MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'AGRICULTURE DES BOUCHES-DU-RHÔNE

ZONES PÉRIODIQUEMENT INONDÉES DE RAPHÈLE-MOULES (COMMUNE D'ARLES)

ÉTUDE DE LA NAPPE ET DE L'INFLUENCE DES IRRIGATIONS

par

M. AUDIBERT et J. PUTALLAZ

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

Service géologique régional PROVENCE – CORSE

16, boulevard Pèbre, 13 Marseille (8e) – Tél.: (91) 76.00.40

71 SGN 189 PRC

Marseille, mars 1971

R.E.S.U.M.E

Réalisée pour le compte de la Direction départementale de l'Agriculture des Bouches du Rhône, l'étude hydrogéologique du secteur de Raphèle-Moulès avait pour buts :

- d'analyser les causes des inondations périodiques constatées dans cette région,
- de définir les meilleurs dispositifs à mettre en place en vue d'assainir les zones inondées.

Cette étude a permis de mettre en évidence les faits suivants :

1. La nappe reçoit davantage d'eau qu'elle ne peut en évacuer sous sa charge maximale en été.
2. Le système de drainage actuel est insuffisant également, car il a à peu près la même capacité de décharge que la nappe elle même.
3. Il parait possible d'assainir la zone soit par un système de drains horizontaux écartés de 800 m, soit par un réseau de 6 forages débitant environ 70 m^3/h en pompage continu sous un rabattement d'environ 7 m, ou 100 m^3/h pour 17 heures de pompage par jour.

Le choix du système dépend de considérations économiques et en particulier de la possibilité de combiner le drainage avec l'exploitation de l'eau en vue de l'alimentation de la ville d'Arles.

TABLE DES MATIERES

Résumé 2

Chapitre 1 - INTRODUCTION 7

11 - Définition des objectifs 7

12 - Répartition des tâches 7

121 - Direction départementale de l'Agriculture 7

122 - B.R.G.M. 8

13 - Documentation de base 8

Chapitre 2 - DONNEES NATURELLES 9

21 - Morphologie 9

22 - Sols et cultures 9

23 - Irrigations et drainage 10

231 - Les irrigations 10

232 - Le drainage 10

24 - Zones affectées par les inondations 12

25 - Contexte hydrogéologique 14

251 - L'aquifère 14

252 - Surface de la nappe 15

253 - Calcul des transmissivités 15

Chapitre 3 - CAUSE DES INONDATIONS 18

31 - Modèle de drainage 18

32 - Cause des inondations 21

Chapitre 4 - DISPOSITIFS DE DRAINAGES 25

41 - Drainages par drains horizontaux 25

411 - Ecartement des drains 25
412 - Profondeur des drains 26
413 - Dimensions des drains 27
42 - Drainage par drains verticaux 27
43 - Remarques 29

Chapitre 5 - CONCLUSION 30

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURES

1	-	Relation nappe - drain	11
2	-	Modèle de drainage	20
3	-	" " "	20

TABLEAUX

1	-	Evolution de la nappe 1957 - 1969	13
2	-	Valeurs des débits spécifiques	17
3	-	Valeurs des transmissivités et des débits.	24

TABLE DES ANNEXES ET DES PLANCHES

ANNEXES

I - Situation des parcelles affectées par les inondations et schéma des dispositifs de drainage

II - Surface piézomètrique, mai 1970

III - Profondeur de la surface piézomètrique, mai 1970

IV - Surface piézomètrique, juillet 1970

V - Profondeur de la surface piézomètrique, juillet 1970

VI - Variations piézomètriques enregistrées sur limnigraphes

VII - Mesures piézomètriques hebdomadaires

VIII a-b - Profils longitudinaux des collecteurs principaux

IX - Graphiques des pompages d'essai

X - Graphiques de tarissement

PLANCHES - 1 à 5 Photos.

Chapitre 1

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

11 - DEFINITION DES OBJECTIFS

Cette étude a été réalisée à la demande de la Direction départementale de l'Agriculture des Bouches du Rhône. Elle avait pour objectif la réunion des données nécessaires en vue de résoudre les problèmes d'assainissement des zones basses, régulièrement inondées, à la suite d'irrigation intensive par épandage, dans la région de Raphèle-Moulès.

La superficie sinistrée et rendue plus ou moins impropre à la culture, est de l'ordre de 200 ha. Elle se répartit principalement dans les secteurs de Servanne-Bellombre et de Moulès-Fossé de Saunier.

12 - REPARTITION DES TACHES

121 - Direction départementale de l'Agriculture

- Mise à la disposition du B.R.G.M. des documents en sa possession,
- Collaboration dans les démarches auprès des propriétaires,
- Nivellement des collecteurs et des puits répertoriés,
- Relevé hebdomadaire des 5 limnigraphes installées sur des puits fermiers,
- Mesures hebdomadaires des niveaux d'eau sur 9 puits fermiers,
- Mise à disposition de la section de pompage du C.E.R.A.F.E.R. de Montpellier pour les pompages d'essais.

122 - B.R.G.M.

- Inventaire des ressources hydrauliques complet sur une superficie de 20 km^2,
- Etablissement de 2 cartes piézomètriques (mai et juillet 1970) au au 1/10.000 et de deux cartes des profondeurs de la surface piézomètrique,
- Pose et maintenance de 5 limnigraphes,
- Exploitation des relevés limnigraphiques et contrôle,
- Jaugeages volants sur les drains principaux,
- Choix de puits en vue de pompages d'essai,
- Surveillance des pompages d'essai de courte durée sur 10 puits fermiers et de 4 pompages d'essai de longue durée (72 h) sur 2 puits fermiers. Interprétation des résultats,
- Enquête sur le fonctionnement des drains et des collecteurs, ainsi que sur leur entretien,
- Synthèse des résultats.

13 - DOCUMENTATION DE BASE

Outre les documents fournis par l'étude elle-même, le B.R.G.M. avait à sa disposition :

- les données recueillies dans le cadre général de l'I.R.H. et du Code minier,
- l'étude hydrogéologique de la Crau (étude B.R.G.M. réalisée dans le cadre de l'I.R.H. et travaux financés par la D.D.E.),
- les rapports "Méthodologie d'emploi des simulateurs d'écoulement pour l'étude des nappes souterraines, application à la nappe de la Crau", (B.R.G.M. - Géohydraulique dans le cadre de la D.G.R.S.T.),
- l'étude hydrogéologique de la Crau d'Arles (étude C.P.G.F. pour la D.D.A.),
- les résultats des pompages d'essai réalisés par le C.E.R.A.F.E.R.,
- les résultats des recherches réalisées par la D.D.E. en vue de l'alimentation en eau d'Arles,
- la carte hydrogéologique Istres-Eyguières,
- les mesures périodiques E.D.F.,
- les cartes topographiques I.G.N. et les plans au 1/5.000 fournis par la D.D.A.

Chapitre 2

DONNEES NATURELLES

21 - MORPHOLOGIE

Le secteur de Raphèle-Moulès fait partie de la Crau occidentale centrée sur Saint Martin de Crau et drainée vers la vaste dépression des marais de Meyranne.

La surface topographique est uniforme et plate dans son ensemble. Elle s'abaisse doucement du Nord vers le marais de Meyranne avec une pente moyenne de l'ordre de 0,5 à 1 %.

Des vallons embryonnaires, légères dépressions à peine perceptibles, jouent le rôle d'axe de drainage en période de hautes eaux consécutives aux irrigations estivales. Des fossés (Bellombre, Mandon et Saunier) existent mais sont insuffisants pour assurer l'évacuation des eaux excédentaires.

22 - SOLS ET CULTURES

Le sol est constitué d'une mince couche de dépôt limoneux apporté par les eaux d'irrigation de la Durance chargées de matières en suspension.

Lorsque le drainage est suffisant ce sol produit un fourrage d'excellente qualité, culture prédominante de la région.

23 - IRRIGATIONS ET DRAINAGE

231 - Les irrigations

Les irrigations par épandage, pratiquées en Crau, d'avril à septembre inclus, jouent un rôle majeur dans l'alimentation de la nappe.

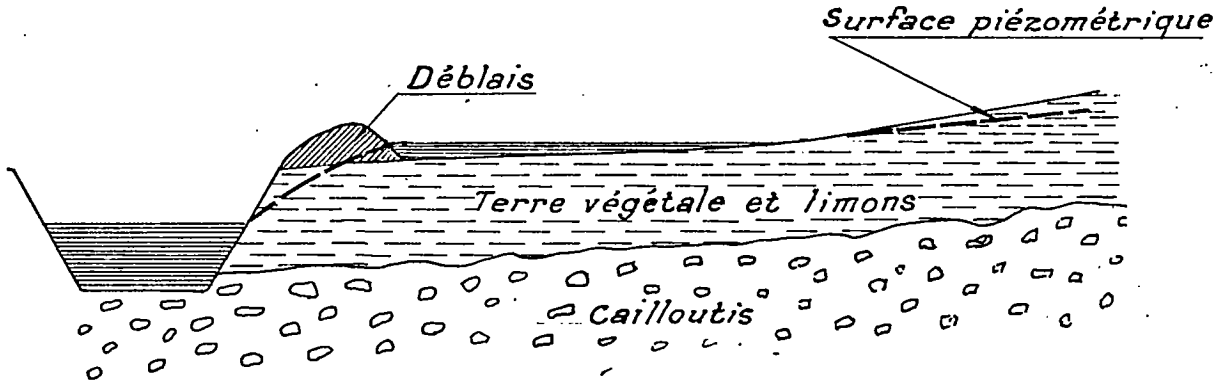
Le module moyen d'irrigation est évalué par les services agricoles à 1,2 l/s/ha et la part infiltrée à environ 30 à 40 % du module, soit 0,4 à 0,5 l/s/ha (tranche d'eau infiltrée 4 - 5 mm/j).

232 - Le drainage

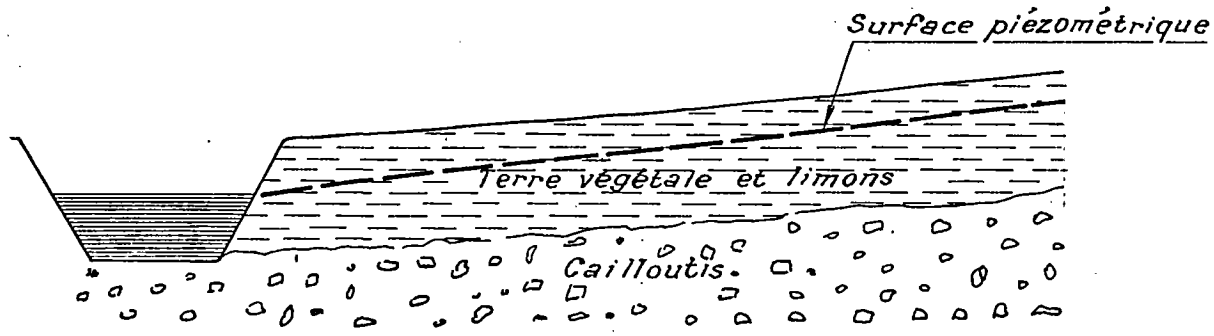
a) Collecteurs principaux

Les collecteurs principaux sont ceux de Bellombre, de Mandon et Saunier. Les deux derniers en particulier ont des tracés et profils qui ne permettent pas toujours une évacuation aisée des eaux drainées.

Dans la partie moyenne du fossé de Bellombre, notamment au droit des mas Bellombre et Escampon, le collecteur, dont le tracé se situe en bordure de route, n'est pas placé dans la partie la plus basse du vallon. L'évacuation des eaux excédentaires superficielles ne peut se faire qu'à l'aide d'un collecteur parallèle. Si ce collecteur est insuffisamment profond, mal entretenu comme à Escampon (cf. pl. 3) ou comporte un bourrelet sur sa berge, les eaux accumulées dans la partie basse ne pourront s'évacuer (fig. 1). Elles forment une limite à potentiel constant, réduisant à leur limite le rayon d'action du collecteur principal sur la nappe. Au mas de Bellombre, par contre, où le système latéral de drainage est bien entretenu et suffisamment profond (cf. pl. 3) la prairie n'a apparemment pas subi de dommages.



a) avec déblai formant barrage à l'écoulement des eaux superficielles



b) sans barrage

Fig. 1 Relations nappe-drain

Les débits mesurés en juillet au droit de la N. 113 sont de 246 l/s pour le collecteur de Bellombre et de 171 l/s pour Saunier et Mandon. Une partie de ces débits, impossible à évaluer mais tout de même non négligeable, provient du ruissellement superficiel.

b) Drains latéraux

Construits par les particuliers, ils l'ont été avec plus ou moins de bonheur. Dans tous les cas, leur établissement a posé des problèmes en raison du degré de consolidation des cailloutis, même si la tranche superficielle est altérée.

Certains fonctionnent de façon satisfaisante; d'autres présentent des imperfections dues à l'inexpérience en matière de drainage en raison de la nouveauté des inondations dans la région. Ainsi l'enquête a-t-elle révélé que certains drains étaient topographiquement trop bas par rapport au profil du collecteur principal ou à l'inverse le profil du collecteur était trop élevé par rapport à ceux des drains. D'autres n'étaient pas suffisamment profonds, mais dans la plupart des cas le mauvais fonctionnement de ces drains particuliers est dû à une insuffisance de l'entretien (envahissement par les herbes, présence de déblais sur les bords, cf. pl. 4 - 5).

24 - ZONES AFFECTEES PAR LES INONDATIONS

Les surfaces sinistrées se répartissent, selon une enquête D.D.A., en trois zones principales :

- les zones fortement inondées, localisées en amont de la ferme Bellombre et au Nord-Est du mas de Mandon,
- les zones périphériques, plus ou moins marécageuses,
- les zones à herbage de qualité médiocre, du fait d'innondations temporaires.

Nous analyserons par la suite les causes de cet état de fait et les remèdes appropriés.

TABLEAU 1

EVOLUTION DE LA NAPPE 1957-1969

	Cote NGF repère	1957			1962			1969		
		Prof. max.	Prof. min.	Fl. en m.	Prof.max.	Prof.min.	Fl. en m.	Prof.max.	Prof.min.	Fl.en m.
P 13 (Mandine)	28,25	15,3	12,43	2,87	14,4	8,3	6,1	13,7	6,30	7,40
P 14 (Rives Altes)	42,50	4,25	2,4	1,85	4,3	1,6	2,7	3,9	1,8	2,1
P 28 (Millette)[a]	29,30	15,15	11,94	3,21	13,35	6,75	6,6	12,10	5,20	6,9
P 27 (Blanchet)	32,74	> 17	15,10	> 1,90	17	10,55	> 6,45	> 17	9,10	> 6,9
P 26 (Tapis brulée)	33,80	19,85	15,50	4,35	17,4	11,1	6,3	18,2	9,7	8,5
P 2 (Arnaud)	24,70	12,41[1]	7,5	4,91	10,9	3,3	7,6	10,35	2,1	8,25
P 2[b] (Arnaud)	26,00	12,45	6,95	5,5	10,35	2,95	7,4	9,95	0,75	9,2
P 44 (Minaud)	24,40	12,85	6,73	6,12	12,1	4,6	7,5	12,00	3,6	8,4
P 7 (Moulès)	18,70	8,78[1]	3,10	5,68	7,8	2,3	5,5	7,75	2	5,75
P 3 (Raphèle)	17,40	9,15	4,3	4,75	9,6	2,65	6,95	8,25	2,4	5,85
P 4 (Raphèle)	9,50	3,70	1,15	2,55	3,4	0,7	2,7	3,25	0,65	2,6
P 5 (Raphèle)	9,60	4,58	2,04	2,54	4,3	1,7	2,6	4,3	1,65	2,65
P 8 (Peyras)	9,84	8,6	3,18	5,42	3,1	1,85	1,25	3,3	2,1	1,2

1 - mesures 1958

a - min. en oct-nov.
max. en mars

Avec l'augmentation des surfaces irriguées, on a assisté, depuis 1957, à un remplissage progressif du magasin par la nappe (cf. tableau 1, mesures E.D.F.), la vidange naturelle de cette dernière ne parvenant pas à évacuer la somme des eaux infiltrées au cours de l'année hydrologique.

Le niveau de la nappe en période de décrue étant chaque année plus élevée, la capacité d'emmagasinnement du réservoir diminue d'autant. Ce phénomène entraîne une prolongation de la période de crue et des inondations, ainsi que l'extension de celles-ci dans les points bas topographiques (débordement de la nappe).

Dans les années à venir, si la situation continue à s'aggraver, la totalité des zones où la nappe est à moins d'un mètre de la surface du sol (cf. annexe V) va se trouver directement menacée.

25 - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

251 - L'aquifère

Le secteur de Raphèle-Moulès fait partie de la Crau d'Arles ou "Crau de Durance". D'âge villafranchien, les cailloutis sont constitués, pour la plus grande partie, d'éléments quartzitiques. Dans leur ensemble, ils sont fortement consolidés.

L'épaisseur moyenne de cette formation est de l'ordre de 40 à 50 m.

En surface, les galets sont disséminés dans une argile rougeâtre qui proviendrait de l'altération des éléments calcaires et cristallins.

Le substratum est constitué par les marnes sableuses de l'Astien-Plaisancien à faible perméabilité.

La cimentation des cailloutis est irrégulière, elle détermine la structure particulière du magasin caractérisée par une grande hétérogénéité. En effet les niveaux meubles, très conducteurs sont imbriqués de façon a priori anarchique au sein d'un ensemble plus ou moins consolidé et peu perméable. Toutefois cette hétérogénéité s'estompe sur le plan d'ensemble, à la lecture des courbes hydro-isohypses (cf. annexes n° III et V) car les dimensions des "chenaux" conducteurs sont trop réduites par rapport à celles du maillage des mesures pour avoir une incidence sur le plan général.

252 - Surface de la nappe

Deux cartes (cf. annexe II et IV) donnent l'état de la surface de la nappe en mai 1970 et juillet 1970. Comme nous l'avons dit plus haut, elles montrent peu d'anomalies.

En juillet, il apparaît que les drains actuels fonctionnent. Celui de Saunier cependant ne correspond pas parfaitement à l'axe de drainage indiqué par les courbes. Son tracé irrationnel en est peut-être responsable, les tronçons E.W. soutenant la nappe, beaucoup plus qu'ils ne la drainent.

253 - Calcul des transmissivités

a) Pompages d'essais (voir annexe IX)

Les transmissivités ont été soit obtenues par la méthode de JACOB, soit estimées à partir des valeurs des débits spécifiques lorsque le rabattement pouvait être considéré comme stabilisé, par application de la formule de DUPUIT, et si l'on admet log R/2 π 2 π

On voit d'après le tableau 2 que s'il y a disparité des valeurs, bon nombre d'entre elles se situent autour de 1 - 1,5. $10^{-2} m^2/s$, soit 900 - 1300 m^2/j en été, dans la région qui nous intéresse.

TABLEAU 2

DEBITS SPECIFIQUES

Puits ou forage	Date de l'essai	Q/Δ en $m^3/h/m$	T en m^3/s
Mas Ermitte (1.158)	8/70	32 (stabilisation)	3.10^{-2}
	1/71	29,5 *	3.10^{-2}
Mas Rouge (1.7)	8/70	34,7 (stabilisation)	$1,5.10^{-2}$
	1/71	25 (stabilisation)	$1,4.10^{-2}$
Mas Bouty	9/68	7 (stabilisation)	
Mas Bourille (1.154)	9/68	25,4 *	$1,2.10^{-2}$
	8/69	26 (stabilisation)	$1,4.10^{-2}$
	+ 3/71	4,5 *	$4,5.10^{-4}$
Mas de Roche	9/68	14 (stabilisation)	$1;2.10^{-2}$ (pièzo 50 m)
Mas Metros	9/68	3,95 (stabilisation)	
Mas Géri	9/68	5,3 (stabilisation)	
Mas de Muse	9/68	4,15 (stabilisation)	
Mas de Perre o (1)	2/71	2,75*	
Chateaubas o (1)	2/71	6,7 *	
Chateaubas (5-12)	8/70	4,49*	
Saint Hyppolite o (1)	3/67	500 (stabilisation)	10.10^{-2} m^2/s
Mas Bellombre (5-20)	8/70	1,5 *	
Servanne (1-147)	8/70	6 *	
(1-129)	8/70	45 *	
(1-138)	8/70	2,65 *	
La Fameuse (1-132)	8/70	10,5 *	
Mas de Méou (1-59)	8/70	9	
Arnaud (1-155)	8/70	22 *	
Anguilles (1-150)	8/70	7	
S1 Raphèle			$0,4.10^{-2}$
S2 Raphèle			
S4 Meyrannes			$0,24.10^{-2}$
S3 Meyrannes			1.10^{-2}

* : débit spécifique relatif

(1) : pompage d'essai D.D.E. Arles

o : forage

Chapitre 3

CAUSE DES INONDATIONS

Pour mettre en lumière la cause des inondations, on a procédé à l'analyse des écoulements suivant la méthode de drainage.

31 - MODELE DE DRAINAGE

Le principe de continuité appliqué à l'écoulement d'une nappe vers des drains horizontaux en régime transitoire en l'absence de recharge s'exprime par

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} = -p \frac{\partial h}{\partial t}$$

avec :

q_x = débit à la distance x du drain

p = porosité efficace

h = charge hydraulique

ce qui signifie que le débit sortant d'un volume élémentaire de terrain situé entre les abscisses x et x + dx a un effet direct sur la hauteur de la surface de la nappe (fig. 2).

En combinant cette équation avec celle de DARCY on obtient :

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{KD}{p} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \qquad (1)$$

Considérons maintenant la fig 3, supposons qu'au temps $t = 0 - \mathcal{E}$ la surface de la nappe soit plate et au niveau de l'eau dans les drains. Au temps $t = 0$, une recharge instantanée R intervient qui fait monter le niveau de la nappe à la hauteur $h_o = \frac{R}{p}$.

A partir de ce moment, l'écoulement vers les drains fait décroître la hauteur de la nappe. Ce qui correspond aux conditions aux limites et initiales suivantes :

$$h = o \qquad o < x < L \qquad t < o$$

$$h = \frac{R}{p} = h_o \qquad o < x < L \qquad t = o$$

$$h = o \qquad x = o \quad x = L \qquad t \geqslant o$$

Pour ces conditions la solution de l'équation 1 est :

$$h_{(x,t)} = h_o \frac{4}{\pi} \sum_{n = 1,-3,5}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-n^2 at} \sin \frac{n \pi x}{L} \qquad (2)$$

avec $$a = \frac{\pi^2 KD}{p L^2} \qquad (3)$$

Si l'on néglige les termes d'ordre supérieur à 1, on aura :

$$h_{(x,t)} = \frac{4}{\pi} h_o e^{-at} \sin \frac{\pi x}{L} \qquad (4)$$

En coordonnées semi-logarithmiques, la fonction $h_{(x)} = f_{(t)}$ sera donc une droite, permettant de calculer la valeur de a, par la relation

$$a = 2{,}3 \operatorname{tg} \alpha$$

Connaissant la valeur de "a" et celle de la porosité il sera possible de calculer la transmissivité.

Figure 2

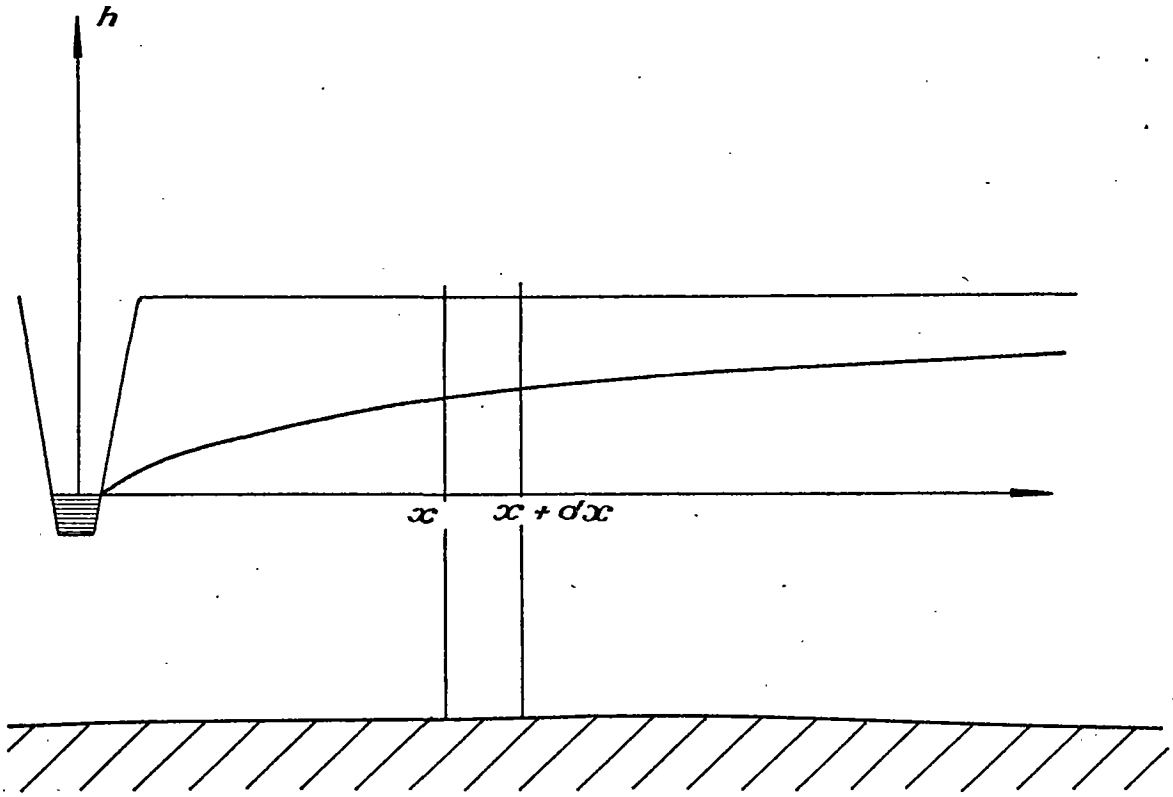
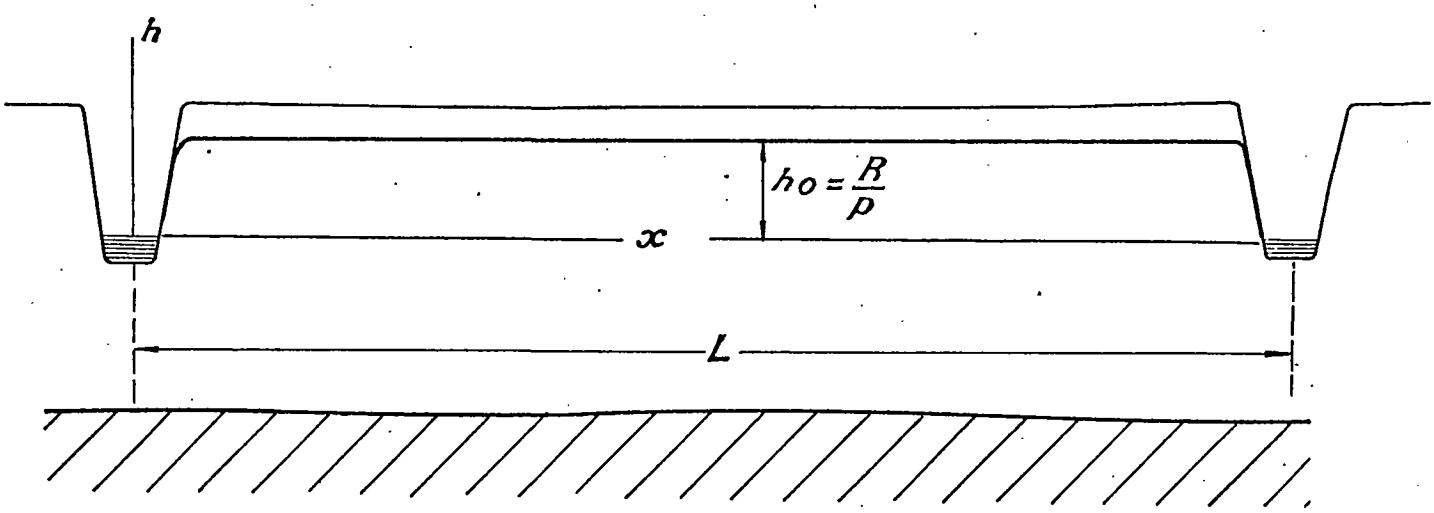


Figure 3



Cette méthode a été appliquée à tous les points qui ont fait l'objet de mesures régulières pendant la phase de tarissement (annexe VI et VII). On trouvera (annexe X) les graphiques de tarissement en coordonnées semi-logarithmiques.

Il apparait que sur les onze points, seul le puits du Mas Peyras a subi l'influence d'un drain jusqu'à ce que la nappe atteigne le niveau de celui-ci. Tous les autres subissent l'influence d'un seul niveau de base (pas de variation de pente dans la courbe de tarissement) probablement naturel et de cote inférieure à celui des drains existants. On peut donc admettre que :

- les drains n'ont que très peu d'effet sur la nappe (ou en tous cas un effet très localisé dans l'espace),
- le niveau de base le plus influent est sans doute constitué par la dépression de Meyranne.

Connaissant les différentes valeurs de "a", on a donc calculé les transmissivités en chaque point en supposant la porosité voisine de 0,02.

Les valeurs de x et L ont été déterminées respectivement par la distance entre le point et le niveau de base (dépression de Meyranne) et la distance entre ce dernier et la ligne du partage des eaux comptée suivant une ligne de courant.

Les résultats de ce calcul sont donnés dans le tableau 3. Les valeurs obtenues des transmissivités sont dans l'ensemble voisines de celles obtenues dans bon nombre de pompages d'essais.

32 - CAUSE DES INONDATIONS

Il est facile de montrer pourquoi le réseau de drainage actuel fonctionne mal. Si l'on calcule le débit naturel de la nappe par mètre de front par la relation simple

$$Q = Ti$$

on obtient pour $T = 1\,500\ m^2/j$ et $i = 5{,}5.10^{-3}$

$$Q = 1\,500 \times 5{,}5.10^{-3} = 8{,}2\ m^3/j$$

La surface intéressée est de 5 500 m^2 (longueur d'une ligne de courant x 1 m).

Ce débit correspond donc à une lame d'eau de $\frac{8,2}{5.500} = 1,5.10^{-3}$ m/j.

Par ailleurs, il est possible de calculer en chaque point la lame d'eau que l'aquifère peut décharger vers la dépression de Meyranne considérée comme niveau de base, pour la charge hydraulique maximale atteinte pendant l'année, pourvu que l'on connaisse le coefficient "a". On a en effet suivant la formule de HOOGHOUDT :

$$L^2 = \frac{8\ KDh}{q}$$

et d'autre part l'expression (3) $a = \frac{\pi^2\ KD}{pL^2}$

En combinant ces deux expressions, on obtient

$$\frac{h}{q} = \frac{\pi^2}{8\ ap} \qquad \text{d'où} \quad q = \frac{8aph}{\pi^2}$$

Les valeurs de h maximales correspondent à h_o (h pour t =o) lu sur les graphiques de l'annexe X.

Les valeurs de q obtenues sont portées sur le tableau 3. Elles se situent entre 1,3 et 2,6mm/j, ce qui est en bon accord avec le débit global de la nappe. Si l'on compare ces chiffres à celui des infiltrations probables (voir § 23) qui sont de 4 à 5 mm, il est clair que la nappe ne peut assurer l'évacuation de la recharge.

Si maintenant en chaque point considéré on calcule l'écartement des drains nécessaires pour évacuer les débits portés sur le tableau 3 sous une charge de 0,5 m au dessus des drains, on aura un système équivalent à celui de la nappe s'écoulant naturellement.

Ces écartements sont les suivants :

- Peyras : 3.180 m
- Escampon : 1.660 m
- Tilleuls : 1.580 m
- Malpeigne : 1.730 m
- Moreau : 1.565 m
- 150 : 1.670 m
- 123 : 1.510 m
- 160 : 1.510 m
- 9 : 1.720 m
- 154 : 1.280 m
- 158 : 1.020 m

En moyenne, ils correspondent à l'écartement existant actuellement entre les fossés de Bellombre et Mandon-Saunier. C'est à dire qu'ils sont capables d'évacuer environ 1,5 mm/j mais non 5 mm/j. Il est significatif à cet égard qu'une zone sinistrée apparaisse entre les fossés de Bellombre et Mandon-Saunier. Nous verrons également plus loin que la profondeur des fossés est insuffisante.

TABLEAU 3

VALEURS DES TRANSMISSIVITES ET DES DEBITS

	a	KD m^2/j	m^2/s	q mm/j
Peyras	$14,6.10^{-3}$	2.360	$2,7.10^{-2}$	0,93
Escampon	$9,0.10^{-3}$	1.800	$2,2.10^{-2}$	2,6
Tilleuls	$7,8.10^{-3}$	1.260	$1,5.10^{-2}$	2,0
Malpeigne	$6,3.10^{-3}$	1.500	$1,7.10^{-2}$	2,0
Moreau	$5,7.10^{-3}$	920	$1,1.10^{-2}$	1,5
150	$4,65.10^{-3}$	1.115	$1,3.10^{-2}$	1,6
123	$3,7.10^{-3}$	740	$0,85.10^{-2}$	1,3
160	$4,0.10^{-3}$	800	$0,9.10^{-2}$	1,4
9	$6,3.10^{-3}$	1.260	$1,5.10^{-2}$	1,7
154	$4,35.10^{-3}$	580	$0,7.10^{-2}$	1,4
158	$4,25.10^{-3}$	1.020	$1,2.10^{-2}$	1,3

Chapitre 4

DISPOSITIFS DE DRAINAGES

On peut envisager deux solutions compte tenu de la forte valeur des transmissivités soit un drainage "horizontal", soit un drainage "vertical".

41 - DRAINAGE PAR DRAINS HORIZONTAUX

411 - Ecartement des drains (Annexe 1)

Les écartements doivent être calculés en chaque point en fonction de la transmissivité d'une part et de la lame d'eau à évacuer, soit 5 mm/j. Utilisant la formule de HOOGHOUDT

$$L^2 = \frac{8KDh}{q}$$

pour une charge hydraulique de 0,50 m on obtient alors :

- Peyras : 1.370 m
- Escampon : 1.200 m
- Tilleuls : 1.000 m
- Malpeigne : 1.100 m
- Moreau : 860 m
- 150 : 945 m
- 123 : 763 m
- 160 : 800 m
- 9 : 1.000 m
- 154 : 680 m
- 158 : 890 m

Les 123 et 154 pour lesquels les écartements sont les plus faibles sont hors des zones en danger. Nous choisirons donc, en première phase d'assainissement, un écartement de 800 m. Les drains de Bellombre et Mandon-Saunier étant conservés, une solution possible sera de placer 3 nouveaux drains suivant le schéma de l'annexe I :

1. un drain à l'Ouest du fossé de Bellombre parallèle à celui-ci,
2. un drain également parallèle à mi-distance des fossés de Bellombre et de Saunier,
3. un drain suivant la route du mas Mandon jusqu'à Saint Virgile. De ce point, le drain rejoindra le collecteur Mandon-Saunier pour suivre la ligne de plus grande pente.
4. Il y aurait certainement intérêt à supprimer les collecteurs de Mandon-Saunier et à les remplacer par un drain unique à l'emplacement indiqué sur la planche I

412 - Profondeur des drains

La profondeur à donner aux drains est la somme :

a) de la profondeur de la nappe par rapport au sol sur la ligne $\frac{L}{2}$ telle qu'il n'y ait pas de danger pour les racines, fixons-la à 0,50 m,

b) de la charge hydraulique nécessaire pour évacuer le débit. Nous l'avons choisi égale à 0,5 m (voir 32),

c) de la résistance radiale due au resserrement des lignes de courant au voisinage des drains. Elle se calcule par la formule :

$$R_r = \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{0,7\ D}{r} \right)$$

avec R_r : résistance radiale,

D : épaisseur de l'aquifère : environ 30 m

r : rayon d'un tube équivalent à la partie mouillée du drain ; pour 20 cm de hauteur d'eau et un plafond de 0,50, sa valeur est d'environ 0,3 m

$$R_r : \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{0,7\ D}{0,3} \right)$$

$$R_r \simeq 1,35 \text{ m}$$

d) de la hauteur d'eau dans le drain soit 0,2 m.

Finalement la profondeur P est égale à :

$P = 0,5 + 0,5 + 1,35 + 0,20$

$$\boxed{P = 2,55}$$

Compte tenu que le terrain est en pente, une profondeur de 2,20 m devrait suffire. Tous les drains existants et nouveaux, devront dont être creusés à cette profondeur.

413 - Dimensions des drains

Le volume total à évacuer en bout de drain est pour une longueur moyenne de drain de 2.500 m et un écartement de 800 m de :
$2.500 + 800 + 5.10^{-3} = 11.200\ m^3/j$
soit environ 0,11 m^3/s.

Un fossé de 0,50 de plafond avec des talus de 1/1 et une hauteur mouillée de 0,20 m permettrait d'évacuer pour un coefficient de rugosité Km = 5 $m^{1/3}$/sec (MANNING) et une pente moyenne de 0,65 $^{0}/_{oo}$, environ 2 m^3/s. Ces dimensions sont donc largement suffisantes pour les eaux de drainage et les eaux de pluie. La pente des talus doit pouvoir être ramenée à 2/3 ou même moins, compte tenu de ce que les cailloutis sont fréquemment cimentés.

42 - DRAINAGE PAR DRAINS VERTICAUX (Annexe I)

Une autre solution possible consisterait à drainer par un système de forages disposés suivant une maille rectangulaire. Si l'on place 6 forages à une distance a = 1.000 m sur deux lignes parallèles distantes de b = 2.000 m suivant le schéma de l'annexe I, le débit à évacuer sera en régime permanent

$Q = q\ ab$

q étant égal à 5 mm/j

$$Q = 10.000\ m^3/j$$

Un forage devrait donc débiter
en pompage continu : $Q = 70\ m^3/h$
pour 17 h de pompage par jour : $Q = 100\ m^3/j$

Le rabattement en pompage continu est donné en première approximation par la formule suivante :

$$\Delta \varphi = \frac{qa^2}{8KD} + \frac{q\ ab}{2\ \pi KD} \ln \frac{b}{\pi\ r_o}$$

avec r_o (rayon de la crépine) = 0,15 m

d'où $\Delta \varphi = 6,7$ m

Soit en comptant des pertes de charges dues à la circulation dans la crépine et le tubage, environ 7 m. Les crépines auraient alors un diamètre de 300 mm.

Le moment de la mise en route des forages devrait être déterminé par la hauteur de la nappe sur la ligne médiane située entre les 2 lignes de forages. Il serait donc nécessaire d'avoir sur cette ligne médiane 2 à 3 piézomètres. Il est probable qu'il faudrait commencer à pomper dès que la nappe atteindrait environ 1 m de profondeur.

On peut évidemment envisager une autre répartition des forages. Celle qui est proposée a l'avantage de répartir les rabattements et de placer les forages à proximité des voies d'accès. Dans tous les cas, cette disposition reste liée à la présence ou non de zones conductrices a cailloutis non cimentés. Des compléments d'informations pourraient être fournis grâce à l'établissement de quelques profils sismiques.

43 - REMARQUES

L'assainissement global de la zone sinistrée est conditionné par des problèmes de rentabilité. Les investissements nécessaires à un tel assainissement sont-ils compatibles avec la productivité agricole potentielle des surfaces récupérées ? Si tel n'est pas le cas, des mesures partielles, peu coûteuses, pourraient être envisagées à l'échelle des associations des irrigants et des particuliers. Elles passent en premier lieu par l'amélioration des réseaux de drainage existant et par une maintenance générale rigoureuse. Toutefois, pour éviter tous travaux inutiles, cette amélioration devra être controlée et dirigée par un spécialiste en matière de drainage.

L'alimentation en eau d'Arles, par utilisation des ressources de la Crau occidentale, contribuera également, si les recherches en cours aboutissent, à l'amélioration de la situation.

Par ailleurs dans le contexte général qui vient d'être décrit, il apparait souhaitable de rechercher dans quelles conditions le volume des eaux d'irrigation pourrait être diminué sans provoquer de difficultés aux exploitants. Sans aller jusqu'à changer le mode d'irrigation, il est probable qu'une surveillance attentive des volumes d'eau utilisés contribuerait grandement à l'amélioration de la situation et stopperait certainement le processus général de dégradation qui a été observé.

Chapitre 5

C O N C L U S I O N

L'étude qui précède a montré que les inondations sont consécutives à la fois à une montée de la nappe à des niveaux inconnus autrefois, et à l'insuffisance du réseau de drainage existant.

Elle a montré également qu'on peut éviter les inondations en installant un réseau de drainage plus dense, par le moyen soit de fossés supplémentaires, soit de forages. Le choix du système devra être fait en fonction de considérations économiques dont nous ne connaissons pas tous les paramètres. Ce choix fait, quelques études complémentaires permettront de fixer définitivement le tracé du réseau de drains horizontaux ou l'emplacement et la dimension des forages.



Fauchage du collecteur de Bellombre



Marais des Chanoines : fonçage en des eaux du collecteur de Bellombre



Collecteur au passage de la voie S.N.C.F.



Sortie aval de la voie S.N.C.F.



Vallon de Bellombre : drain particulier suffisamment entretenu, état satisafaisant de la prairie



Vallon de Bellombre : drain particulier pas entretenu et à peine perceptible, prairie transformée en marécage.



Etat défectueux d'une prairie aux abords d'un chemin vicinal légèrement surélevé et formant barrage à l'évacuation des eaux.



Ouverture d'un drain particulier avec rejet des déblais sur la partie aval, en bordure d'un chemin vicinal : état de la prairie satisfaisant.



Drain envahi par les herbes et présence de déblais à l'amont



Rigole d'évacuation des eaux excédentaires d'irrigation vers un drain.

B.R.G.M - S.G.R P.C

Annexe: I

Zones submersibles de Raphèle-Moulès

Situation des parcelles affectées par les inondations

Enquête du 13 et 14 août 1969 effectuée par
la Direction Départementale de l'Agriculture

- Zone à herbage de qualité médiocre (d'après Mme Mangin)
- Zone périphérique
- Zone immergée
- Collecteurs existants
- Stations de jaugeage et débits en l/s
- Drains à installer
- Forages pour dispositifs de drainage vertical

Ech: 1/10000



B.R.G.M - S.G.R P.C

Annexe: II

Zones submersibles de Raphèle-Moulès

Surface piézomètrique Mai 1970

- •9,13 Puits avec altitude du plan d'eau
- ⊙ Puits équipé d'un limnigraphe
- ⊗ Puits à pas de mesures hebdomadaires
- (6)— Hydro-isohypse (altitude en mètre)

Ech: 1/10 000



B.R.G.M - S.G.R P.C

Annexe: III

Zones submersibles de Raphele-Moules

Profondeur de la surface piézomètrique

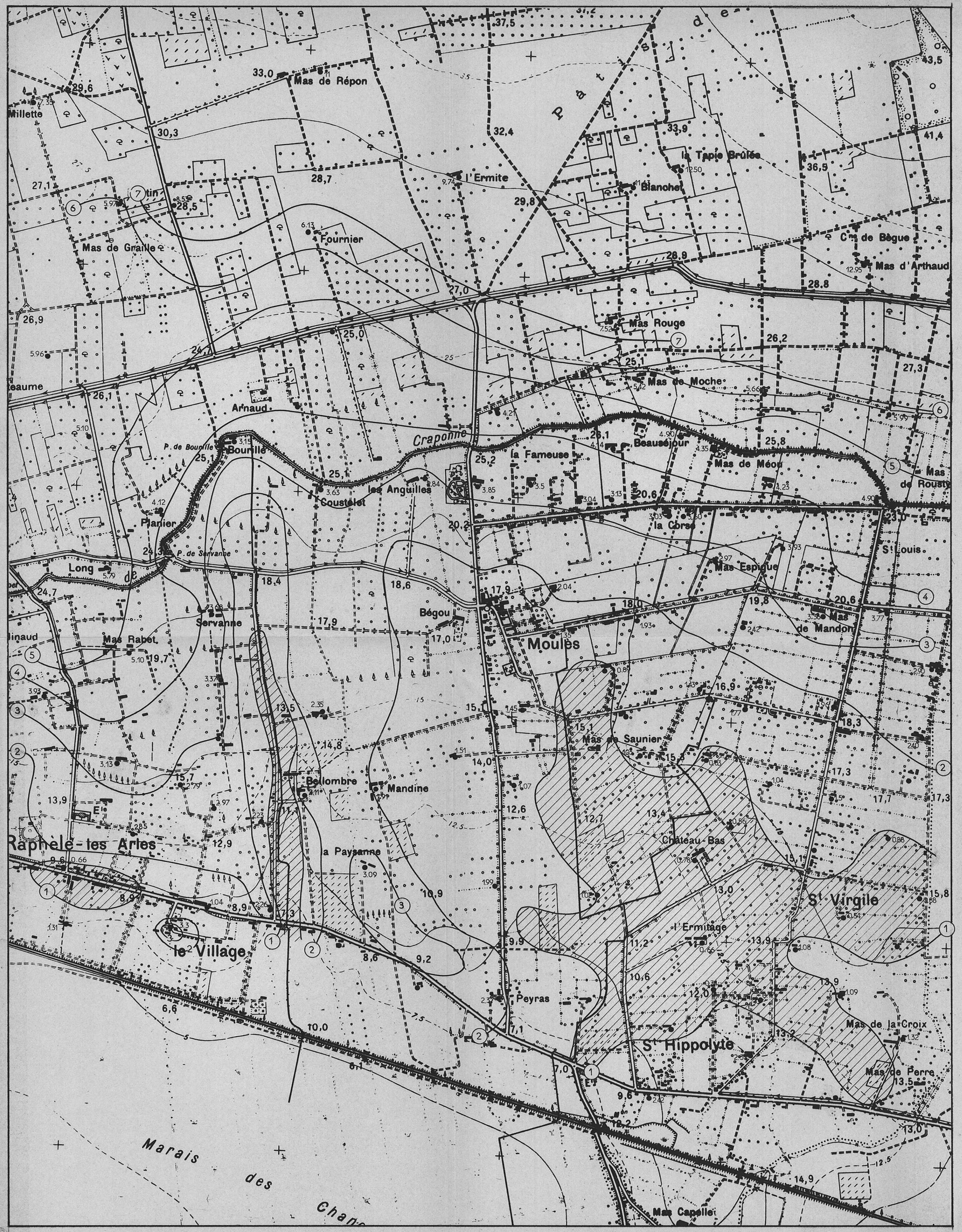
Mai 1970

● 5,96 Puits et profondeurs en mètres

Courbe d'égale profondeur en mètres

Zone où l'eau est à moins de 1 mètre sous le sol

Ech: 1/10 000



B.R.G.M - S.G.R PC

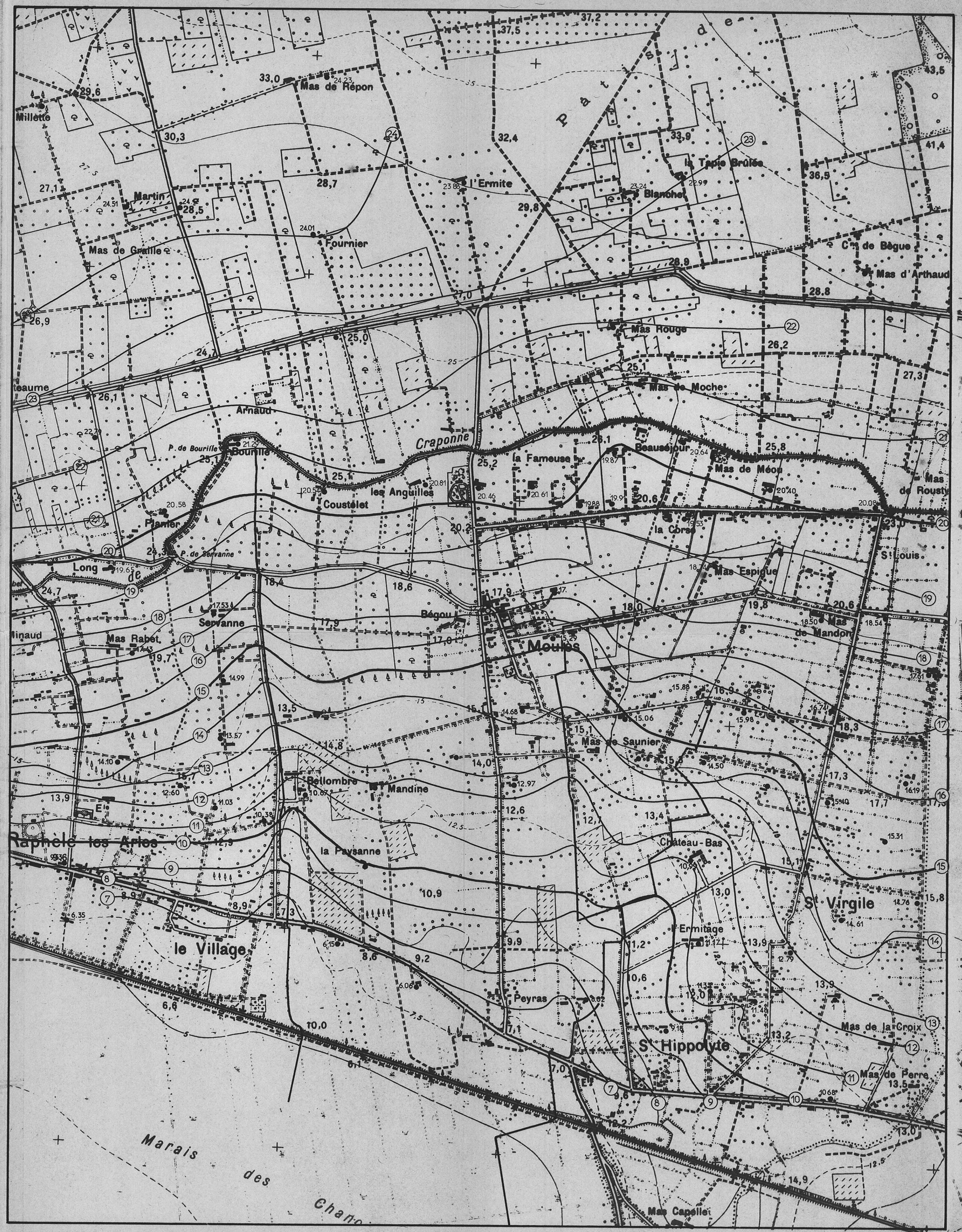
Annexe: IV

Zones submersibles de Raphèle-Moulès

Surface piézométrique Juillet 1970

- 17.43 Altitude du plan d'eau
- ⊙ Puits équipé d'un limnigraphe
- ⊗ Puits à pas de mesures hebdomadaires
- (6) Hydro-isohypse (altitude en mètres)

Ech: 1/10 000



B.R.G.M - S.G.R PC

Annexe: V

Zones submersibles de Raphèle-Moulès

Profondeur de la surface piézomètrique

Juillet 1970

●1,76 Puits et profondeur en mètres

③ Courbe d'égale profondeur en mètres

Zone où l'eau est à moins de 1 mètre sous le sol

Ech: 1/10 000



BRGM - S.G.R PC

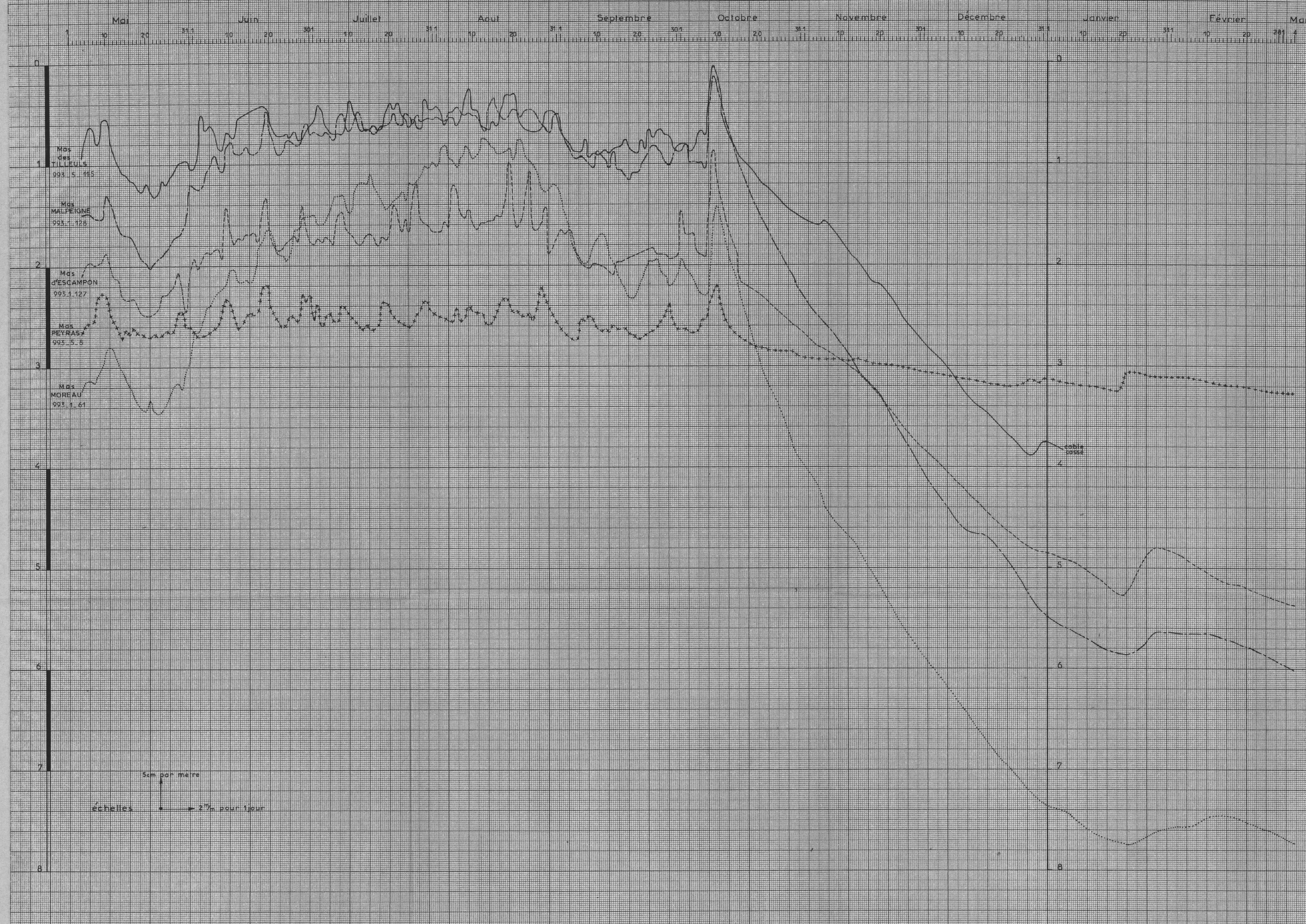
Annexe: VI

Zones submersibles de Raphèle-Moulès

Variations piezometriques enregistrées sur

les limnigraphes du 11_5_70 au 4_3_71

Ech: 1/10 000



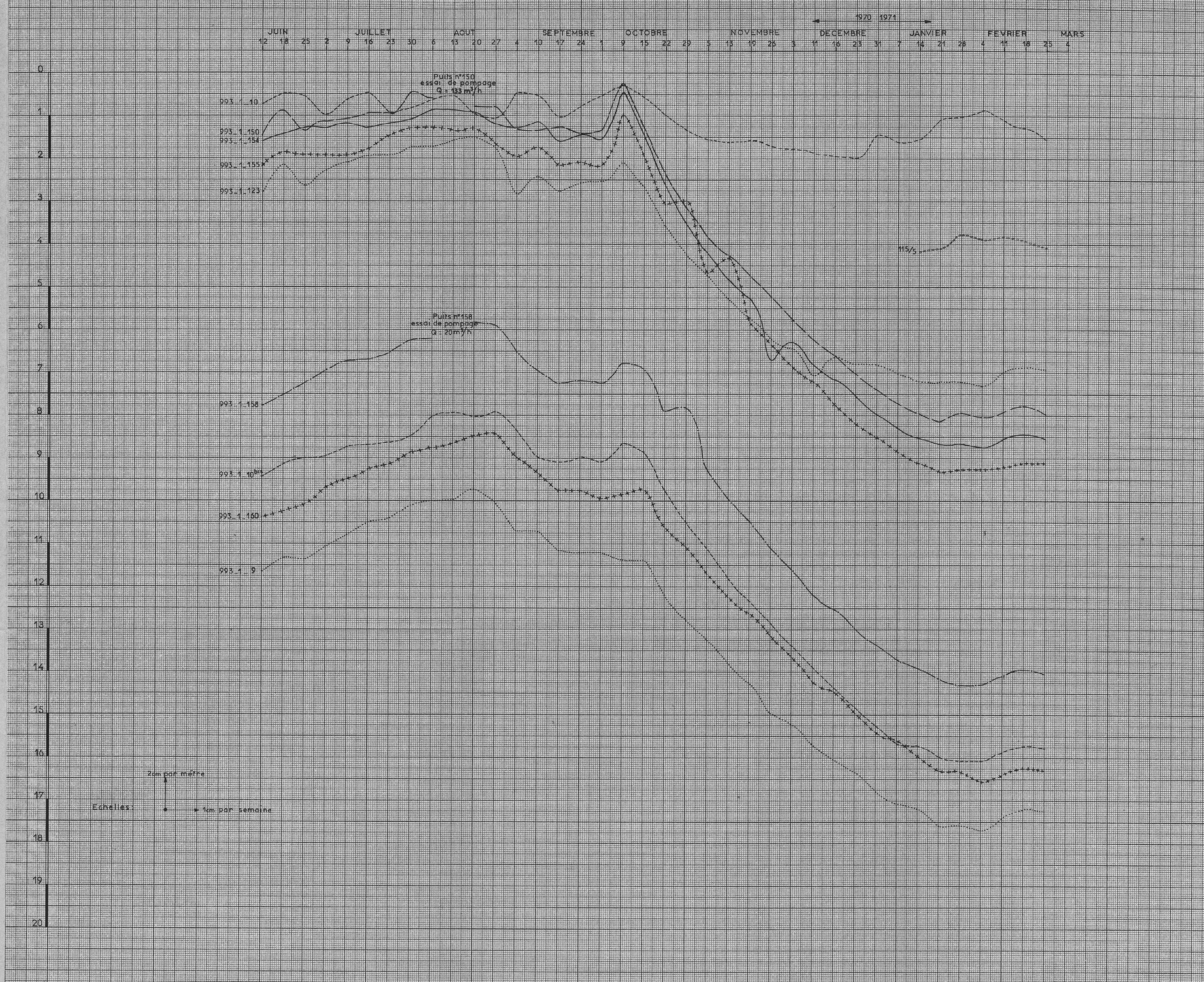
B.R.G.M - S.G.R P.C

Annexe: VII

Zones submersibles de Raphèle-Moulès

Mesures hebdomadaires des variations
du niveau piezométrique sur 9 puits fermiers
du 12_6_70 au 27_2_71

Ech: 1/10 000



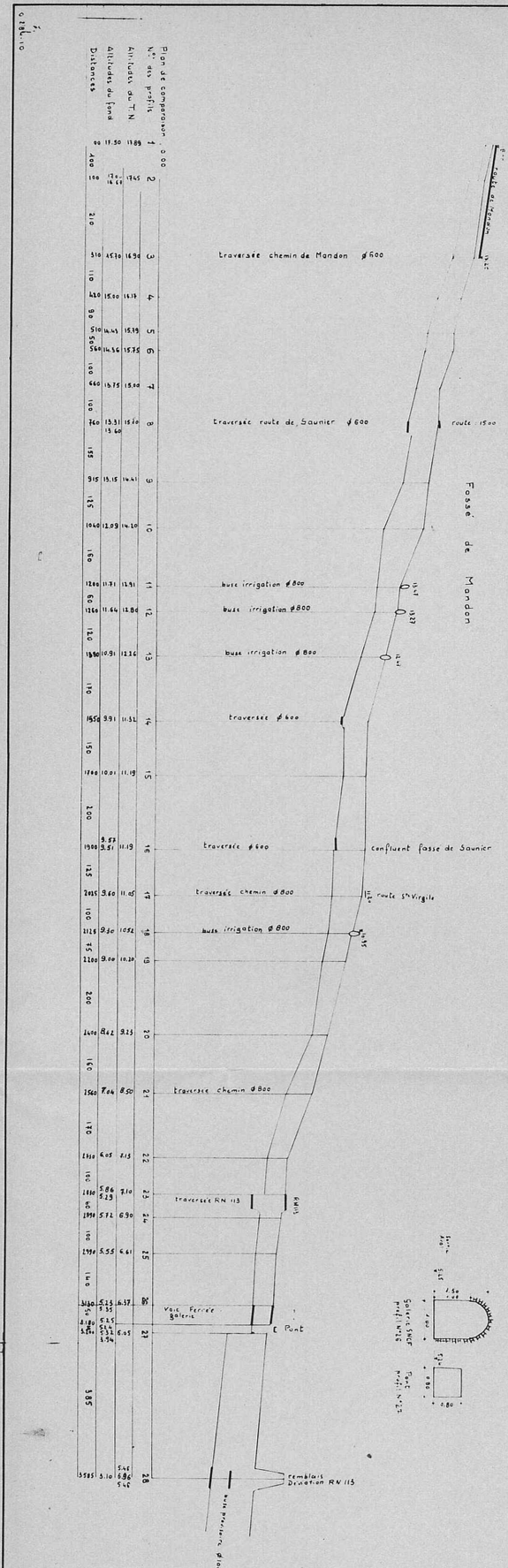
B.R.G.M _ S.G.R P.C

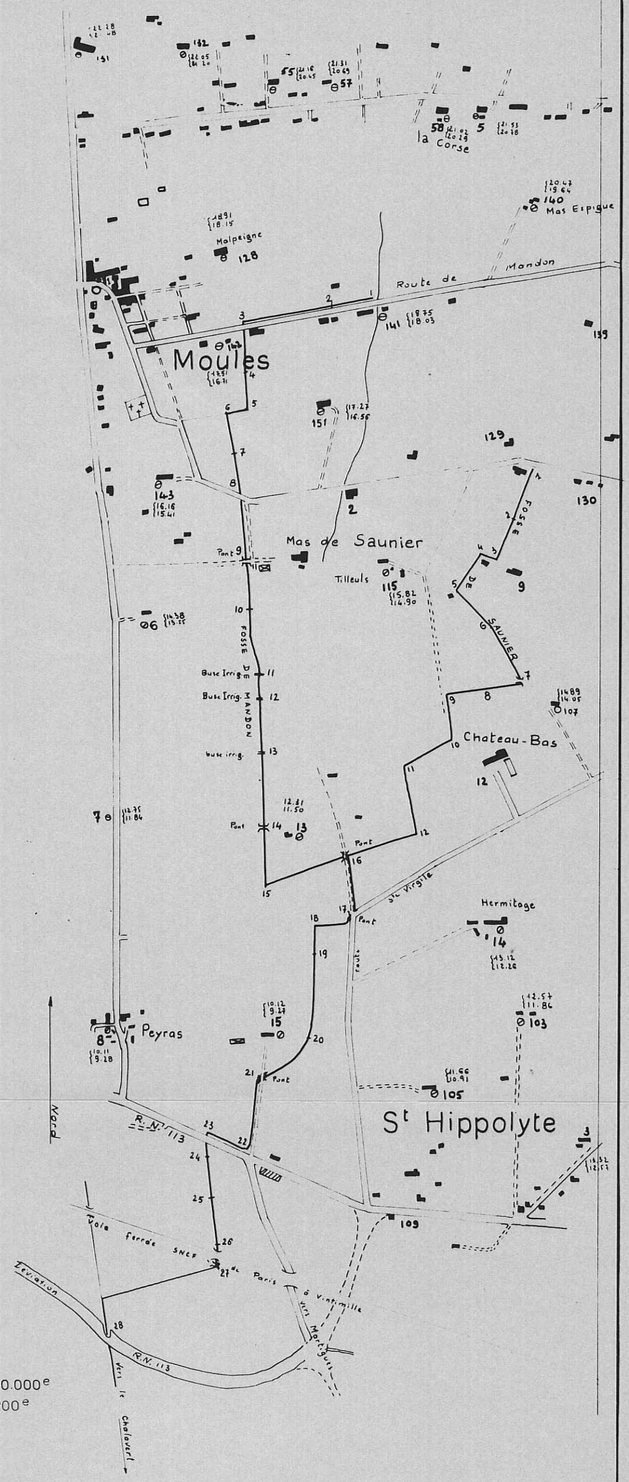
Annexe: VIII A

Zones submersibles de Raphèle-Moulès

Profils longitudinaux des collecteurs principaux dressés par la Direction Départementale de l'Agriculture

FOSSES DE MONDON ET DE SAUNIER





Echelle des profils en long { longueur 1/10.000e ; hauteur 1/200e

Plan des fossés

Echelle 1/10000

B.R.G.M - S.G.R P.C

Annexe: VIII B

Zones submersibles de Raphèle-Moulès

Profils longitudinaux des collecteurs principaux dressés par la Direction Départementale de l'Agriculture

FOSSES DE BELLOMBRE

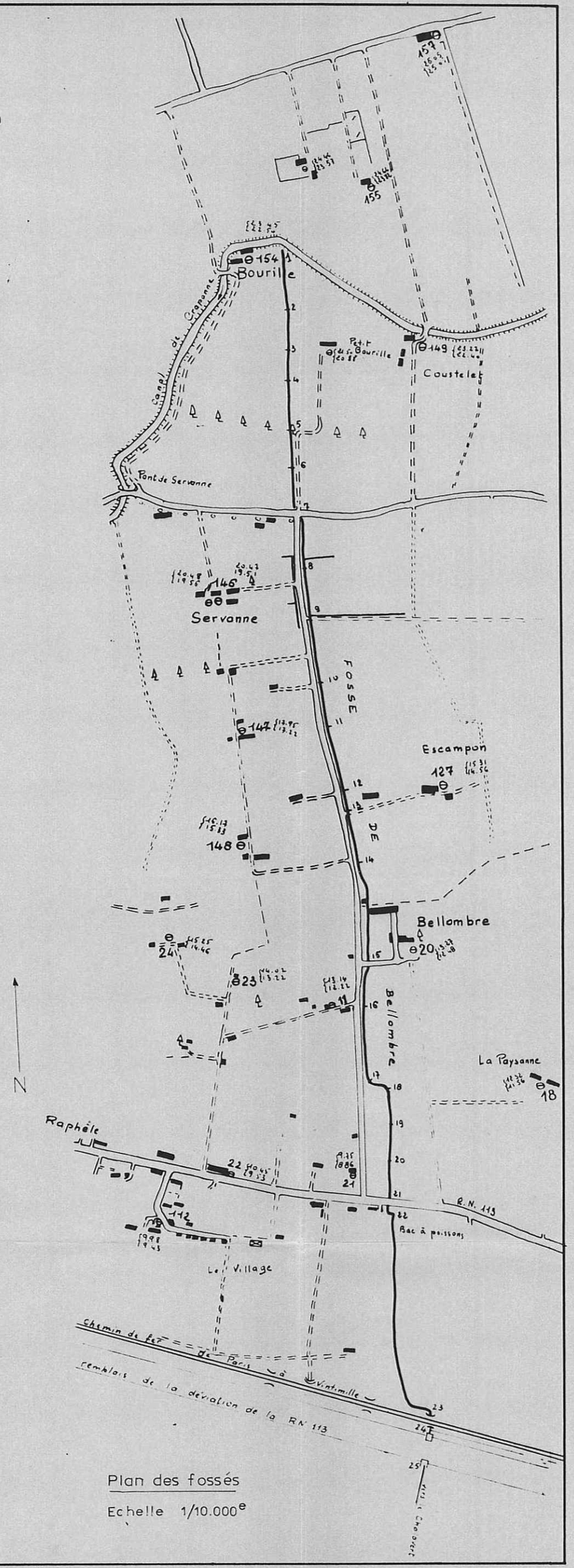
Echelle des profils en long — longueurs 1/10.000 — hauteurs 1/200

Distances	Altitudes du fond	Altitudes du T.N.	N° des profils	Plan de Comparaison: 0.00
			1	Canal de Craponne
140	20.88	21.59	2	
130	20.66	22.80	3	
300	19.14	20.16	4	
410	18.40	19.43	5	
500	17.98	18.19	6	
590	17.16	18.14	7	croisement route Moulès Ø 500
740	15.98	17.19	8	
860	15.01	16.10	9	
1020	13.93	14.89	10	
1110	13.20	14.36	11	
1370	12.01	13.51	12	
1515	11.56	12.24 / 12.13	13	Pont Escampon
1635	11.05	12.66	14	
1655	10.05	11.42	15	Pont Bellombre
1865	9.04	10.48	16	
1945	7.66	9.41	17	
1995	6.89	8.56	18	
2088	5.93	8.03	19	
2135	5.43	6.93	20	
2165	5.18	6.84	21	Traversée R.N.113
2194	4.82	6.80	22	Pont à Passons
2810	6.15	5.61	23	Galerie V.R. 1.40 x 0.60
2860	6.30	5.65	24	buse Ø 1500
2880	6.00	6.65	25	
2910	5.10	6.60		

Pont provisoire pour le passage d'engins mues sur pneus à l'entrée de la galerie V.R.

vue ferrée

remblais de la déviation R.N. 113



Plan des fossés

Echelle 1/10.000e

B.R.G.M - S.G.R P.C

Annexe: IX

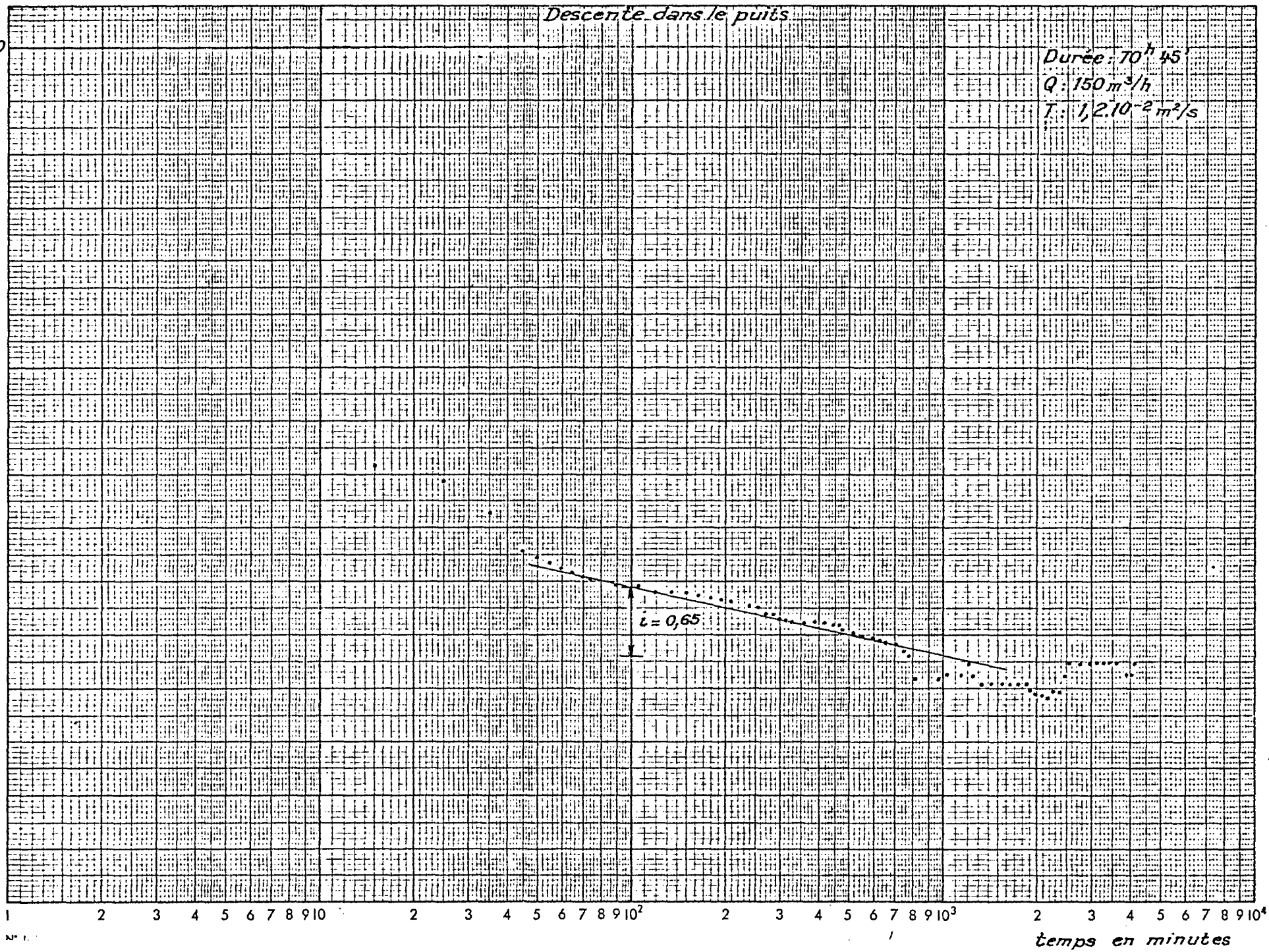
Zones submersibles de Raphèle-Moulès

Pompages d'essai — graphiques

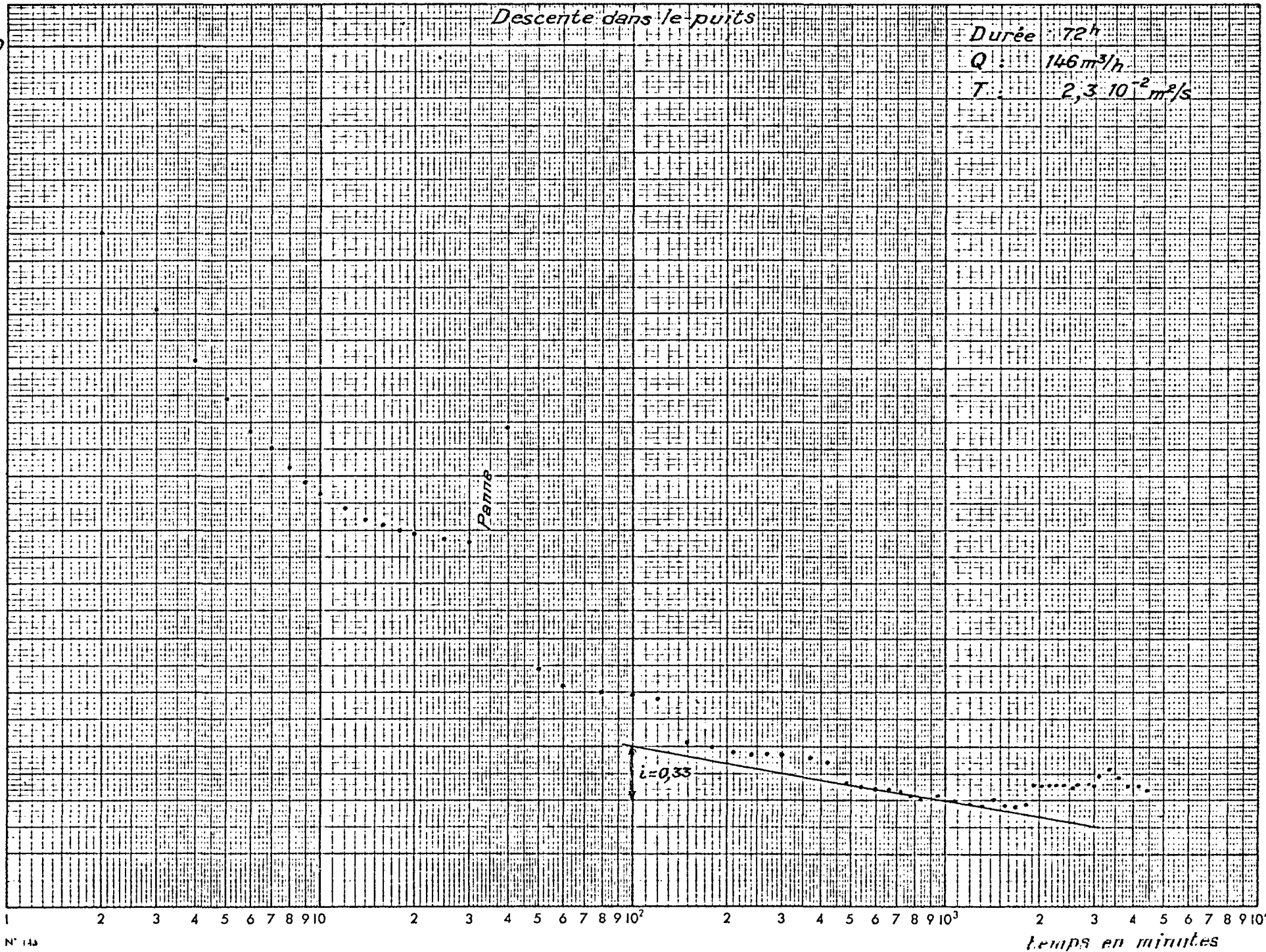
Ech: 1/10 000

Mas Bourille _ Pompage du 26 au 29-8-1969

Pl.1



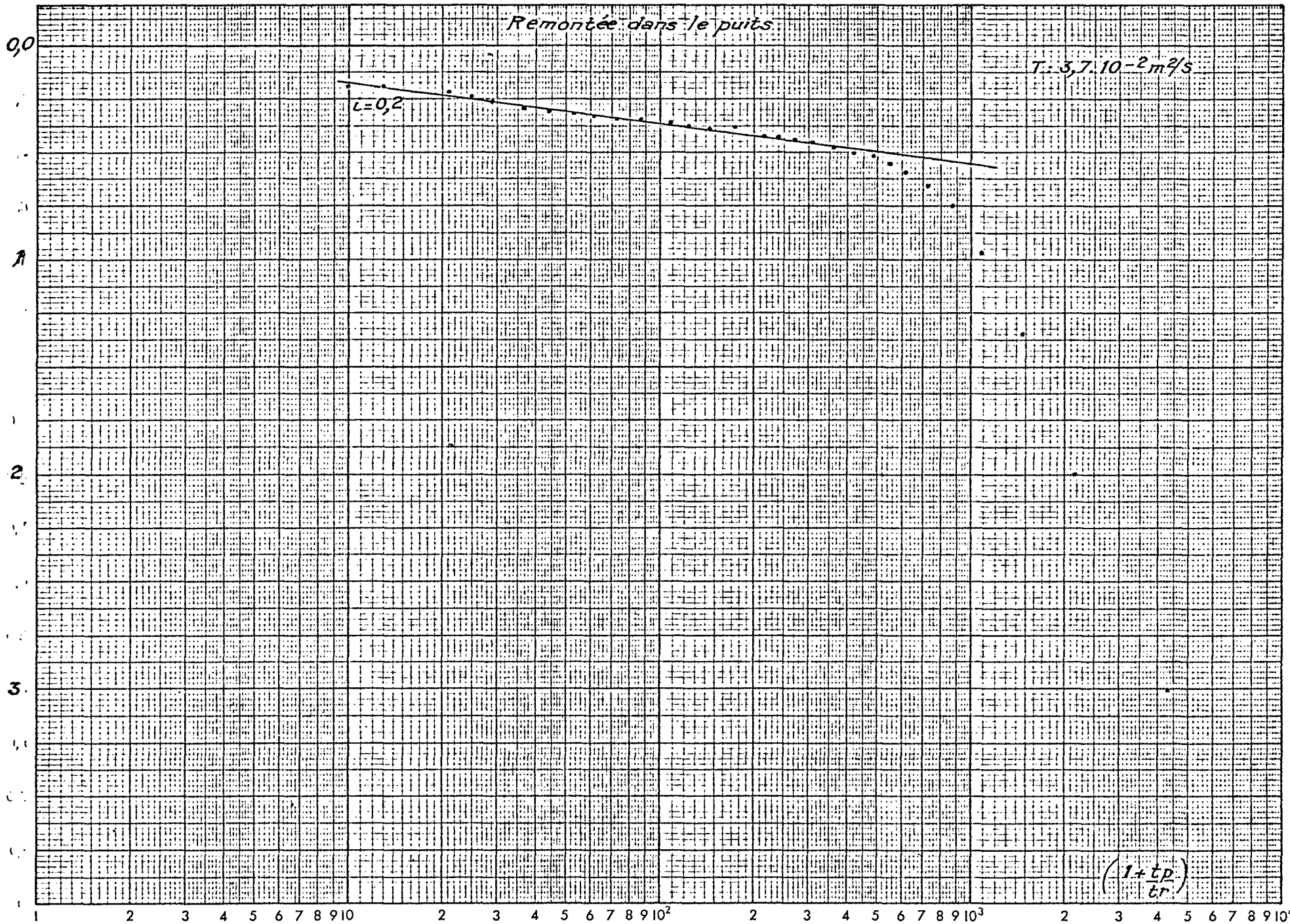
Mas l'Ermite - Pompage du 11 au 14-8-70 Pl. 2



N° 143

Mas l'Ermite_Pompage du 11 au 14-8-70

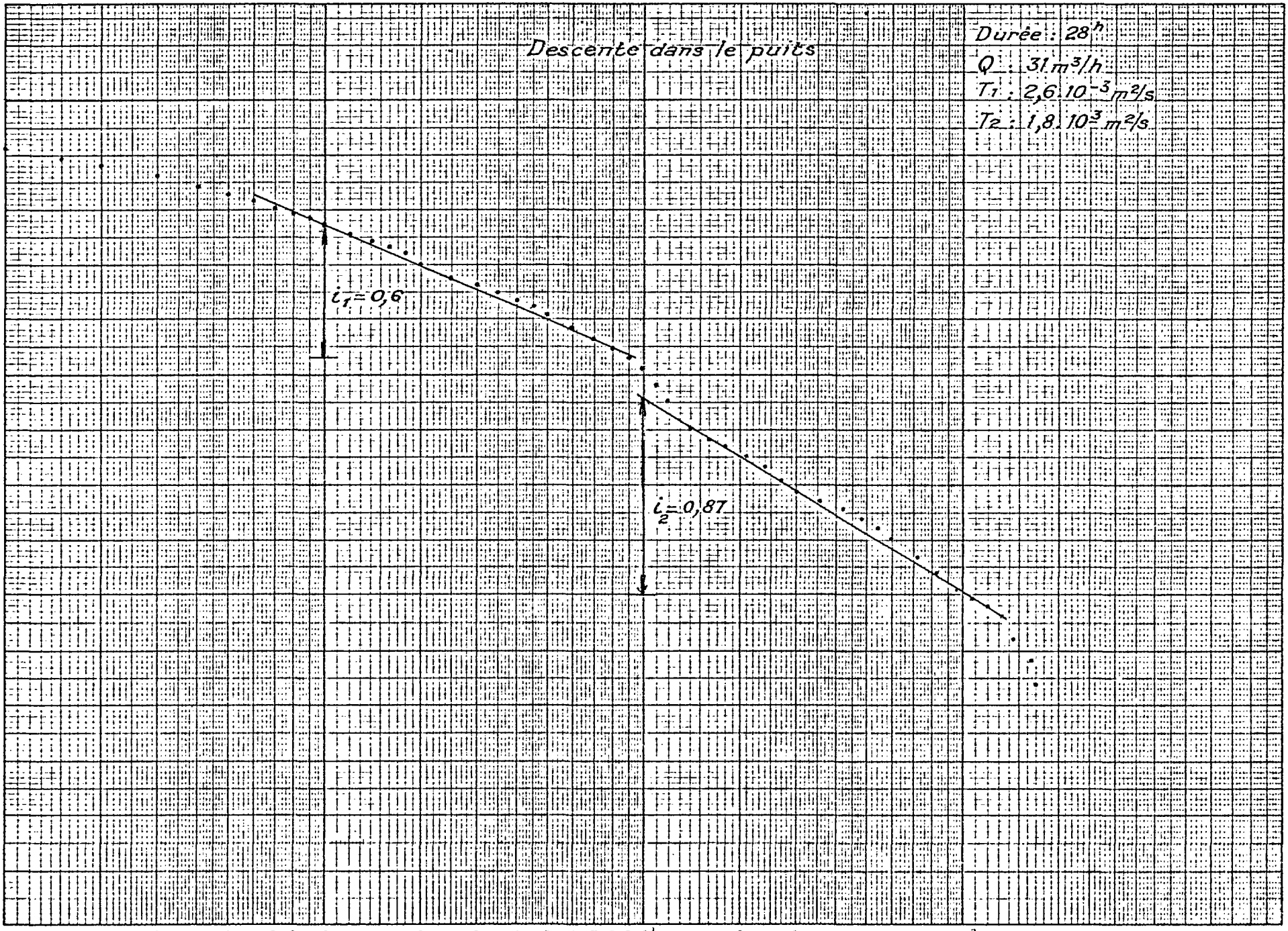
Pl.3



N° 1

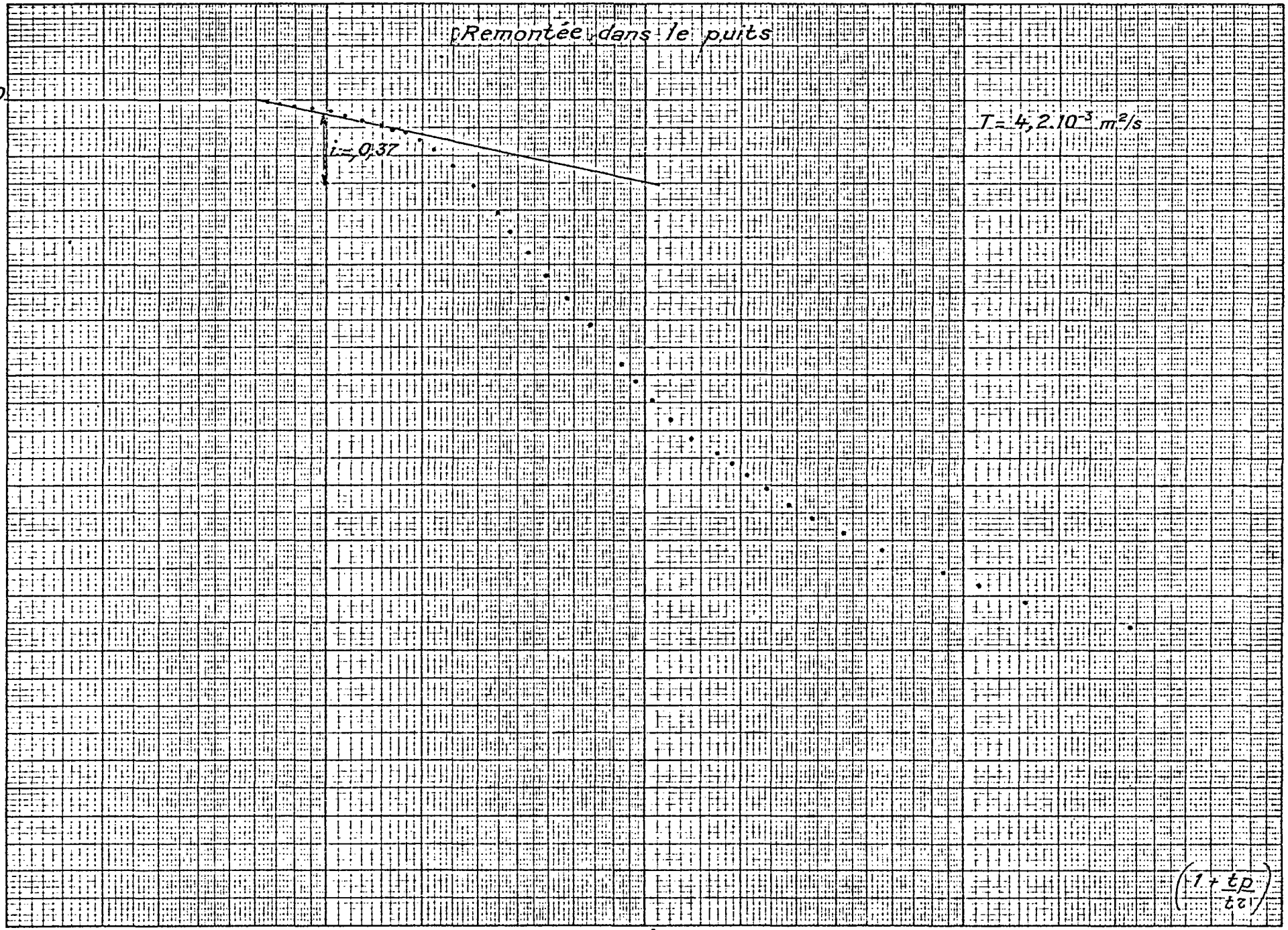
Mas l'Ermite Pompage du 26 au 27-1-71

Pl.4



Mas l'Ermite - Pompage du 26 au 27-1-71

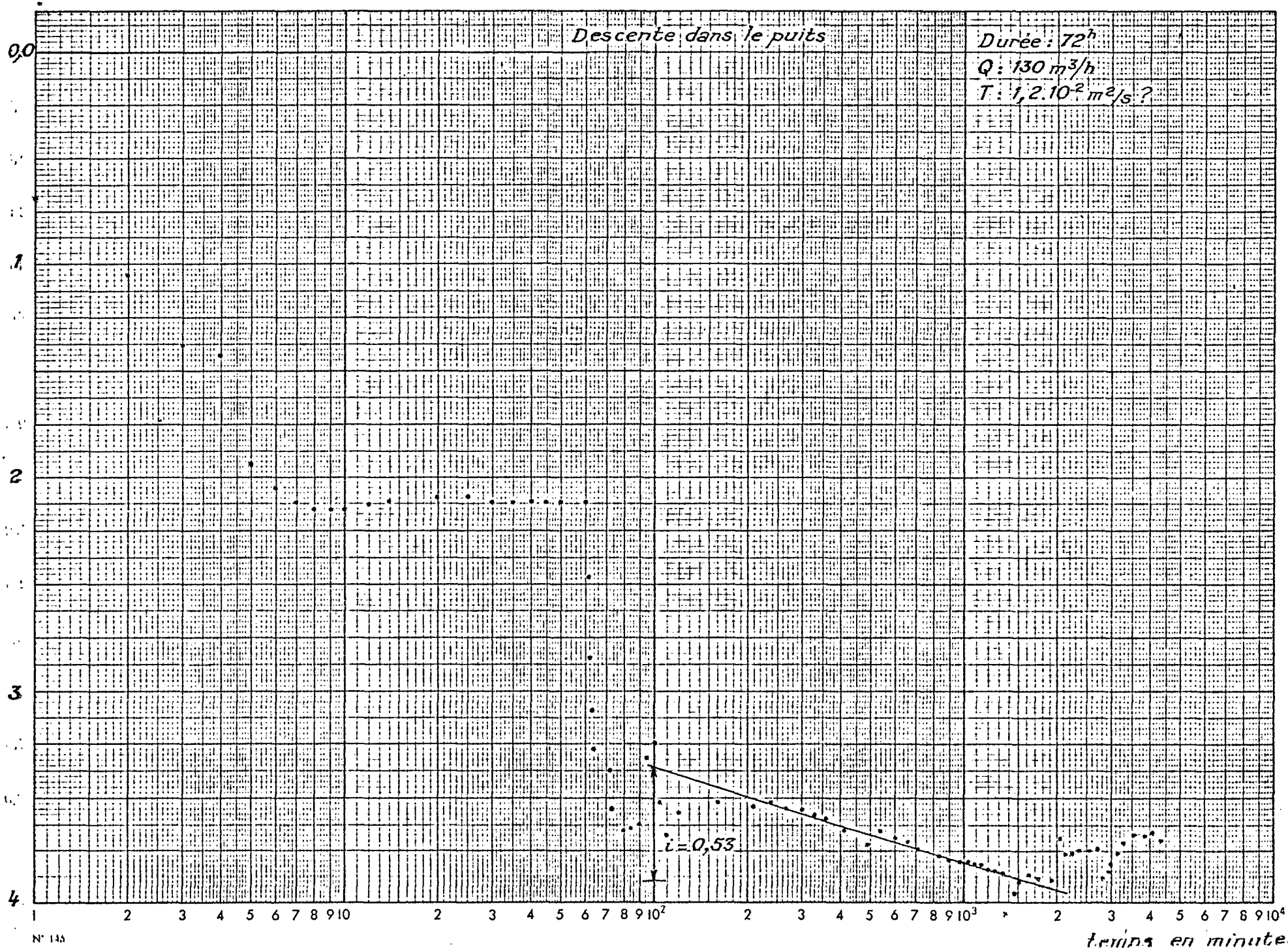
Pl. 5



N° 146

Mas Rouge - Pompage du 17 au 19-8-70

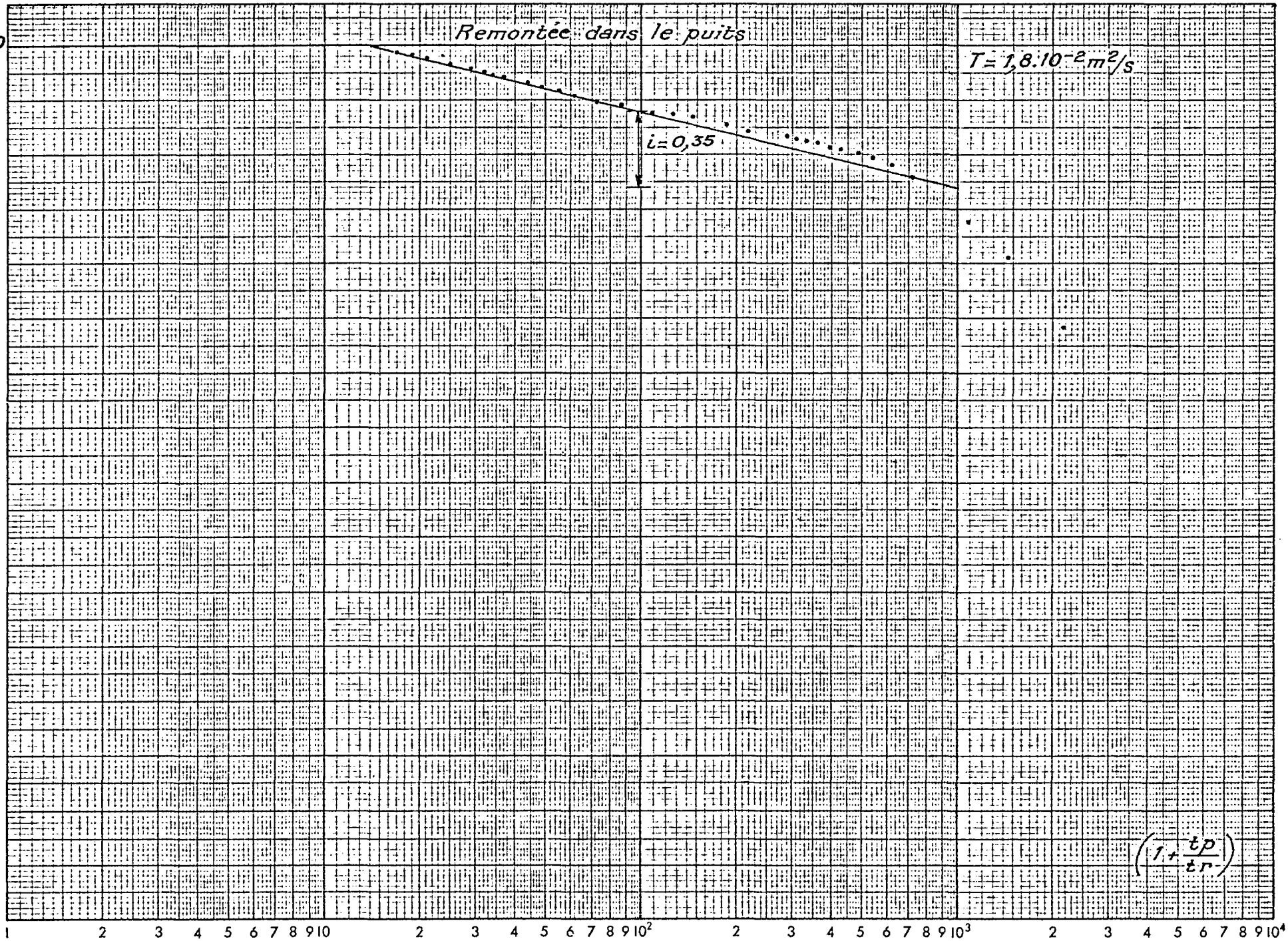
Pl. 6



N° 135

Mas Rouge _ Pompage du 17 au 19-8-70

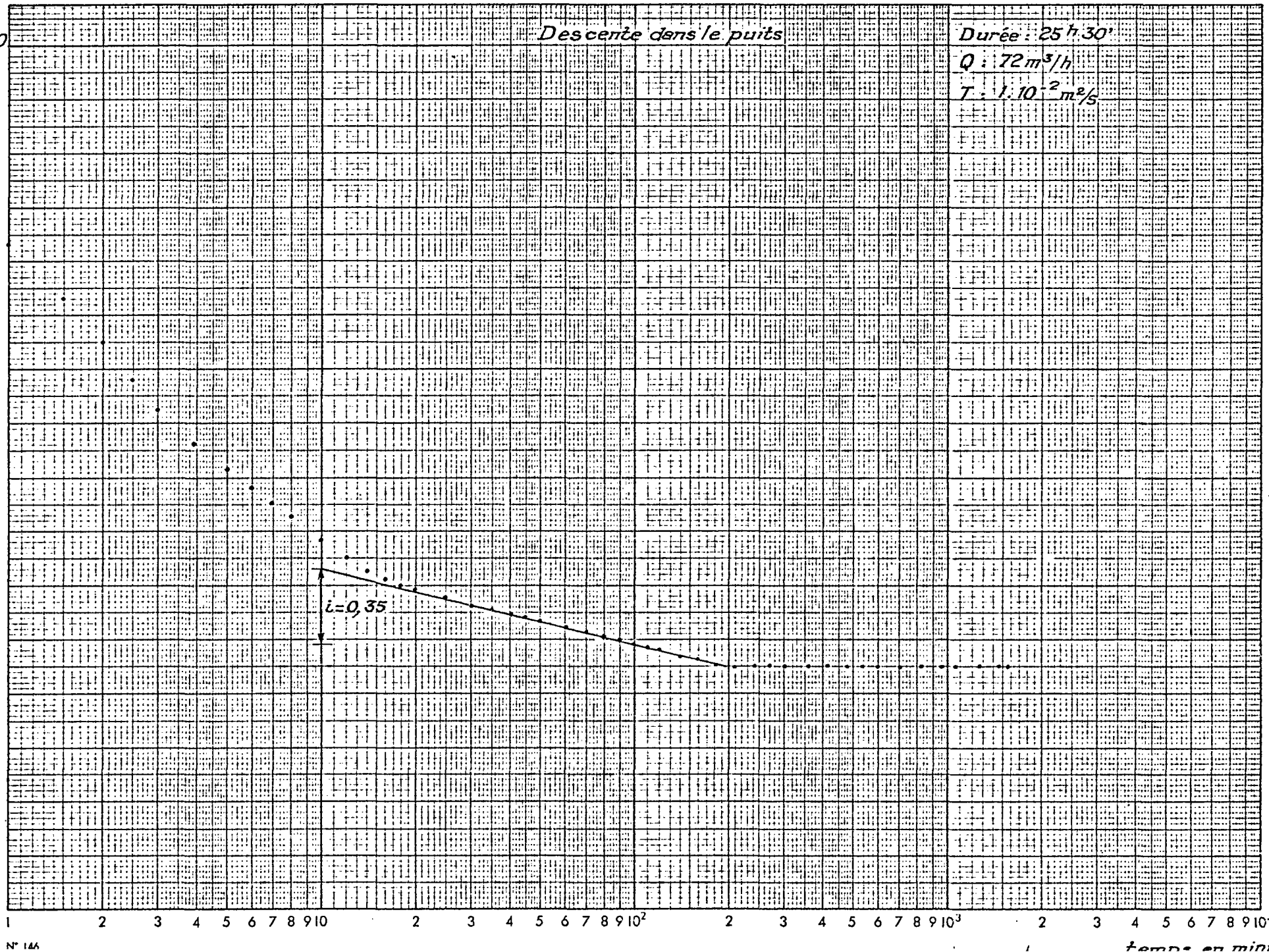
Pl.7



N° 1

Mas Rouge _ Pompage du 19. au 21-1-71

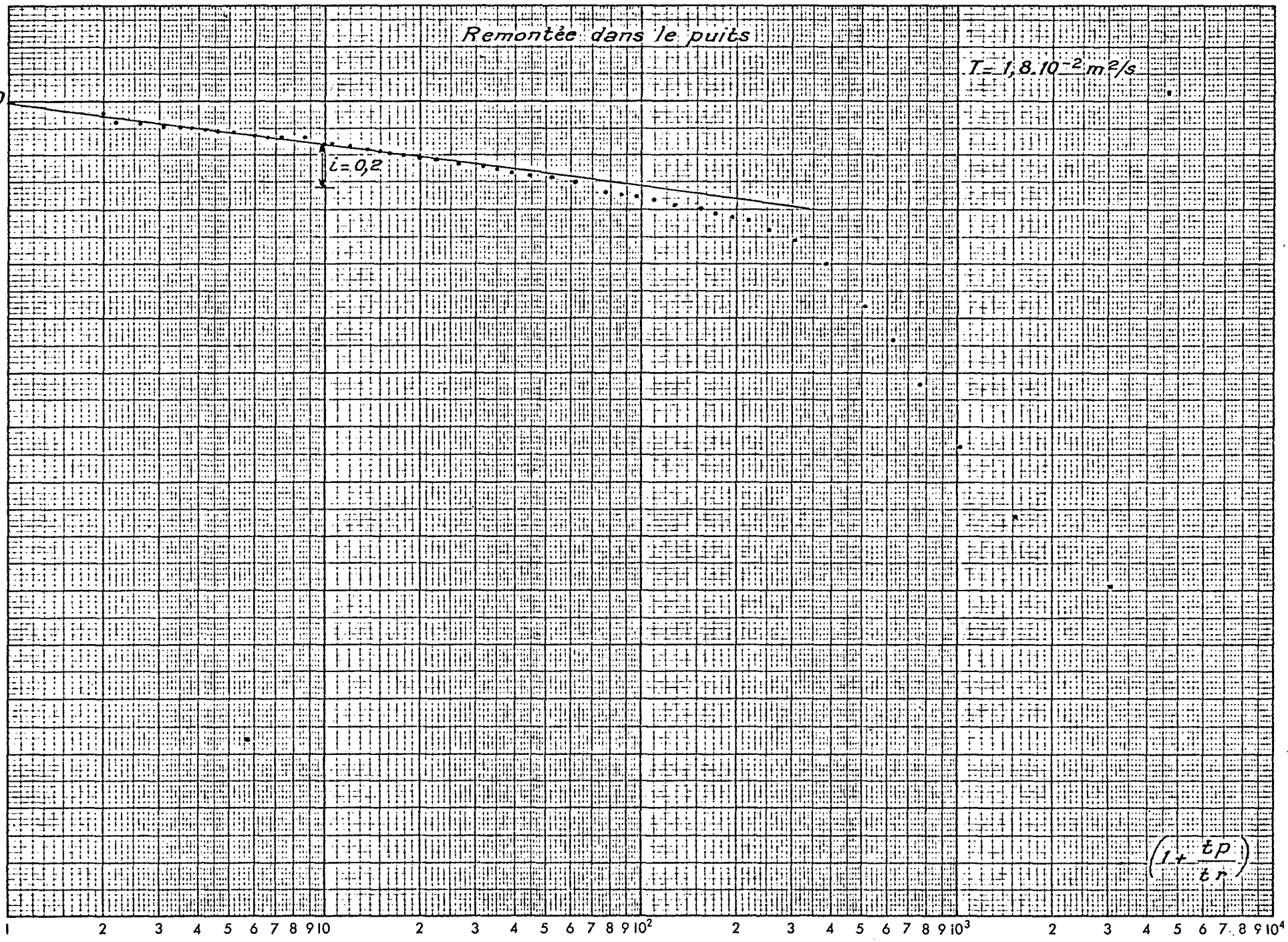
Pl. 8



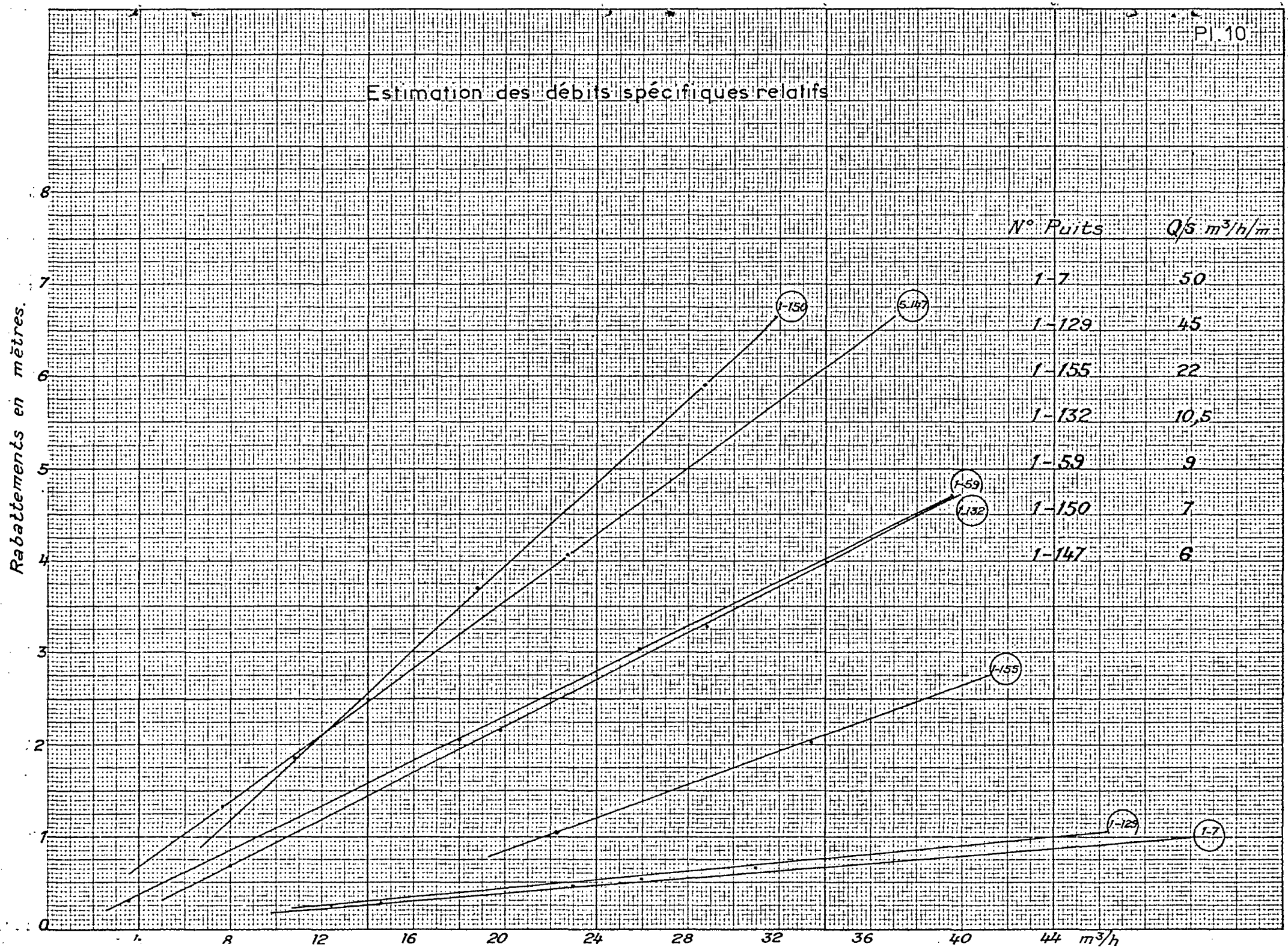
N° 146

Mas Rouge_ Pompage du 19 au 21-1-71

Pl. 9



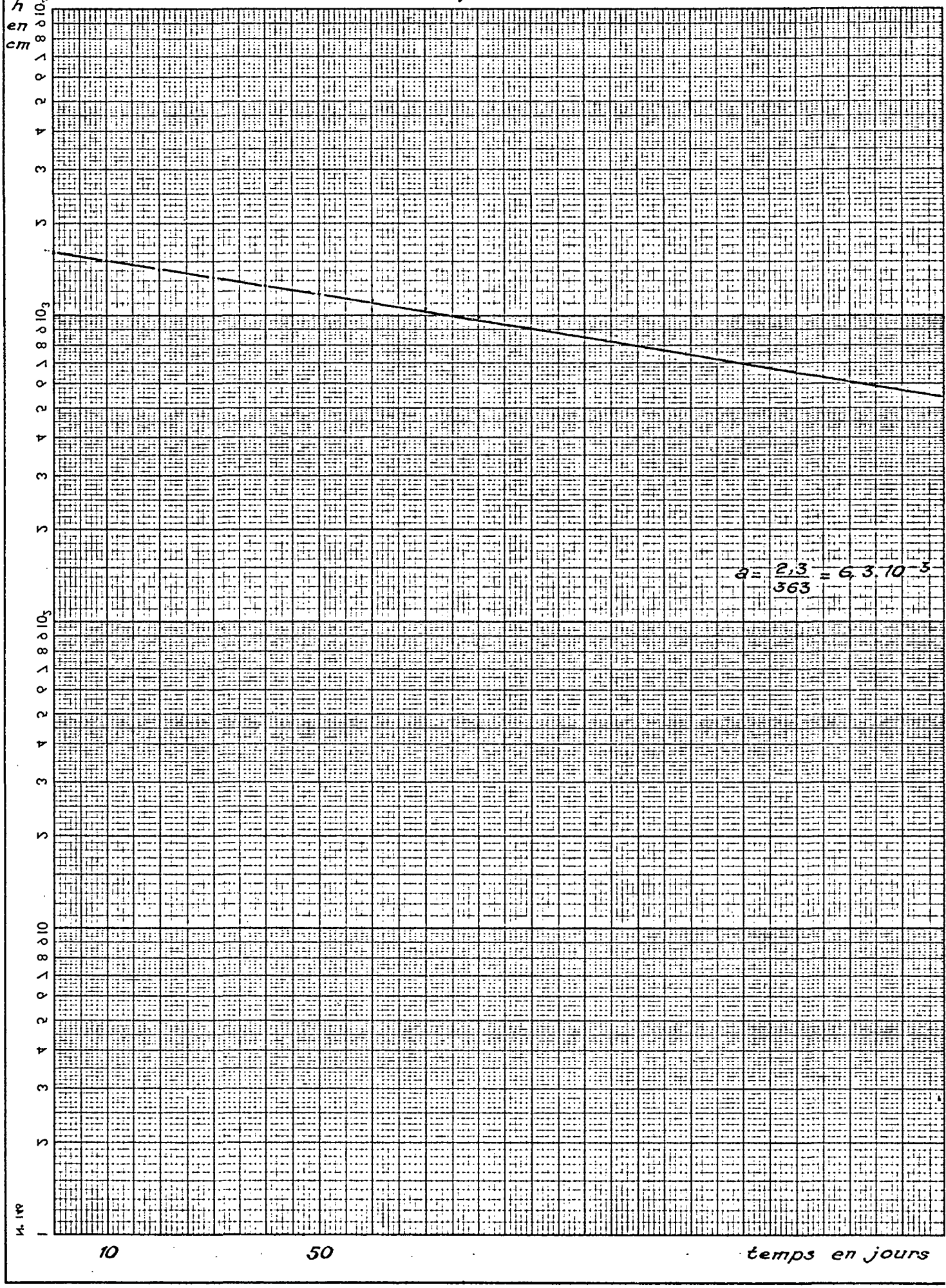
Estimation des débits spécifiques relatifs

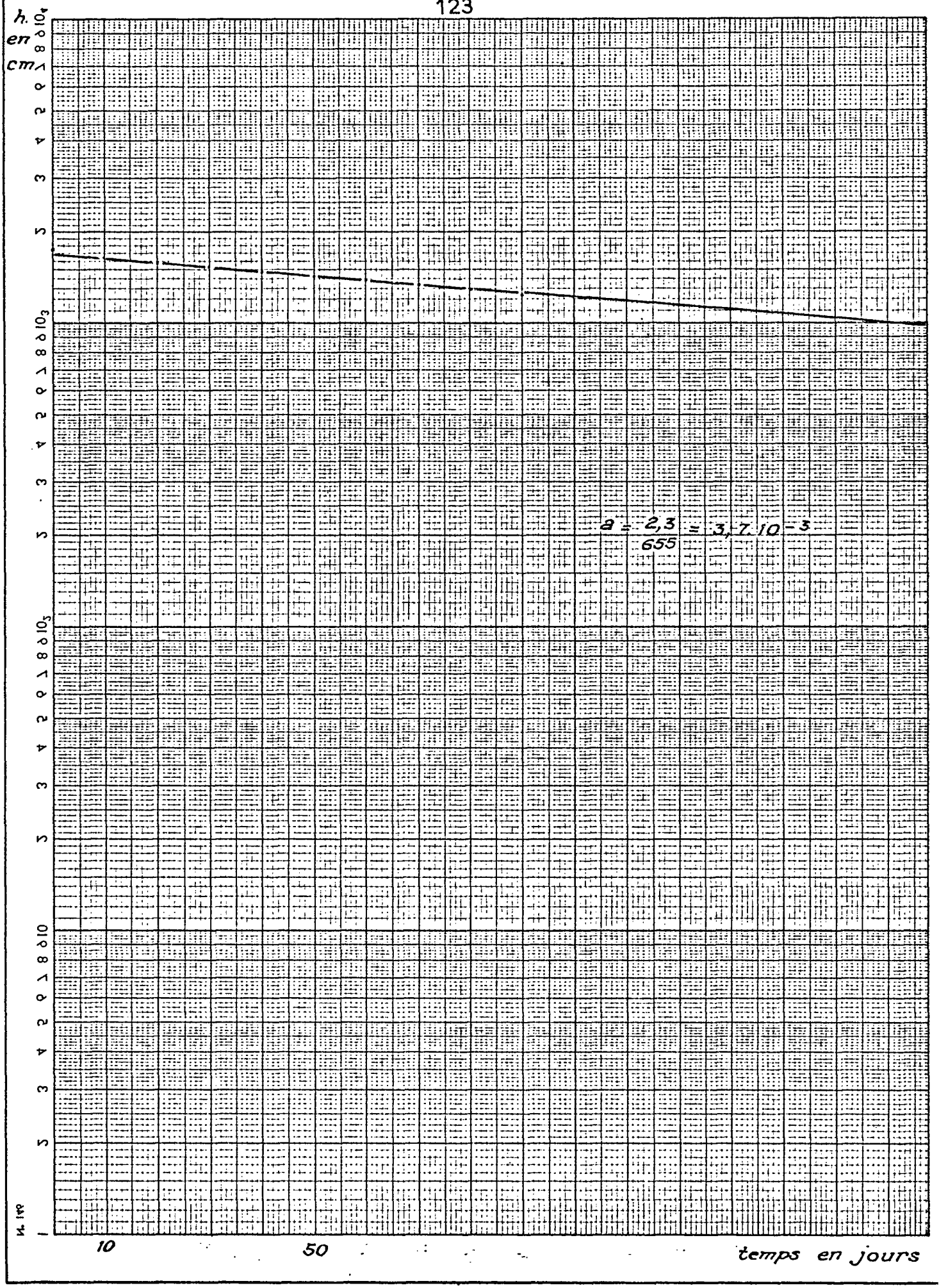


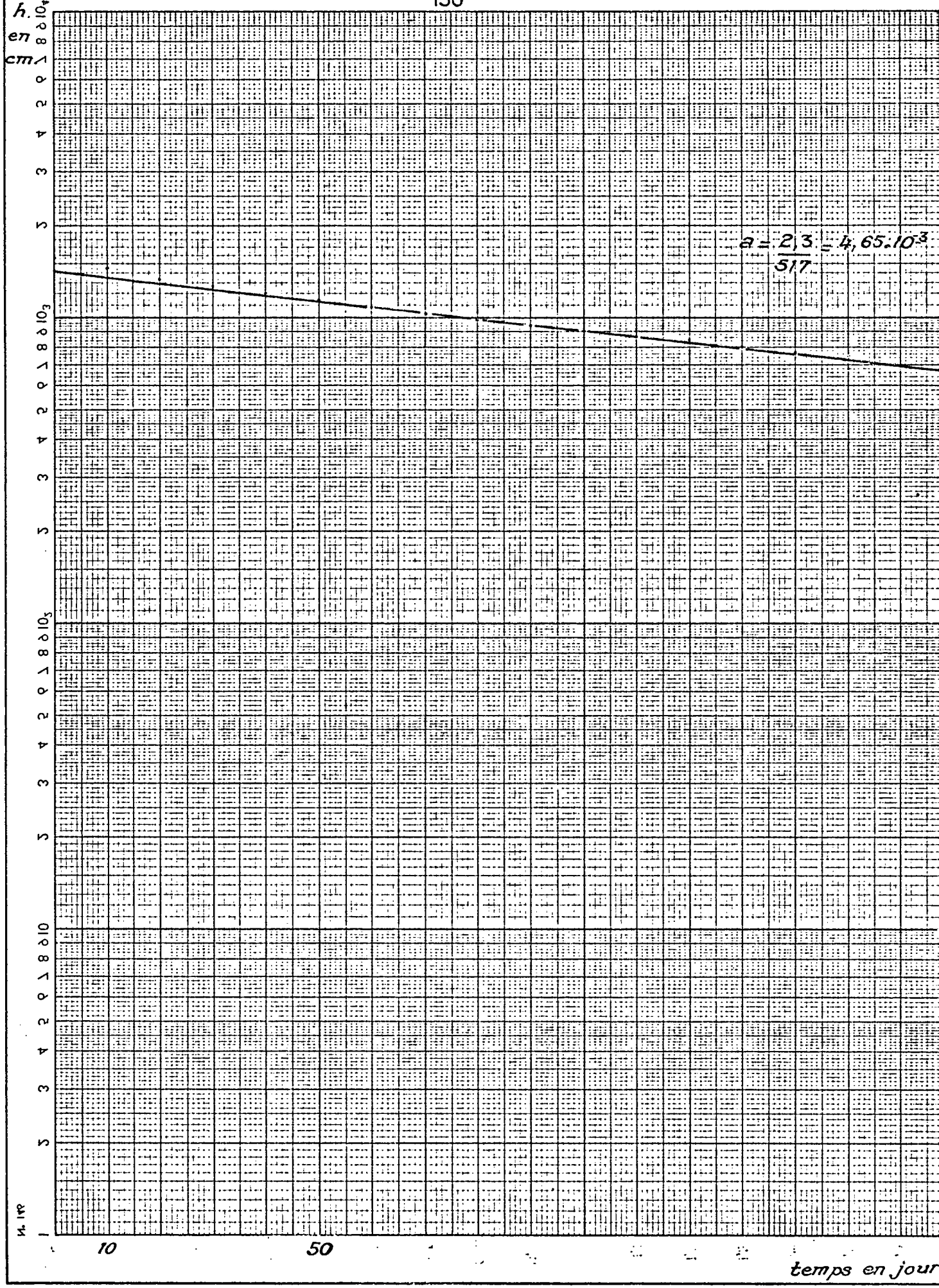
N° Puits	Q/s m³/h/m
1-7	50
1-129	45
1-155	22
1-132	10,5
1-59	9
1-150	7
1-147	6

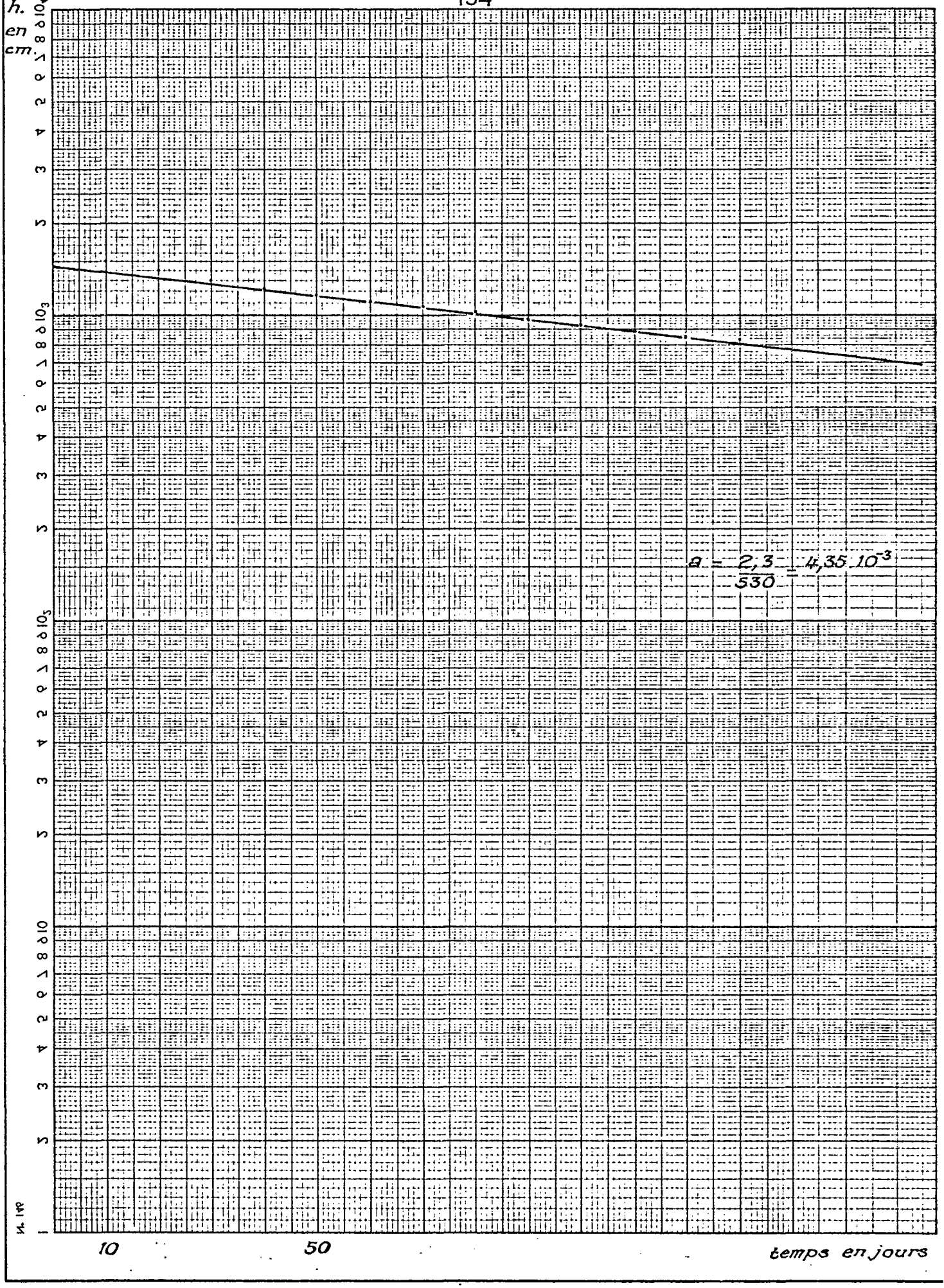
Zones submersibles de Raphèle Moulès

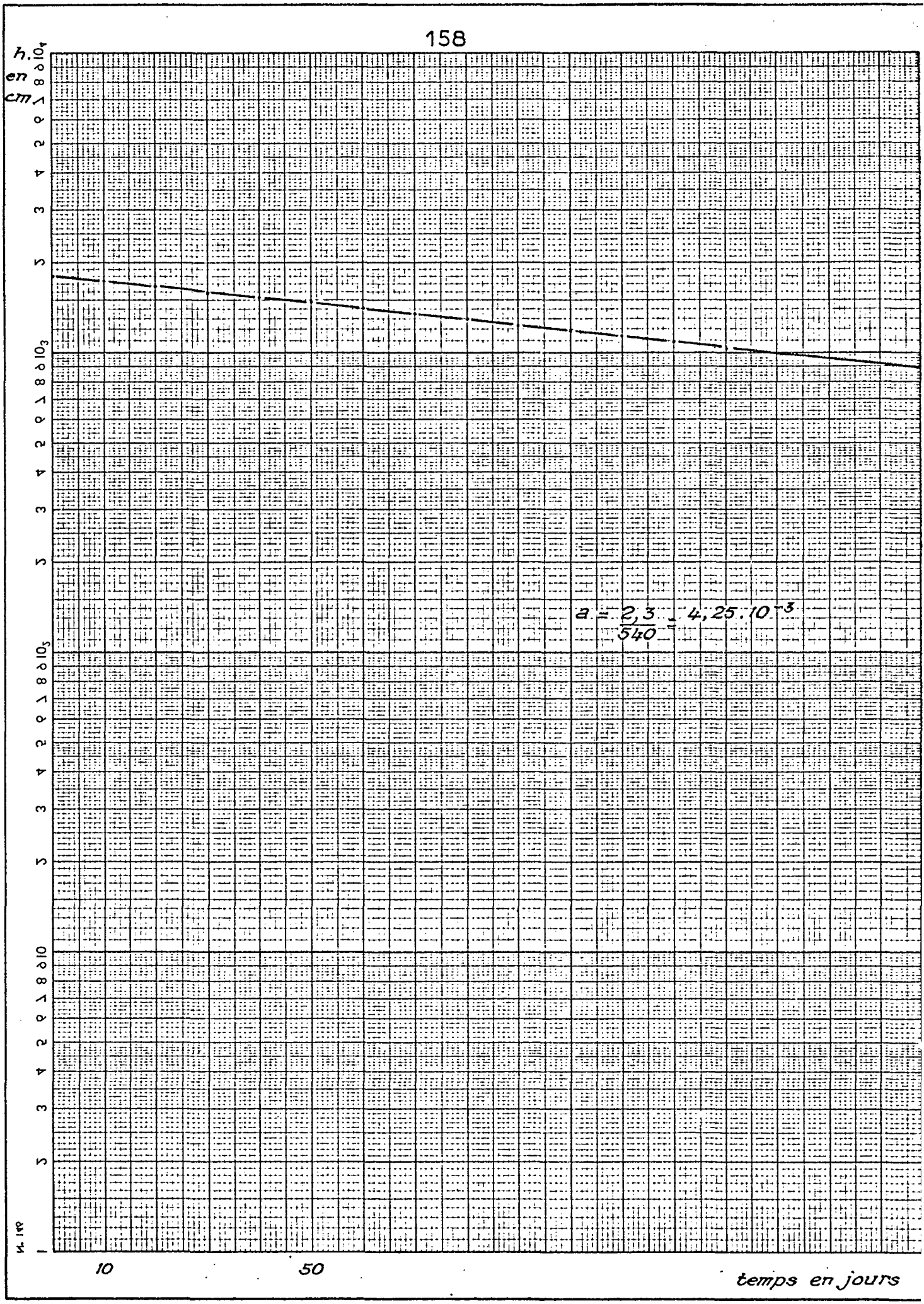
Graphiques de tarissement

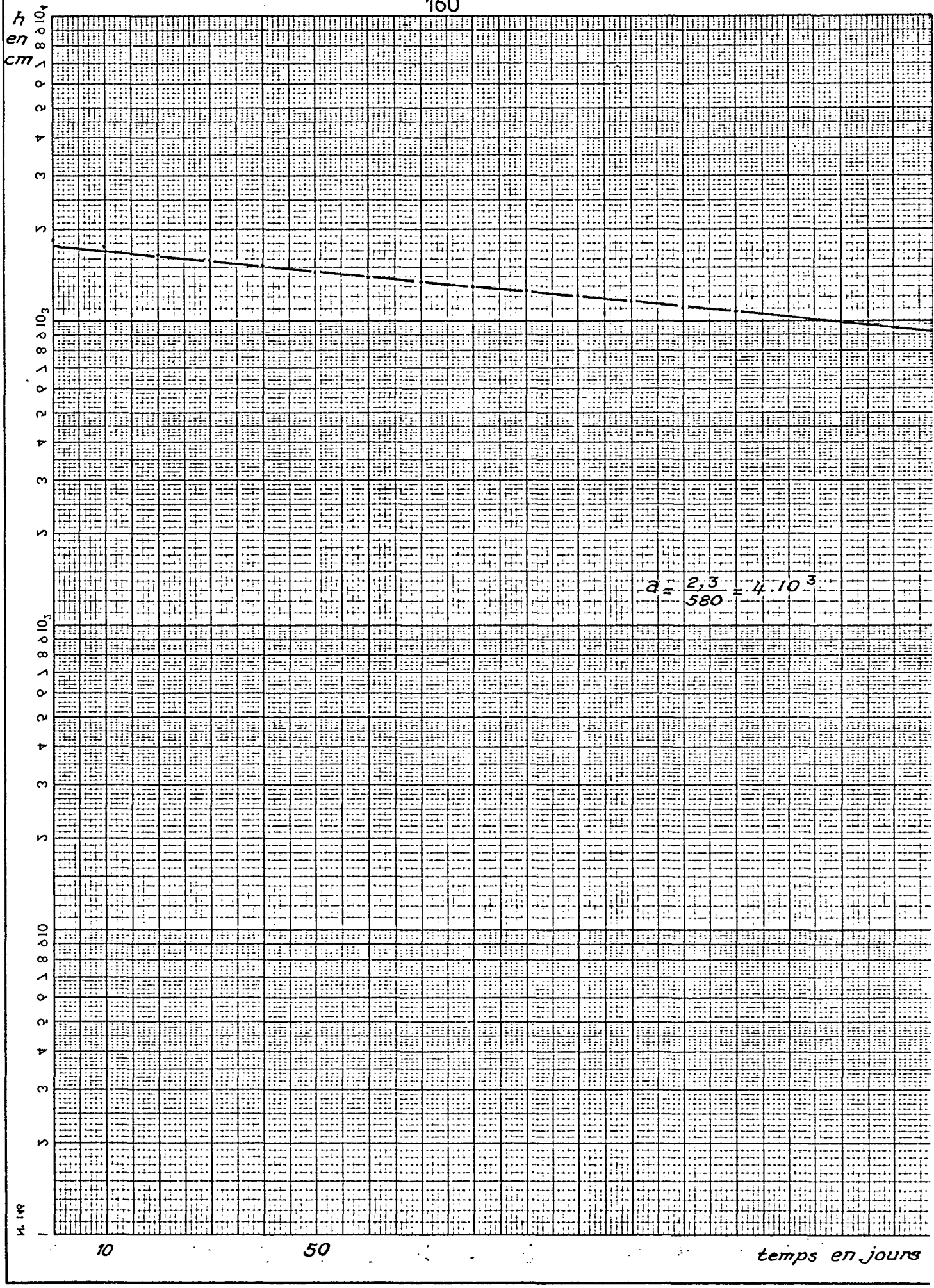

h en cm
10^{4}
10^{3}
10^{5}
10
$a = \frac{2,3}{363} = 6,3.10^{-3}$
temps en jours
10
50

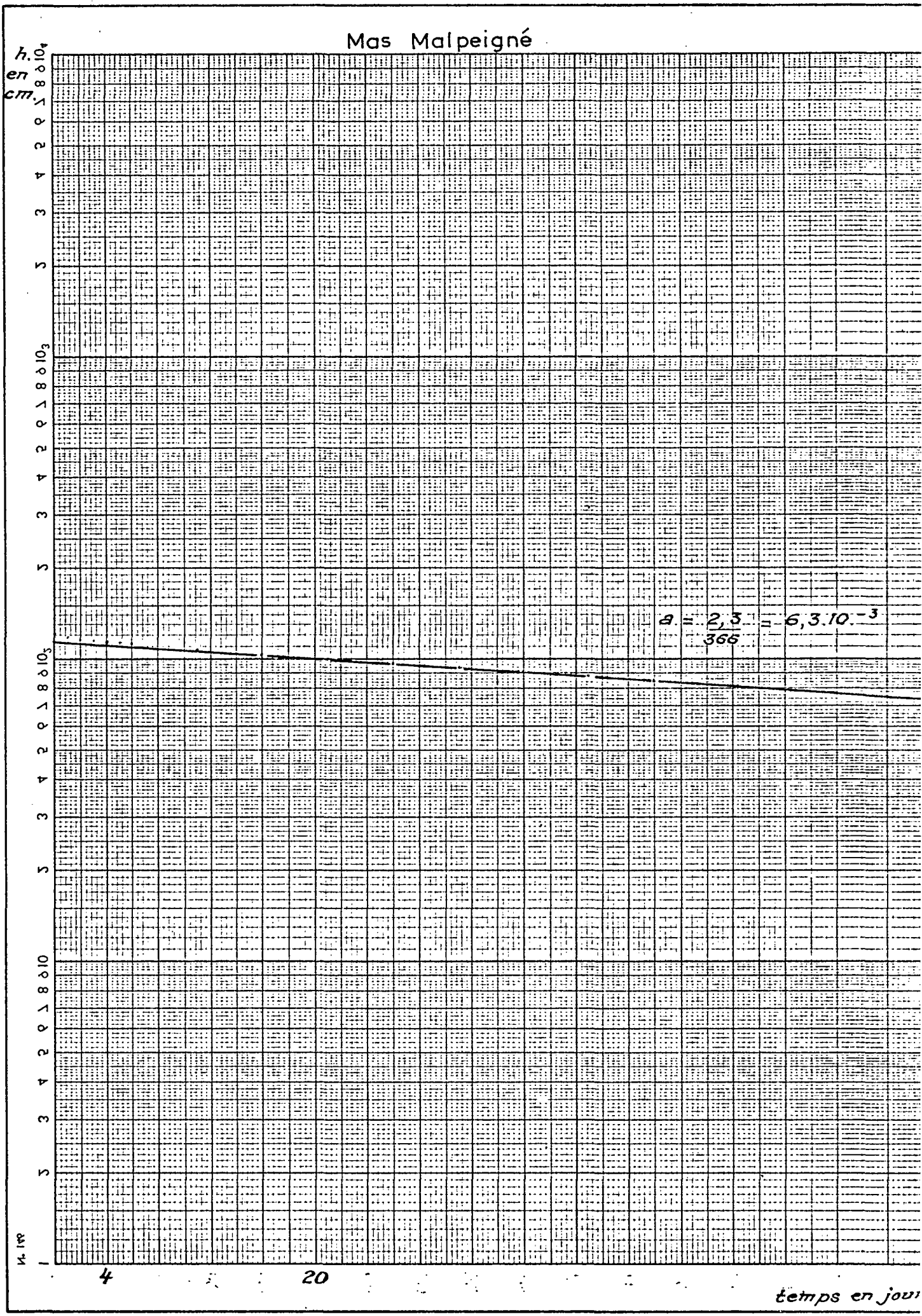

h. en cm
$8\,\delta\,10^4$
$2\,9\,\Lambda\,8\,\delta\,10^3$
$2\,9\,\Lambda\,8\,\delta\,10^2$
$2\,9\,\Lambda\,8\,\delta\,10$
$2\,9\,\Lambda\,8\,\delta\,1$
3 4 5
$a = \frac{2,3}{655} = 3,7.10^{-3}$
10
50
temps en jours

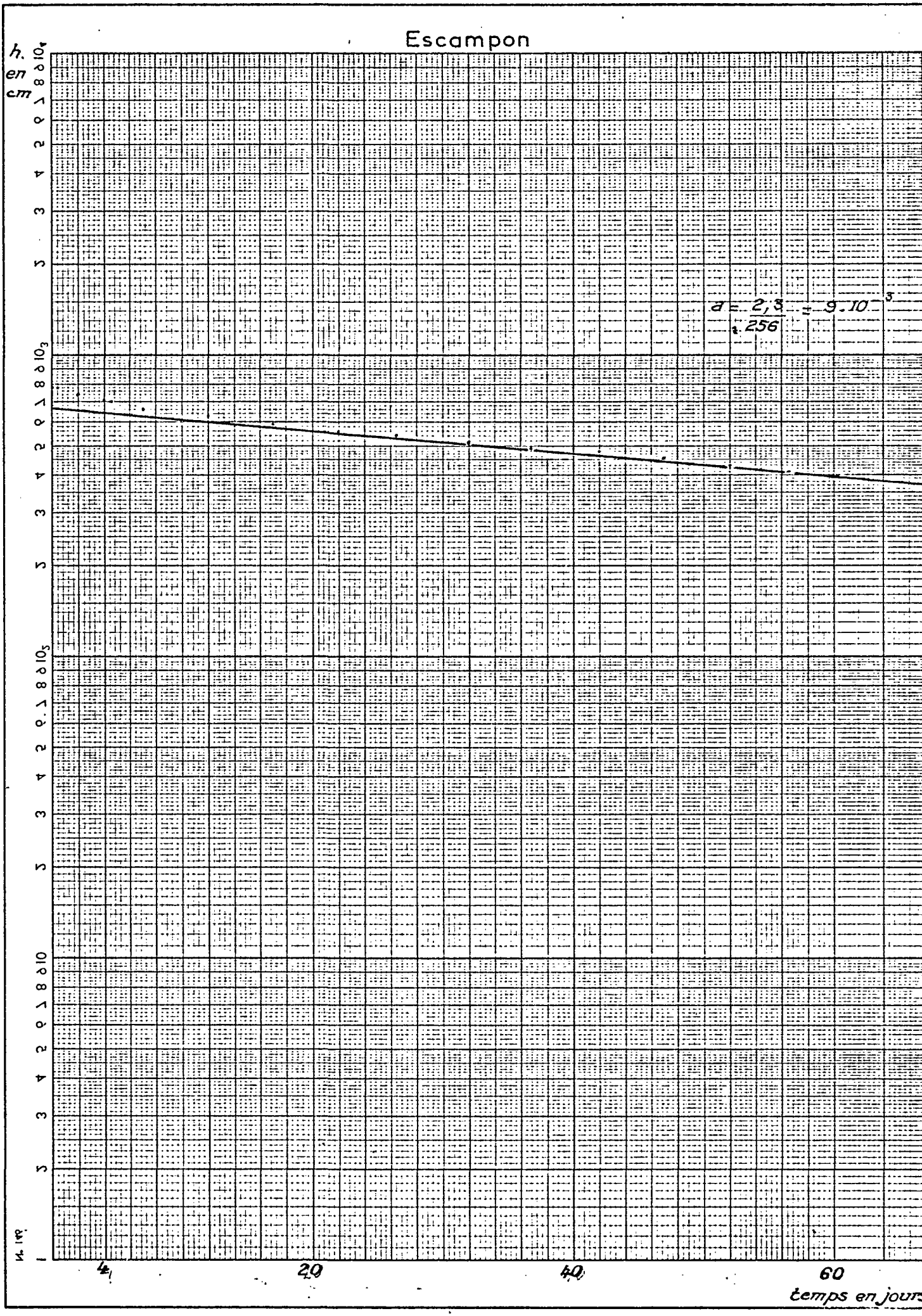

h. en cm
10^4
10^3
10^5
10
50
temps en jour
$a = \frac{2,3}{517} = 4,65.10^{-3}$

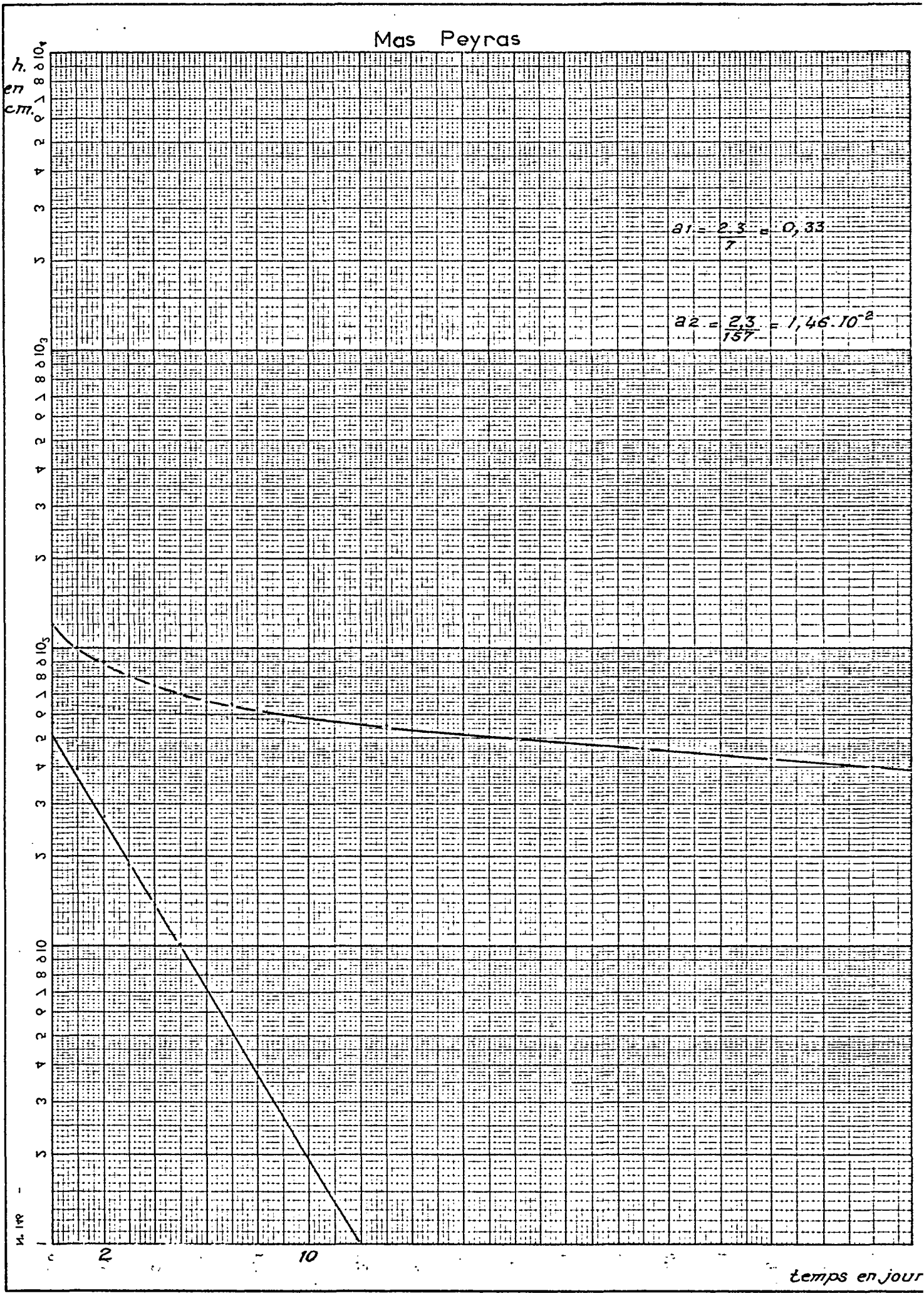

h. en cm.
$3 \; 4 \; 2 \; 0 \; 1 \; 8 \; 5 \; 10^4$
$3 \; 4 \; 2 \; 0 \; 1 \; 8 \; 5 \; 10^3$
$3 \; 4 \; 2 \; 0 \; 1 \; 8 \; 5 \; 10^2$
$3 \; 4 \; 2 \; 0 \; 1 \; 8 \; 5 \; 10$
$3 \; 4 \; 2 \; 0 \; 1 \; 8 \; 5 \; 1$
$a = \frac{2,3}{530} = 4,35 \; 10^{-3}$
10
50
temps en jours

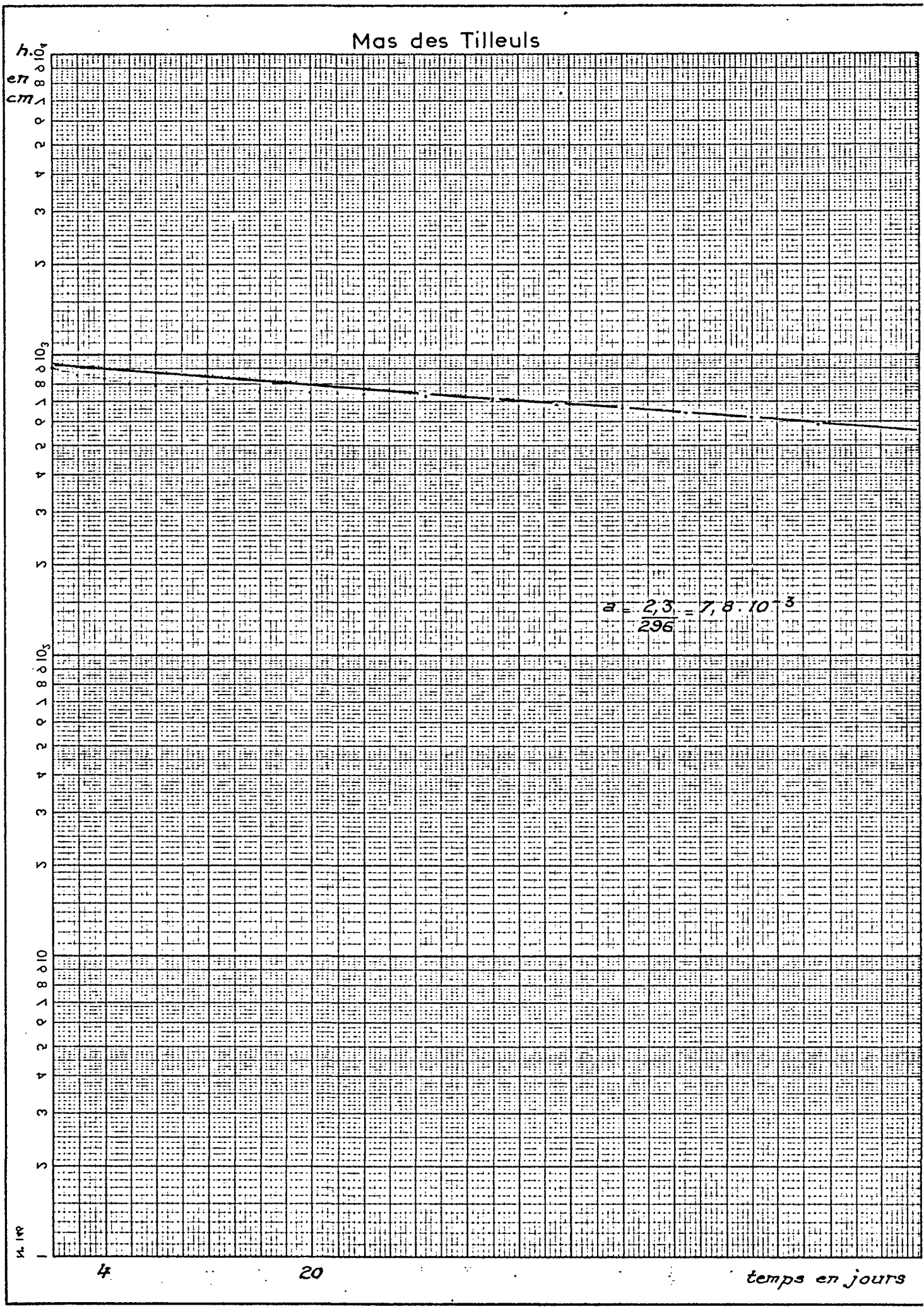

h. en cm
$3\ 4\ 2\ 9\ 1\ 8\ 5\ 10_4$
$3\ 4\ 2\ 9\ 1\ 8\ 5\ 10_3$
$3\ 4\ 2\ 9\ 1\ 8\ 5\ 10_2$
$3\ 4\ 2\ 9\ 1\ 8\ 5\ 10$
$a = \frac{2,3}{540} \cdot 4,25 \cdot 10^{-3}$
10
50
temps en jours

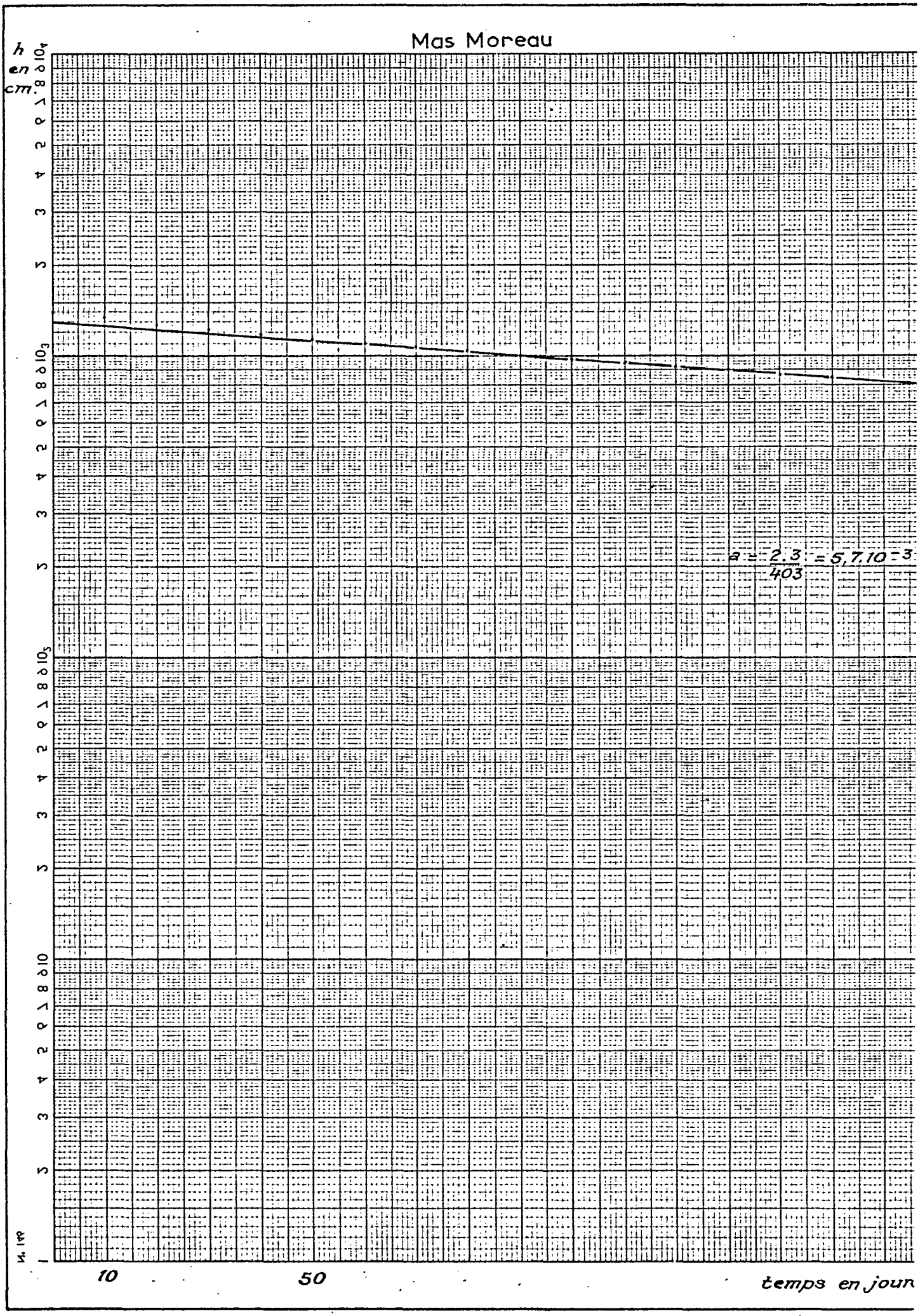

h en cm
$8 \delta 10^4$
2
3
4
5
$8 \delta 10^3$
2
3
4
5
$8 \delta 10^2$
2
3
4
5
8 δ 10
2
3
4
5
1
$a = \frac{2,3}{580} = 4.10^{-3}$
10
50
temps en jours


Mas Malpeigné
h. en cm.
$8 \delta 10^4$
2 9 7 8 δ 10^3
2 9 7 8 δ 10^5
2 9 7 8 δ 10
1 2 3 4 5
$a = \frac{2,3}{366} = 6,3.10^{-3}$
4
20
temps en jour


Escampon
h. en cm
d = 2,3 ± 9.10⁻³
t. 256
temps en jours
20
40
60


Mas Peyras
h. en cm.
$a_1 = \frac{2,3}{7} = 0,33$
$a_2 = \frac{2,3}{157} = 1,46.10^{-2}$
2
10
temps en jour


Mas des Tilleuls
h.10⁴ en cm
temps en jours
4
20
a = 2,3 / 296 = 7,8 · 10⁻³


Mas Moreau
h en cm.
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
$a = \frac{2.3}{403} = 5,7.10^{-3}$
10
50
temps en jour