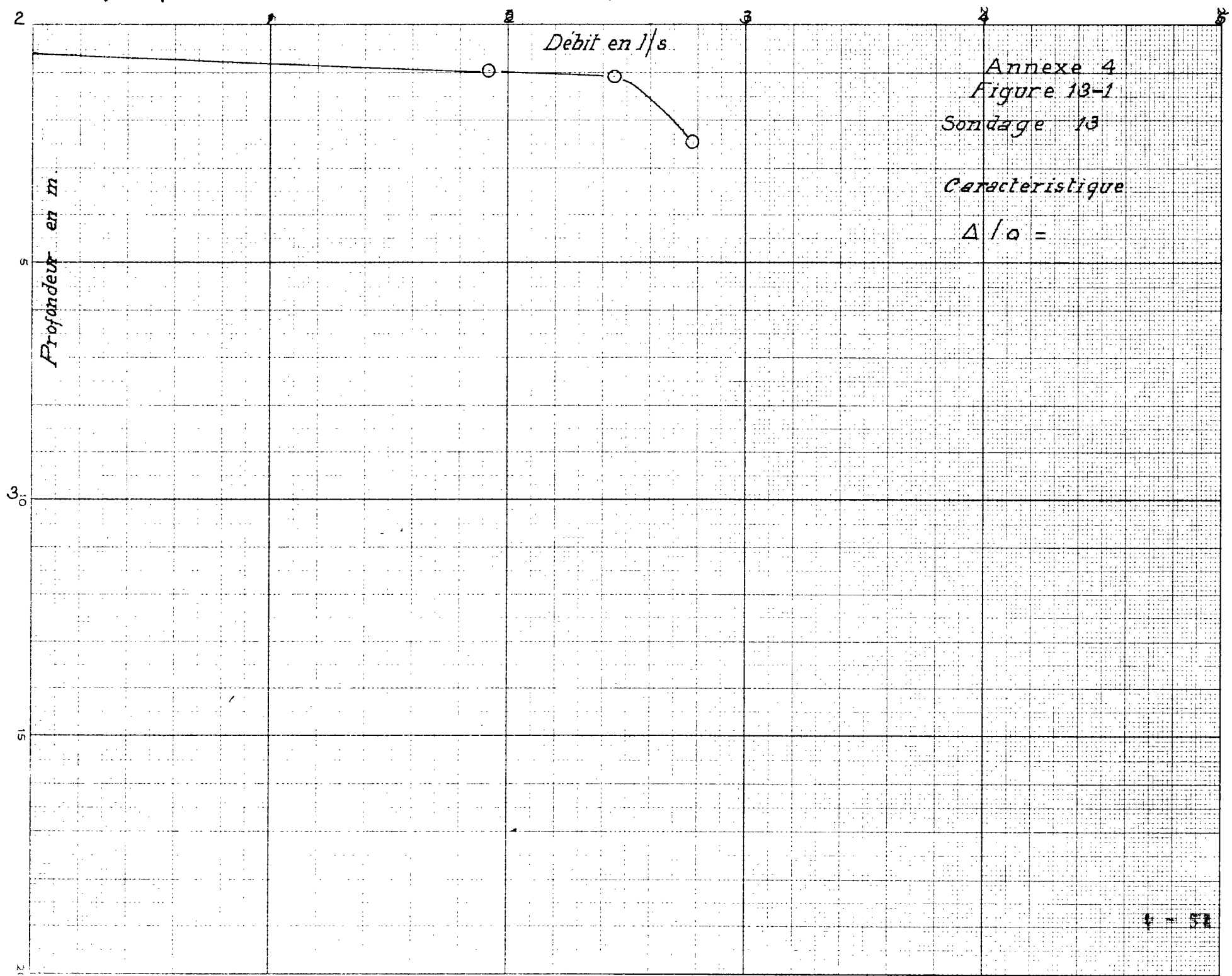


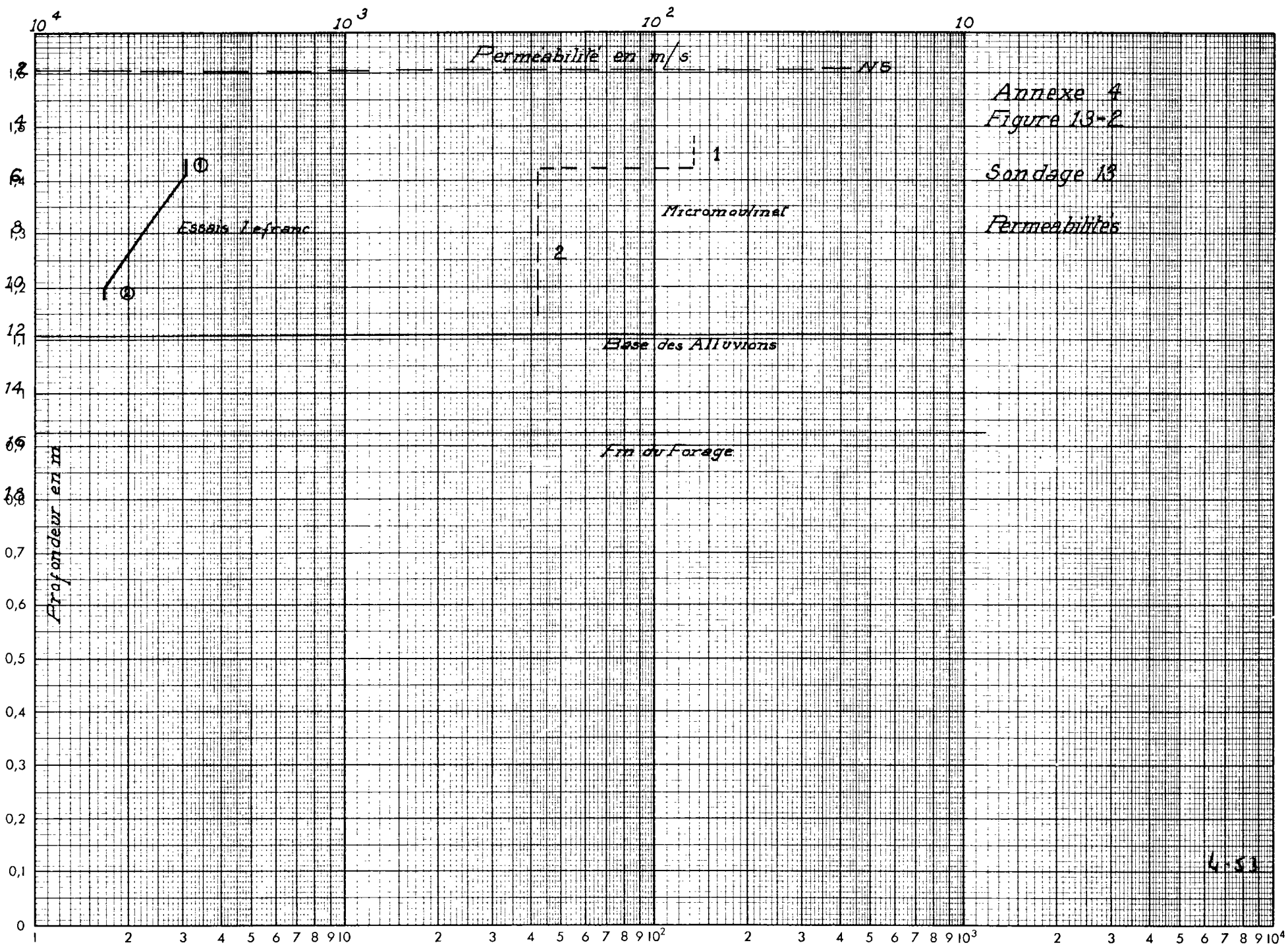












$$\Delta s_Q = 3 \text{ m m}^3/\text{s}$$

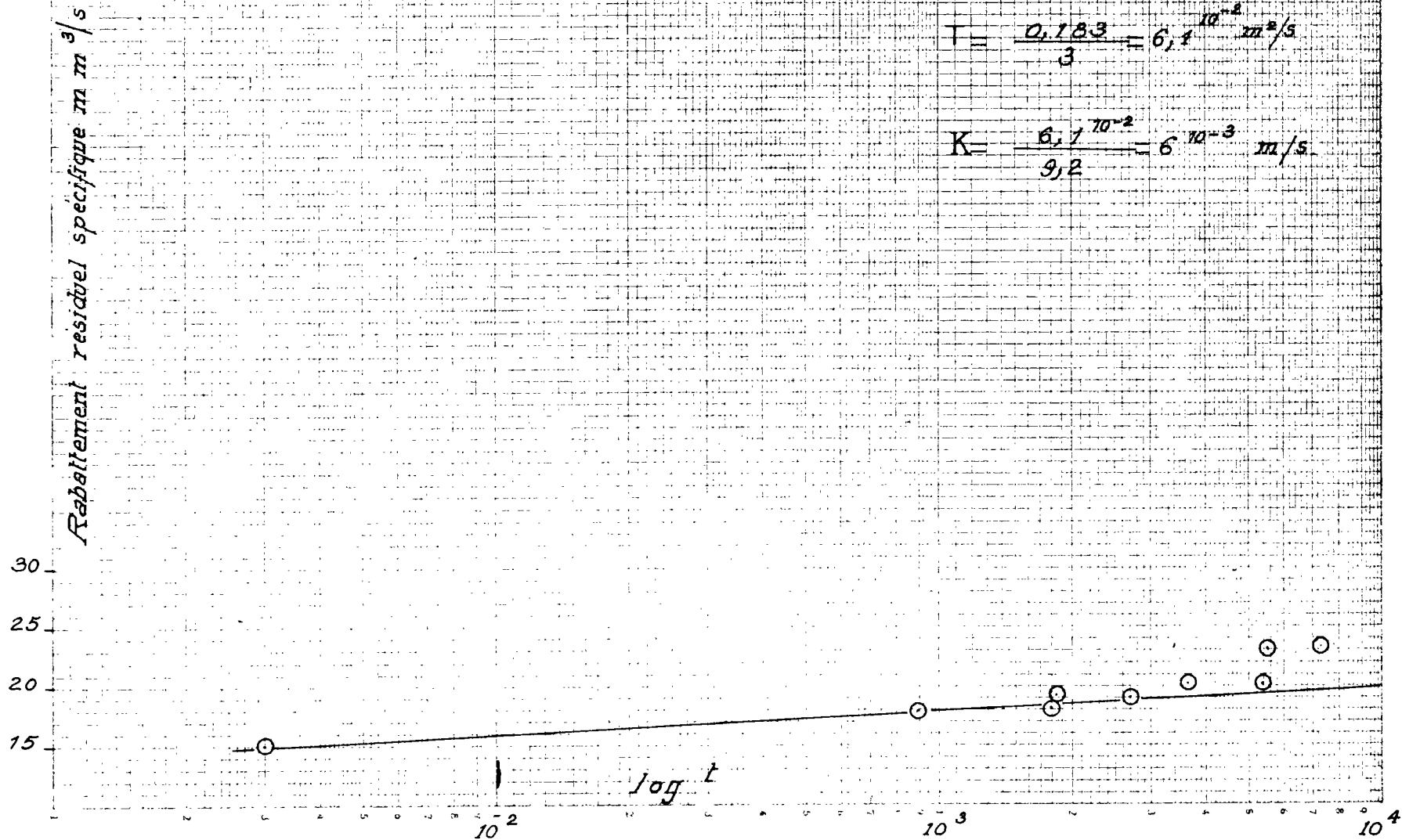
Annexe 4

Figure 13-3

Sondage 13 Pompage

$$T = \frac{0,183}{3} = 6,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

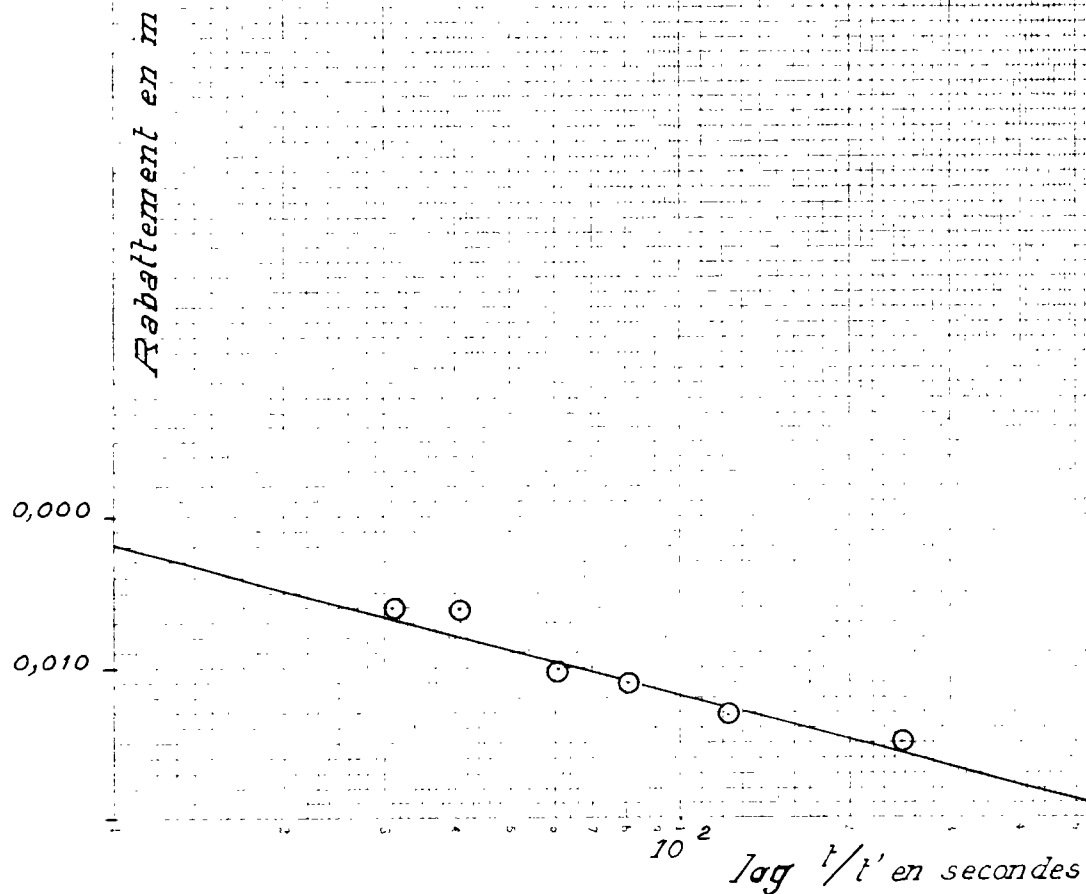
$$K = \frac{6,1 \cdot 10^{-2}}{9,2} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

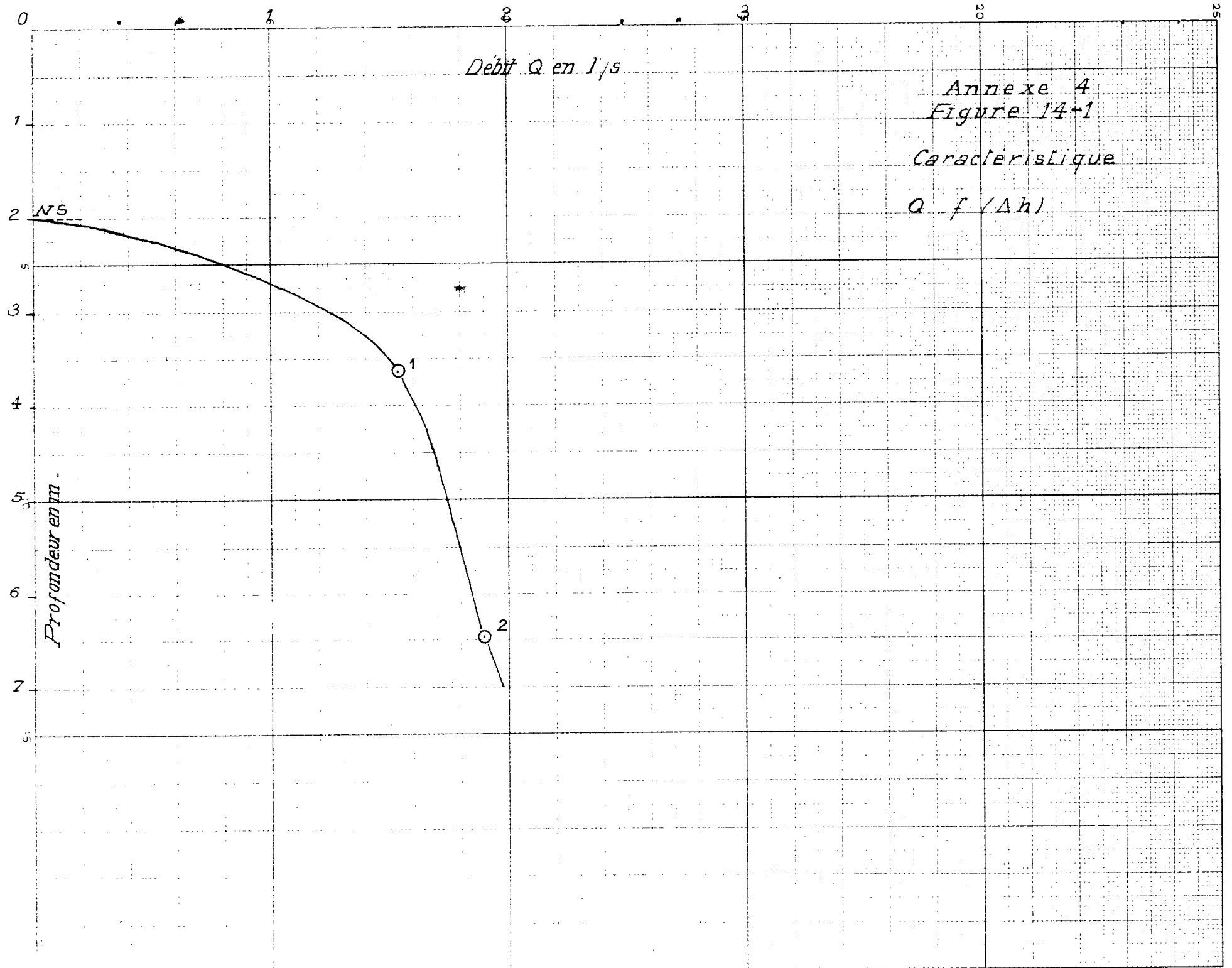


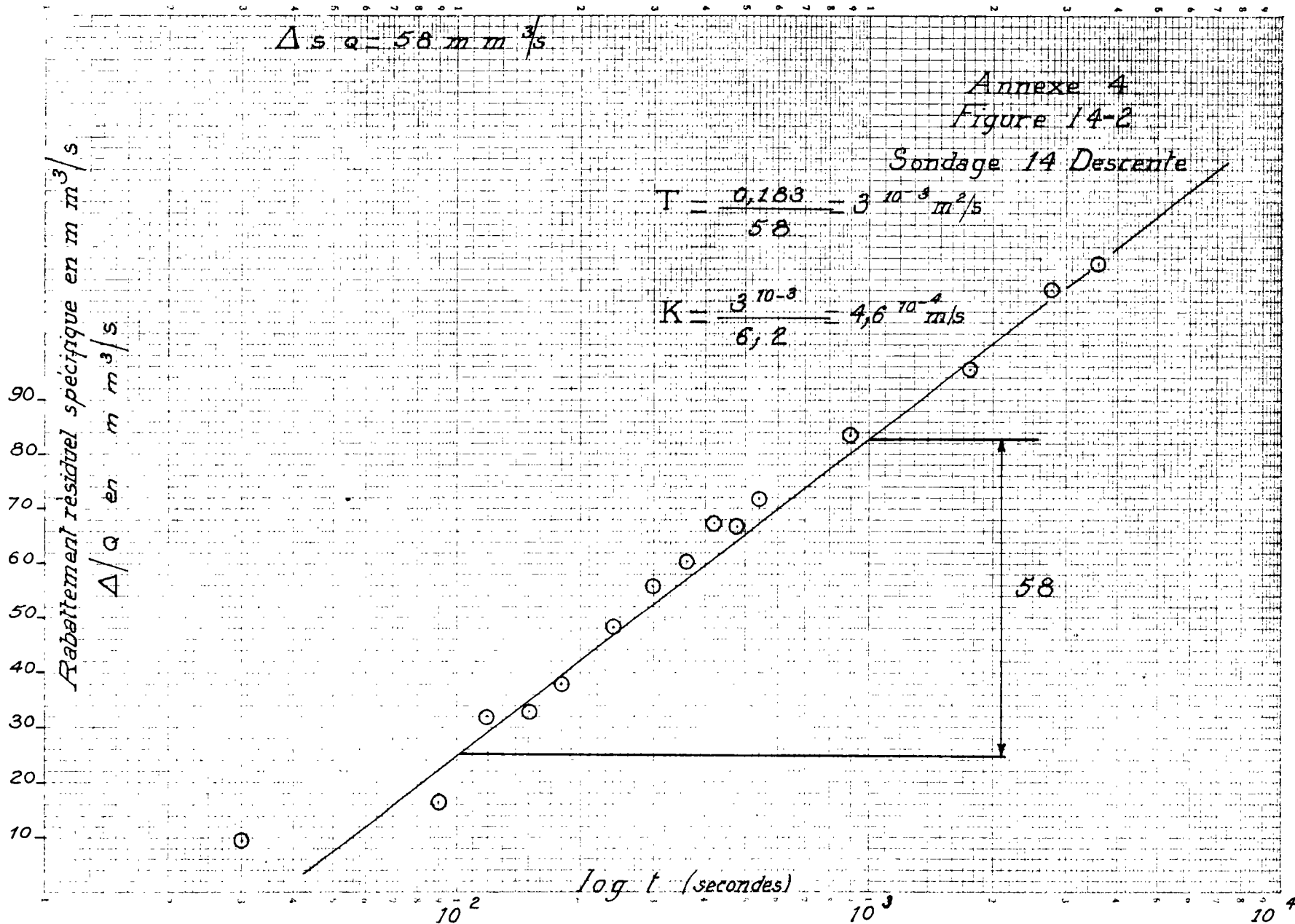
Annexe 4  
Figure 13 4  
Sondage 13. Remontée

$$T = \frac{0,183 \cdot 0,0025}{0,010} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{4,5 \cdot 10^{-2}}{9,2} = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$





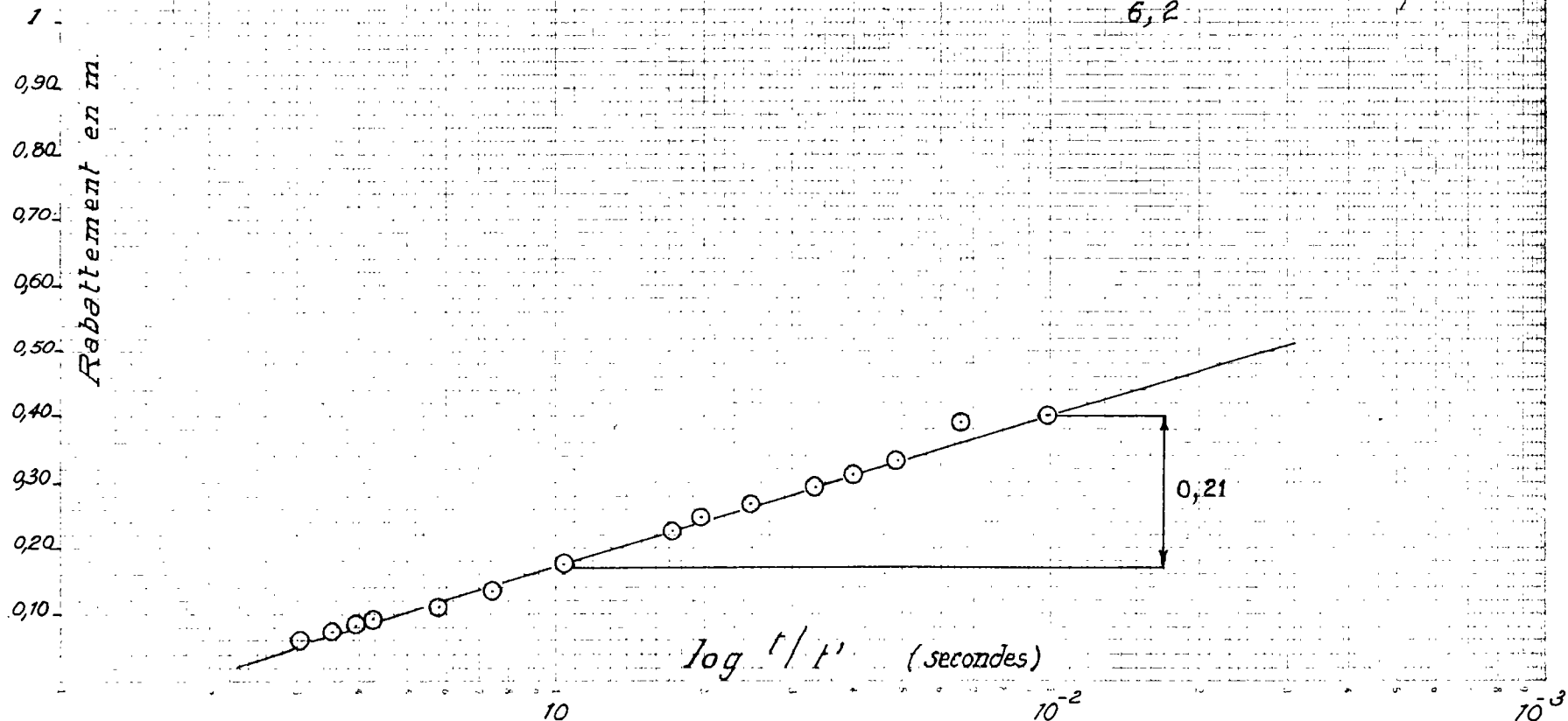




Annexe 4  
Figure 14-3  
Sondage 14 Remontée

$$T = \frac{0,183 \cdot 0,0018}{0,21} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{1,6 \cdot 10^{-3}}{6,2} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$



Débit  $Q$  en l/s

Annexe 4  
Figure 15-1  
Sondage 15

Caractéristique

$$Q = f(\Delta h)$$

Profondeur en m

3,50

3,00

2,5

1

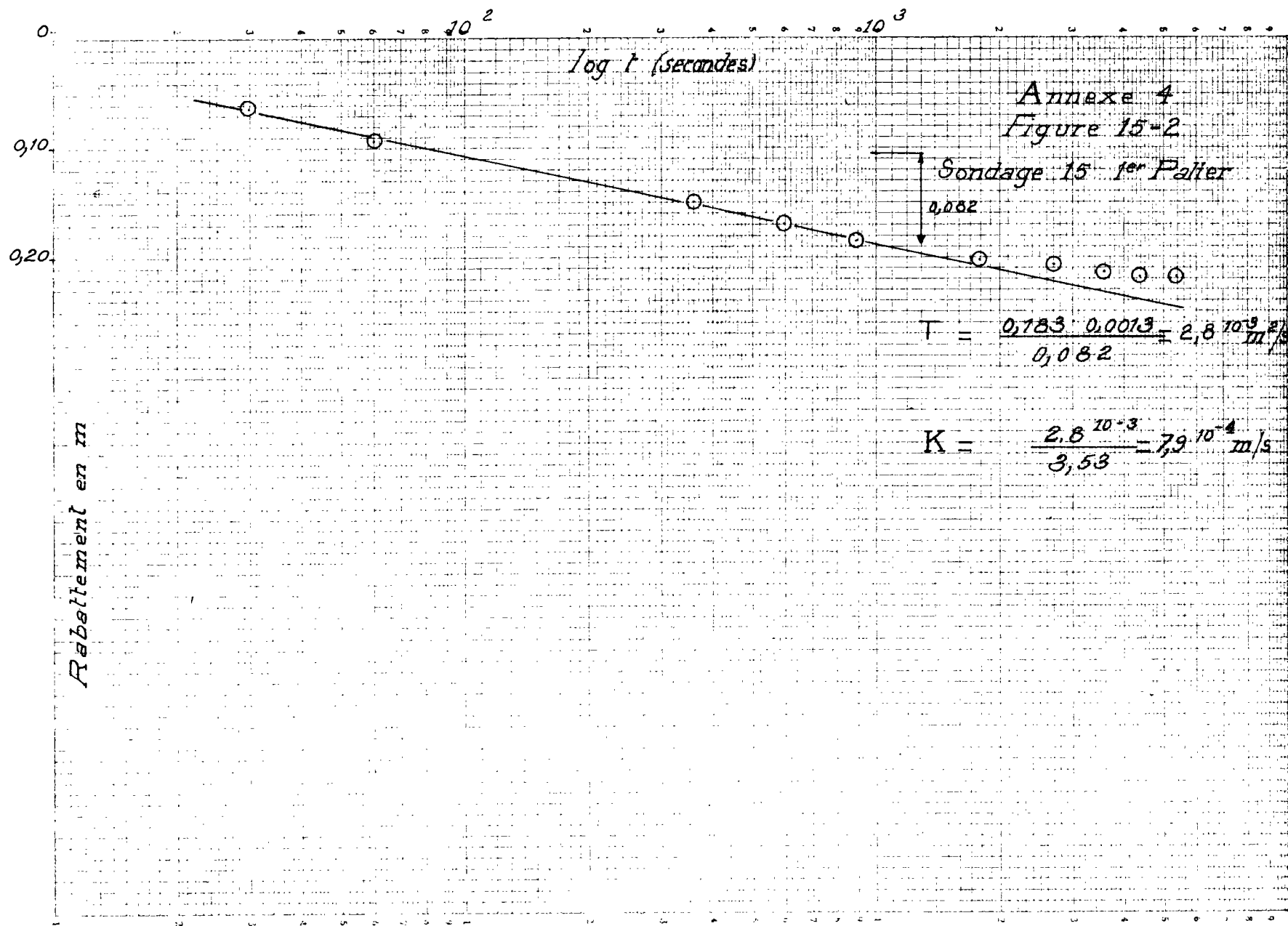
0,5

0,2

0,1

0,05

0



Annexe 4  
Figure 15-3

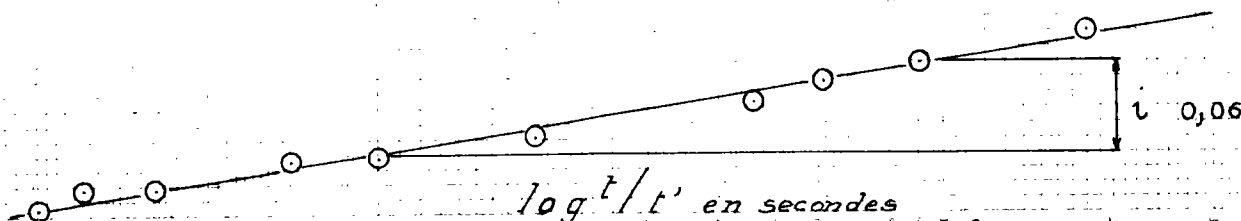
Sondage 15 Remontée

$$T = \frac{0,183 \cdot 20013}{0,06} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{3,9 \cdot 10^{-3}}{3,53} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Rabatement en m.

0,10

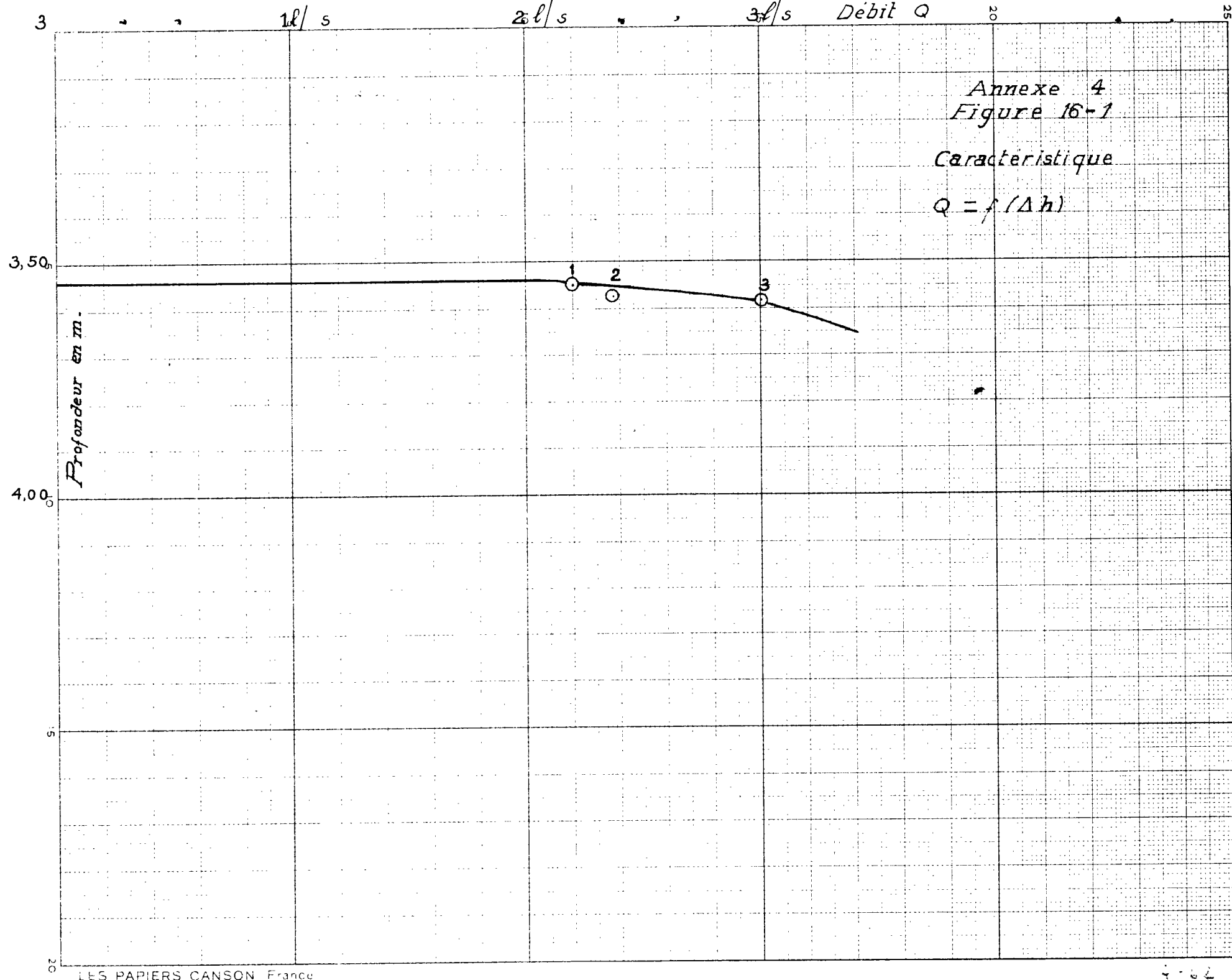


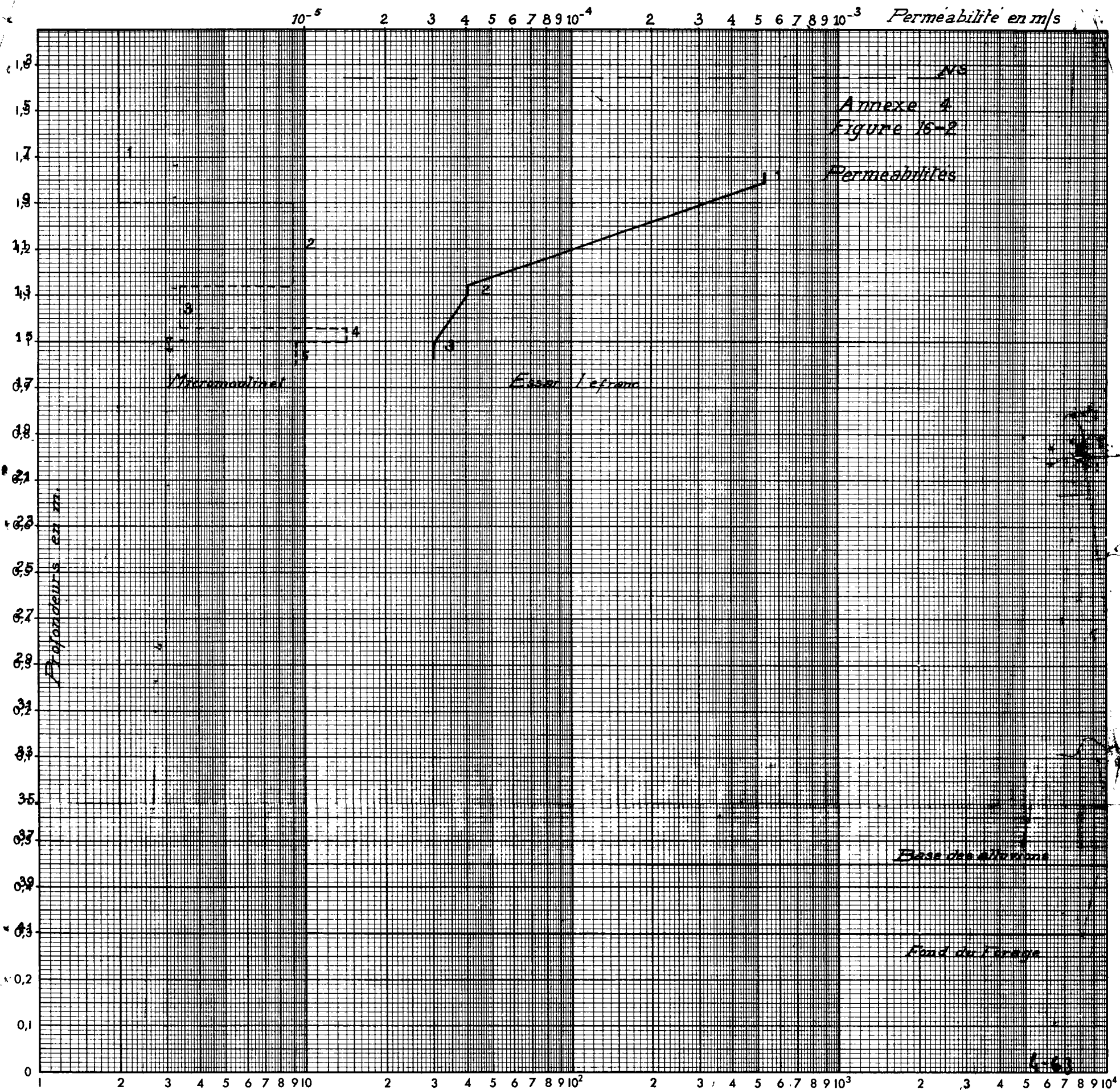
$\log t/t'$  en secondes

10

$10^2$

$10^3$



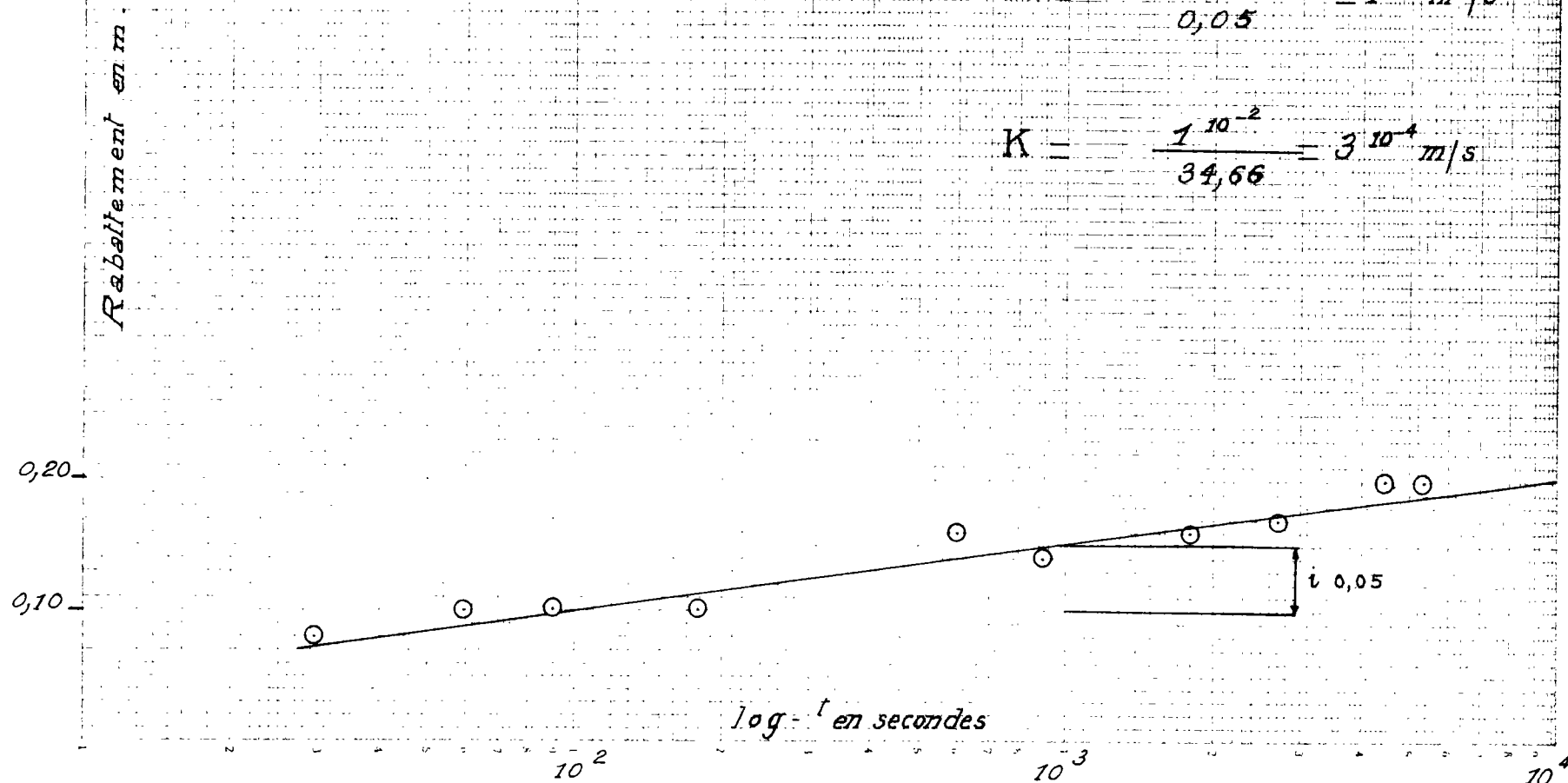


Annexe 4  
Figure 16-3

Sondage 16 Descente 3<sup>e</sup> palier

$$T = \frac{0,183 \cdot 0,0029}{0,05} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{34,66} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$



A N N E X E 5

ETUDE DE LA NAPPE DE LA CRAU  
-----

Projet d'exploitation de la nappe.

Méthode de calcul.

-:-:-

par J. FORKASIEWICZ - B.R.G.M.



## Projet d'exploitation de la nappe.

-----

### Méthode de calcul.

1. Introduction.
2. Notations employées.
3. Débit maximal d'un forage situé à une distance  $D$  d'une ligne d'émergences.
4. Relation entre le débit d'un puits et la distance jusqu'à la ligne d'émergences.
5. Plusieurs forages alignés à une certaine distance de la ligne d'émergences.
6. Groupe de  $n$  forages disposés suivant un cercle.
7. Débit limite d'exploitation pour ne pas provoquer la venue d'eau salée.
8. Remarque.

## Méthode de calcul.

### 1. Introduction.

Les ouvrages de captage au début sont toujours en régime transitoire non permanent, c'est-à-dire que lorsque l'on pompe dans un puits on crée un cône de dépression qui se propage jusqu'aux limites de la nappe. Une fois que le cône a rejoint la zone d'alimentation ou la zone d'émergence de la nappe, l'équilibre s'établit et les ouvrages se trouvent en régime permanent.

Or, la nappe de la Crau, entre Fos et Mas de Vincent, se trouve à la proximité de sa limite aval constituée par une ligne d'émergences à niveau d'eau constant et le régime permanent sera atteint très vite.

Le début de stabilisation se manifestera après la durée de pompage :

$$t = \frac{D^2 S}{T}$$

Cette durée, indiquée au tableau I, a été calculée pour un certain nombre de valeurs de T, S et D admises pour la Crau.

### 2. Notations employées.

- K - perméabilité
- H - épaisseur de la couche aquifère
- T = KH - transmissivité hydraulique
- S - coefficient d'emmagasinement
- i - pente de la surface piézométrique
- L - longueur du front de la nappe
- q - débit d'un forage

T A B L E A U I

Durée de pompage  $t = \frac{D^2 S}{T}$  en jours, correspondant au début de stabilisation du niveau d'eau dans le puits.

Transmissivité T		Distance à la limite					
		D = 1.000m			D = 2.000m		
en m <sup>2</sup> /h	en m <sup>2</sup> /j	S= 0,18	S= 0,10	S= 0,05	S= 0,18	S= 0,10	S= 0,05
1.000	26.400	7	4	2	27	15	8
300	7.200	25	14	7	100	55	28
200	4.800	38	21	10	150	84	42
150	3.600	50	28	14	200	110	55

- Q - débit total d'un groupe de forages  
h - hauteur d'eau dans le puits en pompage par rapport au substratum.  
Y = H-h - dépression du niveau piézométrique à la paroi du puits due au pompage.  
t - temps de pompage  
r - rayon du puits  
a - distance séparant deux forages successifs  
D - distance entre le forage ou le groupe de forages et une ligne d'émergences d'eau à niveau constant;

3. Débit maximal d'un forage situé à une distance D d'une ligne d'émergences.

On sait que, dans le cas d'un puits implanté dans une nappe libre et situé à la distance D d'une ligne d'émergences à niveau d'eau constant, le débit d'un puits en régime permanent se calcule suivant l'expression:

$$Q = \pi K \frac{(H^2 - h^2)}{\log_e \frac{2D}{r}} *$$

ou en remplaçant  $(H^2 - h^2)$  par  $\frac{2(H+h)}{2} (H-h)$

$$Q = \frac{YK \frac{(H + h)}{2}}{0,366 \log \frac{2D}{r}}$$

Le débit maximal  $Q_{\max}$  d'un puits sera déduit de la dépression maximale  $Y_{\max}$  admissible:

$$Q_{\max} = \frac{Y_{\max} K \frac{(H + h)}{2}}{0,366 \log \frac{2D}{r}} \quad 1)$$

4. Relation entre le débit d'un puits et la distance jusqu'à la ligne d'émergence.

Un puits qui se trouve à proximité de la zone d'alimentation débite plus qu'un puits situé à grande distance de cette zone.

Cependant, comme le débit d'un puits est inversement proportionnel au logarithme du rapport de la distance D au rayon du puits r, l'effet du changement de la distance se fait sentir surtout dans la proximité des émergences. Ainsi, un puits de 0m45 de diamètre situé à 10 km (voir graphique joint) débiterait 20% de moins (pour la même dépression) qu'un puits situé à 1 km, mais un puits situé à 50 km débiterait seulement 1% de moins qu'un puits situé à 40 km.

5. Plusieurs forages alignés à une certaine distance de la ligne d'émergences.

soit n forages alignés parallèlement à la ligne d'émergences. La dépression observable à la paroi d'un forage sera la somme des dépressions provoquées par le pompage de chaque forage.

$$Y = y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_n = \frac{0,366}{K \left( \frac{H+h}{2} \right)} \left[ q_0 \log \frac{2D}{r} + q_1 \log \frac{b_1}{a_1} + q_2 \log \frac{b_2}{a_2} + \dots + q_n \log \frac{b_n}{a_n} \right] *$$

ou:

$a_1, a_2, \dots, a_n$  - distances du forage examiné aux forages réels

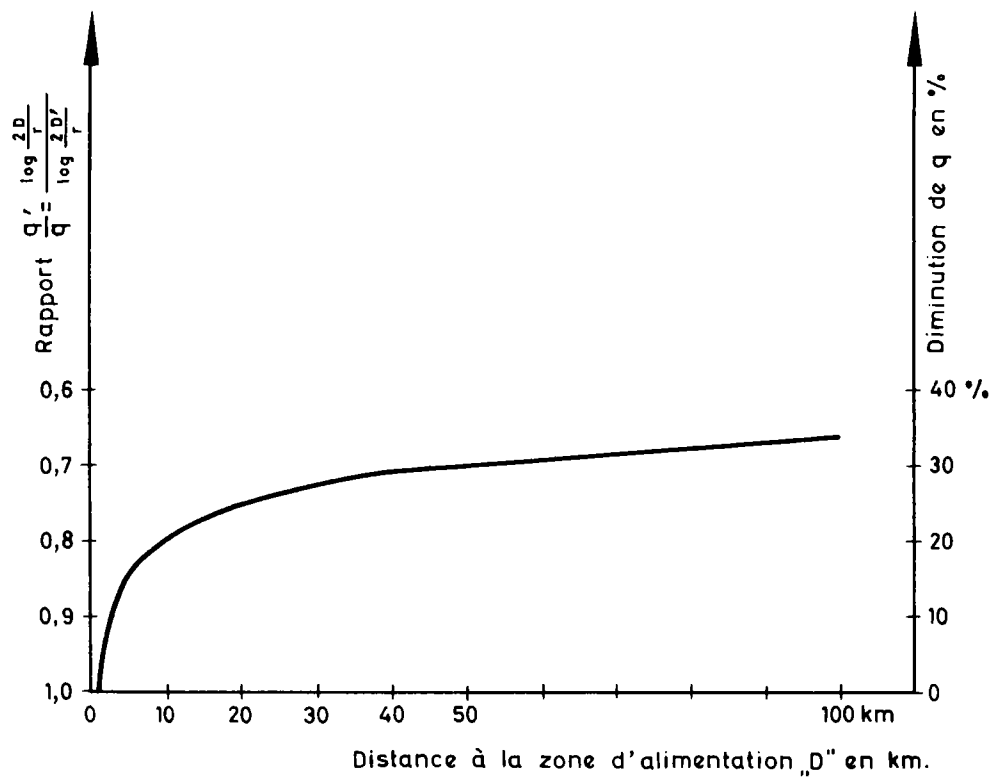
$b_1, b_2, \dots, b_n$  - distances du forage examiné aux forages imaginaires ( voir fig. 1)

et si  $q_0 = q_1 = q_2 = q_n$  on obtient:

---

\* Exemple analogue cité dans "Les eaux souterraines" de H. SCHOELLER, page 565.

Relation : débit „q” d’un puits de 0,45m de diamètre —  
 — Distance „D” à la zone d’alimentation.



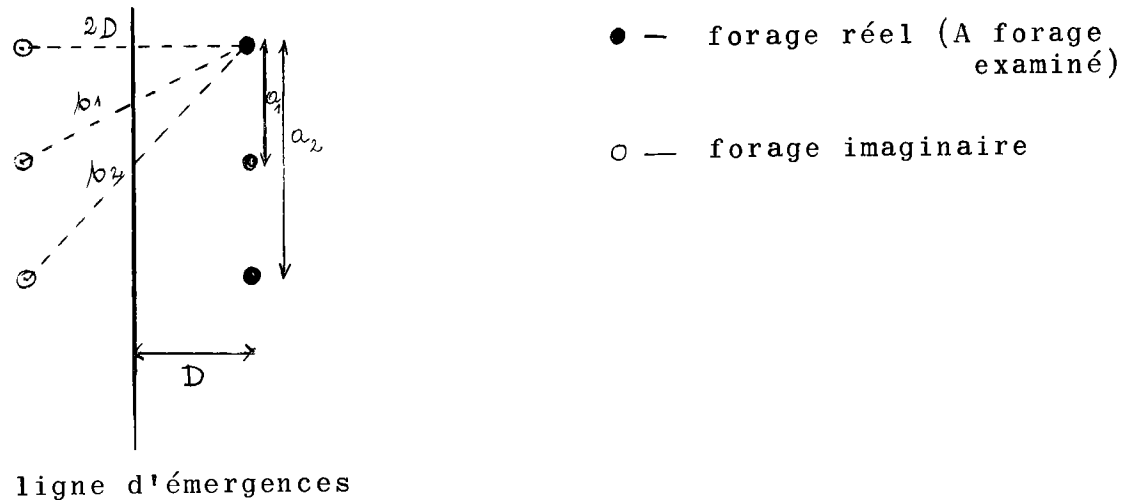
$q$  - Débit d'un puits situé à  $D = 1 \text{ km}$ .

$q'$  - Débit d'un puits situé à  $D' = 2, 3, 4 \dots 100 \text{ km}$ .

$r$  - Rayon d'un puits admis égal à  $0,225 \text{ m}$ .

$$Y = 0,366 \frac{q_v}{K \left( \frac{H+h}{2} \right)} \left[ \log \frac{2D}{r} + \sum \log \frac{bn}{an} \right]$$

fig. 1



Le débit maximal  $q'_{\max}$  d'un forage d'alignement sera donc pour la dépression:

$$y = y_{\max} :$$

$$q'_{\max} = \frac{Y_{\max} K \left( \frac{H+h}{2} \right)}{0,366 \left[ \log \frac{2D}{r} + \sum \log \frac{bn}{an} \right]} \quad (2)$$

$$\text{Le rapport } \frac{q'_{\max}}{q_{\max}} = \frac{\log \frac{2D}{r}}{\left[ \log \frac{2D}{r} + \sum \log \frac{bn}{an} \right]}$$

exprimera au point de vue du débit le degré d'indépendance des forages.

Les valeurs de ce rapport calculées en fonction de "D" et "a" pour le forage central d'un alignement (le plus influencé par

les forages voisins) et le forage situé à l'extrémité de l'alignement figurent dans le tableau ci-dessous:

Nombre de forages	a= 0,5D	a= 0,75D	a= 1D	a=1,5D	a= 2D
2	0,85	0,90	0,92	0,95	0,97
3	0,76	0,83	0,86	0,90	0,93
5	0,67	0,76	0,80	0,87	0,91
7	0,63	0,73	0,77	0,86	0,90
9	0,60	0,71	0,76	0,85	0,90
11	0,58	0,70	0,76	0,85	0,90
-----	-----	-----	-----	-----	-----
forage situé à l'extrémité	0,70	0,80	0,85	0,90	0,93

Nous en retiendrons qu'avec l'espacement de forages égal à 1,5 D, le débit diminuerait (pour une même dépression) tout au plus de 15% dans le forage central et de 10% dans le forage extrême de l'alignement.

Quoique cette réduction du débit n'est pas importante et souvent elle peut être négligée, vu l'imprécision de données de base utilisées, nous en tiendrons compte dans le cas présent pour les raisons de sécurité.

#### 6. Groupe de n forages disposés suivant un cercle.

Si le débit que l'on peut obtenir par forage est très important ( $q > 1000 \text{ m}^3/\text{h}$ ), ce qui arrive dans les zones à transmissivité hydraulique très élevée, et l'extraction de ce débit d'un seul forage paraît difficile, le problème peut être résolu en réalisant au lieu d'un forage un groupe de forages disposés suivant un cercle.



La dépression totale  $Y_n$  d'un groupe de  $n$  forages disposés sur un cercle de rayon  $R$ , en fonction du débit total  $Q = nq$  et de la distance  $D$  jusqu'à la ligne d'émergences est:

$$Y_n = 0,366 \frac{Q}{K \left( \frac{H+h}{2} \right)} \left[ \log \frac{2D}{R} + \frac{1}{n} \log \frac{R}{r} - \frac{1}{n} \log n \right] *$$

et:

$$Y_n = K \left( \frac{H+h}{2} \right)$$

$$Q = nq = \frac{Y_n}{0,366 \left[ \log \frac{2D}{R} + \frac{1}{n} \log \frac{R}{r} - \frac{1}{n} \log n \right]} \quad (3)$$

On démontre que le comportement de ce groupe de  $n$  forages sera analogue à celui d'un forage qui débiterait seul  $Q = nq$  pour la même dépression  $y = y_n$  et qui aurait le rayon équivalent (rayon du forage)  $r_e$  calculable d'après la formule:

$$\log \frac{r_e}{R} = \frac{n-1}{n} \log 2 + \frac{1}{n} \left[ \log \frac{r}{R} + \sum_{i=1}^{n-1} \log \sin \frac{\pi i}{n} \right] **$$

Le débit  $Q = nq$  calculé par la formule 3 serait, dans le cas d'un alignement de forages, à diminuer compte tenu de l'influence de forages voisins.

#### 7. Débit limite d'exploitation pour ne pas provoquer la venue d'eau salée.

Dans le cas d'un forage implanté dans une nappe dont l'écoulement s'effectue vers une zone d'émergence à niveau d'eau constant, on démontre (voir "Circuits de refroidissement industriels alimentés par puisage et injection d'eau souterraine" par E. BERKALOFF) qu'il n'y a pas d'inversement de sens d'écoulement donc, dans notre cas, de remontée d'eau salée tant que le débit du forage reste inférieur au débit limite:

$$Q_o = DTi \quad (4)$$

Dans le cas d'un alignement de forages, l'inversement de sens d'écoulement commencera avec le débit  $Q'_o$  plus faible que  $Q_o$  calculé pour un seul puits. Les valeurs du rapport  $\frac{Q'_o}{Q_o}$  ne dépendront que de la distance "a" séparant

\* D'après E. BERKALOFF.

\*\* "Les Eaux souterraines, H. SCHOELLER, p. 560.

deux forages successifs (voir "Circuits de refroidissement industriels alimentés par puisage et injection d'eau souterraine" par E. BERKALOFF).

Ainsi pour :

$$a = 1D \quad \frac{q'_0}{q_0} = 0,32$$

$$a = 1,5D \quad \frac{q'_0}{q_0} = 0,46$$

$$a = 2D \quad \frac{q_{0'}}{q_0} = 0,58$$

$$a = 3D \quad \frac{q_{0'}}{q_0} = 0,75$$

Remarque:

Dans nos raisonnements et nos calculs, nous n'avons pas tenu compte de la limite orientale de la nappe de la Crau située perpendiculairement à la ligne d'émergences et constituée par des collines molassiques, en raison de la méconnaissance de ses caractéristiques hydrauliques.

Cependant, cette limite étant très proche de l'extrémité orientale de l'alignement (à 1,5 km du 1er groupe de forages de la zone A), nous avons, en souci de sécurité, effectué des calculs approximatifs pour déceler l'influence possible de cette limite dans le cas le plus défavorable: celui d'une barrière étanche par rapport à la nappe de cailloutis.

Ce cas, comportant à la fois une ligne d'émergences rectiligne et une barrière étanche transversale, a été traité par E. BERKALOFF.\*

Il résulte de son raisonnement, que dans notre cas: d'un alignement situé parallèlement à la ligne d'émergences à la distance D et dont les forages sont situés à des distances successives:

$$S_1 = a = 1,5D, S_2 = 2a = 3D, S_3 = 3a = 4,5 D \dots S_{11} = 11a = 16,5D$$

de la barrière étanche, l'influence de cette barrière devient négligeable à partir de  $S_4 = 6D = 6 \text{ km}$  (si  $D = 1 \text{ km}$ ) et pour les distances inférieures, elle s'exprime par la réduction du débit d'un forage de 2% au maximum.

En conséquence, si nous négligeons complètement l'influence de cette barrière, nous n'introduiront qu'une erreur très faible dans nos résultats.

Pour la même raison, nous négligeons l'influence de la limite Nord-Ouest distante de 14km de l'extrémité de l'alignement.

A N N E X E 6

---

HISTOIRE GEOLOGIQUE DE LA CRAU

— — — —

### Période anté-miocène

Durant la très longue période correspondant à la fin du Jurassique et à la plus grande partie du Crétacé se déposent sur toute la Provence, à l'ouest du massif émergé des Maures, des sédiments calcaires sur une grande épaisseur.

Une émergence correspondant à l'isthme durancien se produit à l'Aptien ; elle permet le dépôt de la bauxite, recouverte transgressivement par des sédiments marins puis fluviolacustres, dont l'aire d'affleurement est réduite. Une première phase orogénique se produit pendant le dépôt de ces sédiments continentaux avant la fin du Crétacé (Maëstrichtien) ; après quoi ces dépôts reprennent ; ceux-ci, d'ailleurs très puissants, plus à l'est, dans l'actuel bassin de l'Arc et de l'étang de Berre, sont ici très réduits en épaisseur et localisés aux environs de la chaîne des Alpilles ; ils ne paraissent pas s'être déposés (ou ont été enlevés par des érosions ultérieures) plus au sud.

C'est alors, à la fin de l'Eocène, que se produit la très importante phase orogénique qui détermine la structure de la région et soulève les Alpilles, la chaîne de la Fare et la Nerthe. Cette surrection est suivie d'effondrements qui sont à l'origine du bassin oligocène de Marseille, d'Aix et du delta du Rhône<sup>(1)</sup>, mais ce dernier bassin est limité à l'est du méridien d'Arles et plus à l'est il n'y a sur la Crau, dont le relief a dû, jusqu'à la fin du Miocène, s'élever à la hauteur des collines de Vernègues, qu'affaiblement peu prononcé. L'érosion est active et l'on tend d'ailleurs vers une pénéplanation générale.

---

(1) Les forages pétroliers de Sainte-Cécile 1, Villeneuve 1 et Vaccarès 1 au sud d'Arles ont rencontré et traversé l'Oligocène.

### Les temps miocènes

La transgression aquitanienne, si elle envahit naturellement la zone effondrée du delta du Rhône, n'atteint pas la Crau : elle atteint seulement la chaîne de la Nerthe au sud.

Par contre, au Burdigalien, la mer envahit la partie nord-ouest de la Crau, recouvre partiellement les Alpilles pénéplanées et pénètre dans le bassin de la Durance. Elle dépose des grès coquilliers (molasses) et des marnes.

La transgression se développe au Vindobonien. La mer dépose toujours des sédiments molassiques ou marneux puis se retire. On ne trouve pas trace en Crau des sédiments continentaux qui se sont déposés ensuite au Miocène supérieur à Aix, mais qu'une érosion postérieure a pu débayer.

La régression marine qui suit est très prononcée, entraînant un creusement très important des vallées jusqu'au dessous de la cote - 200.

A cette époque se place une autre phase orogénique importante, dite alpine, rajeunissant les plis formés lors de la phase pyrénéenne, déformant le Miocène. Il semble d'ailleurs que des mouvements peu accentués se soient produits tout au long de la période miocène expliquant des déformations locales des dépôts de cet âge.

Lors de cette phase alpine, la chaîne des Alpilles se soulève, la région située au sud s'affaisse, entraînant au fond de la dépression la couverture vindobonienne. La dé-

pression formée est un centre d'attraction pour les deux cours d'eau importants, alors séparés, que sont le Rhône et la Durance.

Les sondages effectués dans la région de Fos ont mis en évidence des accidents affectant le substratum miocène et qui, d'orientation nord-nord-ouest - sud-sud-est, seraient d'ultimes manifestations de la phase orogénique alpine.

### Temps pliocènes

Au Pliocène la mer envahit pour la dernière fois la Crau et pénètre dans les profondes et étroites vallées creusées lors de la grande régression antépliocène : elle pénètre, longeant la bordure des Alpilles, jusqu'à Mérindol dans le bassin de la Durance par le pertuis d'Eyguières et dépose des sédiments très argileux pour se retirer ensuite, au fur et à mesure progresse le delta de la Durance qui apporte un abondant matériel détritique à éléments volumineux qui se dépose au sud du seuil d'Eyguières jusqu'à Entressen. Au sud de Salon débouchent aussi l'Arc et la Touloubre.

Les ruisseaux issus de la région des étangs actuels, au sud d'Istres, au moment où se retire la mer pliocène, provoquent des ravinements locaux tel celui mis en évidence par les sondages au nord de Fos (thalweg étroit de direction nord-sud).

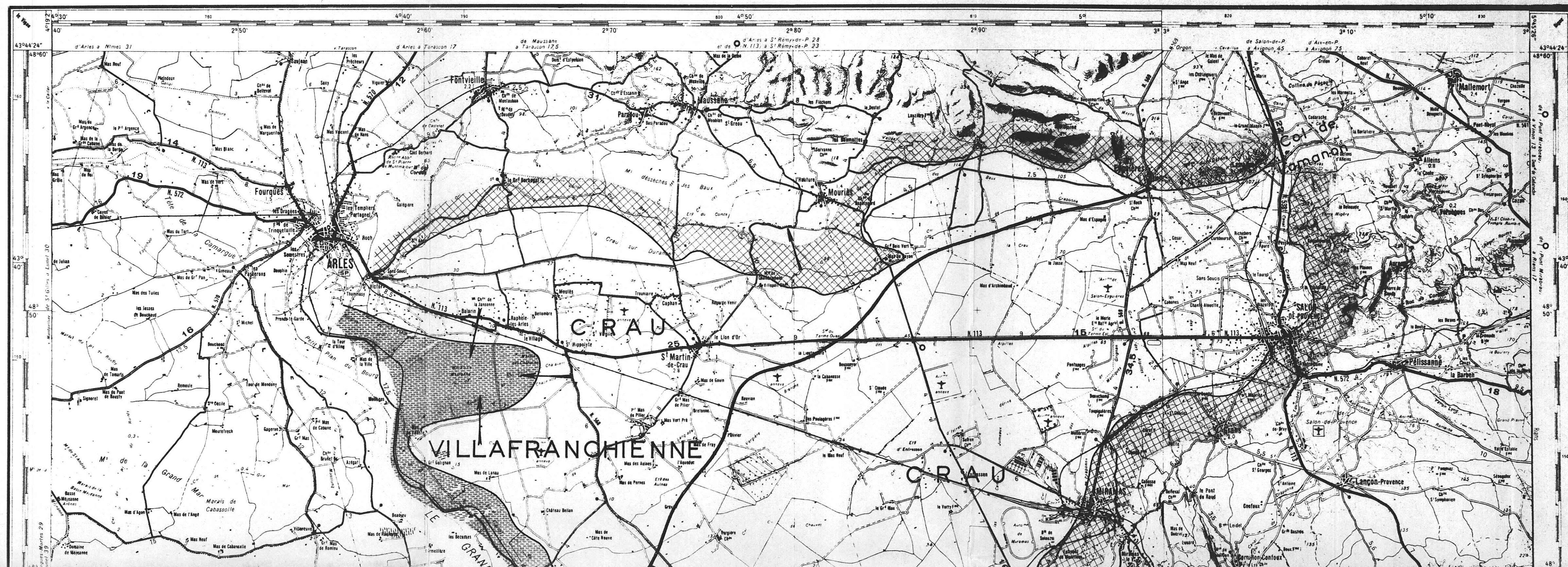
### Quaternaire

Au début du Quaternaire, d'ultimes mouvements tectoniques provoquent l'affaissement du bord sud de la Crau et du seuil de Lamanon et l'isolement des vallées au sud d'Is-  
tres qui deviennent des dépressions fermées. La nappe des cailloutis déjà déposés s'incline vers le sud : la Durance emprunte le seuil de Lamanon (au sud duquel s'est creusé une "reculée" fermée à l'amont par un abrupt de 90 mètres) et coule vers le sillon Salon - Miramas. L'épandage des cailloutis de Crau s'effectue sur une surface régulièrement inclinée vers l'aval. L'Arc s'écoule alors vers l'étang de Berre.

Au début de la régression préflandrienne la Durance abandonne le couloir de Lamanon pour rejoindre le Rhône ; la régression s'accroissant les eaux issues des Alpilles creusent la dépression de Mouriès isolant des Alpilles la "Crau de Durance".

La Crau a maintenant sa physionomie définitive. Lors de la transgression flandrienne la mer, qui avait régressé à la cote - 40, remonte pour se stabiliser à la cote 0 ; elle envahit la dépression de Berre mais ne pénètre pas dans la vallée du Rhône au delà d'Arles ; les matériaux fins entraînés par ce dernier édifient progressivement la Camargue. La dépression de Mouriès isolée, par un bourrelet alluvial grossier, du Rhône, n'est plus drainée vers la mer et se transforme en marécage ; de même le delta du Rhône continuant à progresser, les eaux issues du sous-sol de la Crau ne parvenant plus à s'écouler vers la mer, il se forme une zone de marécage à son extrémité d'aval.





B.R.G.M

S.G.R.P.C

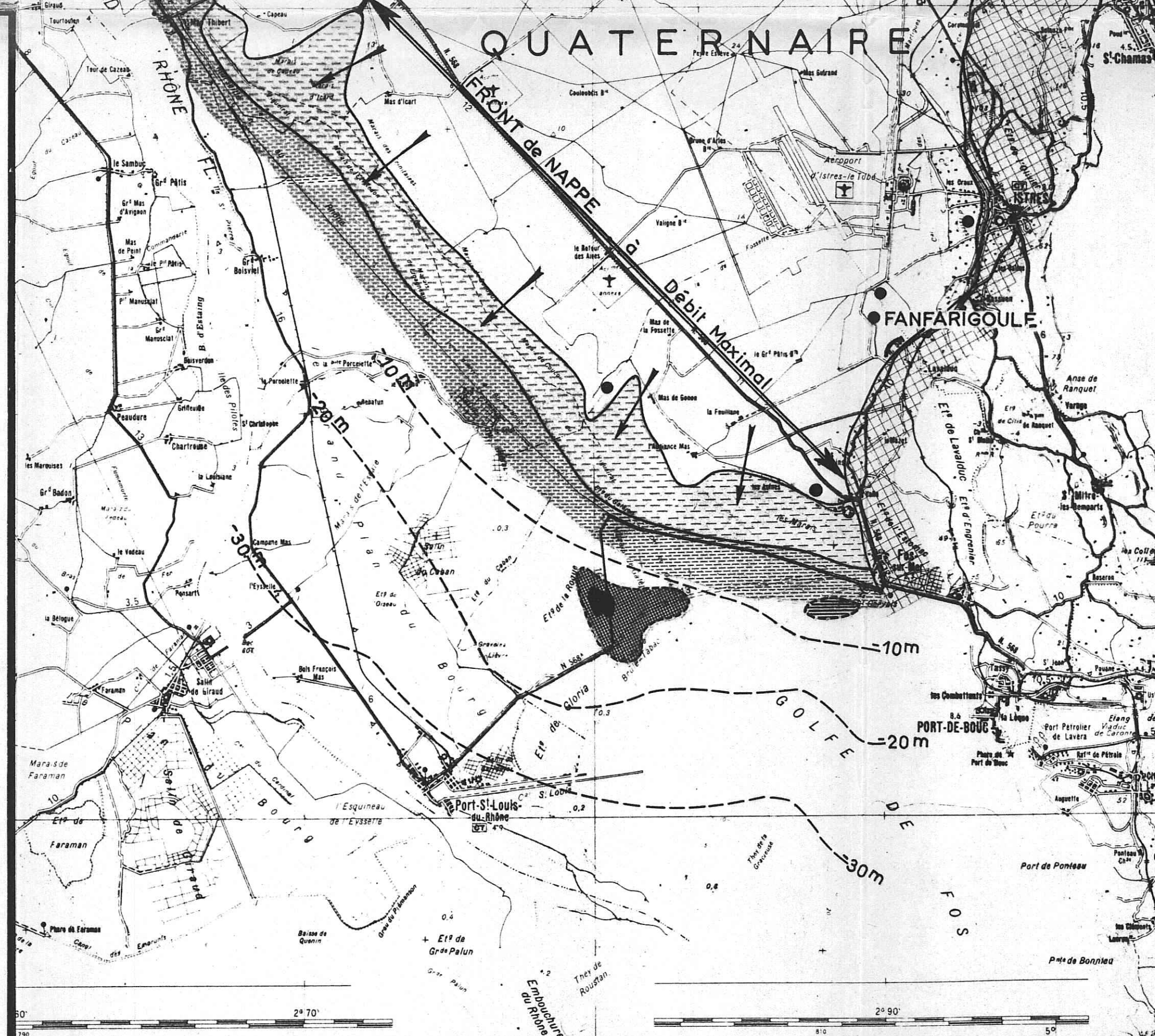
Fig.120

# LA CRAU

## SCHÉMA HYDROGÉOLOGIQUE


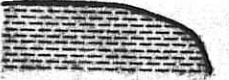



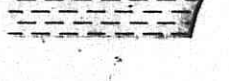

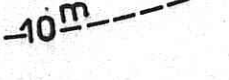




Echelle : 1 / 100.000



### LÉGENDE

#### Limites de la Crau

-  Affleurement du substratum au N et à l'E
-  Recouvrement par les dépôts récents du delta du Rhône à l'W
-  Limite entre la Crau Quaternaire S.E et la Crau Villafranchienne N.W
-  Sens d'écoulement de la nappe
-  Zone d'émergence de la nappe
-  Courbes de niveau du toit des cailloutis de la Crau sous le delta du Rhône
-  Principaux points d'exploitation de la nappe
-  Affleurement de calcaire urgonien
-  Zone reconnue où le calcaire urgonien forme le substratum des cailloutis
-  Zone possible d'émergence sous-marine



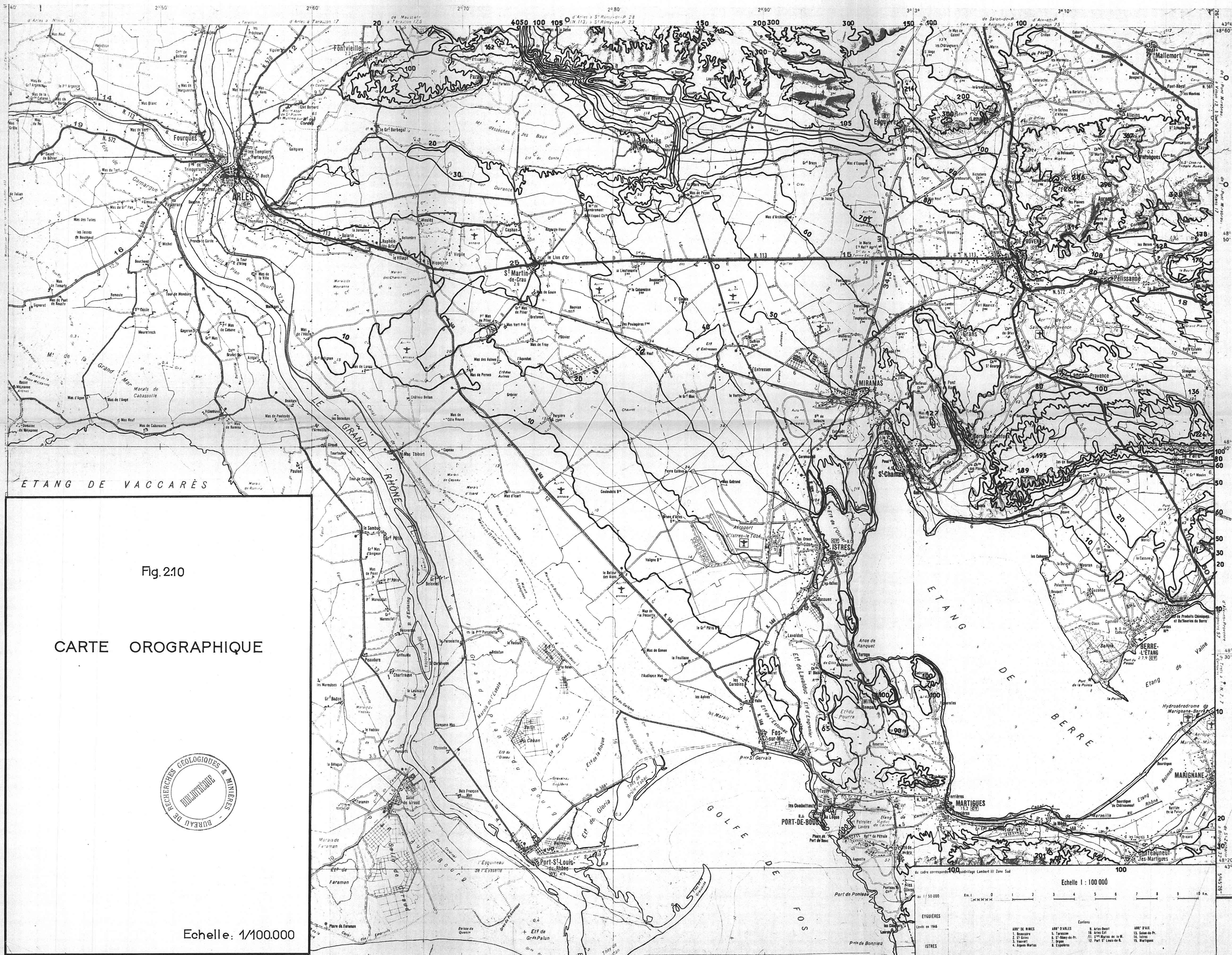


Fig. 210

CARTE OROGRAPHIQUE



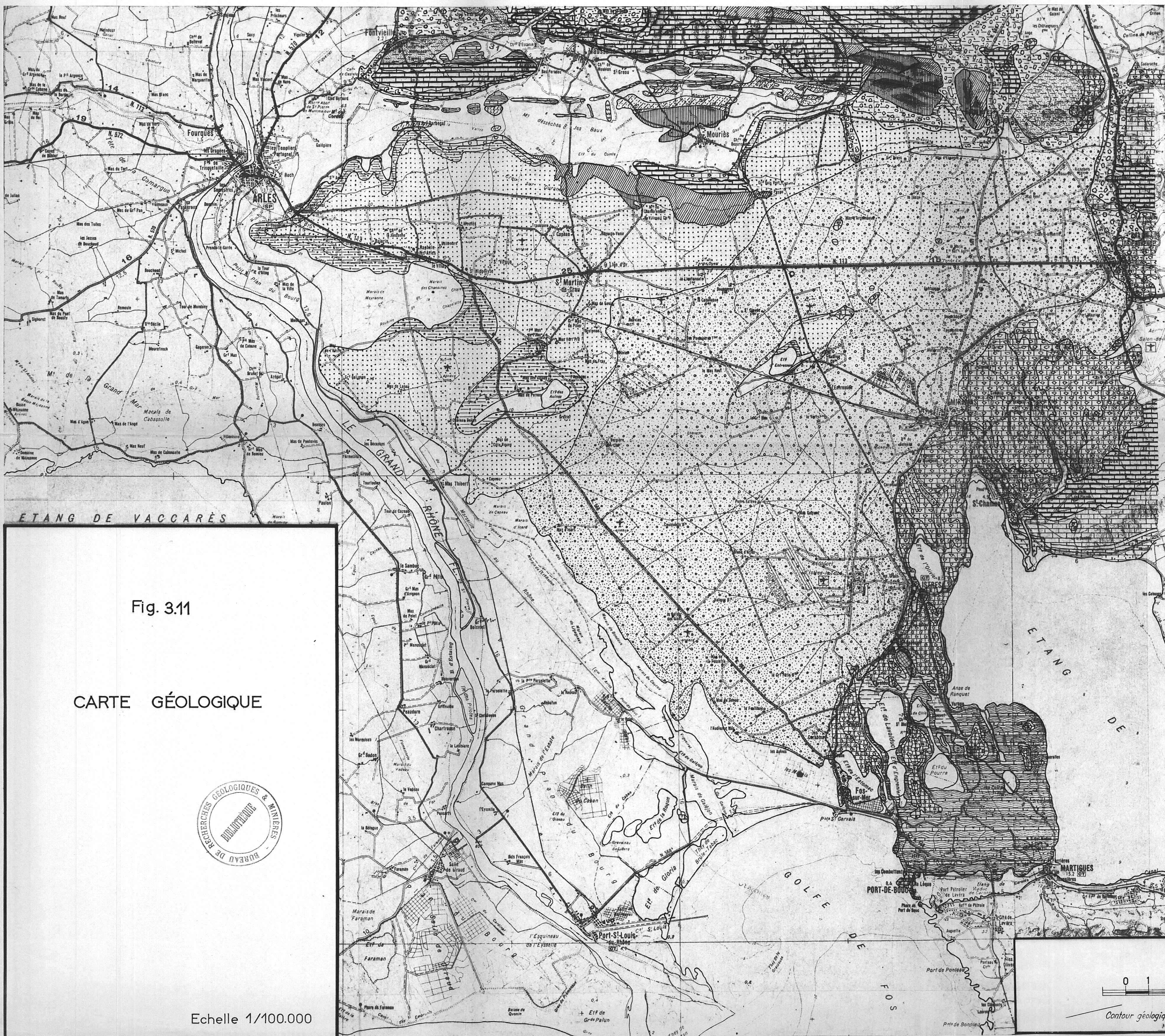
Echelle: 1/100.000

Echelle 1 : 100 000


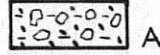
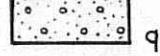
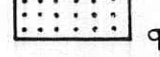
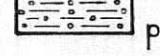
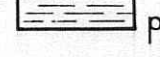
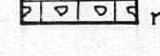
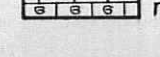
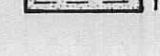










0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 km

ARLES DE NIMES	ARLES DE NIMES	ARLES DE NIMES	ARLES DE NIMES
1. Arles	10. Arles	11. Arles	12. Arles
2. Nîmes	13. Arles	14. Arles	15. Arles
3. Nîmes	16. Arles	17. Arles	18. Arles
4. Nîmes	19. Arles	20. Arles	21. Arles
5. Nîmes	22. Arles	23. Arles	24. Arles
6. Nîmes	25. Arles	26. Arles	27. Arles
7. Nîmes	28. Arles	29. Arles	30. Arles
8. Nîmes	31. Arles	32. Arles	33. Arles
9. Nîmes	34. Arles	35. Arles	36. Arles

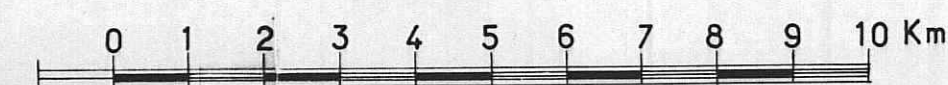




## LÉGENDE

-  a Alluvions modernes et formations récentes
-  A Brèches et éboulis
-  q Poudingue de la G<sup>de</sup> Crau Quaternaire indéterminé
-  q' Villafranchien
-  p Pliocène moyen Astien
-  p' Plaisancien
-  m<sup>3</sup> Molasse à Chlamys scabruscula (Tortonien) et Helvetien
-  m<sup>2</sup> Burdigalien supérieur
-  m<sup>1</sup> Burdigalien inférieur
-  e1-v Eocène inférieur
-  c9 Danien Maëstrichtien Rognacien supérieur Rognacien inférieur, Bégudien
-  c8 Campanien Valdonien Zone du plan d'Aups
-  c7 Santonien Coniacien
-  c6 Turonien
-  B Bauxite
-  c11, III Urgonien
-  c1v, v Hauterivien Valanginien
-  c1v Berriasien
-  J7-8 Portlandien Kimmeridgien

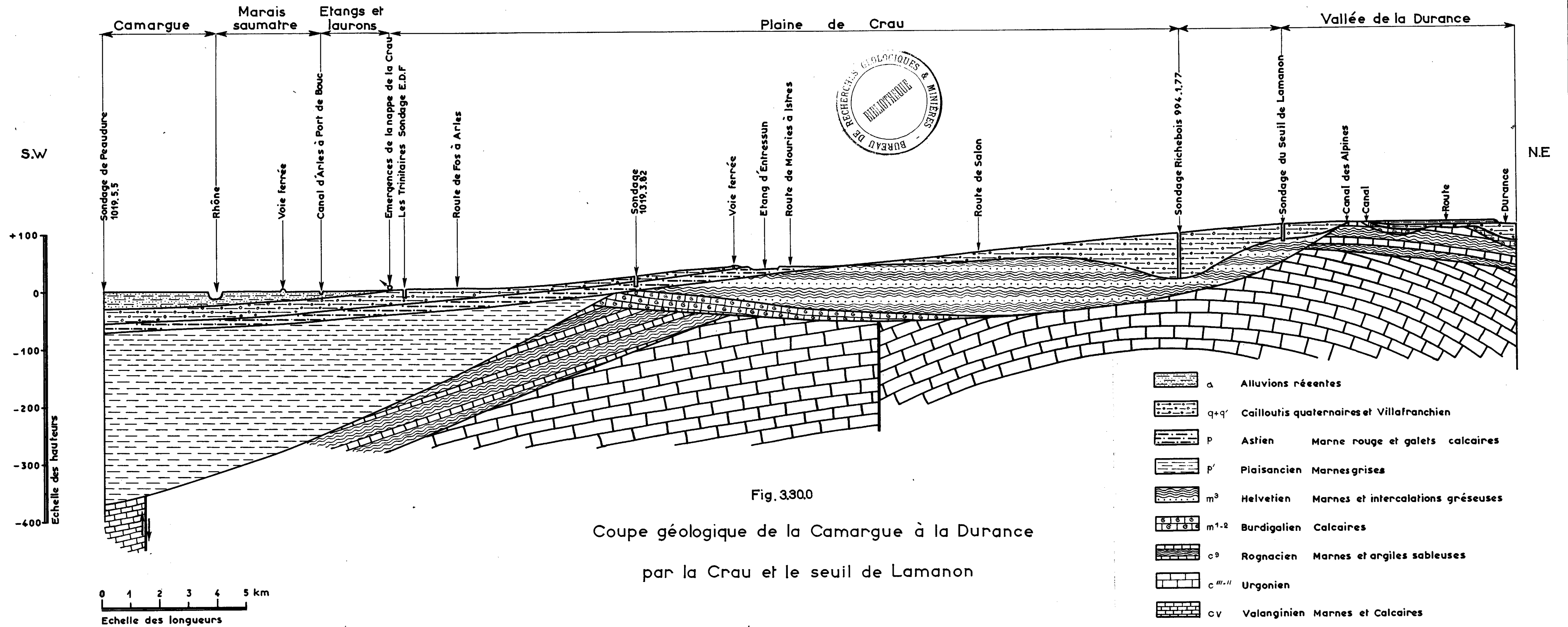
## ECHELLE

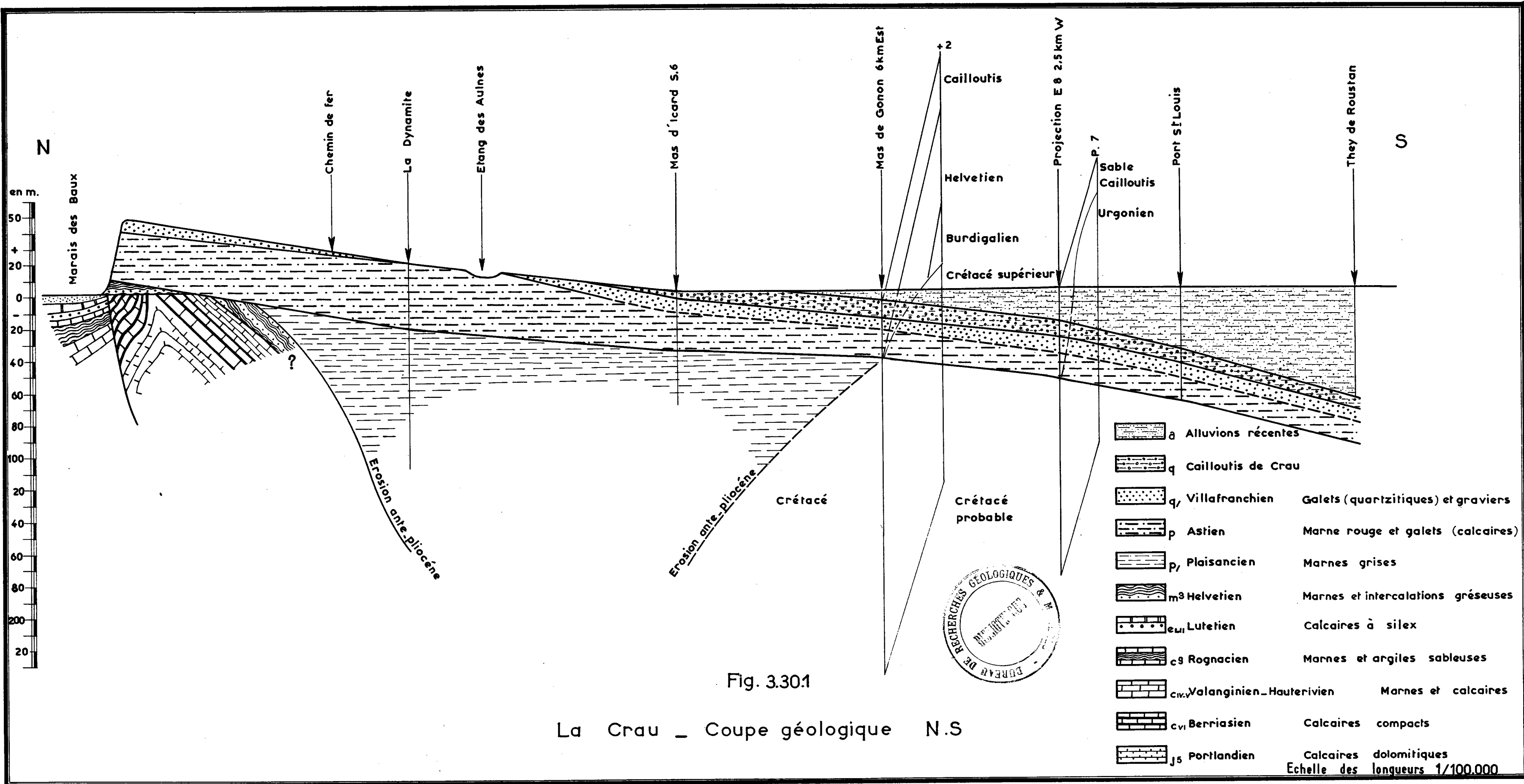


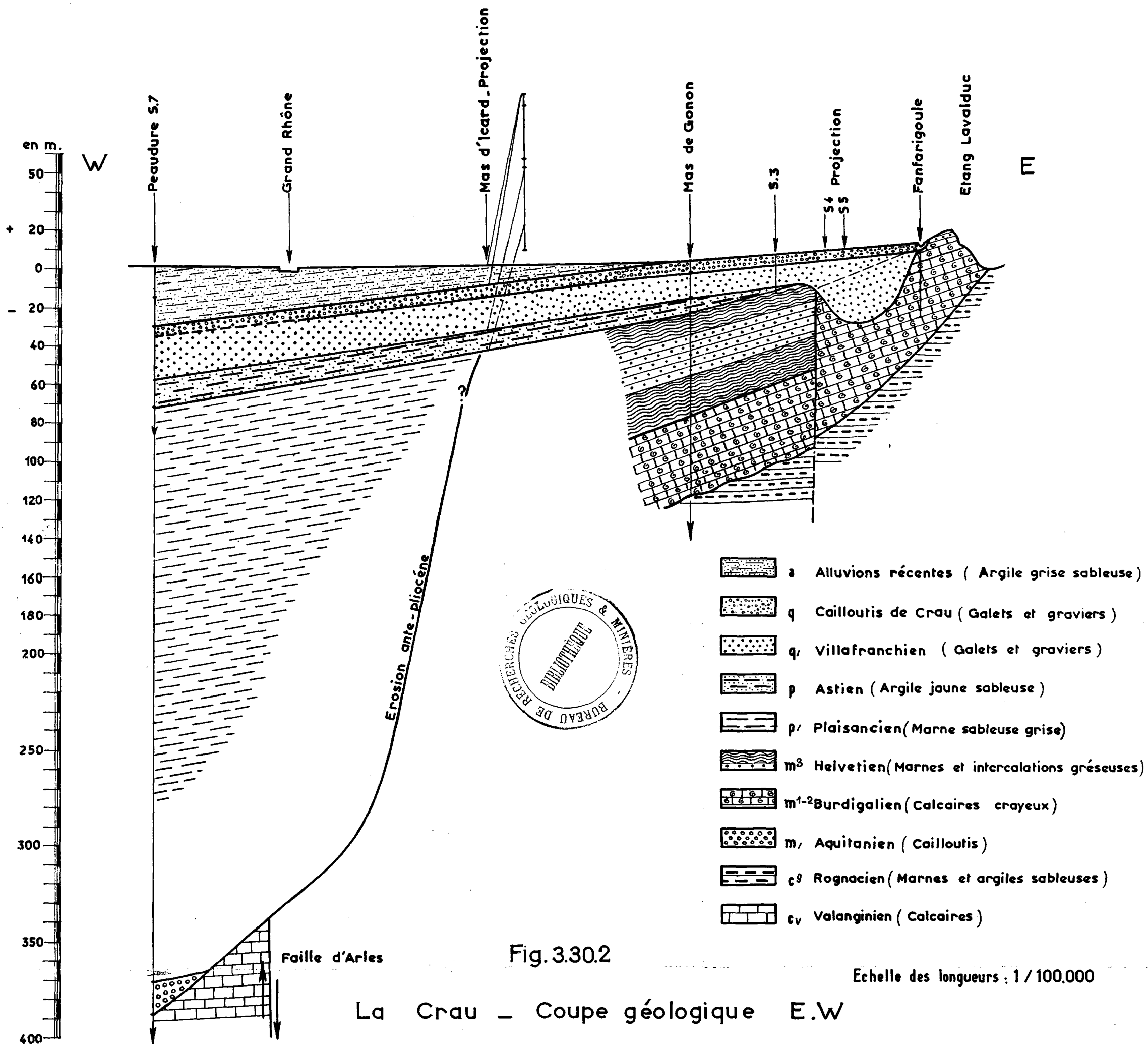
Contour géologique visible

Faïlle visible









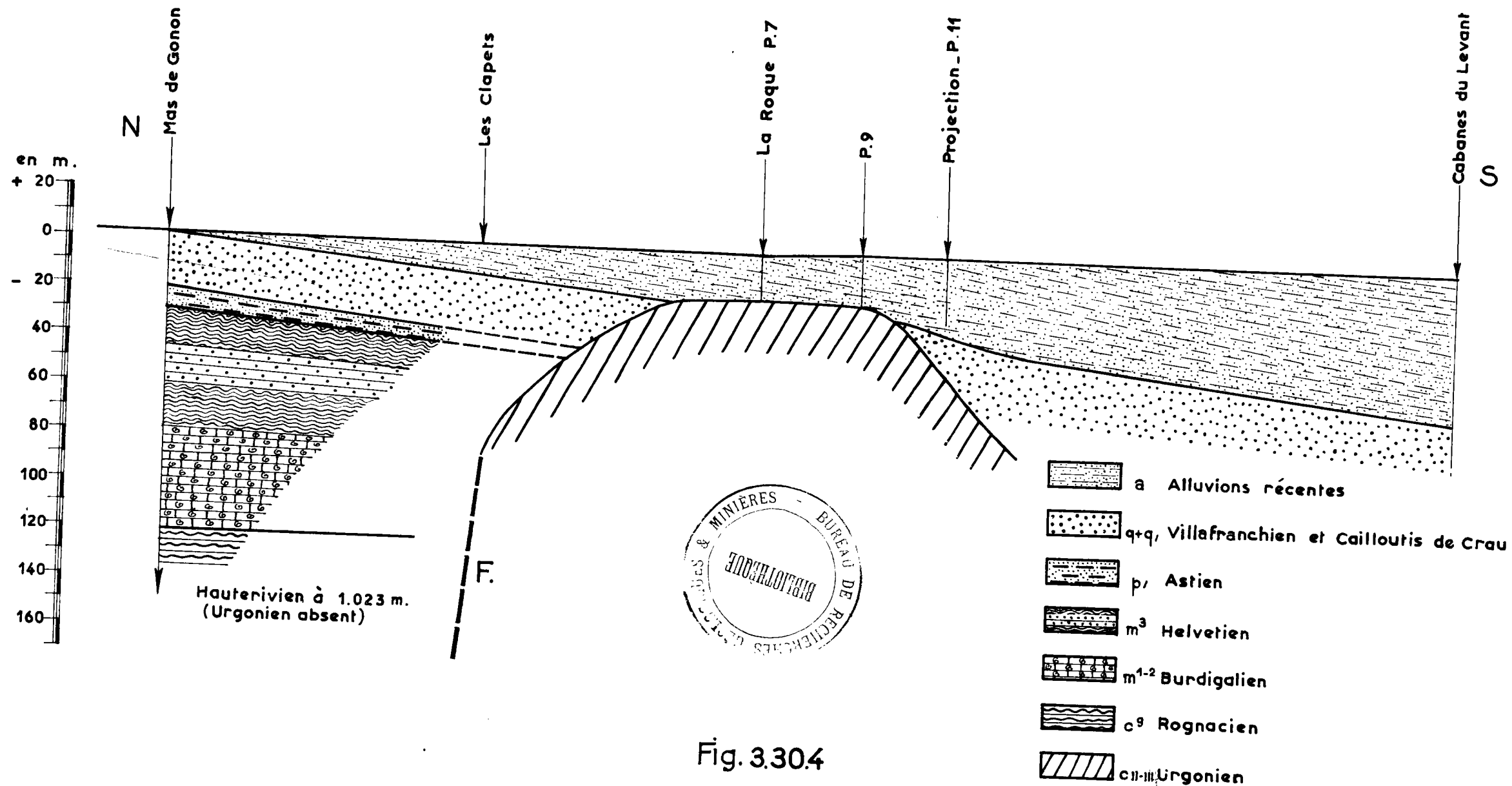


Fig. 3.30.4

Coupe géologique N.S par la butte de la Roque

Echelle des longueurs : 1/100,000



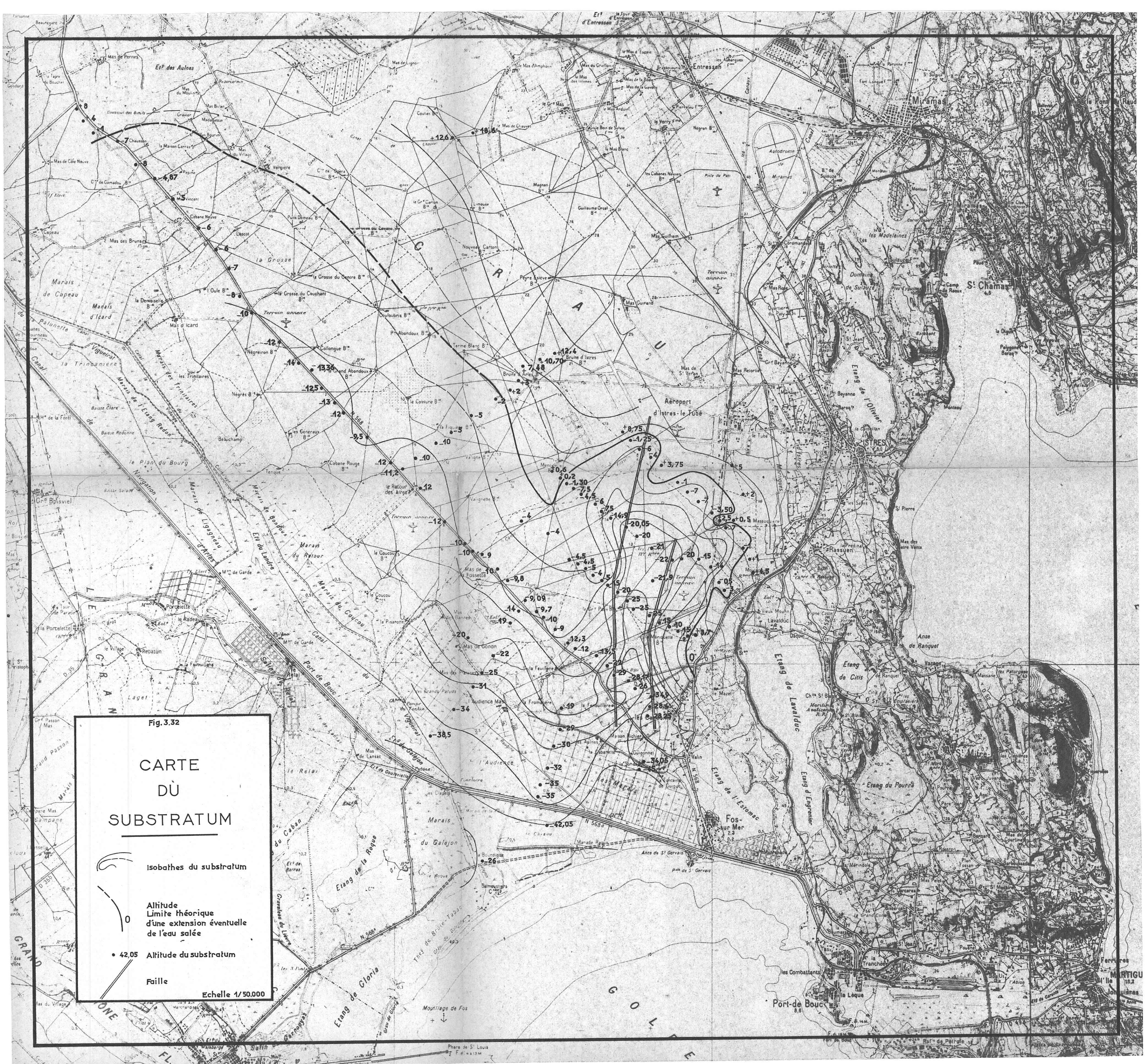


Fig. 3.32

# CARTE DU SUBSTRATUM

Isobathes du substratum

Altitude  
Limite théorique  
d'une extension éventuelle  
de l'eau salée

• 42,05 Altitude du substratum

Faïlle

Echelle 1/50.000



Fig.3.32.1

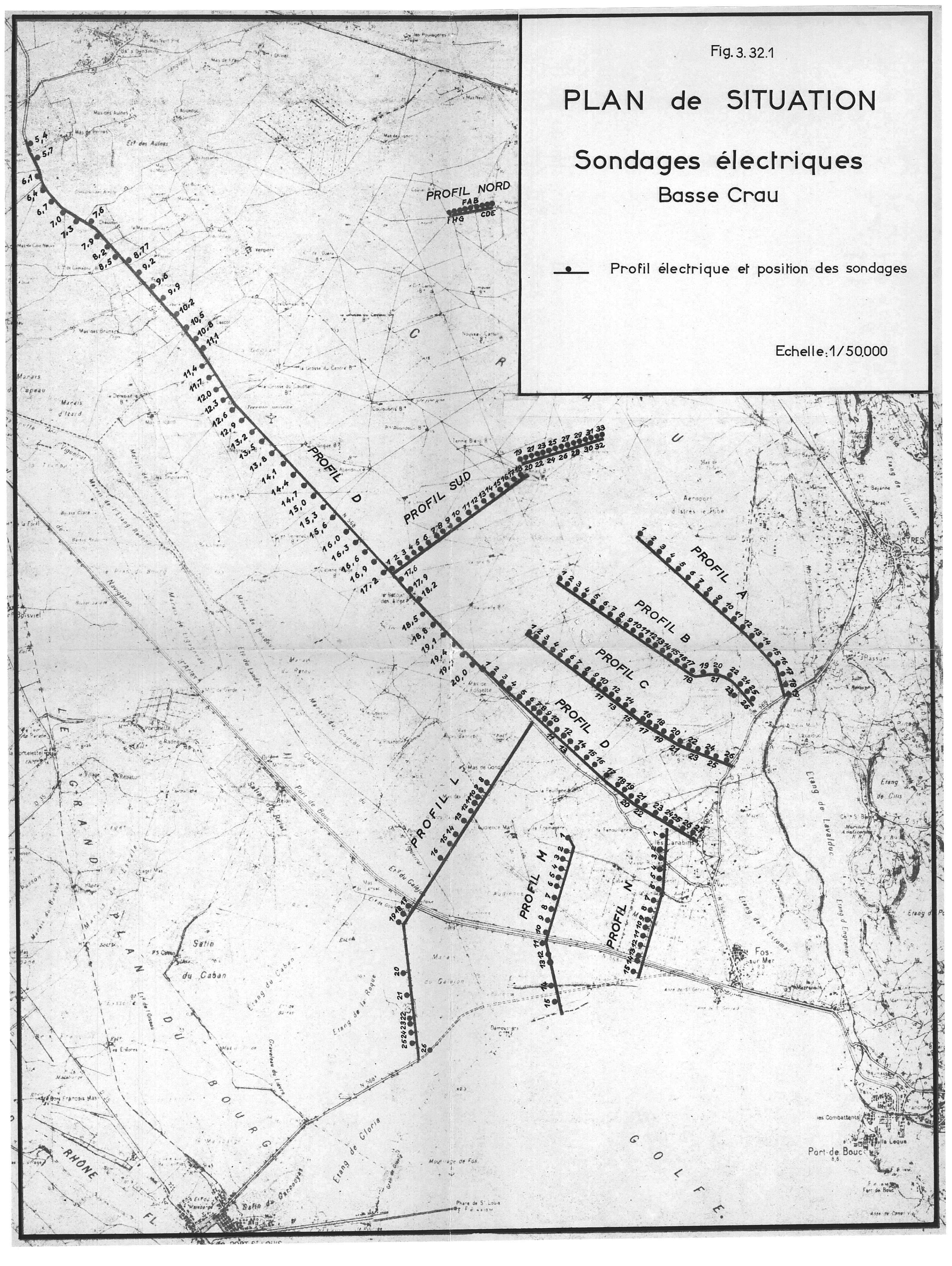
PLAN de SITUATION

Sondages électriques

Basse Crau

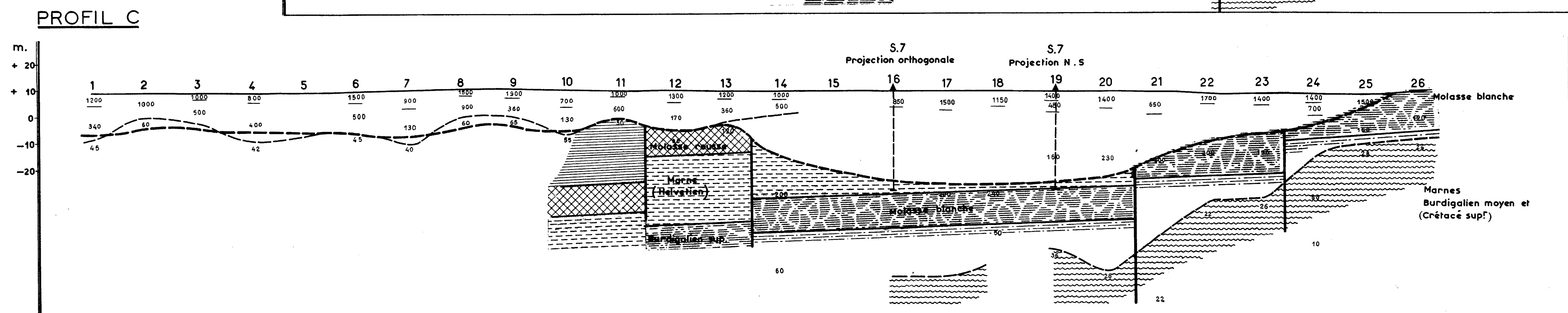
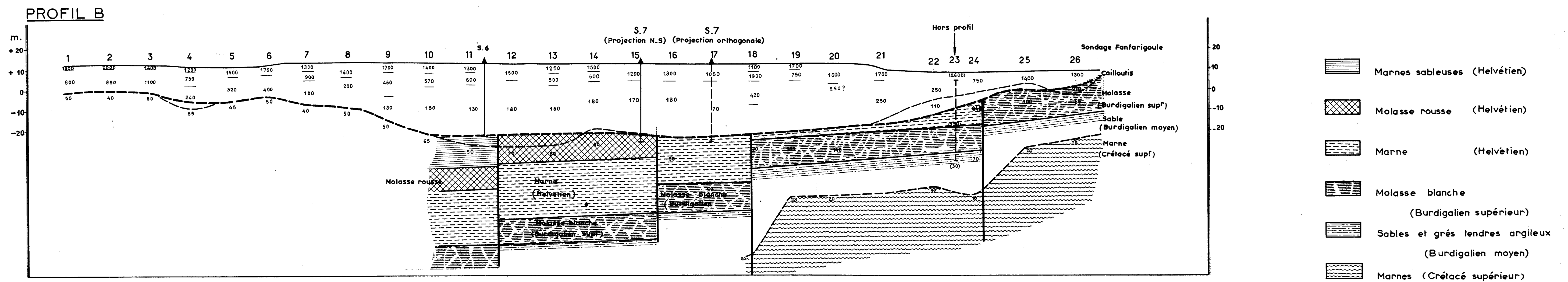
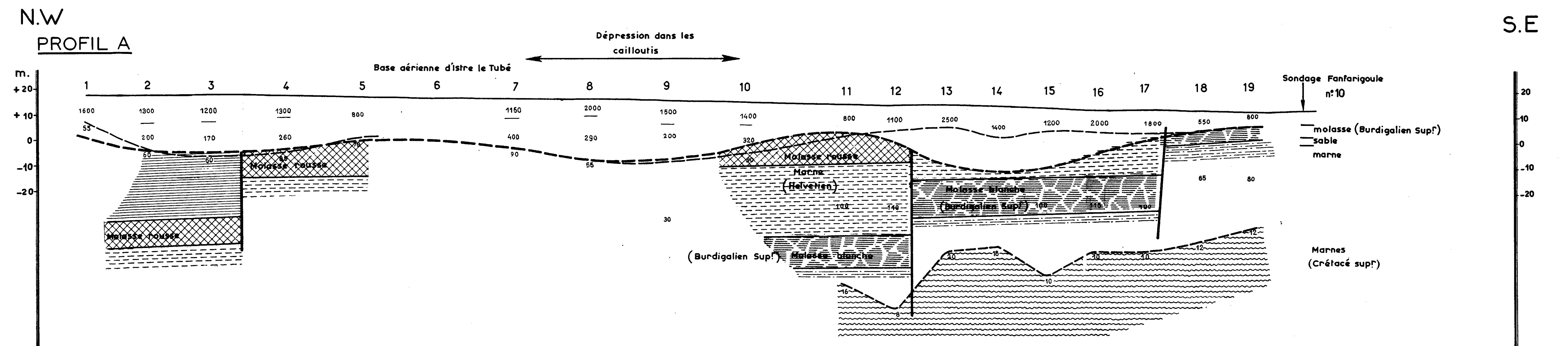
● Profil électrique et position des sondages

Echelle:1/50,000





Echelle horizontale 1/10.000



## LÉGENDE

- 1200
- Résistivités du terrain en ohms/mètre
- Profil théorique de la base des cailloutis selon les données de la géophysique
- Profil probable de la base des cailloutis selon les données des sondages
- / Failles
- Toit des marnes (Burdigalien moyen ou Crétacé supérieur) selon les données de la géophysique

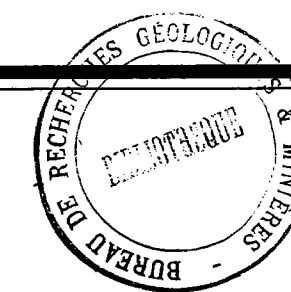


Fig. 3.323

## Coupe d'interprétation du profil géophysique D

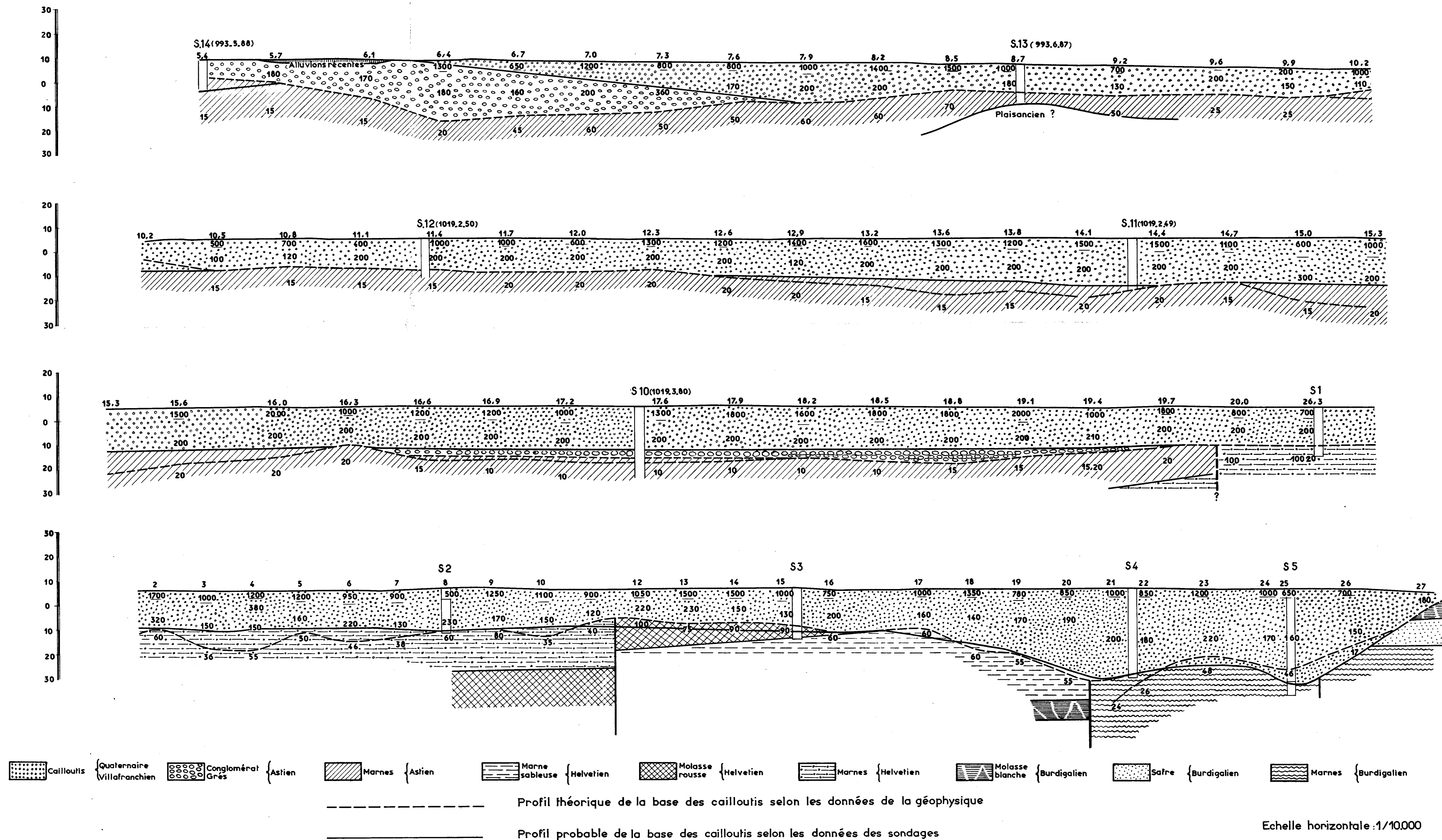


Fig.3.32.4

# Coupe d'interprétation des profils géophysiques sud et nord



SW

NE

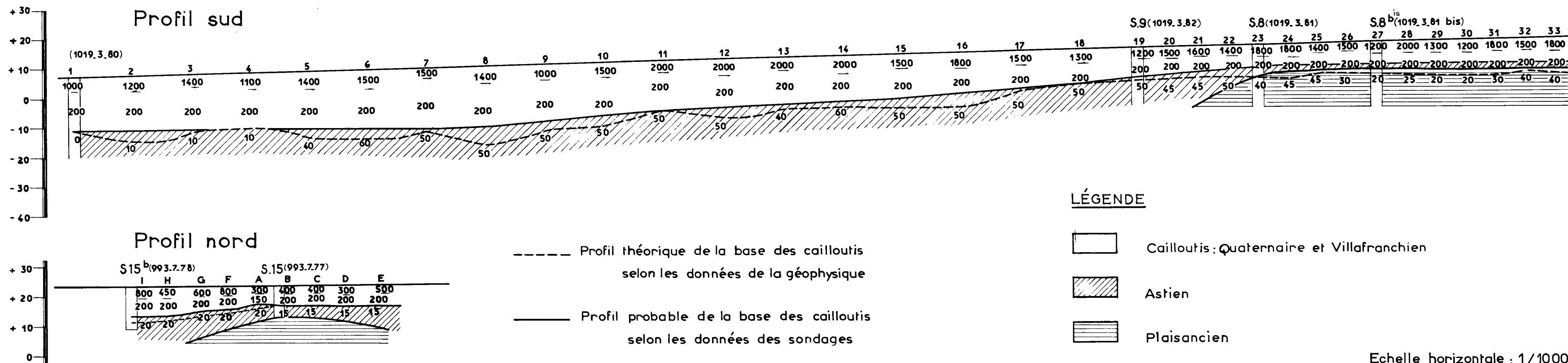
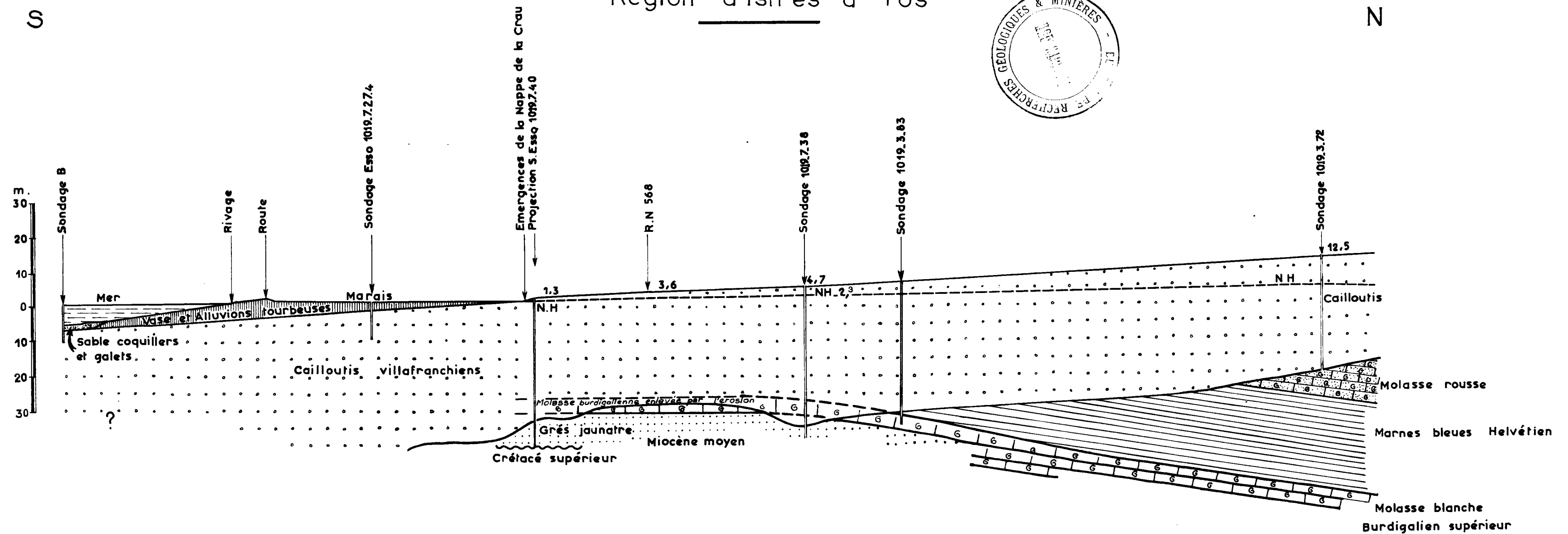


Fig. 3.32.5

Coupe Nord Sud Basse Crau

Région d'Istres à Fos



Echelle des longueurs : 1/20.000

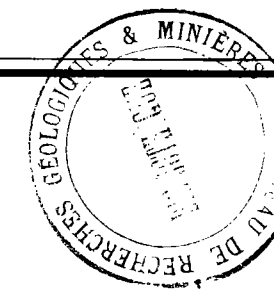
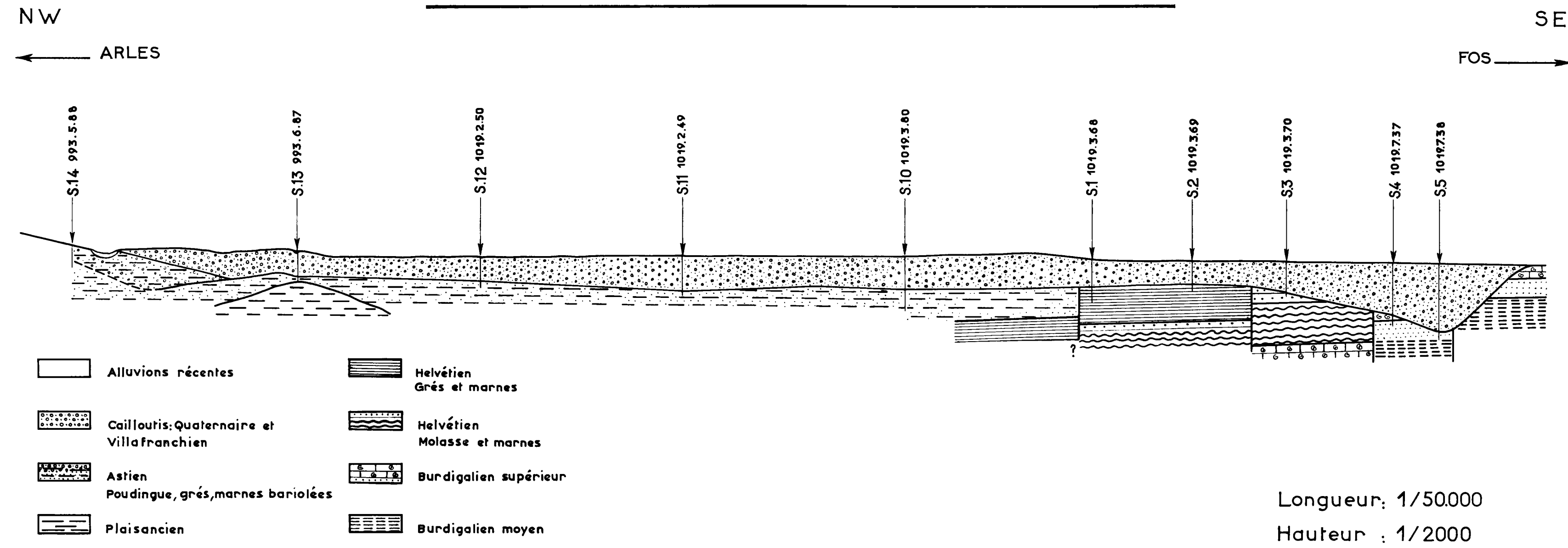


Fig. 3.32.6

# Coupe NW-SE dans la Basse Crau (route de FOS à ARLES)





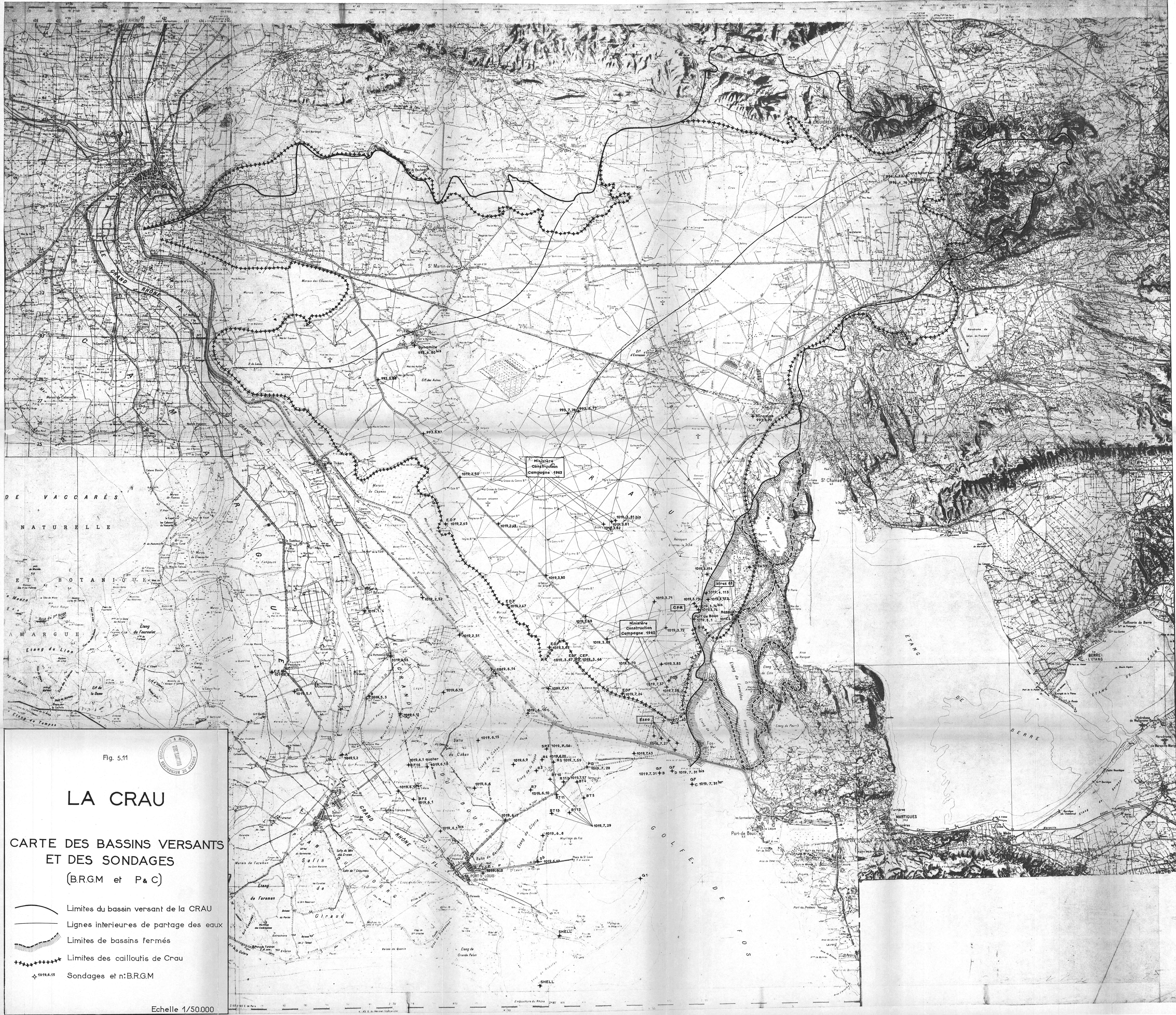


Fig. 5.11



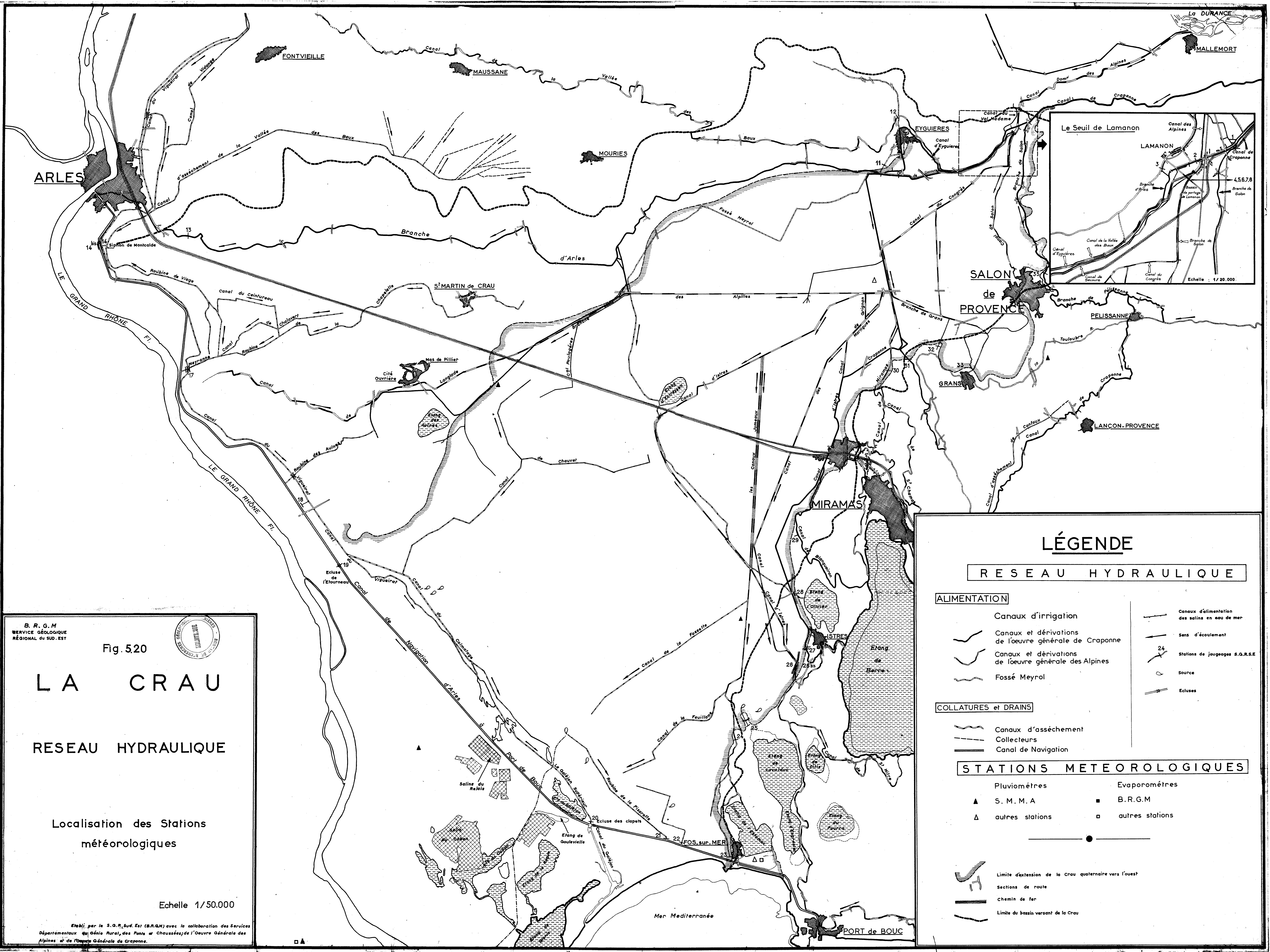
# LA CRAU

CARTE DES BASSINS VERSANTS  
ET DES SONDAGES  
(BRGM et P & C)

- Limites du bassin versant de la CRAU
- Lignes intérieures de partage des eaux
- Limites de bassins fermés
- +++++ Limites des cailloutis de Crau
- ◆ 1019.6.55 Sondages et n° BRGM

Echelle 1/50.000





B. R. G. M.  
SERVICE GÉOLOGIQUE  
RÉGIONAL DU SUD-EST

Fig. 520

**LA CRAU**

**RESEAU HYDRAULIQUE**

Localisation des Stations  
météorologiques

Echelle 1/50.000

Établi par le S.G.R.Sud-Est (B.R.G.M.) avec la collaboration des Services  
Départementaux du Génie Rural, des Ponts et Chaussées de l'Œuvre Générale des  
Alpes et de l'Œuvre Générale de Craponne.

### LÉGENDE

#### RESEAU HYDRAULIQUE

**ALIMENTATION**

- Canaux d'irrigation
- Canaux et dérivations de l'œuvre générale de Craponne
- Canaux et dérivations de l'œuvre générale des Alpes
- Fossé Meyrol
- Canaux d'alimentation des salins en eau de mer
- Sens d'écoulement
- Stations de jaugeages S.G.R.S.E.
- Source
- Ecluses

**COLLATURES et DRAINS**

- Canaux d'assèchement
- Collecteurs
- Canal de Navigation

**STATIONS METEOROLOGIQUES**

- Pluviomètres
- Evaporimètres
- ▲ S. M. M. A
- B. R. G. M.
- △ autres stations
- autres stations

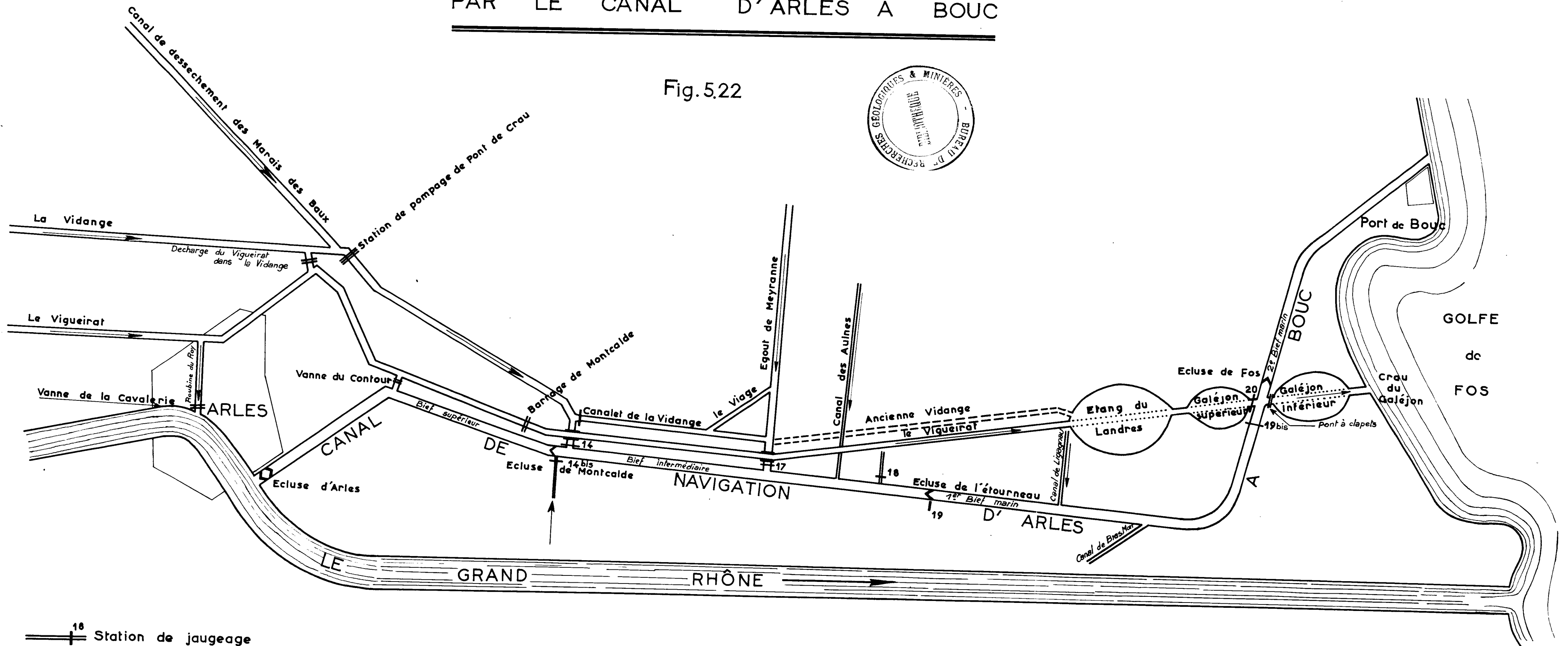
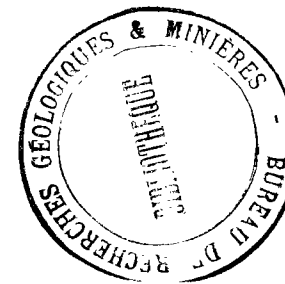
—●—

- Limite d'extension de la Crau quaternaire vers l'ouest
- Sections de route
- Chemin de fer
- Limite du bassin versant de la Crau



# SCHEMA DU SYSTEME D'ECOULEMENT DES EAUX PAR LE CANAL D'ARLES A BOUC

Fig.5.22



16 Station de jaugeage



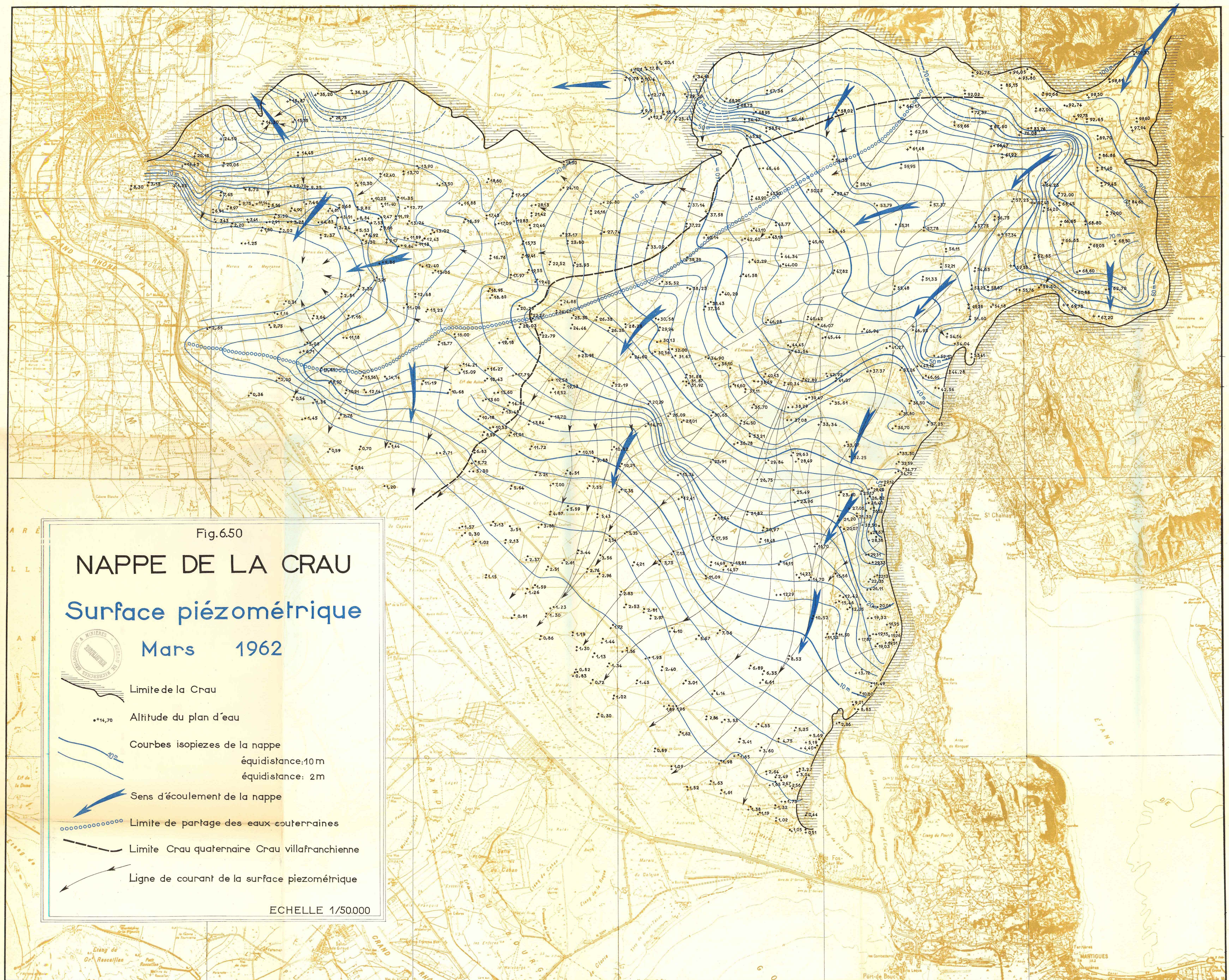


Fig.6.50

# NAPPE DE LA CRAU

## Surface piézométrique

Mars 1962



- Limite de la Crau
- +14,70 Altitude du plan d'eau
- 10m — Courbes isopiez de la nappe  
équidistance:10m  
équidistance: 2m
- Sens d'écoulement de la nappe
- ○ ○ ○ ○ ○ Limite de partage des eaux souterraines
- - - Limite Crau quaternaire Crau villafranchienne
- Ligne de courant de la surface piézométrique

ECHELLE 1/50.000



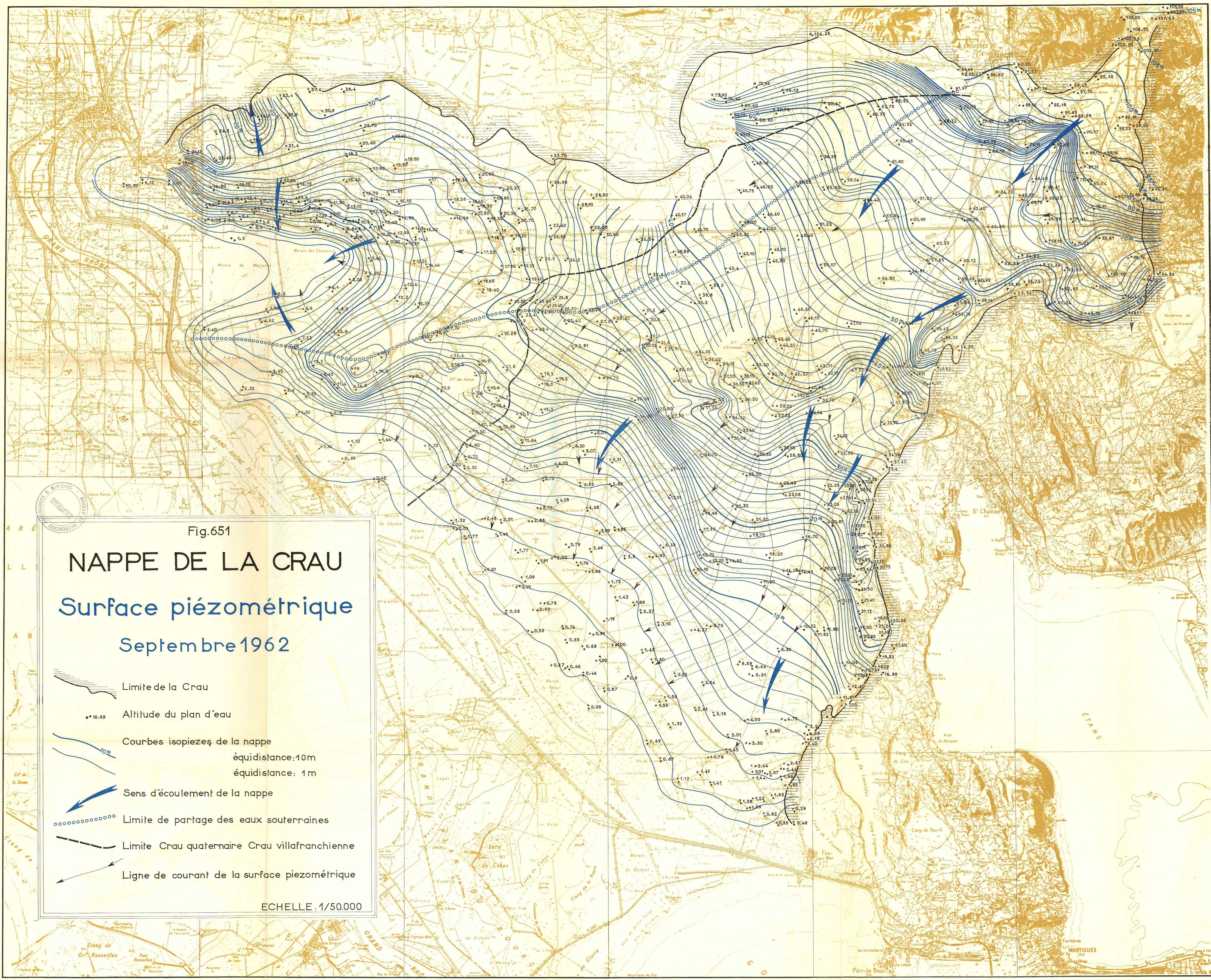


Fig.651

# NAPPE DE LA CRAU

## Surface piézométrique

Septembre 1962

- Limite de la Crau
- Altitude du plan d'eau
- Courbes isopiezes de la nappe  
équidistance: 10m  
équidistance: 1m
- Sens d'écoulement de la nappe
- Limite de partage des eaux souterraines
- Limite Crau quaternaire Crau villafranchienne
- Ligne de courant de la surface piezométrique

ECHELLE: 1/50.000



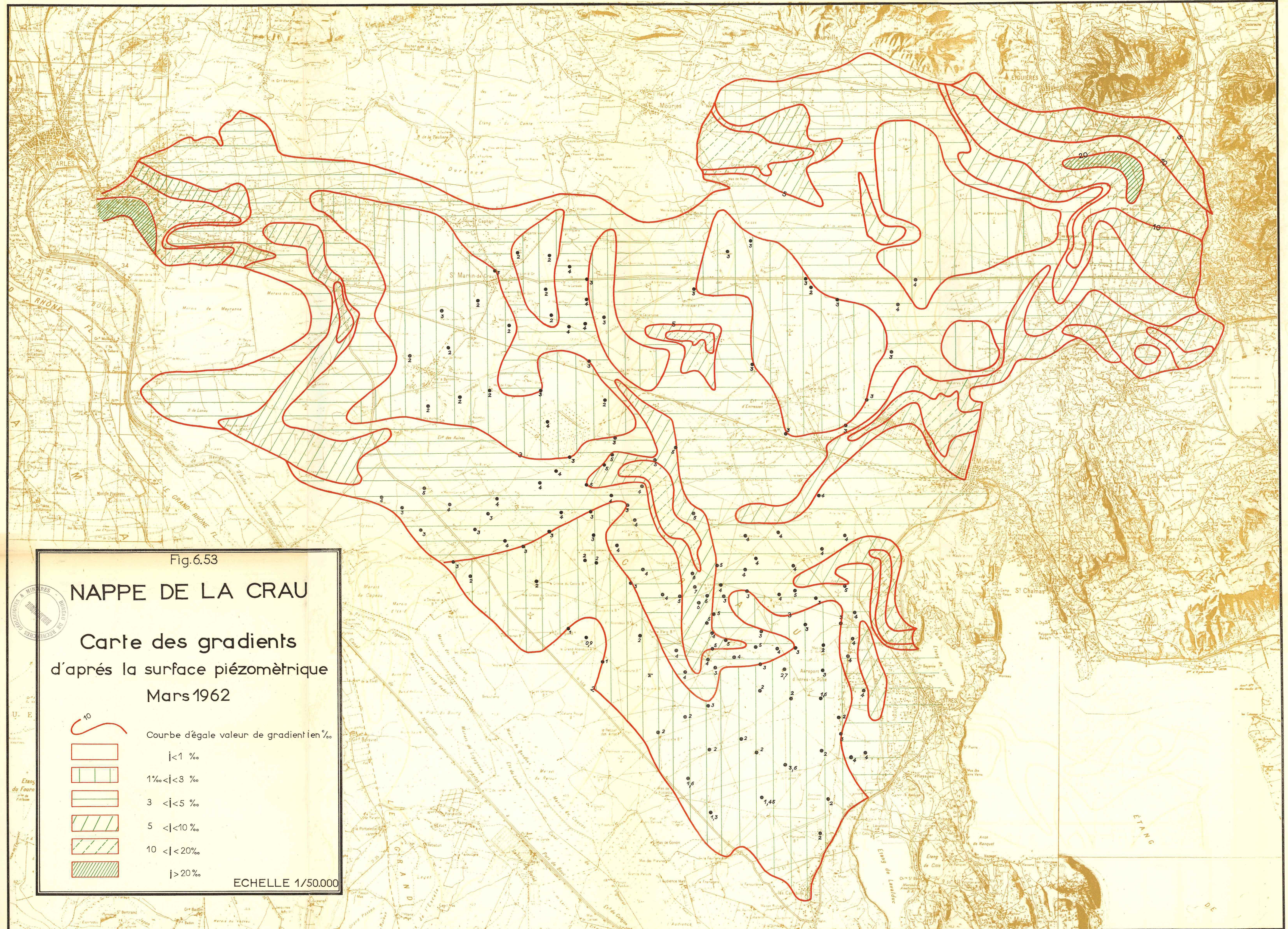
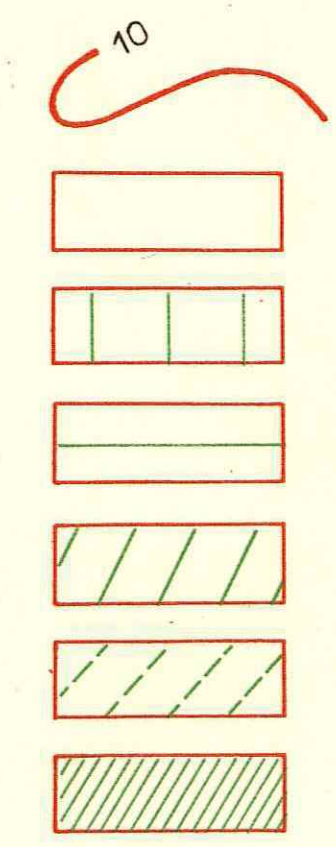


Fig.6.53

# NAPPE DE LA CRAU

Carte des gradients  
d'après la surface piézométrique  
Mars 1962



- Courbe d'égale valeur de gradient en %
- $j < 1 \%$
- $1\% < j < 3 \%$
- $3 < j < 5 \%$
- $5 < j < 10 \%$
- $10 < j < 20 \%$
- $j > 20 \%$

ECHELLE 1/50.000



Fig.660

# NAPPE DE LA CRAU

Profondeur  
de la surface  
piézométrique

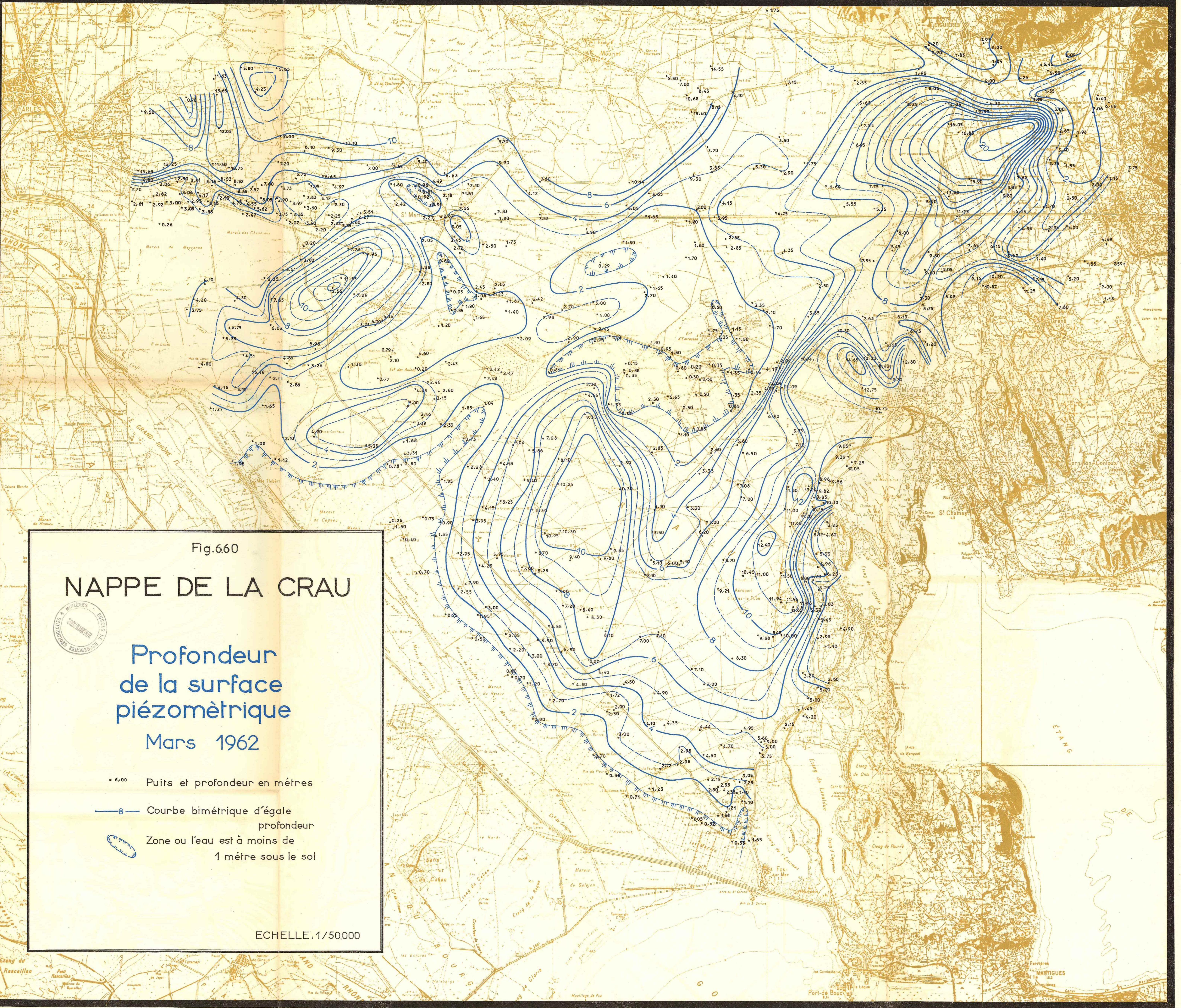
Mars 1962

• 6,00 Puits et profondeur en mètres

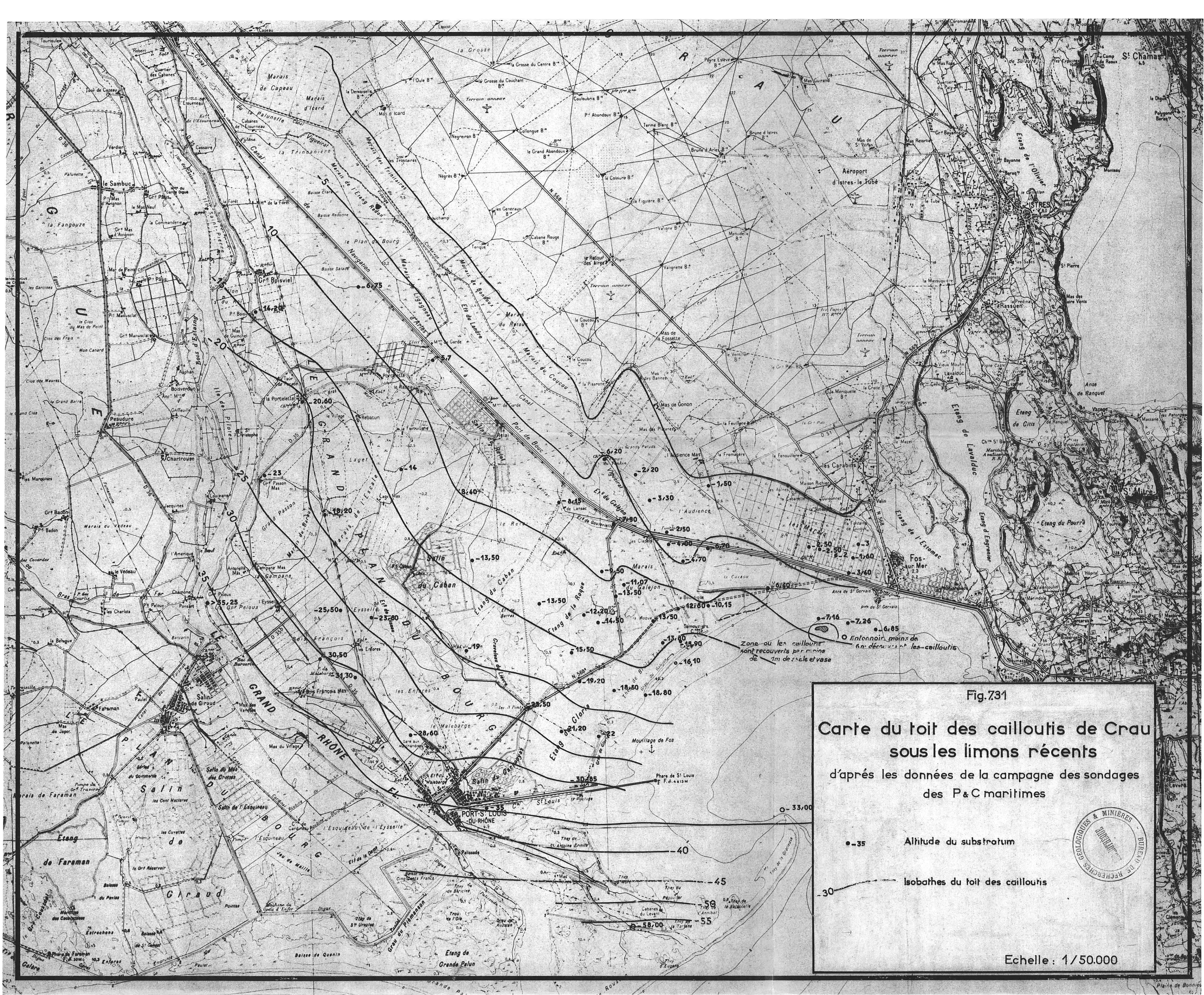
— 8 — Courbe bimétrique d'égale  
profondeur

Zone ou l'eau est à moins de  
1 mètre sous le sol

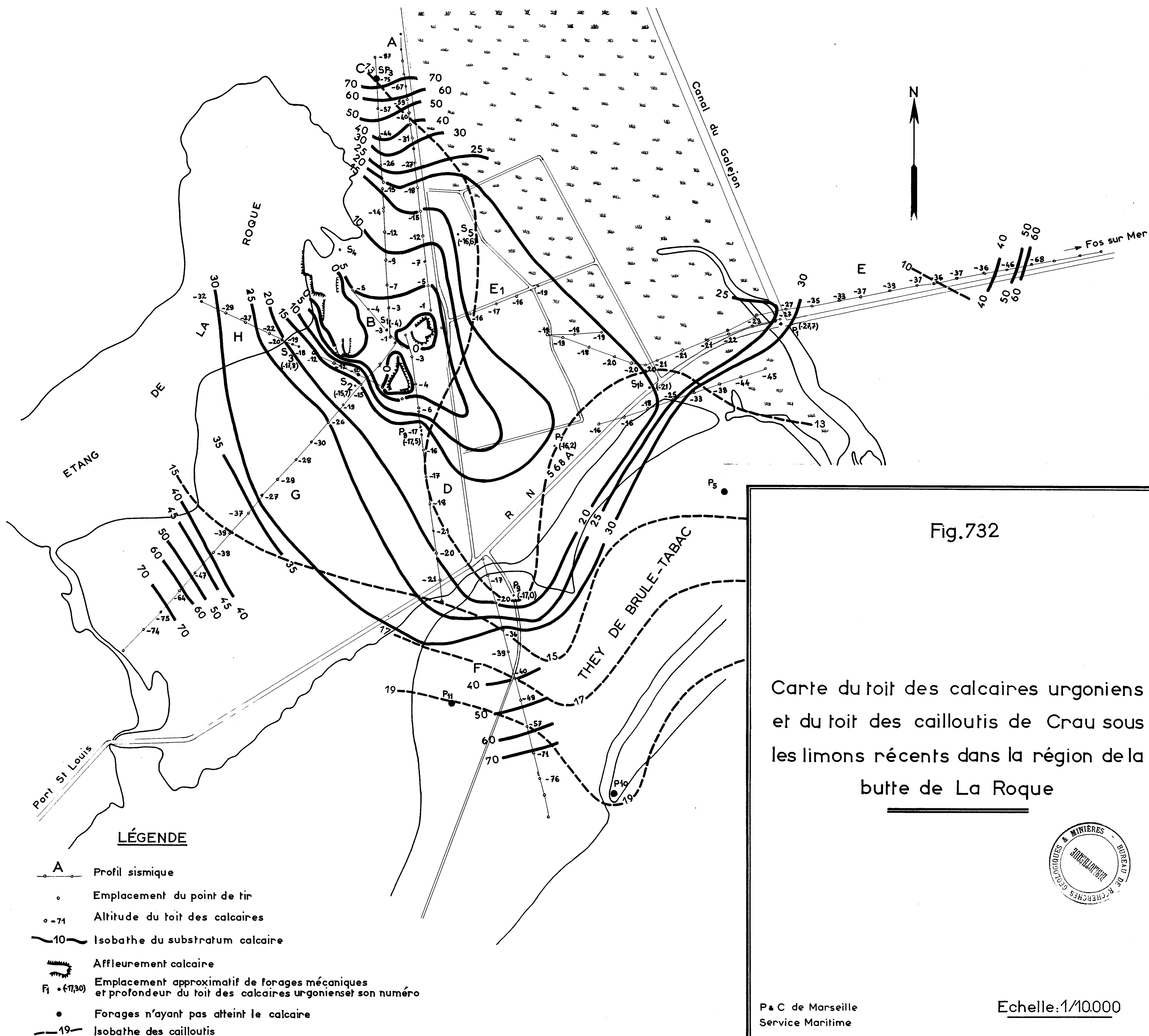
ECHELLE 1/50.000









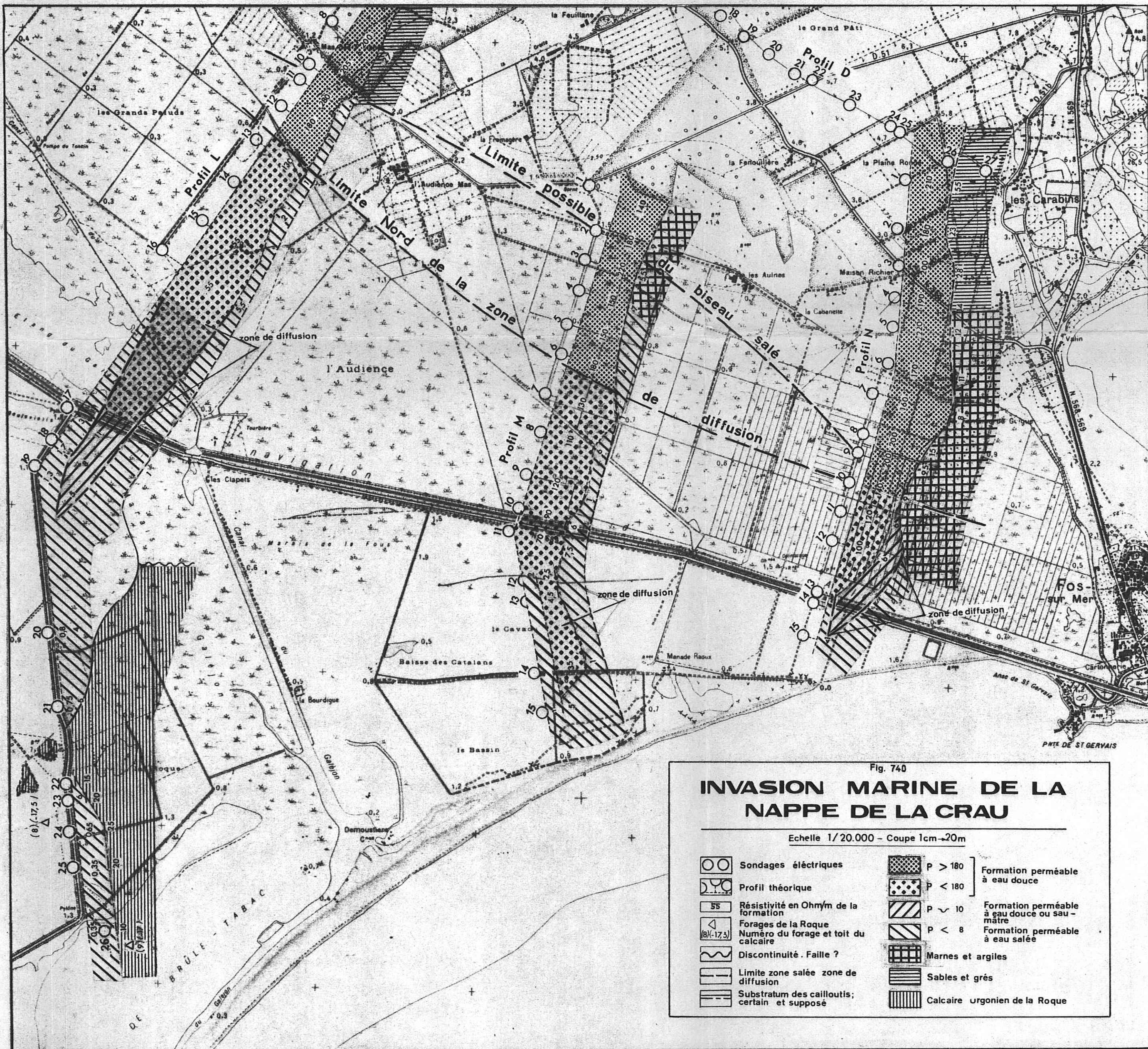




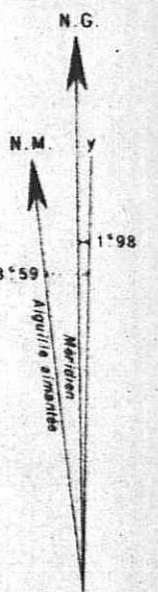
# ISTRES N°7

ISTRES N° 3

QUADRILLAGE KILOMETRIQUE PROJECTION LAMBERT III ZONE SUD



La déclinaison magnétique correspond au centre de la feuille et au 1<sup>er</sup> Janvier 1969.



La déclinaison magnétique domine chaque année de 18 minutes centésimales.





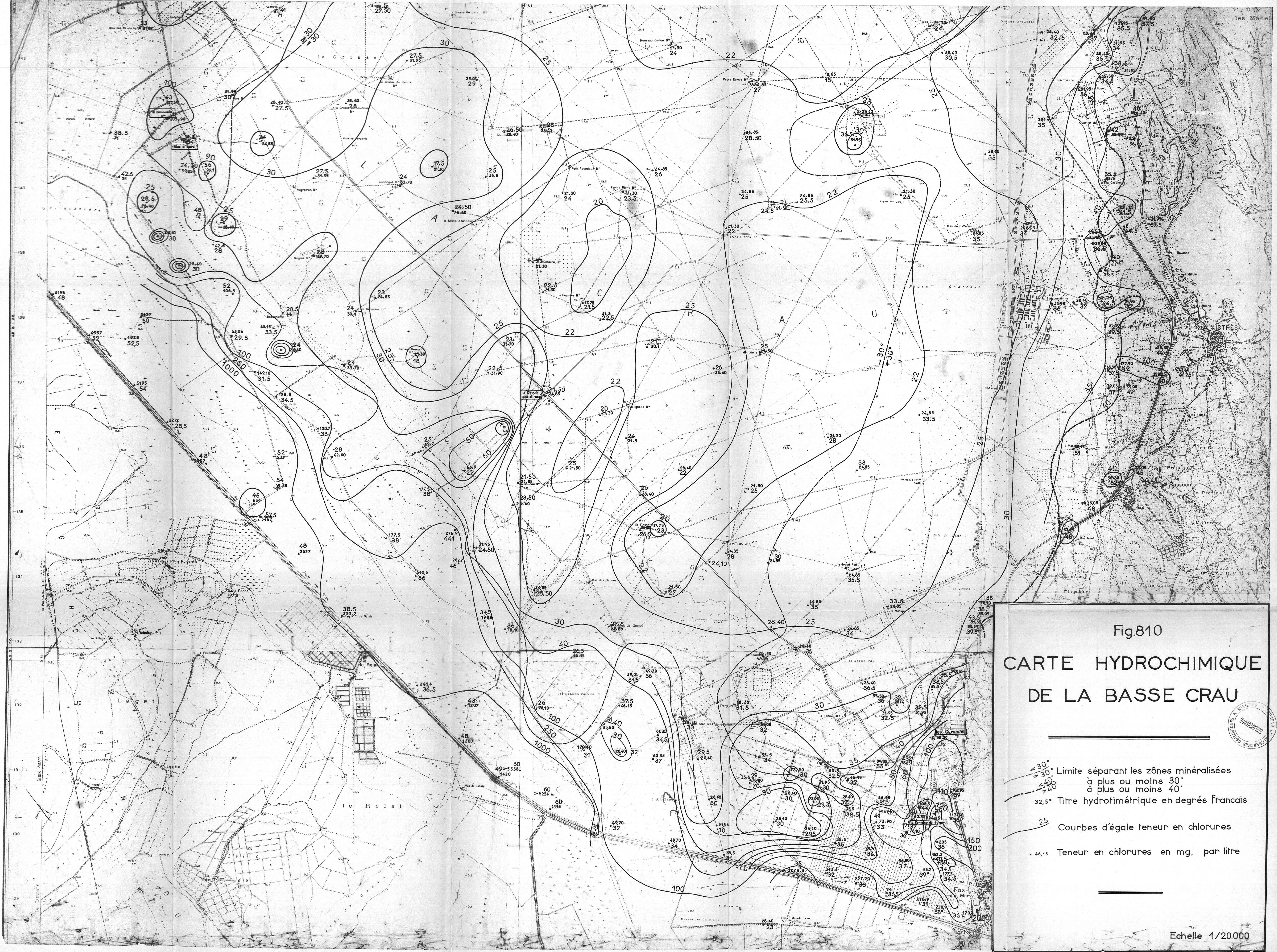


Fig.810  
CARTE HYDROCHIMIQUE  
DE LA BASSE CRAU

- 30° - 30° Limite séparant les zones minéralisées à plus ou moins 30° à plus ou moins 40°
- 32,5° Titre hydrotimétrique en degrés français
- 25 Courbes d'égale teneur en chlorures
- 46,15 Teneur en chlorures en mg. par litre







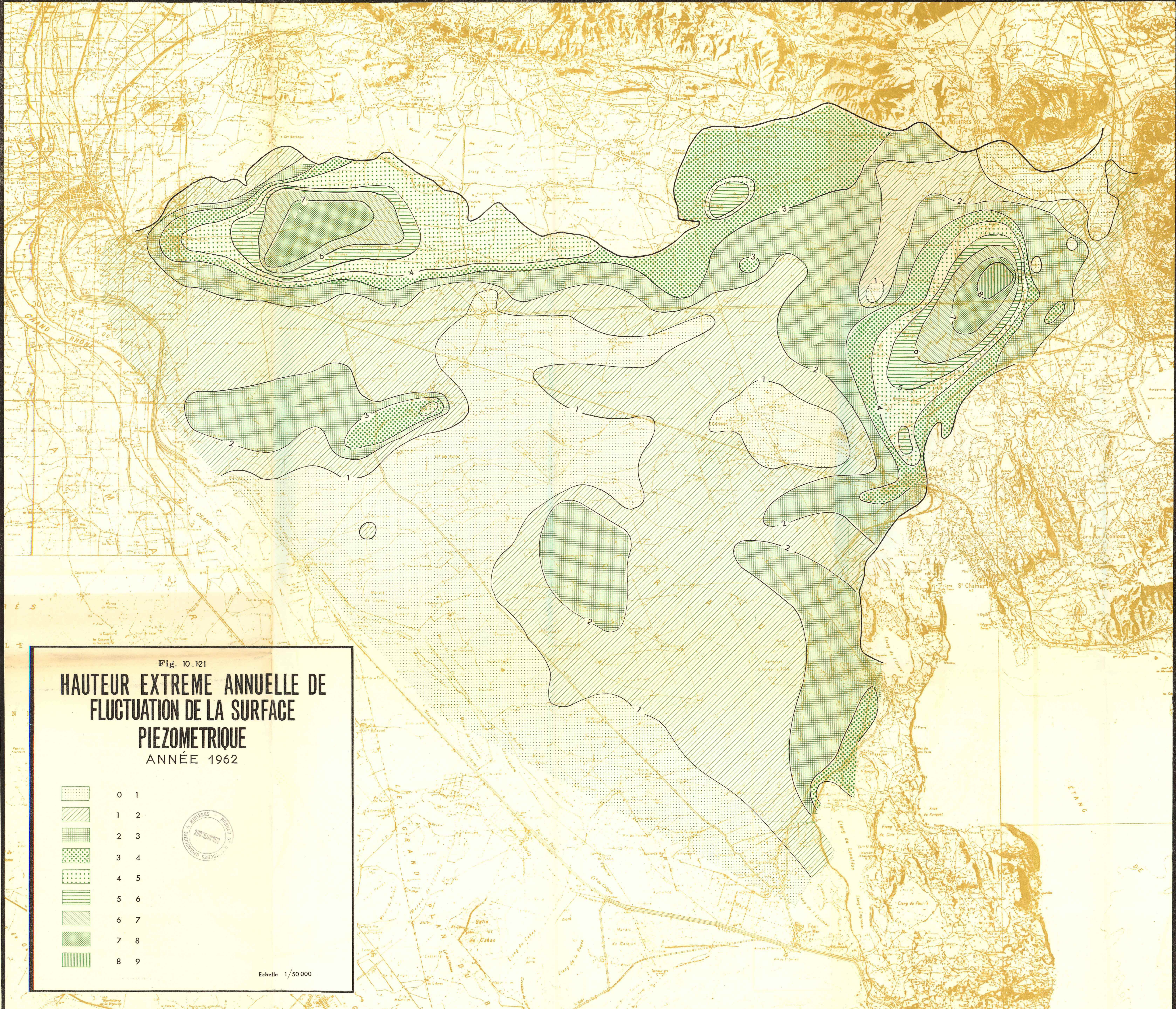


Fig. 10.121

**HAUTEUR EXTREME ANNUELLE DE  
FLUCTUATION DE LA SURFACE  
PIEZOMETRIQUE  
ANNÉE 1962**

	0 1
	1 2
	2 3
	3 4
	4 5
	5 6
	6 7
	7 8
	8 9



Echelle 1/50 000







