

ROYAUME DE BELGIQUE

MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES ET DE L'ÉNERGIE  
ADMINISTRATION DES MINES – SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE

13, rue Jenner – 1040 Bruxelles

**Observations piézométriques  
sur la nappe du calcaire carbonifère  
du Tournaisis en 1970-1971**

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES  
SUR LES POMPAGES À DÉBIT VARIABLE

par  
M. GULINCK

PROFESSIONAL PAPER 1973 N° 4

*P. Dupont*

ROYAUME DE BELGIQUE

---

MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES ET DE L'ÉNERGIE  
ADMINISTRATION DES MINES – SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE

---

13, rue Jenner – 1040 Bruxelles

---

**Observations piézométriques  
sur la nappe du calcaire carbonifère  
du Tournaisis en 1970-1971**

---

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES  
SUR LES POMPAGES À DÉBIT VARIABLE

par

M. GULINCK

PROFESSIONAL PAPER 1973 N° 4

## TABLE DES MATIERES

-----

### PREMIERE PARTIE :

#### OBSERVATIONS PIEZOMETRIQUES SUR LA NAPPE DU CALCAIRE CARBONIFERE DU TOURNAISIS EN 1970 - 1971.

- I) Introduction
- II) Mesures isolées
- III) Mesures à Hérinnes, Spiere et Comines
- IV) Observations à Mouscron et à Bondues (France)
- V) Mesures à Blandain, Velaines et Molenbaix
- VI) Variations d'ensemble de la nappe
- VII) Essai d'interprétation des fluctuations observées à  
Hérinnes, Spiere, Comines et Bondues.

### DEUXIEME PARTIE :

#### CONSIDERATIONS THEORIQUES SUR LES POMPAGES A DEBIT VARIABLE.

- I) Introduction
- II) Pompages continus arrêtés - Groupe de puits captants
- III) Pompages intermittents
  - Ecart des niveaux extrêmes
  - Décalage des niveaux extrêmes
  - Pompages intermittents semi-journaliers
  - Pompages mixtes ou perturbés
  - Influence de la durée relative de la période d'arrêt.
- IV) Pompages à débit continûment variable
- V) Pompages intermittents à débit variable
- VI) Application du principe des lignes d'influence au calcul de l'effet  
d'un pompage hétérogène.

OBSERVATIONS PIEZOMETRIQUES SUR LA NAPPE  
DU CALCAIRE CARBONIFERE DU TOURNAISIS EN  
1970 - 1971.

-----

I. INTRODUCTION

Ces observations font suite à celles qui ont déjà fait l'objet d'un rapport antérieur (°).

Nous avons au cours de l'année 1970, définitivement abandonné les enregistrements dans les puits de Leers - Nord, Templeuve, Marquain et Kain, soit qu'ils étaient peu représentatifs, soit parce que le bon fonctionnement de l'appareil ait été irrémédiablement faussé.

Les enregistrements fait à Hérinnes, Velaines, Molenbaix et Blandain, ont donné des images comparables à celles des années antérieures. Des accidents survenus au puits de Blandain et de Velaines en 1971, ont arrêté momentanément les enregistrements dans ces puits.

Au cours de l'année 1970, deux puits d'essai ont été creusé par la Société Nationale des Distributions d'Eau à Spiere, près du confluent du canal de l'Espierres avec l'Escaut.

Des essais de pompage y ont été faits, mais il a été difficile d'en tirer des conclusions précises au sujet des caractéristiques locales de la nappe.

Nous avons cependant pu y placer un appareil enregistreur, ce qui a permis de compléter de façon très opportune, les mesures faites dans le puits de Hérinnes.

---

(°) M. GULINCK : Observations piézométriques sur la nappe du Calcaire Carbonifère du Tournaisis en 1968 - 1969.  
Service Géologique de Belgique, Prof. Paper 1970 - n° 10.

La Société Intercommunale SIDEHO a, de son côté, fait creuser un puits d'essai dans le parc industriel de Comines, où nous pûmes également faire des mesures par enregistrement.

Nous ferons aussi mention des mesures journalières qui nous furent régulièrement communiquées par la Régie des Eaux de Mouscron.

Enfin, les mesures par enregistrements dans les puits de Bondues et de Comines (France), dont certains résultats nous furent très aimablement communiqués par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières à Lézennes, nous ont été fort précieuses.

Il en sera fait souvent allusion dans le présent rapport.

Il nous plaît de remercier ici ces divers organismes pour leur bienveillante collaboration.

II. MESURES ISOLEES

1970	Leers Nd	Templeuve	Blandain	Marquain	Kain	Velaines
L 12/I	- 39,78	-----	- 21,43	+ 8,96	- 16,19	- 5,09
Ma 27/I	- 41,33	- 28,21	-----	-----	-----	-----
Ma 10/2	- 41,20	-----	- 21,56	+ 8,92	- 16,22	-----
Ma 24/2	- 41,33	- 28,26	-----	-----	-----	-----
L 16/3	- 40,53	-----	-----	-----	-----	- 4,79
Me 1/4	- 40,32	-----	- 21,73	+ 8,94	- 16,01	-----
Ma 14/4	- 40,96	- 28,57	-----	-----	-----	-----
Ma 28/4	- 41,21	- 26,65(4)	-----	-----	-----	- 4,88
Me 13/5	- 41,15	-----	- 21,84	+ 9,01	- 16,05	-----
L 28/5	- 41,76(1)	-----	-----	+ 9,01	-----	-----
J 11/6	- 41,74	-----	-----	+ 9,02	-----	+ 4,90
J 25/6	- 42,56	-----	- 21,96	+ 9,02	- 16,25	-----
J 9/7	- 41,21	- 28,55	-----	+ 9,06	- 16,28	-----
J 23/7	- 40,46	-----	-----	+ 9,08	- 16,31	+ 4,80
J 6/8	- 39,96	- 28,75	- 22,00	+ 9,08	- 16,29	-----
J 20/8	- 39,22	-----	-----	+ 9,08	- 16,30	+ 4,87
V 4/9	- 41,24	-----	-----	+ 9,06	- 16,32	-----
J 17/9	- 41,46	- 28,71	- 22,16	+ 9,00	- 16,35	+ 4,59
J 1/10	- 41,80	-----	-----	+ 9,02	- 16,30	-----
J 15/10	- 42,25(2)	- 28,80(3)	- 22,18	+ 9,02	- 16,31	+ 4,50
J 29/10	- 42,58	-----	-----	+ 9,01	- 16,33	-----
J 12/11	- 41,74	- 28,71	- 22,01	+ 9,02	- 16,35	+ 4,66
J 26/11	- 43,22(4)	-----	-----	+ 9,01	- 16,39	-----
J 10/12	sec	- 29,16	-----	+ 9,00	- 16,36	-----
J 24/12	sec (3)	-----	- 22,37	+ 9,02	- 16,36	-----

N. B. - Toutes ces mesures ont été faites au câble électrique entre 9 h 30 et 12 h de la matinée.

- (1) = gargouillis constaté dans le puits  
 (2) = fort gargouillis et battement de l'air dans le tubage  
 (3) = légère aspiration  
 (4) = forte aspiration

1971	Kain	Marquain	Templeuve	Leers Nd	Hérinnes	Velaines
J 7/1	- 16,37	+ 9,00	-----	sec (2)	-----	-----
J 21/1	- 16,30	+ 9,01	-----	sec (2)	-----	-----
J 4/2	- 16,29	+ 8,98	- 29,34	sec (2)	-----	-----
J 18/2	- 16,34	+ 8,97	- 29,17	sec (2)	-----	-----
J 4/3	- 16,31	+ 8,96	- 29,50(1)	sec (2)	- 39,42	-----
J 18/3	- 16,30	+ 8,96	- 29,08	- 43,26	- 38,99	-----
J 1/4	- 16,25	+ 8,99	- 29,30	sec (2)	- 39,34	-----
J 15/4	- 16,24	+ 8,96	- 29,52(1)	sec	-----	-----
J 29/4	- 16,26	+ 8,77	- 29,60	sec (1)	-----	+ 4,24
J 13/5	- 16,26	+ 8,92	- 29,57(1)	sec (2)	-----	+ 4,27
V 28/5	- 16,20	+ 8,84	- 29,51	sec	-----	+ 4,36
V 11/6	- 16,13	+ 8,94	- 29,57	sec (2)	-----	+ 4,31
J 24/6	- 16,09	+ 8,92	- 29,75(1)	sec (1)	-----	+ 4,17
J 8/7	- 16,03	+ 8,94	- 29,98	sec	-----	+ 4,07
J 22/7	- 16,05	+ 8,87	- 29,86(1)	- 42,79(1)	-----	+ 4,16
J 5/8	- 15,97	+ 8,93	- 29,79	- 41,39	-----	+ 4,19
J 19/8	- 15,94	+ 8,90	- 29,87	- 40,84	-----	+ 4,98
J 2/9	- 15,94	+ 8,94	- 29,94	sec	-----	+ 3,96
J 16/9	- 16,25	+ 8,91	-30,04(1)	sec	-----	+ 3,86
Ma 5/10	- 16,23	+ 8,93	- 30,13(1)	sec (2)	-----	+ 3,78
V 15/10	- 16,27	+ 8,76	- 30,14(1)	sec (1)	-----	+ 3,81
V 29/10	- 16,17	+ 8,76	- 30,20(1)	sec (2)	-----	+ 3,76
V 12/11	- 16,17	+ 8,89	- 30,17	sec	-----	+ 3,78
J 25/11	- 16,13	+ 8,88	- 30,24	sec	-----	+ 3,75
J 9/12	- 16,08	+ 8,89	- 30,43	sec	-----	+ 3,69
J 23/12	- 16,05	+ 8,88	- 30,35	sec	-----	+ 3,77

(1) = légère aspiration

(2) = forte aspiration.

### III. MESURES A HERINNES, SPIERE et COMINES

Les enregistrements originaux étaient faits à l'échelle 1/20. Ils ont ensuite été réduits à une échelle de temps 1 cm = 1 jour, en conservant la même échelle des hauteurs (sauf pour Comines).

Observations en 1970 (Figures 1 - 4 et 17)

A Hérinnes les enregistrements montrent d'abord, jusqu'en avril, des variations relativement faibles, mais très irrégulières qui ne concordent ni avec les observations faites à Mouscron, ni avec les enregistrements correspondants de Bondues, sans que l'on puisse mettre à priori en cause le bon fonctionnement de l'appareil.

Pendant cette période, le niveau moyen reste assez constant, fait également constaté à Mouscron.

Dans la suite on observe des variations hebdomadaires bien marquées, dont l'amplitude (mesurée par rapport à l'enveloppe des niveaux extrêmes) varie le plus souvent entre 0,40 et 0,60 m; mais peut atteindre les valeurs extrêmes de 0,30 et 0,94.

A celles-ci se superposent des variations de plus faible période, souvent journalières qui, lorsqu'elles sont suffisamment bien marquées, atteignent une amplitude de 0,04 à 0,08 m.

A partir de juillet et jusque vers le 16 août, la courbe moyenne remonte jusqu'aux environs de la cote - 36,20, ce qui représente un gain d'environ 2,10 m (fig. 17) par rapport au niveau antérieur le plus bas.

On constate qu'en même temps, l'amplitude des fluctuations hebdomadaires diminue de façon irrégulière.



La courbe de descente qui débute vers le 16 août présente, à part quelques irrégularités locales, une allure assez régulière, d'apparence logarithmique (fig. 32).

Pendant cette période, les fluctuations hebdomadaires varient le plus souvent entre 0,40 et 0,70 m.

Les niveaux maxima supérieurs après les arrêts hebdomadaires sont assez difficiles à préciser mais se placent le plus souvent le lundi entre 14 et 16 h.

Dans le puits de Spiere - 1, les mesures ont débuté le 12/6/70, avec une interruption entre le 9/X et le 26/X /70.

Les diagrammes relevés suivent fidèlement ceux de Hérinnes.

Pendant la période de remontée, où le gain réalisé atteint 2,50 m (fig. 17), les fluctuations hebdomadaires passent de 0,96 à 0,56 m. Dans la suite, celles-ci restent généralement comprises entre 0,70 et 1,00 m.

Les fluctuations journalières atteignent, lorsqu'elles sont régulièrement marquées, une amplitude de 0,08 à 0,12 m.

Observations en 1971 (Figures 5-12 et 18)

Les enregistrements de Hérinnes ont été en grande partie interrompus jusqu'au 5/6 mais se sont poursuivis ensuite de façon continue.

Ils donnent lieu aux mêmes constatations qu'en 1970.

Les enregistrements de Spiere - 2 ont été interrompus du 8/6 au 8/7 et définitivement arrêtés le 25/X/1971. Ici également, on peut faire les mêmes constatations qu'en 1970.

Le puits de Spiere - 2 a été mis en service comme piézomètre à partir du 1/12/70, jusqu'au 10/X/71. Il y a eu quelques brèves interruptions de l'enregistrement.

Les graphiques de Spiere - 2 sont la fidèle contre-partie de ceux de Spiere - 1.

Des enregistrements ont pu être réalisés dans le puits de Comines, entre le 13/4/71 et le 22/11/71.

On y a utilisé la même échelle des hauteurs (1/20) qu'à Hérinnes, mais celle-ci a été reportée à 1/50 sur les figures 5 - 12.

La concordance entre Spiere, Hérinnes et Comines est excellente. Tous ces enregistrements reproduisent, par exemple, de façon similaire l'influence de certains arrêts secondaires qui se sont produits pendant les semaines 17/5 - 24/7 et 12/7 - 19/7.

L'effet des variations barométriques dans les puits de Spiere et Hérinnes est difficile à évaluer et a, en première approximation, été systématiquement négligé.

Il est vraisemblablement faible par rapport aux fluctuations hebdomadaires de la nappe et ne pourrait troubler les fluctuations semi-journalières que dans le cas de rapides dépressions ou surpressions. Elles peuvent cependant parfois fausser le calcul de l'amplitude de ces fluctuations.

#### IV. OBSERVATIONS A BONDUES ET MOUSCRON

##### En 1970

Les mesures isolées faites dans le puits de Mouscron ont lieu chaque jour à 8 h du matin. On ne peut donc en déduire les fluctuations hebdomadaires que d'une façon approximative (fig. 32).

Celles-ci varient le plus souvent entre 2,50 et 3,00 m mais ont atteint les valeurs extrêmes de 1,50 et 3,50 m.

La remontée due à l'arrêt pendant la période des congés, calculée sur les niveaux inférieurs, atteint 4,50 m.

Les enregistrements faits à Bondues (France) en 1970, qui nous ont été communiqués par le B. R. G. M. à Lézennes, nous permettent de faire les constatations suivantes :

Fluctuations hebdomadaires (à partir du 8/6) : généralement comprises entre 2,70 et 3,20 m mais tombant exceptionnellement jusqu'à 1,50 m.

Les fluctuations journalières y sont systématiquement présentes et généralement comprises entre 0,25 et 0,50 m.

Elles semblent correspondre à un arrêt de pompage d'une durée d'environ 12 h, qui débute le soir entre 18 et 19 h.

Les niveaux supérieurs, après l'arrêt des week-ends, se placent généralement le lundi, entre 6 et 7 h.

La comparaison avec Hérinnes montre entre ces deux points, un décalage moyen de 8 h 40 min.

Les niveaux inférieurs sont plus difficiles à préciser : les courbes sont plates et perturbées par les fluctuations journalières.

On peut cependant estimer l'intervalle entre les maxima inférieurs et supérieurs consécutifs à environ 2 1/4 jours, ce qui doit correspondre sensiblement à la durée de la période d'arrêt pendant les week-ends, vu que le puits de Bondues se trouve près du centre des captages de la région Roubaix-Tourcoing.

#### En 1971

Les variations hebdomadaires dans le puits de Mouscron, avant la période de remontée des congés-payés, varient généralement entre 4,00 et 5,00 m; valeurs largement supérieures à celles de 1971. (figure 33).

Elles diminuent ensuite jusqu'au-delà de la fin des congés payés en tombant jusqu'à 1,65 m, pour augmenter ensuite assez lentement en dépassant rarement 3,00 m.

Par contre, le gain dû à l'arrêt des congés payés est resté le même qu'en 1970.

Nous avons placé en regard, sur la figure 14, les diagrammes relevés à Comines, Bondues, et Comines-France (puits de l'abattoir) relevés du lundi 18/X/71 au lundi 1/XI/71.

On constatera la bonne concordance générale des diagrammes de Bondues et de Comines (Belgique) et en particulier le décalage sensible (environ 6 h) des fluctuations journalières.

Ce qui est surtout remarquable, est l'amortissement complet des fluctuations de courtes durées produites dans le puits (en exploitation) de Comines-France, que l'on n'observe plus à Comines-Belgique qui n'est pourtant situé qu'à une faible distance.

RESUME DES PRINCIPALES OBSERVATIONS FAITES  
A COMINES - BONDUES - MOUSCRON - SPIERE -  
HERINNES.

-----

COTE REPERE		HERINNES + 18,13	SPIERE - 1 + 14,51 SPIERE - 2 + 15,07	MOUSCRON	COMINES + 18,50	BONDUES
Variations hebdomadaires normales	1970	0,30 - 0,60	0,70 - 1,00	2,50 - 3,00		2,70 - 3,20
	1971	0,35 - 0,60		4,00 - 5,00	2,40 - 2,60	
Fluctuations journalières	1970	0,06 - 0,08	0,06 - 0,12			0,25 - 0,50
	1971	0,04 - 0,06			0,10 - 0,20	
Remontée C. P. (niveaux inf.)	1970	2,10 m	2,50	4,50		4,70
	1971	1,95	2,50	4,50	7,10	4,80
Niveaux supér. après les Week-ends	1970	L 14 - 16 h				L 6 - 7 h
	1971	L 16 - 18 h	L 9 - 12 h		L 9 - 10 h	
Période d'arrêt des Week-ends	1970					2 1/4 jour

N. B. - Certaines de ces observations sont reportées sur la figure 34.

## V. ENREGISTREMENTS A BLANDAIN - VELAINES - MOLENBAIX

### En 1970

Les enregistrements faits à l'échelle du 1/5 étaient pratiquement continus et montrent, comme auparavant l'influence prépondérante de la pression atmosphérique.

Les figures (21 - 24) donnent la réduction des enregistrements originaux relatifs aux périodes (11/I - 8/II) (15 /III - 12/IV) (9/VIII - 5 /IX) et (1/XI - 28/XI).

La figure 28 montre la relation entre les variations de niveau et les fluctuations barométriques à Blandain et Molenbaix.

On voit que le coefficient de réduction barométrique y est très voisin de l'unité. Il semble d'autre part que ces variations barométriques ne font sentir leur effet qu'au-delà d'un certain seuil.

La pression atmosphérique a été relevée à St. Léger, où nous avons pu, temporairement, installer un baromètre enregistreur.

Toutefois, une comparaison faite avec les relevés faits à Uccle (figure 29) montre une similitude parfaite entre les deux relevés.

On pourrait donc, semble-t-il, continuer comme auparavant à utiliser les relevés de Uccle pour le calcul de l'effet barométrique dans cette partie du Tournaisis.

En réduisant les courbes donnant les fluctuations de la nappe à une même pression atmosphérique, on ne retrouve aucune des variations hebdomadaires observées à Hérinnes et Spiere.

La remontée due à l'arrêt des congés payés n'apparaît que dans le puits de Molenbaix, où elle atteint environ 0,45 m, avec un décalage de la cote maximum d'environ 12 jours par rapport à Hérinnes.

Les enregistrements de Velaines conservent leur physionomie particulière due à la présence de fluctuations diurnes et semi-diurnes déjà observées en 1969, pratiquement absentes dans le puits voisin de Molenbaix.

Ces fluctuations ne sont pas toujours également bien marquées, probablement à cause d'influences parasites.

Quelques exemples caractéristiques sont représentés sur les figures 30 - 31 . L'amplitude des variations diurnes, mesurées après réduction à une même pression atmosphérique, atteint + 5 cm.

Elles sont vraisemblablement indépendantes des variations journalières observées à Comines, Bondues et Spiere.

Nous continuons à penser qu'elles pourraient être dues à l'effet des marées terrestres, sans pouvoir expliquer le fait qu'elles apparaissent de façon privilégiée à Velaines.

#### En 1971

Certains des appareils ont dû être mis hors service, notamment à Velaines à partir de Mai et à Blandain à partir d'Octobre.

Néanmoins, les phénomènes observés en 1970 se reproduisent encore en 1971 et ne donnent lieu à aucun commentaire supplémentaire.

Quelques exemples relatifs à la période s'étendant du 9/I au 1/IV ont été reproduits sur les figures 25- 26 - 27.



## VI. VARIATIONS D'ENSEMBLE DE LA NAPPE

### En 1970 (figure 32)

Le niveau moyen de la nappe est resté à peu près constant dans les puits de Marquain et de Kain.

A Blandain et Marquain, on remarque une descente générale progressive de la nappe. L'arrêt partiel des pompages pendant la période des congés payés ne se marque pratiquement pas à Blandain.

Les niveaux extrêmes de la nappe ont été indiqués par des signes différents à Blandain, à Velaines et à Molenbaix. Rappelons que ces fluctuations sont essentiellement dues à des variations barométriques.

La situation générale à Velaines évolue à peu près comme à Blandain.

A Molenbaix, on constate également une descente générale progressive de la nappe, mais ici l'effet de l'arrêt des congés payés se fait encore sentir.

Les puits de Mouscron, Leers-Nord, Spiere et Hérinnes montrent de fortes fluctuations hebdomadaires, une remontée importante pendant la période des congés payés et dans l'ensemble un fléchissement systématique de la nappe.

### En 1971

Les phénomènes observés en 1970 se répètent, avec quelques anomalies auxquelles il a été fait allusion plus haut.

Notons que la nappe a tendance à remonter dans les puits de Kain et de Marquain.

Enfin, le calcaire commence à se dénoyer dans le puits de Hérinnes à partir de novembre 1971.

De 1970 à 1971, le fléchissement général de la nappe reste important et est même en certains points supérieur à celui de la période 1968 - 1969.

## VII. ESSAI D'INTERPRETATION DES FLUCTUATIONS OBSERVEES A HERINNES, SPIERE, COMINES ET BONDUES.

### 1. Introduction

Nous nous proposons de comparer les résultats des observations avec les conclusions que l'on peut tirer d'un modèle théorique simple, répondant aux conditions suivantes :

- nappe homogène et illimitée;
- pompages pratiquement concentrés en un point;
- validité de la formule générale de Theis.

La marche des calculs conduisant à ces conclusions théoriques est exposée dans la partie annexe du présent rapport.

Il y a de nombreuses objections à l'utilisation de ce schéma.

En effet :

- certains points d'observation se trouvent fort près de la limite nord de la nappe (Comines) ou de la zone dénoyée du calcaire (Hérinnes).

- les prélèvements à caractère intermittent sont dispersés dans une large zone (°)
- on pourrait tout aussi bien considérer la zone aquifère étudiée comme formant une tranche d'une nappe latéralement illimitée, où les prélèvements s'étaleraient dans une bande transversale également illimitée.

Il faudrait alors, dans ce dernier cas, recourir à d'autres formules, d'un traitement plus laborieux, donnant l'influence d'un rabattement brusque mais variable dans un drain (ou rivière) sur la nappe des terrains adjacents.

Notre essai d'explication théorique doit donc être regardé comme une première approche du problème qui ne peut conduire qu'à des conclusions provisoires.

## 2. Position du centre des prélèvements intermittents

Nous avons estimé, dans une étude antérieure, que le puits de Mouscron se trouvait, du moins en 1966, à environ 6 km de distance du centre de ces prélèvements.

La distance du puits de Bondues à ce centre doit avoir à peu près cette même valeur.

Les puits d'observation de Spiere et Hérinnes ne sont écartés que d'environ 2 km. Hérinnes doit vraisemblablement se trouver à une distance comprise entre 15 et 18 km du centre des prélèvements.

---

(°) Rappelons ici que les captages de Pecq - St. Léger qui se placent au centre de la région étudiée en Belgique, ont un régime non intermittent, plus ou moins régulier. Leur influence peut, du moins en première approximation, être négligée dans l'étude des fluctuations à courte période de la nappe.

### 3. Déphasage des niveaux supérieurs hebdomadaires

Il y a quelque incertitude dans la fixation de ces niveaux à Hérinnes, mais la comparaison d'un grand nombre d'observations permet d'évaluer le déphasage entre Bondues et Hérinnes à 8 ou 9 h.

Nous admettrons, assez arbitrairement, que la reprise des pompages hebdomadaires se marque à Hérinnes avec environ 10 h. de décalage.

La relation théorique entre cette durée et le paramètre local  $a = r^2 S/4T$  est connue (Annexe - fig. 44).

On trouve pour un décalage de 10 h.,  $a \sim 1$ .  
Avec  $r = 16$  km, cela conduit à  $S/T = 1,56 \cdot 10^{-2}$  j/m<sup>2</sup>.

### 4. Comparaison des écarts hebdomadaires

En période stable, par exemple du 14/6/70 au 29/6/70, on trouve les valeurs moyennes suivantes pour les écarts hebdomadaires

$$\begin{array}{l} \text{Spiere :} \\ \text{Hérinnes :} \end{array} \quad \begin{array}{l} E = 1,00 \text{ m} \\ E = 0,60 \text{ m} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{Spiere :} \\ \text{Hérinnes :} \end{array}} \right\} \Delta E = 0,40 \text{ m} \quad \frac{E(\text{Spiere})}{E(\text{Hérinnes})} = 1,66 \quad (1)$$

Notons que le rapport des écarts hebdomadaires doit être indépendant des débits.

$$\text{Si } r(\text{Hérinnes}) = 16 \text{ km et } r(\text{Spiere}) = 14 \text{ km, on aura :} \\ a_H / a_S = (r_H / r_S)^2 = 1,31 \quad (2)$$

La combinaison des valeurs (1) et (2) ne s'adapte pas à la courbe théorique (Annexe - fig. 45). De ce point de vue, un groupe de valeurs telles que :

$$E_S/E_H = 1,40 \quad \sigma_S = 0,54 \quad \sigma_H = 0,755 \quad (3)$$

$$a_H/a_S = 1,44 \quad a_H = 1,00$$

serait parfaitement acceptable, mais conduirait alors à

$$r_H/r_S = 1,20 \quad \text{c. à. d.} \quad r_H = 12 \text{ km et } r_S = 10 \text{ km.}$$

chiffres qui sont inférieurs à la réalité.

Il est possible que cette contradiction résulte du fait que, Hérinnes étant proche de la zone dénoyée, la courbe réelle donnant les relations entre  $E(\sigma)$  et  $\underline{a}$ , présente une plus forte courbure pour les plus grandes valeurs de  $\underline{a}$ . Le groupe de valeur (1) et (2) serait alors quand même valable.

Si nous adoptons les valeurs (3) on aurait ensuite, d'après la relation :  $\Delta E = \frac{Q}{4 \pi T} \Delta \sigma$

$$Q/4 \pi T = 0,40 / 0,215 = 1,86 \quad (4)$$

Poursuivons cette tentative d'interprétation en notant que les variations hebdomadaires moyennes à Bondues et Spiere valent respectivement 3,00 et 0,85. Cela représente un rapport de 3,50 / 1,00.

Si l'on admet pour Spiere  $\underline{a} = 1/1,44 = 0,70$  et  $r = 14$  km on peut en déduire d'après le graphique de la figure 45 (Annexe)

$$\underline{a}(\text{Bondues}) = 0,074 \quad \text{et } r_S/r_B = \sqrt{0,70/0,074} = 3,06$$

et finalement  $r_B = 4,6$  km, chiffre qui semble proche de la réalité.

### 5. Courbe de remontée à Hérinnes et Spiere pendant l'arrêt des congés payés.

On extrapole la situation antérieure en y superposant une courbe logarithmique qui s'y accroche aussi bien que possible. Ceci demande que les fluctuations antérieures soient relativement stables.

La valeur de la remontée sous l'influence du débit négatif, se mesure à partir de cette courbe extrapolée.

Il apparaît tout de suite que, à Hérinnes (ainsi qu'à Spiere), les courbes de remontées ainsi établies (fig. 15 - 16) n'ont, dans leur allure générale, pas la forme d'une courbe de Theis. Elles se rapprochent davantage d'une courbe de rabattement sous l'effet d'un débit continûment variable.  $Q = \alpha \cdot t$  (Annexe - fig. 52).

En admettant encore la valeur provisoire  $(a) = 1$  pour Hérinnes et en choisissant la portion de la courbe théorique qui se rapproche le plus de la courbe réelle (fig. 16), on trouve :

En 1970

$$s = 0,60 \quad \text{pour} \quad \phi = 20, \quad \text{d'où} \quad \frac{\alpha}{4\pi T} = \frac{0,60}{20} = 0,03$$

Après  $t = 20$  j. on aurait alors  $Q/4\pi T = 0,60$ .

Compte tenu de la valeur  $Q/4\pi T = 1,86$  établie plus haut, cela voudrait dire qu'après 20 jours, la remontée de la nappe à Hérinnes a été la même que si le débit hebdomadaire moyen avait diminué progressivement, de manière à tomber à 64 % de sa valeur antérieure.

Après  $t = 28$  jours, l'allure de la courbe de remontée se modifie par suite d'un accroissement temporaire des pompages.

En 1971

En admettant la superposition  $s = 1,00$  et  $\phi = 50$  on trouve  $\frac{\alpha}{4 \pi T} = 0,02$  et  $Q/4\pi T = 0,60$  pour  $t = 30$  j.

C'est maintenant après 30 j. que le débit hebdomadaire moyen aurait été plus ou moins progressivement réduit à 64 %.

Pendant les périodes de remontée de 1970 et 1971, la différence entre les niveaux moyens à Spiere et Hérinnes diminue graduellement pour augmenter ensuite avec la reprise des pompages.

Cela confirme notre hypothèse que le débit moyen a déchu plus ou moins progressivement pendant la période des congés.

En effet, dans le cas d'un taux de réduction constant, la différence entre ces deux niveaux se serait rapidement stabilisée (voir Annexe - figure 36).

#### 6. Variations des écarts hebdomadaires pendant la période de remontée

Les écarts hebdomadaires diminuent également pendant cette période, ainsi que leur différence  $E_S - E_H$ , qui est pratiquement réduite de moitié vers le 16/8/70.

Ceci semble indiquer que ce sont surtout les variations des pompages intermittents qui conditionnent l'allure de la courbe de remontée, et non ceux qui se poursuivent éventuellement pendant les week-ends.

Plus difficile à expliquer est le fait que le rapport des écarts hebdomadaires à Hérinnes et Spiere :  $E_S / E_H$  a également diminué pendant la période de remontée de 1970 (les observations correspondantes pour 1972 sont moins complètes à ce sujet).

La position géographique des pompes à arrêt nocturne parmi ceux qui se maintiennent la nuit pourrait peut-être expliquer cette anomalie.

Si l'on s'en tient aux fluctuations journalières = 0,05 m observées à Hérinnes et en conservant toujours la valeur  $\underline{a} = 1$  en ce point, on aurait d'après les calculs théoriques exposés dans l'annexe (figure 47):

$$q / 4 \pi T = 0,05 / 0,047 = 1,06.$$

q étant le débit éventuellement responsable de ces fluctuations.

Cela voudrait dire que  $1,06/1,86 = 57\%$  du pompage hebdomadaire moyen aurait alors été arrêté pendant la nuit.

#### 8. Forme relative des fluctuations hebdomadaires

En réduisant l'écart hebdomadaire à 100 on élimine le facteur débit et l'on peut faire ressortir l'influence du paramètre (a).

Les figures 19 - 20 donnent <sup>les</sup> formes relatives pour Bondues, Comines et Spiere.

Les résultats sont incohérents et difficiles à cadrer avec les formes relatives théoriques calculées pour diverses valeurs de  $\underline{a}$  (Annexe - figures 40, 41).

Cette méthode d'analyse est vraisemblablement trop subtile pour pouvoir être appliquée ici.

#### 9. Conclusions

Avec toutes les réserves requises, on peut aboutir aux conclusions provisoires suivantes :



1) Les fluctuations de la nappe à Hérinnes, Spiere, Mouscron, Comines sont essentiellement dues à l'effet combiné de pompages intermittents journaliers et hebdomadaires.

2) Les pompages intermittents journaliers, arrêtés la nuit pourraient représenter une fraction importante des pompages globaux.

3) En période normale, les fluctuations hebdomadaires constatées à Spiere et Hérinnes sont comparables à celles que produirait un pompage central tel que  $Q/4 \pi T \sim 1,86$ .

4) Pendant la période des congés payés, la remontée de la nappe est essentiellement due à une diminution progressive du débit moyen, jusqu'à environ 50 % de sa valeur normale.

5) Dans les mêmes hypothèses, le paramètre  $S/T$  moyen de la nappe relatif à Hérinnes pourrait avoir une valeur voisine de  $1,5 \cdot 10^{-2}$  j/m<sup>2</sup>.

6) Dans notre étude des fluctuations de la nappe à Mouscron en 1958, nous étions arrivés aux conclusions suivantes :

- Le débit arrêté pendant les congés payés correspondait à  $Q/4 \pi T = 3,40$  (AQ = 7,80). L'arrêt était alors vraisemblablement presque total.

-  $S/T = 4 \cdot 10^{-2}$  j/m<sup>2</sup>.

7) Il est indispensable, si l'on veut s'engager plus loin dans l'interprétation des phénomènes constatés, de tenir compte de l'ensemble des observations faites dans cette nappe en France et de connaître la répartition actuelle des débits qui y sont prélevés.

A N N E X E

CONSIDERATIONS THEORIQUES SUR LES POMPAGES  
A DEBIT VARIABLE.

.....

I. INTRODUCTION

Nous nous proposons de calculer ici les effets de pompages à débit variable. On verra que ces divers effets offrent, en théorie, plusieurs moyens de déterminer certaines caractéristiques de la nappe ou d'évaluer la valeur des débits qui les provoquent.

Nous partirons d'un modèle simple : pompage central - nappe homogène et illimitée, pour laquelle on peut utiliser la formule classique de Theis.

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} W(u) \quad u = \frac{r^2 S}{4 T t} = a/t$$

s = rabattement à une distance r, après un temps de pompage = t

T = transmissivité de la nappe

S = coefficient d'emménagement de la nappe

Q = débit.

Les unités choisies plus loin sont arbitraires, mais on adoptera généralement implicitement le groupe mètre -jour.

Il suffit en tous cas de tenir compte du fait que le facteur u n'a pas de dimension physique.

Les valeurs tabulées de W (u) se trouvent dans de nombreux manuels.

Si  $u < 0,01$ , on a très sensiblement :

$$W(u) = - 2,303 \log 1,78 u.$$

## II. POMPAGES CONTINUS

La superposition de la formule théorique précédente et de la courbe expérimentale, tracées en échelle bilogarithmique permet de trouver immédiatement  $Q/T$  et  $a$ .

$$\text{On a encore : } \frac{dW}{dr} = -2 \frac{e^{-u}}{r}$$

c. à. d. que pour deux piézomètres rapprochés :

$$\Delta W = -2 e^{-u} \frac{\Delta r}{r}$$

$$\text{pour } u = 0,20 \quad 0,10 \quad 0,01$$

$$e^{-u} = 0,82 \quad 0,905 \quad 0,99.$$

La différence de rabattement entre ces deux points se stabilise donc très rapidement (figure 36).

$$\text{Pour } r_1/r_2 = \sqrt{2}, \text{ c. à. d. } a_1/a_2 = 2$$

on trouve en outre :  $W_1 - W_2 = \log_e \frac{a_1}{a_2} = 0,693$   
dès que  $t$  est suffisamment grand.

Ces considérations sont aussi valables pour les courbes de remontées après arrêt du pompage.

Après un temps relativement court, on aura donc :

$$\Delta s = \frac{Q}{2 \pi T} \cdot \frac{\Delta r}{r}$$

La comparaison de deux piézomètres rapprochés permet donc de trouver  $T$  si l'on connaît  $Q$  et  $\Delta r/r$ .

Arrêt partiel d'un pompage continu

Supposons qu'au temps  $\tau$ , le débit initial  $Q$  soit réduit à  $Q'$ .

Au temps  $t = \tau + t'$  ( $t'$  = temps après la réduction du débit) le rabattement aura la valeur :

$$s = \frac{1}{4 \pi \cdot T} \left[ Q \cdot W(u) - (Q - Q') \cdot W(u') \right] \quad u' = a/t'$$

On trouvera sur la figure 37, l'allure prise par les courbes de rabattement dans quelques cas particuliers, notamment pour  $Q' = 0$ ,  $Q' = Q/4$ ,  $Q/2$  et  $3Q/4$ . en prenant  $1/4 \pi T = 1$  et  $a = 1$ .

Dans le cas d'un arrêt total, le maximum de la courbe se marque à un temps  $\tau + x$ , telque :

$$\frac{dW(u)}{dx} - \frac{dW(w)}{dx} = 0 \quad u = \frac{a}{\tau + x} \quad w = \frac{a}{x}$$

Ce qui correspond à  $u \cdot e^{-u} - w \cdot e^{-w} = 0$ .

Cette condition peut se mettre sous la forme :

$$a/\tau = \varepsilon (1 + \varepsilon) \cdot \log_e \left( \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \right) \quad \varepsilon = x / \tau$$

qui permet aisément de calculer les relations entre  $x$  et les paramètres  $a$  et  $\tau$ .

Nous avons mis ces relations sous forme d'abaque (figure 38), qui montre que le décalage  $x$  augmente en fonction de  $a$ , c.à.d. de la distance, mais diminue en fonction du temps  $\tau$ .

Influence d'un groupe de puits

Un groupe de plusieurs pompages peut, dans une certaine mesure, être assimilé à un pompage unique tel que :

$$Q \cdot W(u) = \sum q \cdot W(v) \quad Q = \sum q$$

$u$  = valeur moyenne de  $v = r^2 S / 4 T t$ .

On peut en déduire une valeur moyenne de  $r$ , mais celle-ci est aussi fonction de la durée de pompage.

Nous avons calculé, à titre d'exemple (figure 39) ce qui se produit dans le cas de deux pompes  $Q_1$  et  $Q_2$ , situés à des distances  $r_1$  et  $r_2$  du point d'observation et telles que les paramètres correspondants aient les valeurs :

$$a_1 = 1 \text{ et } a_2 = 0,50 \text{ (dans ce cas } r_1/r_2 = \sqrt{2} \text{).}$$

La valeur asymptotique de  $a_{\text{moyen}}$  est, dans les cas examinés, sensiblement atteinte dès que  $t = 2$ .

### III. POMPAGES INTERMITTENTS

Nous admettrons ici que le rapport de la période d'arrêt et de la durée de pompage =  $\lambda = 2/7$  mais examinerons aussi plus loin ce qui se produit dans certains cas lorsque  $\lambda = 3/7$ .

Dans un travail antérieur (°) nous avons déjà calculé l'allure des courbes de rabattement pour un tel cycle en utilisant la forme de Theis simplifiée mise sous la forme

$$s \approx A \cdot Q \cdot \log Mt \quad A = 0,183/T \quad M = 0,562/a.$$

Ceci n'est valable que lorsque  $u = a/t$  est relativement petit et que par conséquent, le décalage des maxima de la courbe de rabattement est négligeable.

---

(°) M. GULINCK : Essai d'interprétation des fluctuations de la nappe du calcaire carbonifère à Mouscron. Bull. Ass. Int. Hydr. Sc. XIV, 1, 3/1969.

Nous avons repris le calcul en utilisant la formule correcte de Theis, pour diverses valeurs de  $a$ ,

La formule du rabattement au temps  $t = 7n + x$  prend alors la forme :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left\{ W(x) + \sum_1^n [W(t) - W(t-5)] \right\}$$

On est conduit à calculer directement la différence  $W(t) - W(t-5) = \log_e \left( \frac{t}{t-5} \right) - a \left( \frac{1}{t} - \frac{1}{t-5} \right)$

plutôt que de rechercher directement les valeurs de  $W(t)$  lorsque  $t$  devient assez grand.

Il n'est pas possible de reproduire ici le détail de tous les calculs effectués, mais on trouvera quelques allures particulières des courbes de rabattement sur les figures 40, 45, 48 et 49.

#### Ecart des niveaux extrêmes en pompage intermittent

On constate dans tous les cas, que l'écart entre les lignes enveloppes des niveaux extrêmes, prend très rapidement une valeur stable.

Cet écart prend la valeur de la remontée hebdomadaire brute, mesurée après une durée de pompage suffisamment longue, c. à. d. lorsque la courbe de rabattement moyen a pris une forme très plate.

Nous avons établi, dans le travail cité, que cette remontée a comme valeur :

$E = AQ \cdot \log 1,74 M$ , dans le cas où la formule simplifiée de Theis est applicable.

Sous une autre forme :

$$E = \frac{Q}{4 \pi T} \cdot \sigma ; \quad \sigma = 2,30 \log \frac{0,977}{a} = \text{écart relatif}$$

Dans le cas général, il est nécessaire de passer par le calcul complet des courbes de rabattement pour diverses valeurs de  $a$  et de construire la courbe  $\sigma/a$ , en interpolant les points isolés trouvés. On arrive ainsi au graphique de la figure 45.

Faisons remarquer que ce graphique doit nous permettre, du moins en théorie, de calculer les paramètres  $a_1$  et  $a_2$  relatifs à deux piézomètres rapprochés si l'on connaît les rapports expérimentaux  $E_1/E_2$  et  $r_1/r_2$  correspondants.

En effet,  $E_1/E_2 = \sigma_1 / \sigma_2$  est indépendant du paramètre  $Q/T$ .

Dans l'exemple de la figure 45, on trouve par exemple  $a_1 = 1,44$ ;  $a_2 = 1,00$  si l'on a simultanément  $\sigma_2 / \sigma_1 = 1,50$  et  $r_1 / r_2 = 1,2$ .

On a encore, en première approximation (cas de la formule de Theis simplifiée) :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \sigma}{\Delta E} &= \Delta \log_e 1/a = -\Delta a/a = -2 \Delta r/r \\ &= \frac{Q}{2 \pi T} \cdot \frac{\Delta r}{r} \end{aligned}$$

Cette relation ne peut pas se mettre sous une forme analytique simple dans le cas général.

Il est cependant, de toute façon, possible de calculer  $Q/T$  à partir de la différence des fluctuations hebdomadaires dans deux puits rapprochés.

En ramenant la valeur de E à une même valeur 100, on peut construire la "forme relative" des fluctuations hebdomadaires. Cette forme est indépendante de Q/T mais varie en fonction de  $\underline{a}$  et permet donc également d'estimer ce paramètre à partir des constatations expérimentales (figure 42).

### Décalage des maxima de la courbe de rabattement

#### NIVEAUX SUPERIEURS

Considérons le début d'un second cycle.

Au temps  $7 + y$ , le rabattement vaudra :

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} \left[ W(u) - W(v) + W(w) \right]$$

$$\text{avec } u = \frac{a}{7 + y} \quad v = \frac{a}{2 + y} \quad w = \frac{a}{y}$$

Nous poserons  $u_0 = a/7$  et  $v_0 = a/2$ .

La courbe de remontée présentera un maximum lorsque :

$$\frac{dW(u)}{du} - \frac{dW(v)}{dv} + \frac{dW(w)}{dw} = 0$$

$$\text{ou : } u \cdot e^{-u} - v \cdot e^{-v} + w \cdot e^{-w} = 0 \quad (°)$$

Ce maximum n'a une réalité que si  $\frac{ds}{dy} < 0$  pour  $y = 0$

c.à.d. si  $u_0 \cdot e^{-u_0} - v_0 \cdot e^{-v_0} < 0$ , d'où on déduit la condition  $a < 3,80$ .

Cela veut dire qu'au-delà d'une certaine distance, et quelle que soit l'importance du débit, le maximum supérieur ne se marque plus.



Au début du  $(n + 1)^{\text{ème}}$  cycle, la condition (°) devient :

$$\sum_1^n [\varphi_t - \varphi_{(t-5)}] = -w \cdot e^{-w} \quad \text{avec } t = n\tau + y \quad \text{et} \quad \varphi_t = \frac{a}{t} \cdot e^{-a/t}$$

La résolution de cette équation pour chaque cycle et diverses valeurs de  $a$  peut se faire par approximations successives si l'on dispose de valeurs tabulées, ou mieux encore, d'abaques précis des fonctions

$$\varphi = u \cdot e^{-u} \quad \text{et} \quad d\varphi/du = (1-u) e^{-u}$$

On trouve de cette façon pour  $\tau = 7$ , les valeurs particulières suivantes :

<u>cycles successifs</u> :	$n = 2$	5	10	20	$\infty$
pour $a = 0,25$	$y = 0,062$	0,067	-	-	0,070
$a = 0,50$	$y = 0,150$	0,167	0,169	0,170	0,173
$a = 1,00$	$y = 0,345$	0,400	0,416	0,424	0,430
$a = 2,00$	$y = 0,680$	0,880	0,955	0,990	1,010

### NIVEAUX INFÉRIEURS

En appliquant les mêmes méthodes de calcul que dans la cas précédent on trouve :

<u>cycles successifs</u> :	$n = 1$	2	5	10	20	$\infty$
pour $a = 0,25$	$x = 0,055$	0,0535	0,0506	-	-	0,049
$a = 0,50$	$x = 0,132$	0,119	0,110	0,106	0,105	0,101
$a = 1,00$	$x = 0,340$	0,294	0,260	0,249	0,244	0,238
$a = 2,00$	$x = 0,900$	0,736	0,640	0,590	0,577	0,545

Contrairement à ce qui se passe pour les niveaux supérieurs, le décalage diminue ici en fonction de la durée du pompage.

Ces diverses valeurs sont portées en graphique sur les figures

### Pompages intermittents semi-journaliers

Nous avons également calculé et mis en graphique (fig. 46) l'allure des courbes de rabattement dans le cas d'un pompage semi-journalier pour diverses valeurs de  $a$ .

On constate, ce qui était prévisible à priori, que les écarts des niveaux extrêmes ou amplitudes des fluctuations, s'amortissent rapidement en fonction de  $a$ , c. à. d. en fonction de la distance au puits (figure 47).

### Pompages mixtes ou perturbés

Nous avons cherché ce qui se produit lorsqu'un pompage intermittent était temporairement perturbé, arrêté ou réduit ou combiné avec un pompage continu.

Le calcul, basé sur le principe de la superposition des effets, ne nécessite aucun commentaire particulier.

Les figures 48 à 51, qui illustrent divers cas particuliers, sont suffisamment explicites.

Tous ces exemples ont été calculés en admettant  $Q/4\pi T = 1$  et  $a = 1$ .

On constatera que les perturbations, si elles ne sont pas exagérées, s'amortissent rapidement.

Les modifications d'un régime intermittent se stabilisent aussi très rapidement.

Influence de la durée relative de la période d'arrêt.

Les calculs précédents ont été établis dans le cas où la durée relative de la période d'arrêt  $\lambda = 2/7$ .

Il était intéressant de se rendre compte de l'effet d'une variation de ce coefficient.

Nous avons, pour cela, refait le calcul des courbes de rabattement en pompage intermittent avec  $\lambda = 3/7$

Les écarts hebdomadaires relatifs (avec  $Q/4\pi T = 1$ ) prennent alors les valeurs suivantes :

pour	a = 0,10	0,25	0,50	1,00
$\lambda = 2/7$	$\sigma = 2,33$	1,51	0,98	0,54
$\lambda = 3/7$	$\sigma = 2,54$	1,70	1,12	0,64.

En diagramme bilogarithmique, les courbes  $\sigma/a$  gardent sensiblement la même forme. (figure 45).

Il en résulte qu'une variation assez notable de la valeur de  $\lambda$  n'affecte que relativement peu les conclusions tirées de l'analyse des rapports  $E/a$ .

IV. POMPAGES A DEBIT CONTINUMENT VARIABLE

Dans le cas où le débit suit une loi linéaire, c. à. d. que  $Q = \alpha \cdot \tau$ , le rabattement au temps  $\tau$  vaut :

$$s = \frac{1}{4\pi T} \int_0^Q W(\tau - t') \cdot dq \quad 0 < t' < \tau$$

comme  $dt = -a \frac{du}{u^2}$ , cette relation peut s'écrire

$$s = \frac{\alpha}{4\pi T} \cdot a \cdot \int_u^\infty W(u) \cdot \frac{du}{u^2} \quad (^\circ)$$

Nous poserons  $\phi = \int_u^\infty W(u) \frac{du}{u^2}$

Dans le cas où  $u$  reste  $< 0,01$  on a  $W(u) = -\log_e \cdot 1,78 u$  et la relation  $(^\circ)$  peut parfaitement s'intégrer en donnant

$$s = \frac{0,183}{T} \cdot \alpha \cdot \tau \cdot \log 0,207 \frac{\tau}{a} = \frac{Q}{4\pi T} \log_e 0,207 \frac{\tau}{a}$$

Le calcul de  $\phi$  à partir des valeurs tabulées de  $W(u)$  conduit aux abaques de la figure 52.

On remarquera que la courbe de rabattement prend presque une forme linéaire en fonction du temps.

Notons encore que  $\frac{ds}{dr} = -\frac{\alpha \tau}{2\pi T} \cdot \frac{1}{r}$

Les différences de niveau entre deux piézomètres rapprochés doit donc augmenter en fonction du temps  $\tau$ .

On pourrait, en principe, comme dans le cas d'un pompage simple, calculer les paramètres  $\alpha / T$  et  $a$ , par superposition des courbes expérimentales à la courbe  $\phi$  en échelle bilogarithmique.

En pratique, la faible courbure de  $\phi$  laisse une assez grande incertitude dans cette superposition et rend le procédé difficilement applicable. Mais si l'on possède déjà une indication au sujet de la valeur de  $a$ , on pourra calculer  $\alpha / T$ .

V. POMPAGES INTERMITTENTS A DEBIT VARIABLE

Supposons un pompage intermittent stabilisé , avec un débit  $Q$  tel que  $Q/4 \pi T = 1$  et en admettant  $\lambda = 2/7$ .

A un moment donné, ce débit est progressivement réduit à  $0,9 Q$ ,  $0,8 Q$ , etc...

La courbe moyenne de remontée correspondra à peu près à la courbe de rabattement négatif pour un débit continûment variable.

Le calcul montre que les écarts relatifs  $\sigma$  entre les niveaux extrêmes varient maintenant presque linéairement en fonction du temps (figure 53).

On constate en même temps que le rapport entre ces écarts, pour deux piézomètres assez proches, ne varie guère en fonction du temps, c. à. d. en fonction de la réduction du débit hebdomadaire.

On trouve en effet :

	Cycle normal	Débits réduits		
	Q	0,7 Q	0,5 Q	0,3 Q
a 1 = 0,10 ) a 2 = 0,25 ) $\sigma_1 / \sigma_2 =$	1,54	1,80	1,89	2,05
a 1 = 0,25 ) a 2 = 0,50 ) $\sigma_1 / \sigma_2 =$	1,54	1,54	1,59	1,69
a 1 = 0,50 ) a 2 = 1,00 ) $\sigma_1 / \sigma_2 =$	1,80	1,81	1,74	1,68

En d'autres mots, une réduction progressive du débit hebdomadaire peut difficilement être décelée par la comparaison des rapports des écarts hebdomadaires.

VI. APPLICATION DU PRINCIPE DES LIGNES D'INFLUENCE AU CALCUL DE L'EFFET D'UN POMPAGE HETEROGENE.

Le problème consiste à calculer l'effet d'un pompage à débit variable, antérieur à un instant donné, par un procédé plus rapide que l'application directe de la formule de Theis.

L'effet, à un instant donné, d'un pompage Q agissant pendant un intervalle de temps antérieur  $(\tau + x) - (\tau)$ , vaut :

$$\Delta s = \frac{Q}{4 \pi T} \left[ W(\tau + x) - W(\tau) \right]$$

Posons  $i, x = W(\tau + x) - W(\tau) \rightarrow \frac{dW}{dt} \cdot x$  pour  $t = \tau$  et  $x \rightarrow 0$

$$i = \frac{u \cdot e^{-u}}{a} = \varphi / a \quad ds/dt = \frac{Q}{4 \pi T} \cdot i$$

$$\varphi_{\max} = 0,368 \text{ pour } u = a/\tau = 1.$$

La courbe  $i$  peut être considérée comme une ligne d'influence donnant l'effet d'un débit unitaire, agissant à un moment quelconque, pendant un intervalle de temps unitaire.

L'influence globale des pompages ayant agi depuis un temps X, vaut alors :

$$s_X = \frac{1}{4 \pi T} \cdot \frac{1}{a} \int_0^X \varphi \cdot Q dt.$$

La figure 54 donne un exemple concret de ce calcul.

On met en regard les courbes  $Q/t$  et  $\varphi/t$ , les caractéristiques  $\underline{T}$  et  $\underline{a}$  de la nappe au point considéré étant supposées connues.

On calcule ensuite en un certain nombre de points choisis, le produit  $Q.\varphi$  de manière à pouvoir interpoler facilement la courbe  $Q.\varphi/t$ . La surface de celle-ci peut être facilement intégrée, soit par sommation, soit graphiquement.

La courbe intégrale donne automatiquement la variation de  $s$  en fonction du temps  $\tau$  ( $0 < \tau < X$ ).

#### Cas d'une tranchée drainante

Plusieurs auteurs se sont penchés sur le problème de l'influence du plan d'eau d'une rivière sur l'allure de la nappe dans les terrains adjacents.

D. DEGALLIER (°) propose une méthode de calcul par tâtonnement, mais il nous semble que le principe des lignes d'influence est aussi applicable dans ce cas .

Si on abaisse le plan d'eau d'une valeur  $h_0$ , le rabattement  $h$  à l'intérieur du massif poreux adjacent, supposé homogène et infini, vaut :

$$h = h_0 \cdot \operatorname{erf}(x); \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-x^2} dx; x^2 = u = a/t.$$

---

(°) D. DEGALLIER - Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes - Bull. Bur. Rech. Geol. et Min. - Section III, n° 2, 1969, pp. 7 - 57.

On pourra, comme précédemment, envisager un facteur d'influence  $i$ , tel que :

$$i = \frac{d}{dt} \operatorname{erf}(x) = \frac{x \cdot e^{-x^2}}{\sqrt{\pi} \cdot t} = \frac{\sqrt{u} \cdot \varphi}{a \sqrt{\pi}} \quad \varphi = u \cdot e^{-u}$$

(voir figure 54).

Si ces fluctuations  $h_0$  sont variables dans le temps, leur effet cumulé, depuis un temps antérieur  $X$ , vaudra :

$$\sum h = \frac{1}{a \sqrt{\pi}} \cdot \int_0^X \varphi \cdot \sqrt{u} \cdot h_0 \cdot dt.$$

On voit donc que l'on pourra procéder comme dans le cas d'un puits à débit variable.



FIGURES

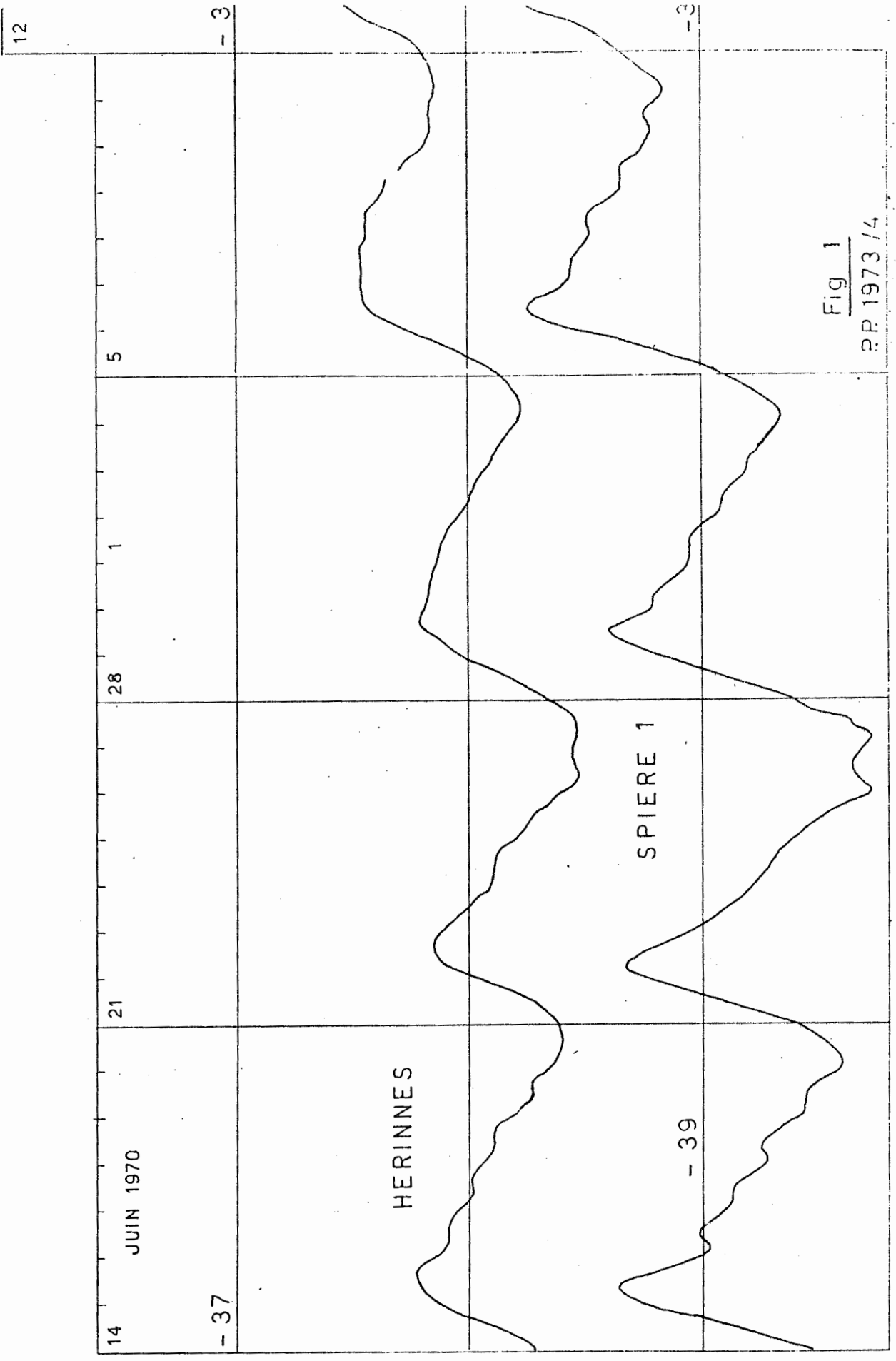


Fig 1  
 RP 1973/4

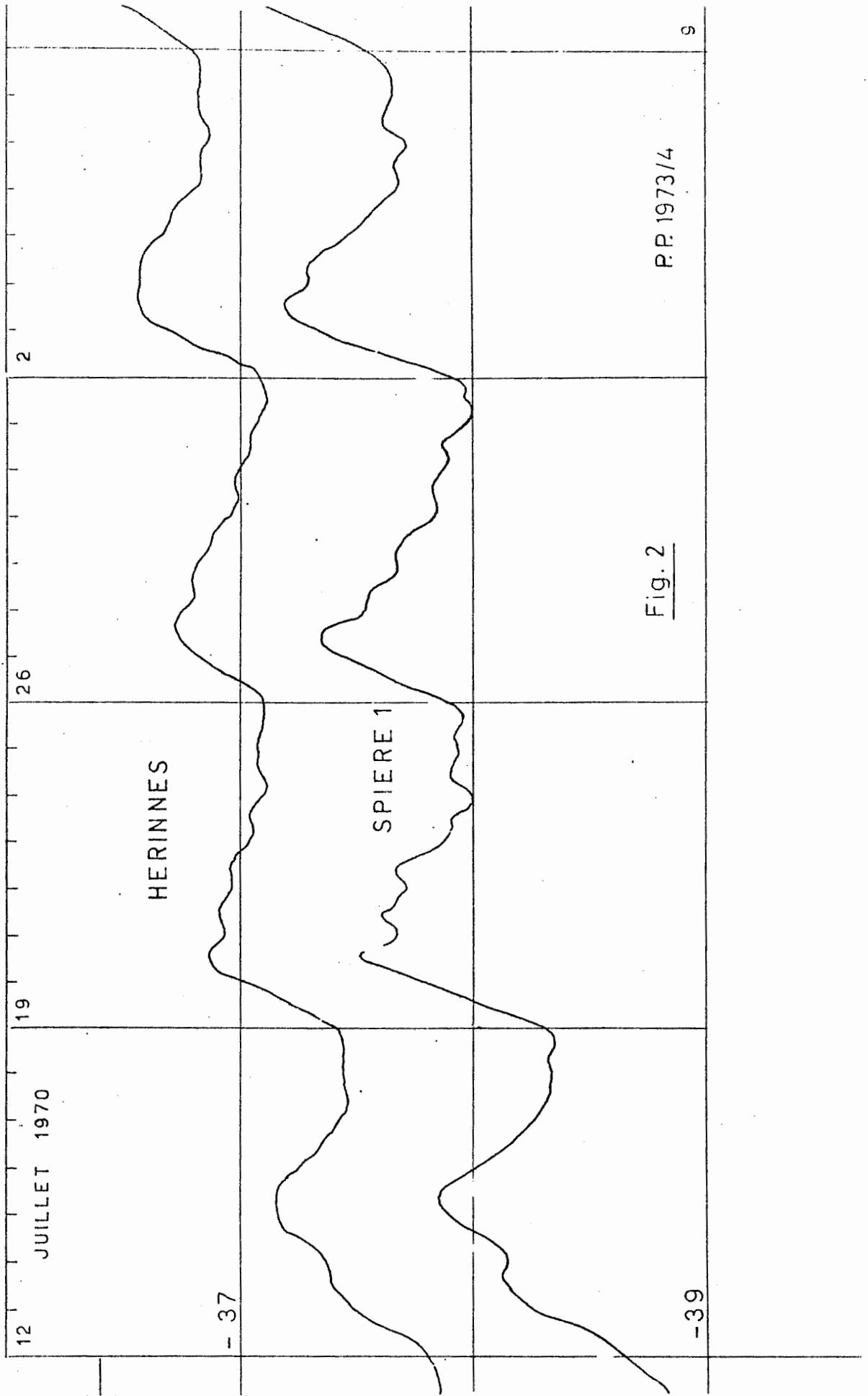
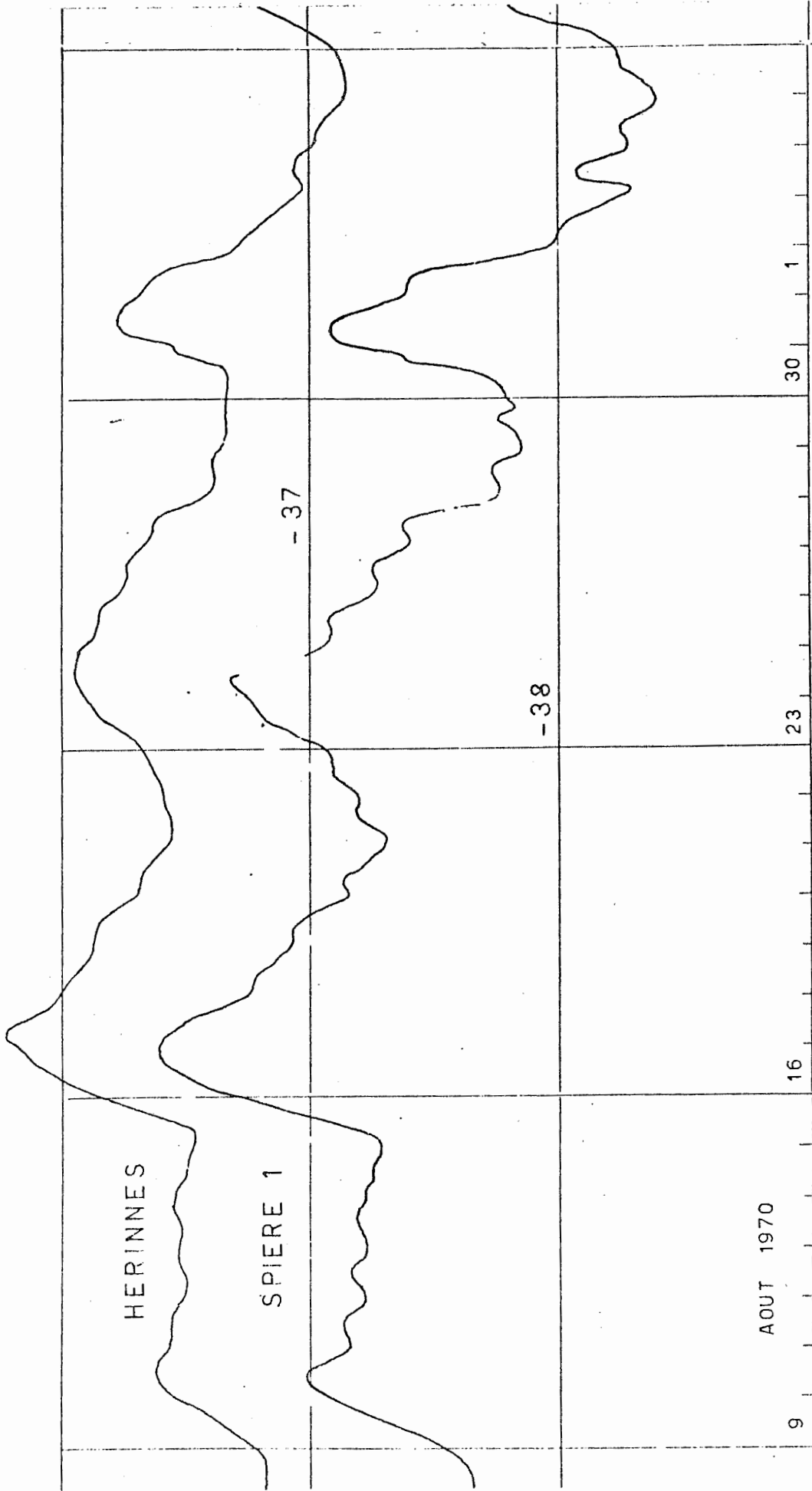
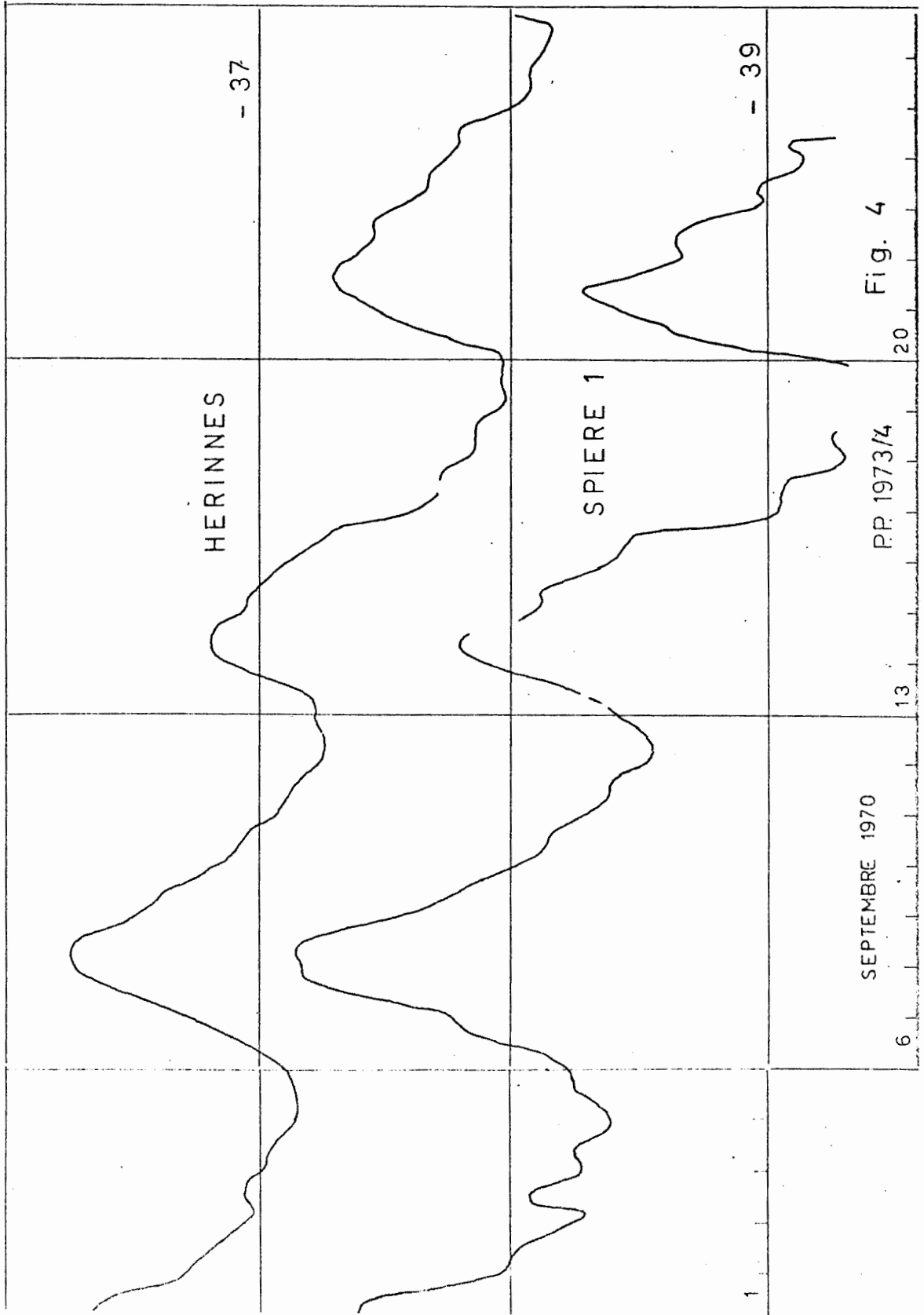


Fig. 2

PP 1973/4



P.P. 1973/4 Fig 3



HERINNES

- 37

SPIERE 1

- 39

SEPTEMBRE 1970

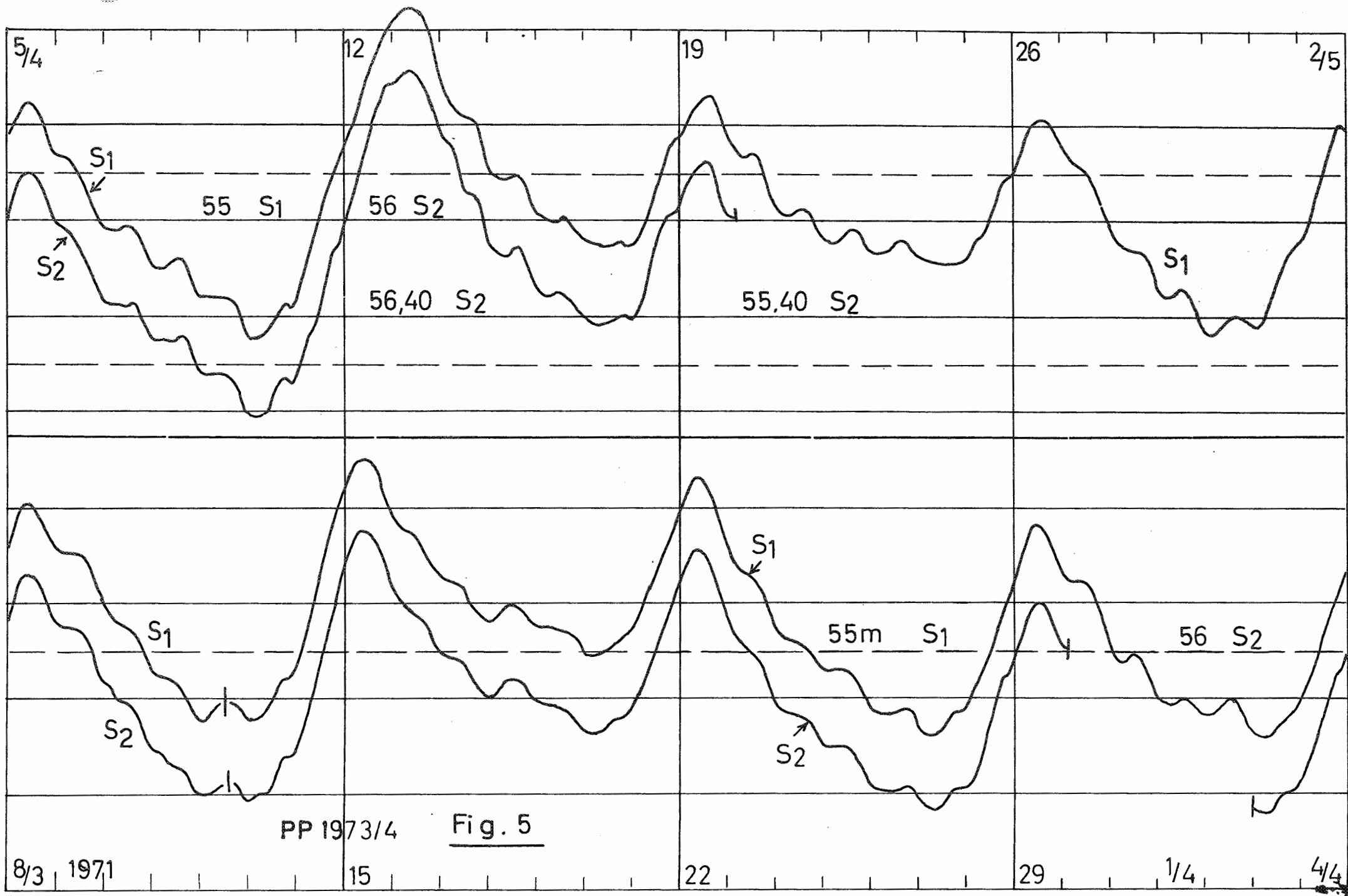
P.P 1973/4

Fig. 4

20

13

6



PP 1973/4

Fig. 5

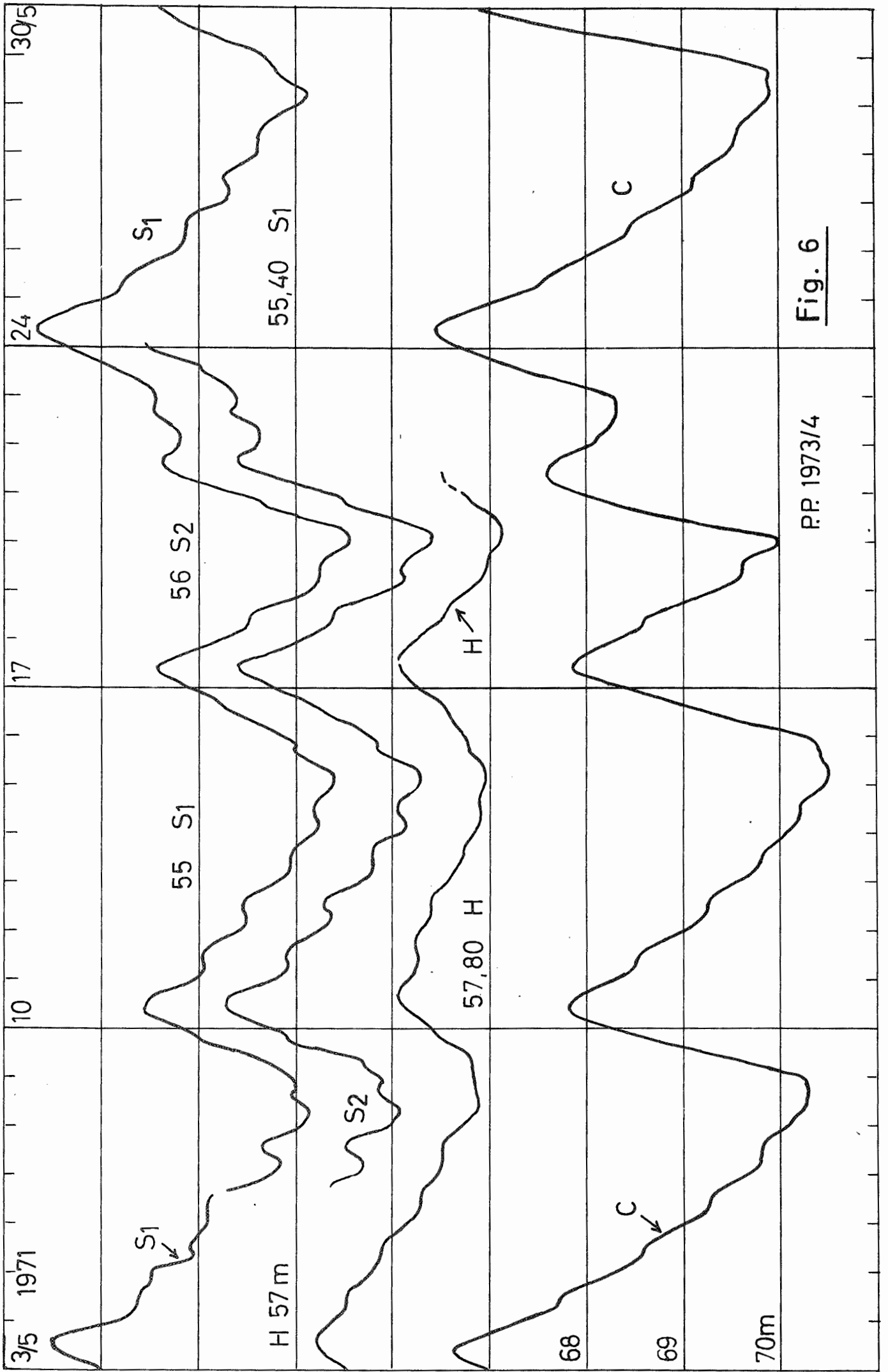
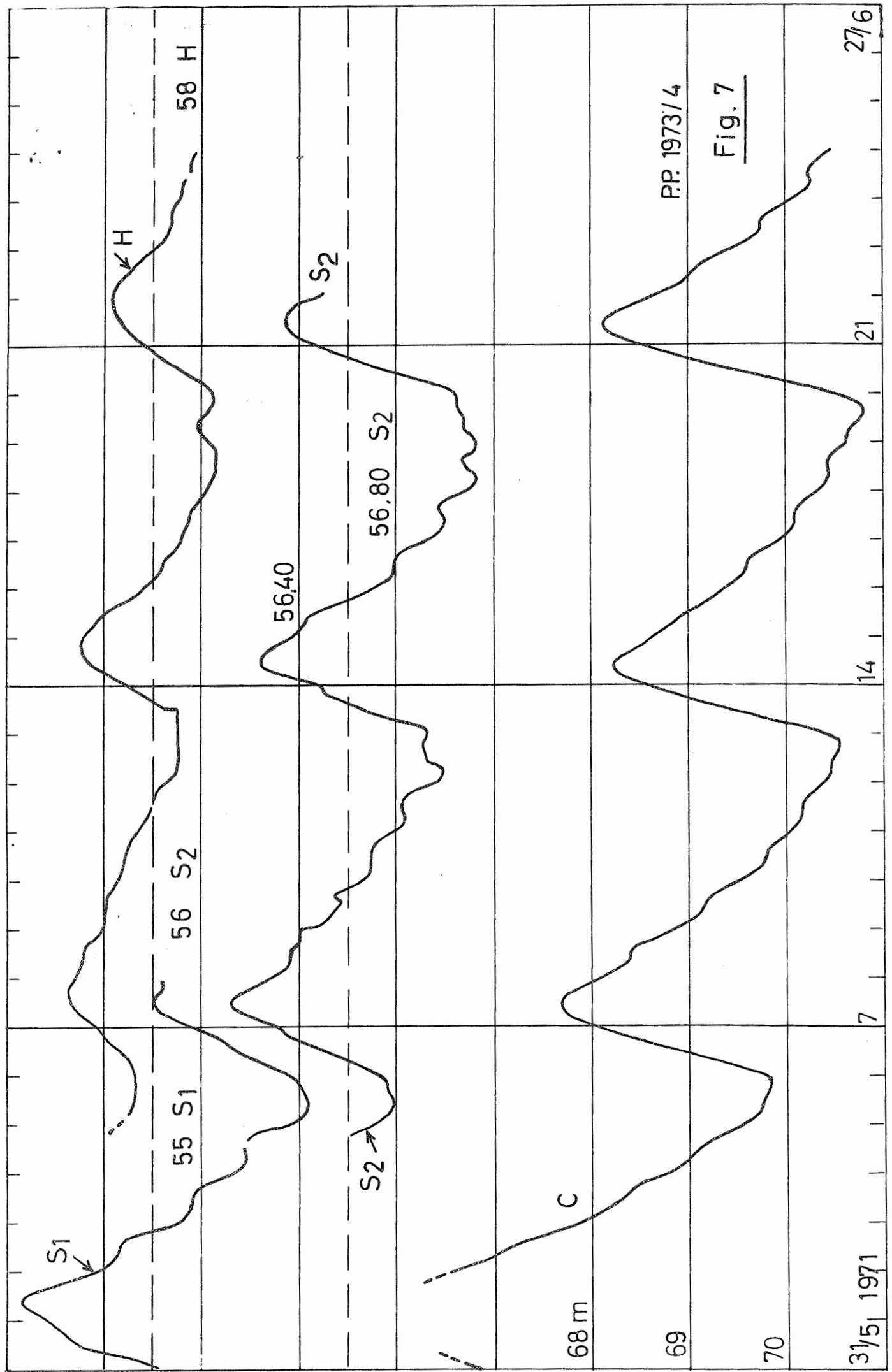


Fig. 6

R.P. 1973/4





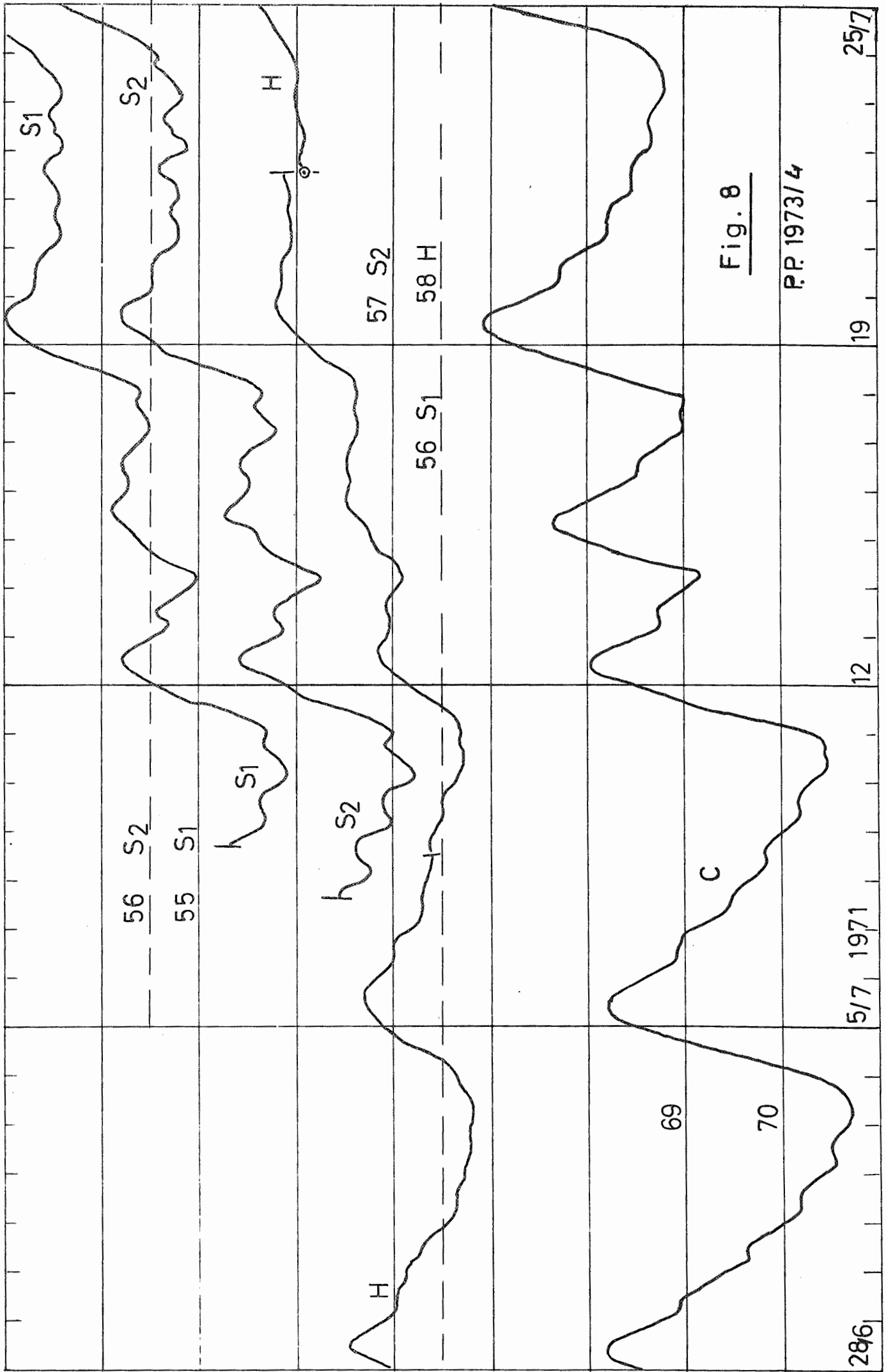
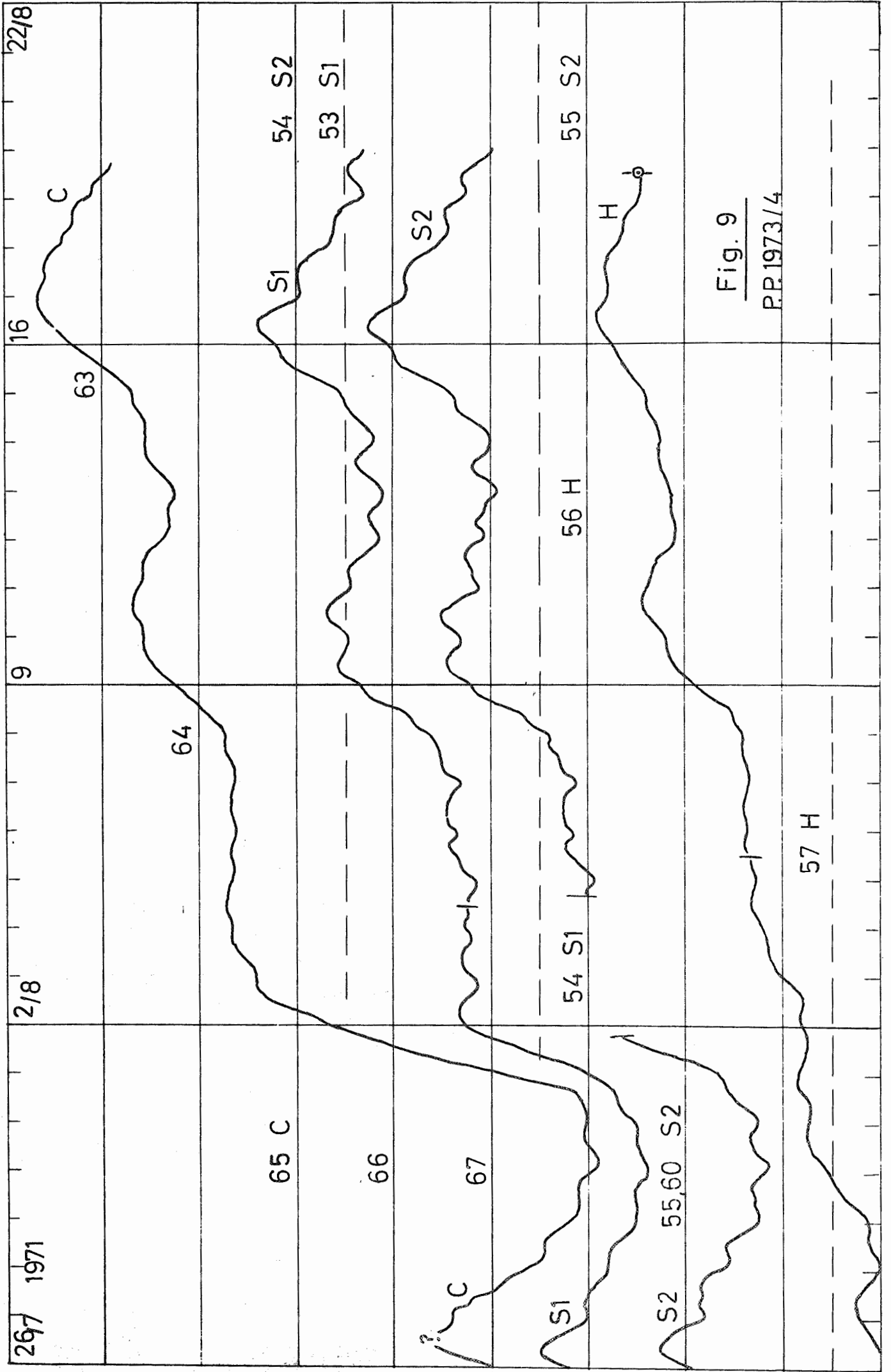


Fig. 8

P.P. 1973/4



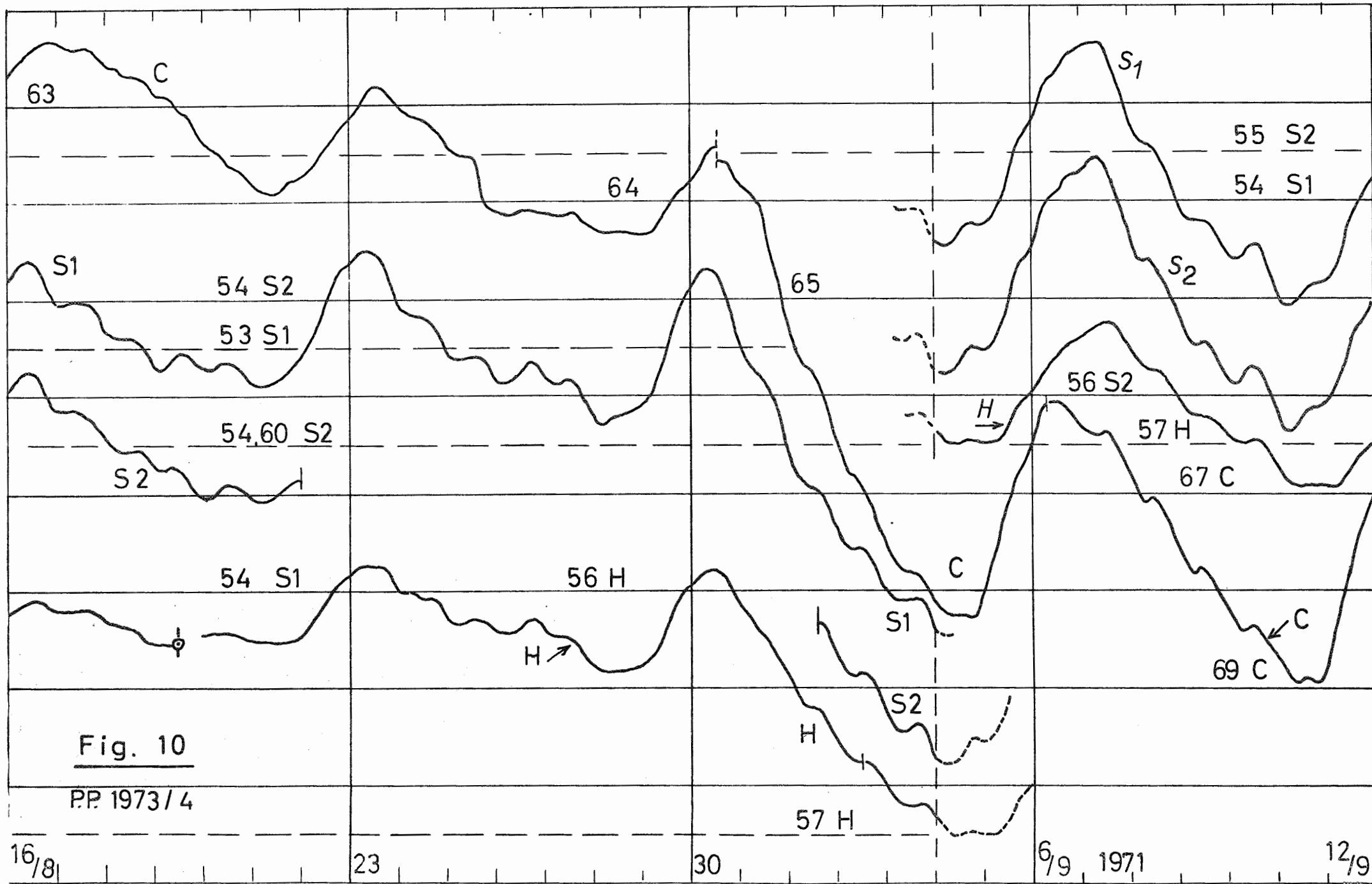


Fig. 10

PP 1973/4

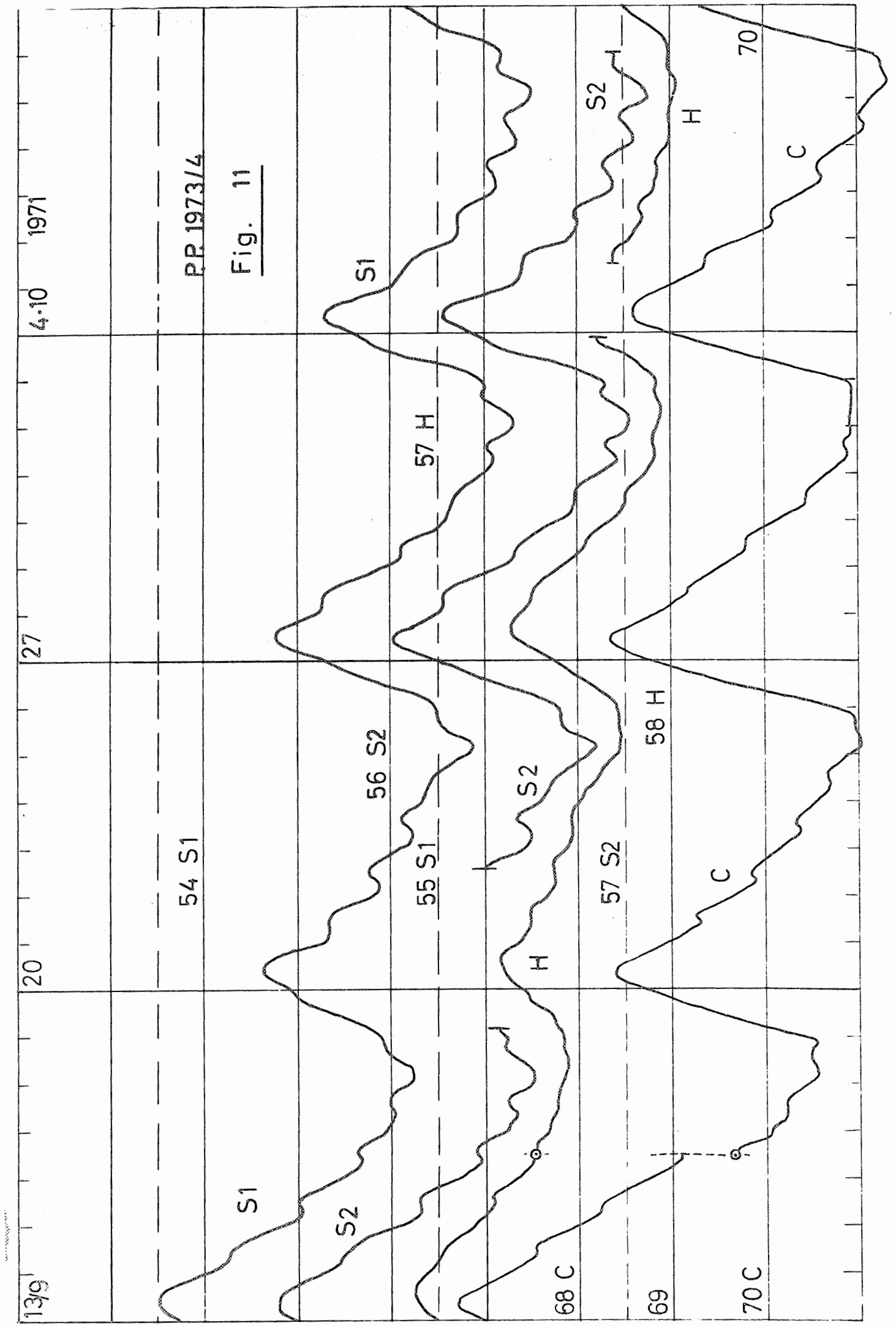
16/8

23

30

6/9, 1971

12/9



PR 1973/4

Fig. 11

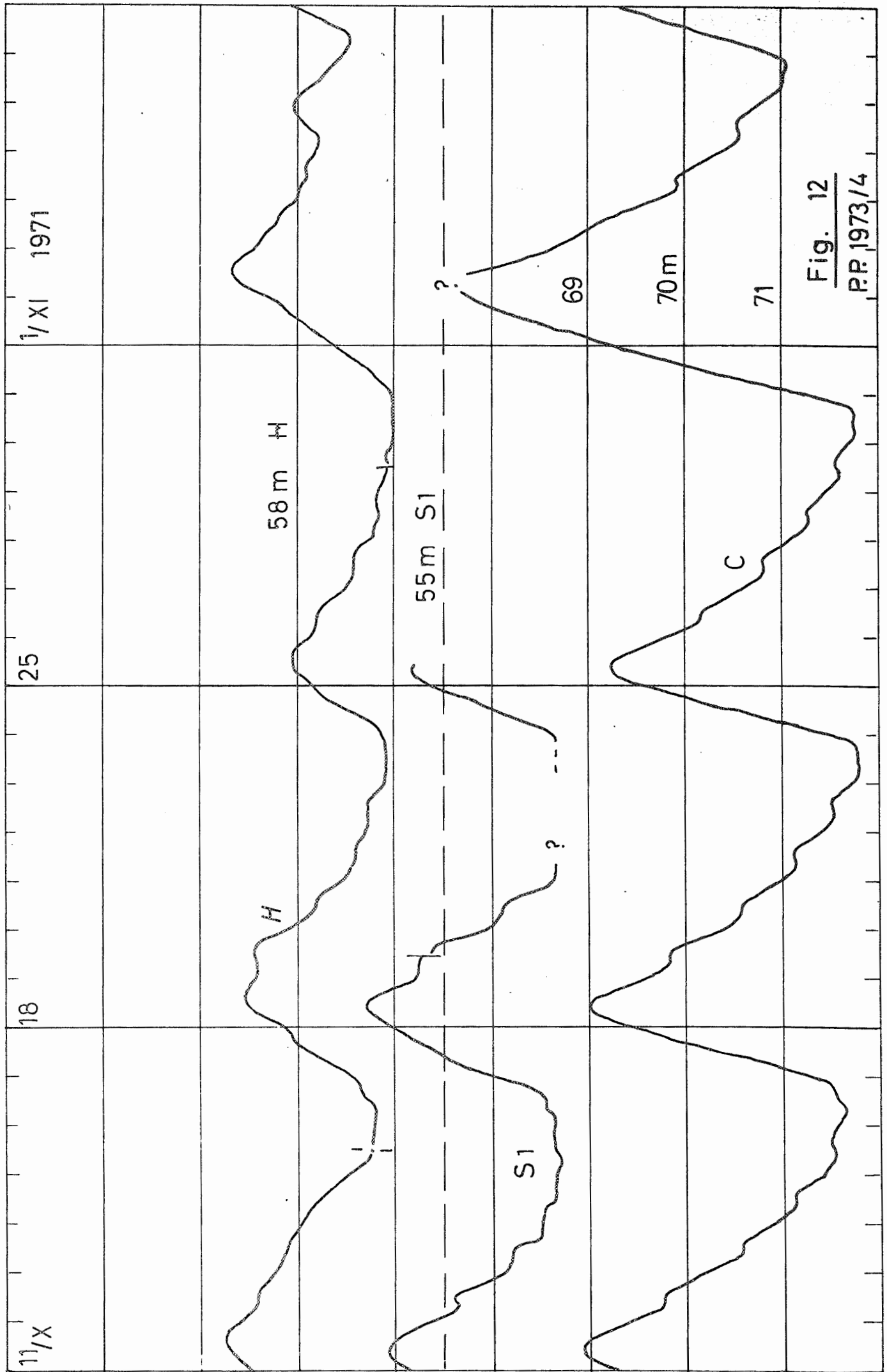


Fig. 12  
 P.P. 1973/4

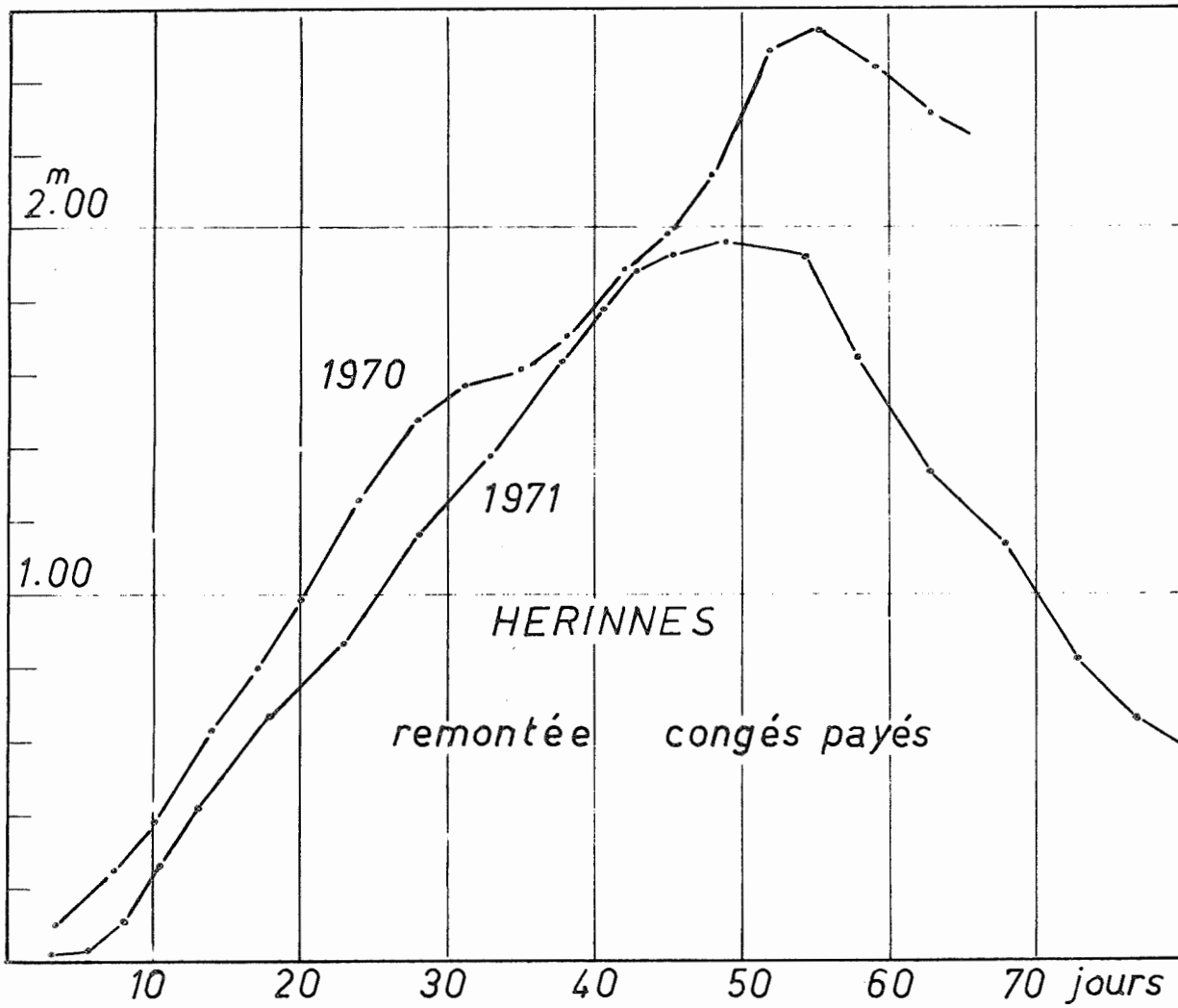


Fig 15

P.P. 1973 /4

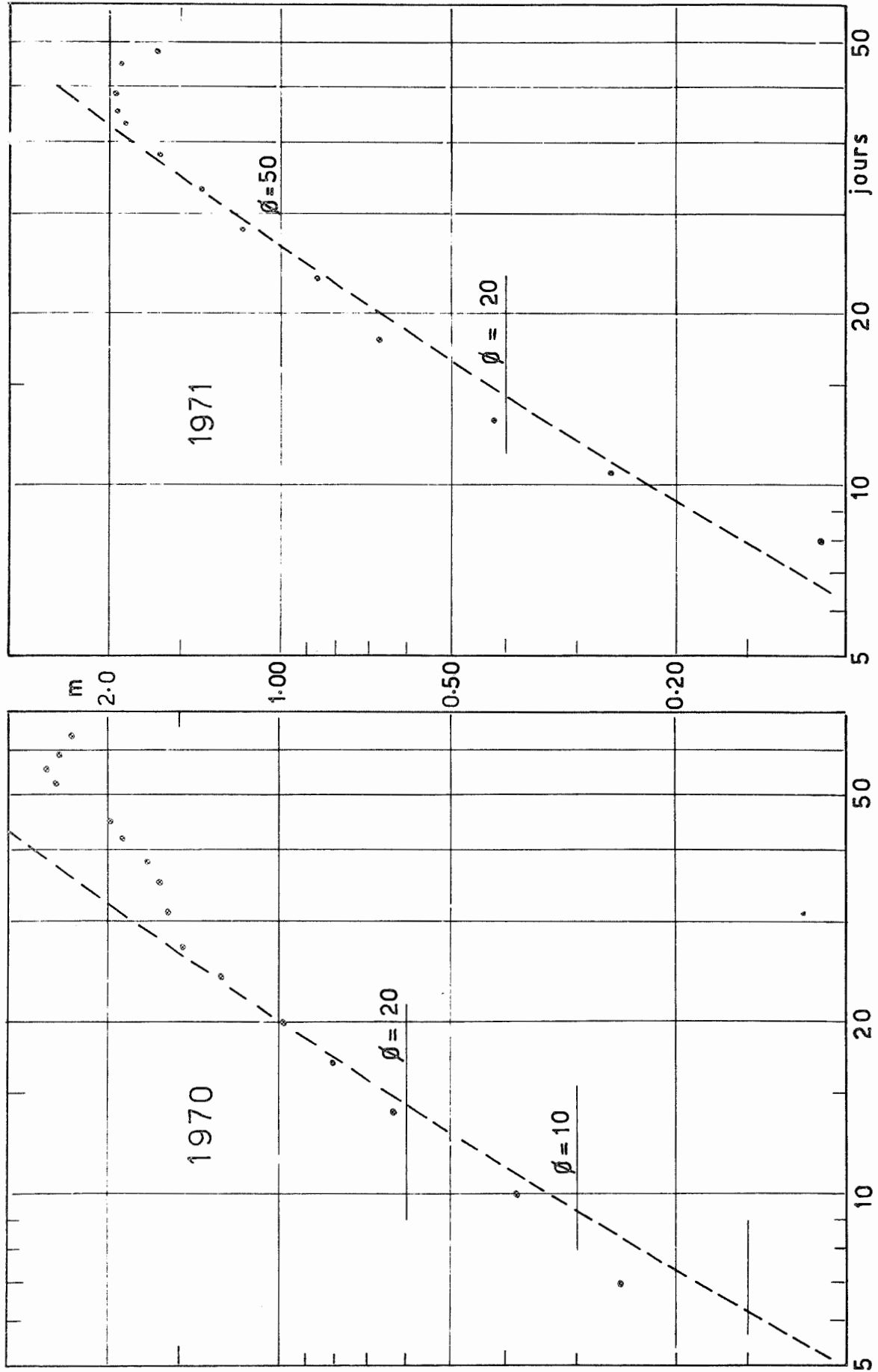


Fig 16

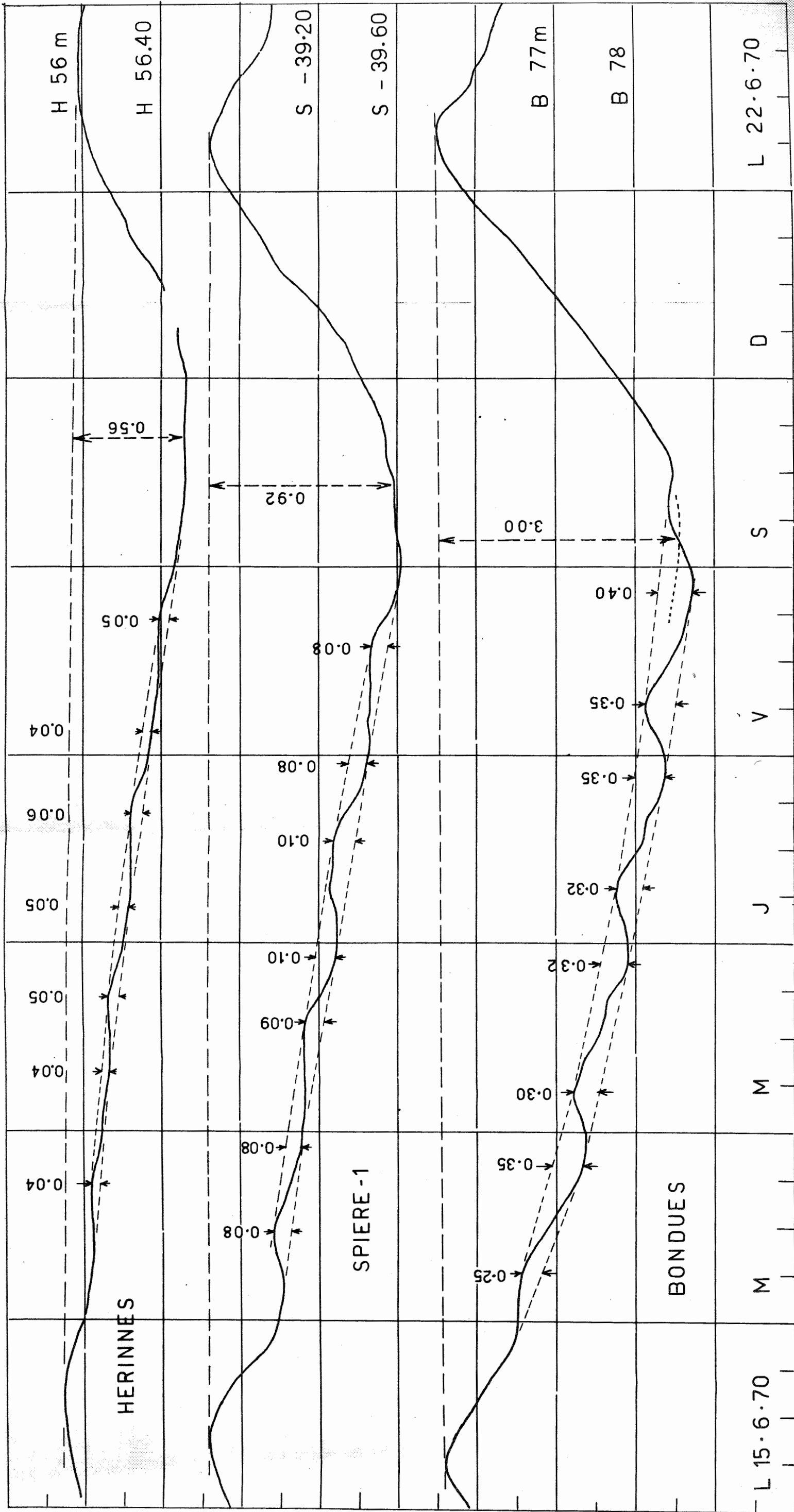
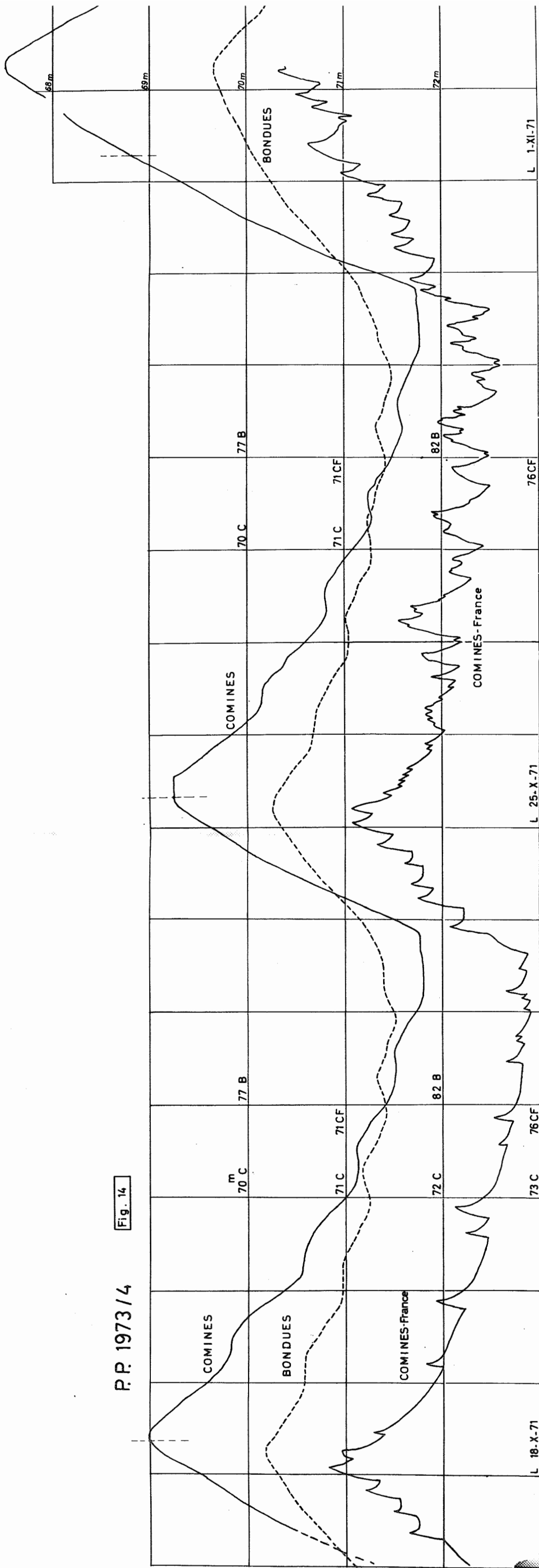


Fig. 13 P.P. 1973/4



P.P. 1973/4

Fig. 14



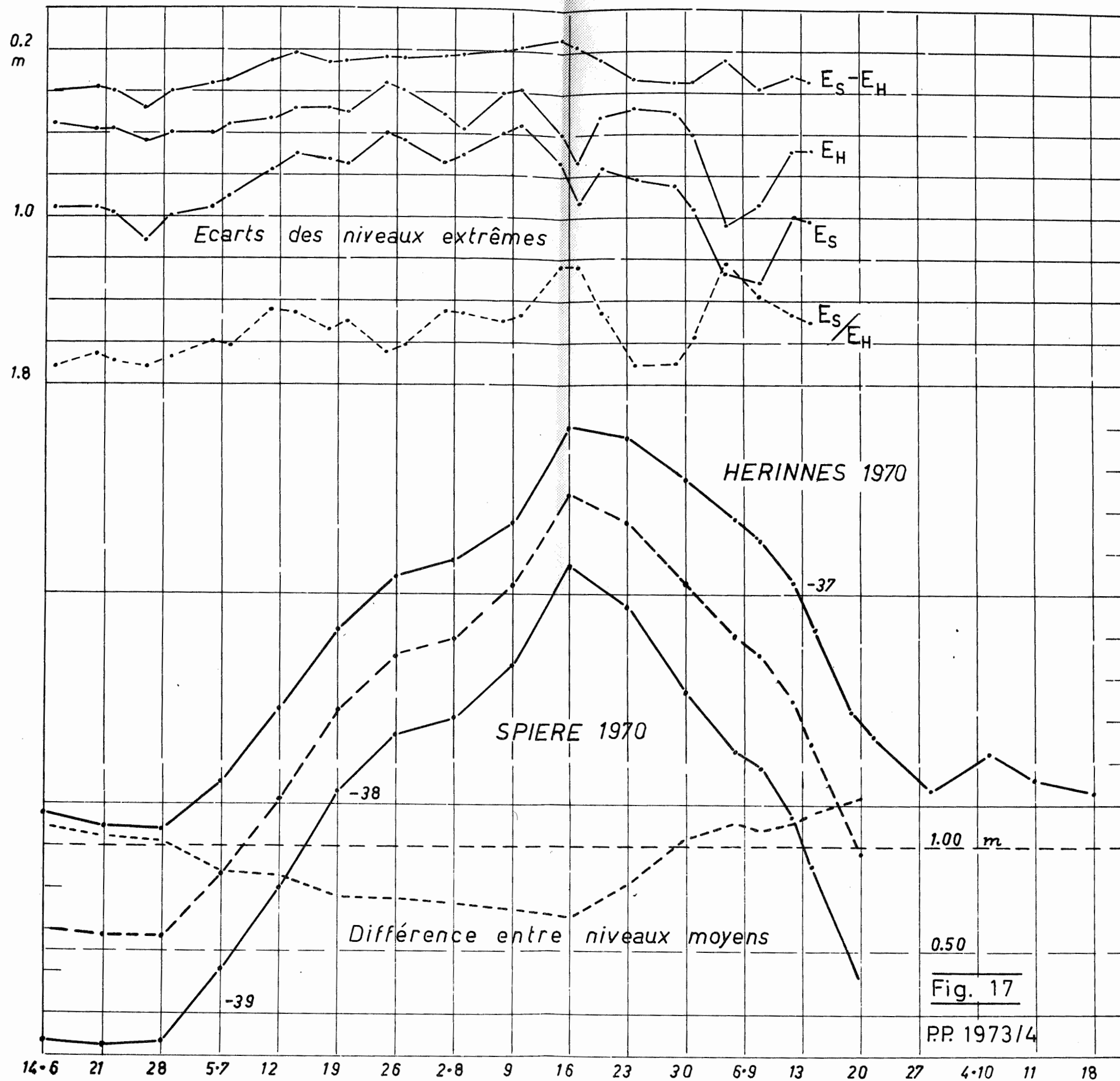


Fig. 17

P.P. 1973/4

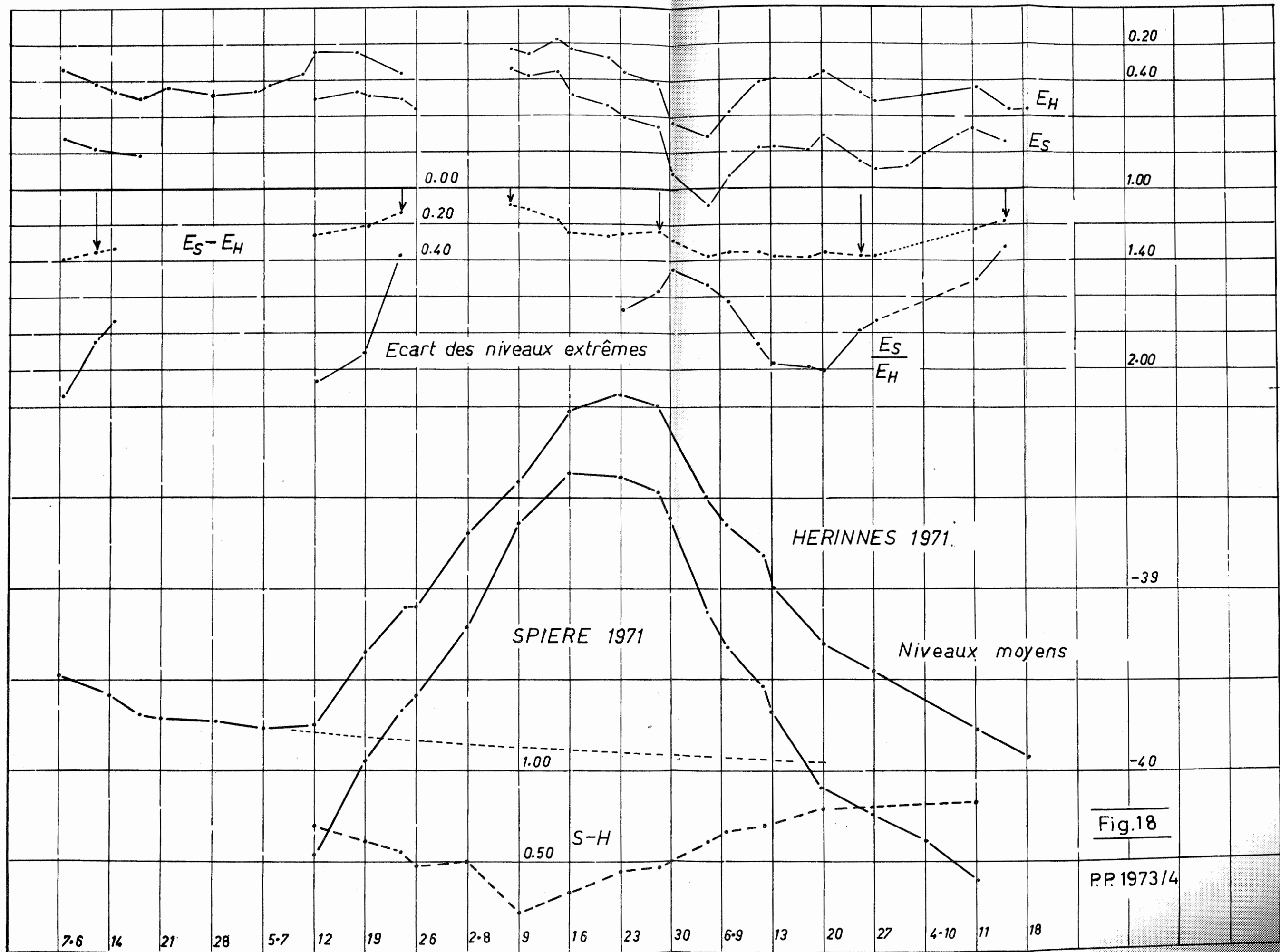


Fig.18

P.R.1973/4

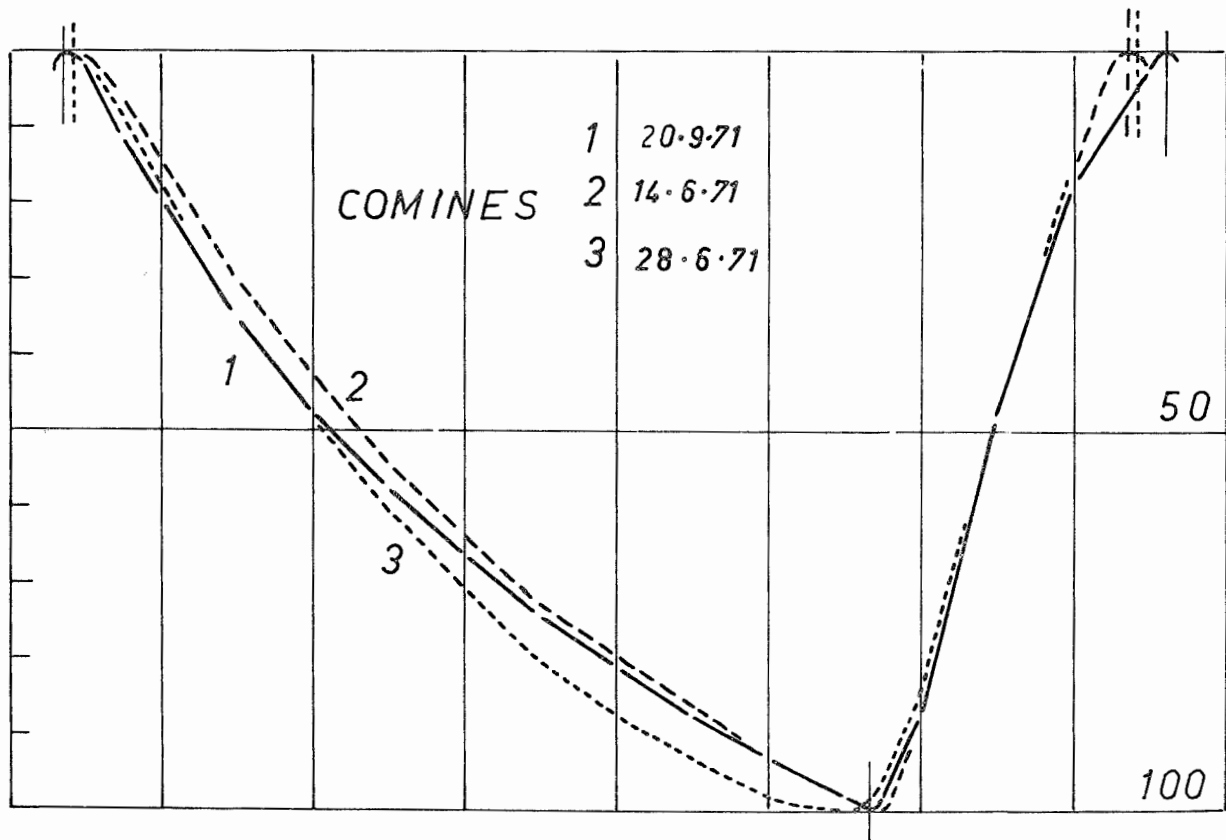
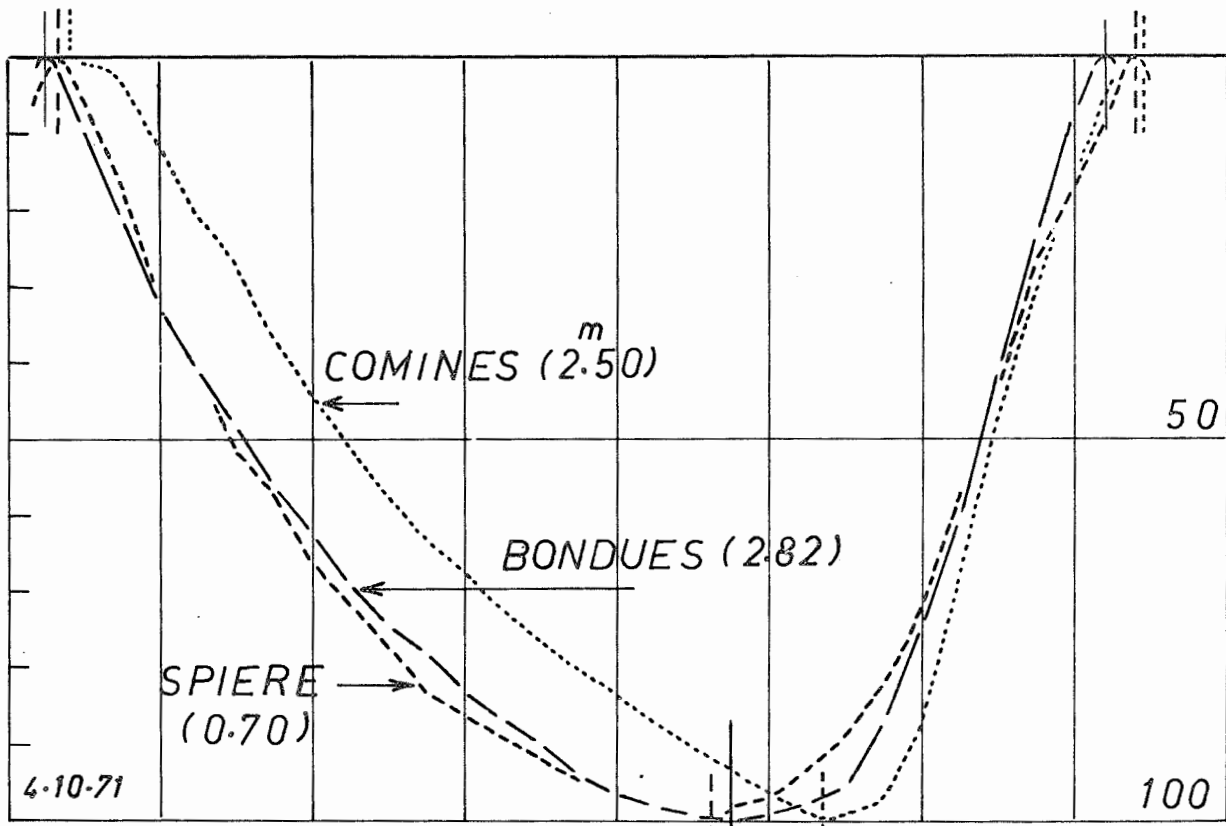


Fig 19

PR 1973/4

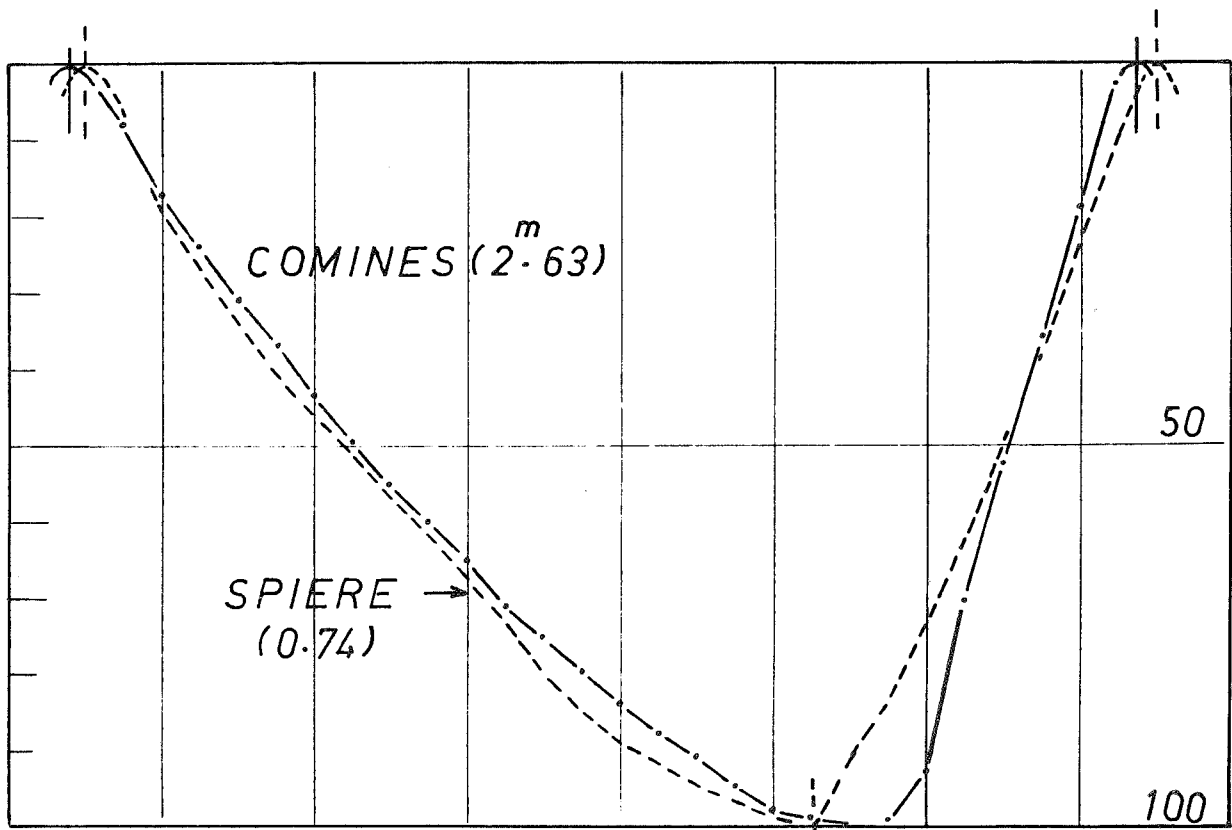
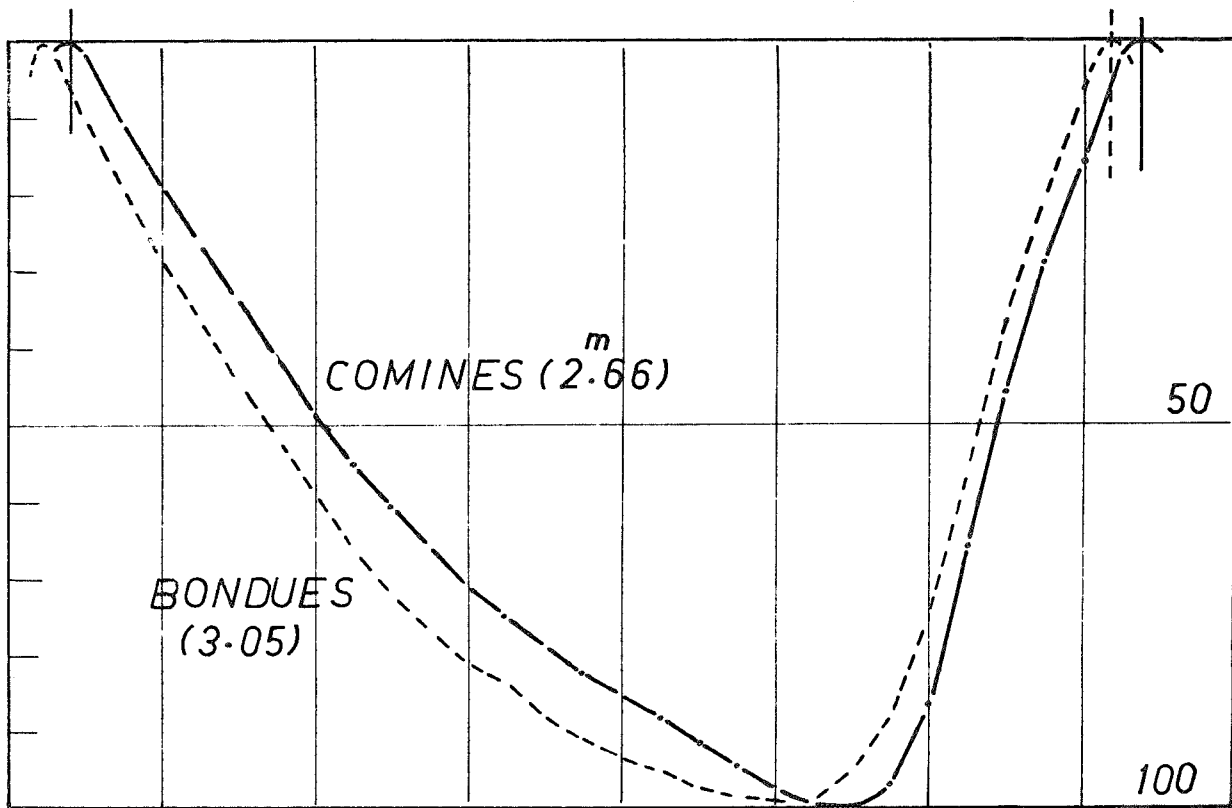
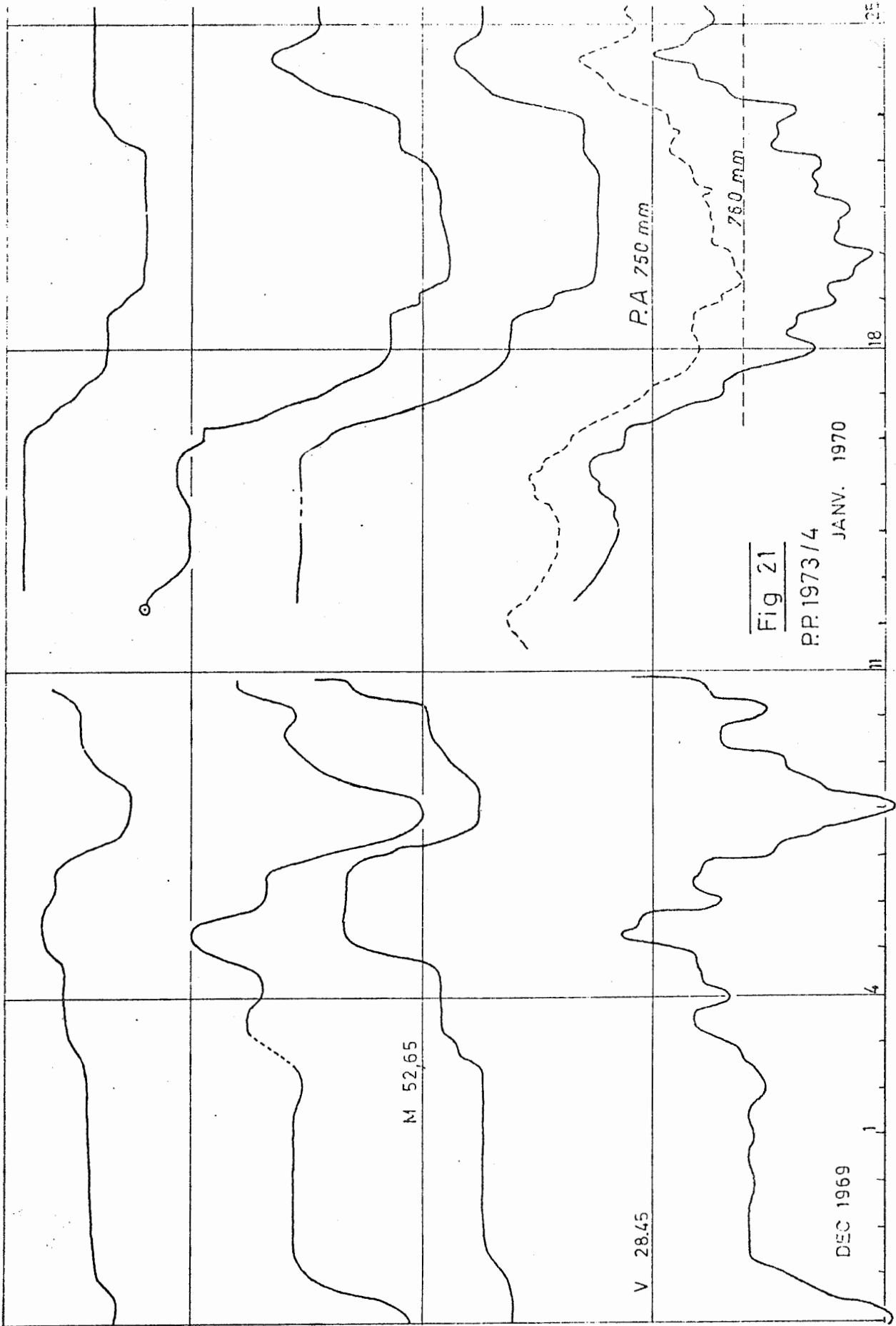


Fig 20

P.P. 1973/4



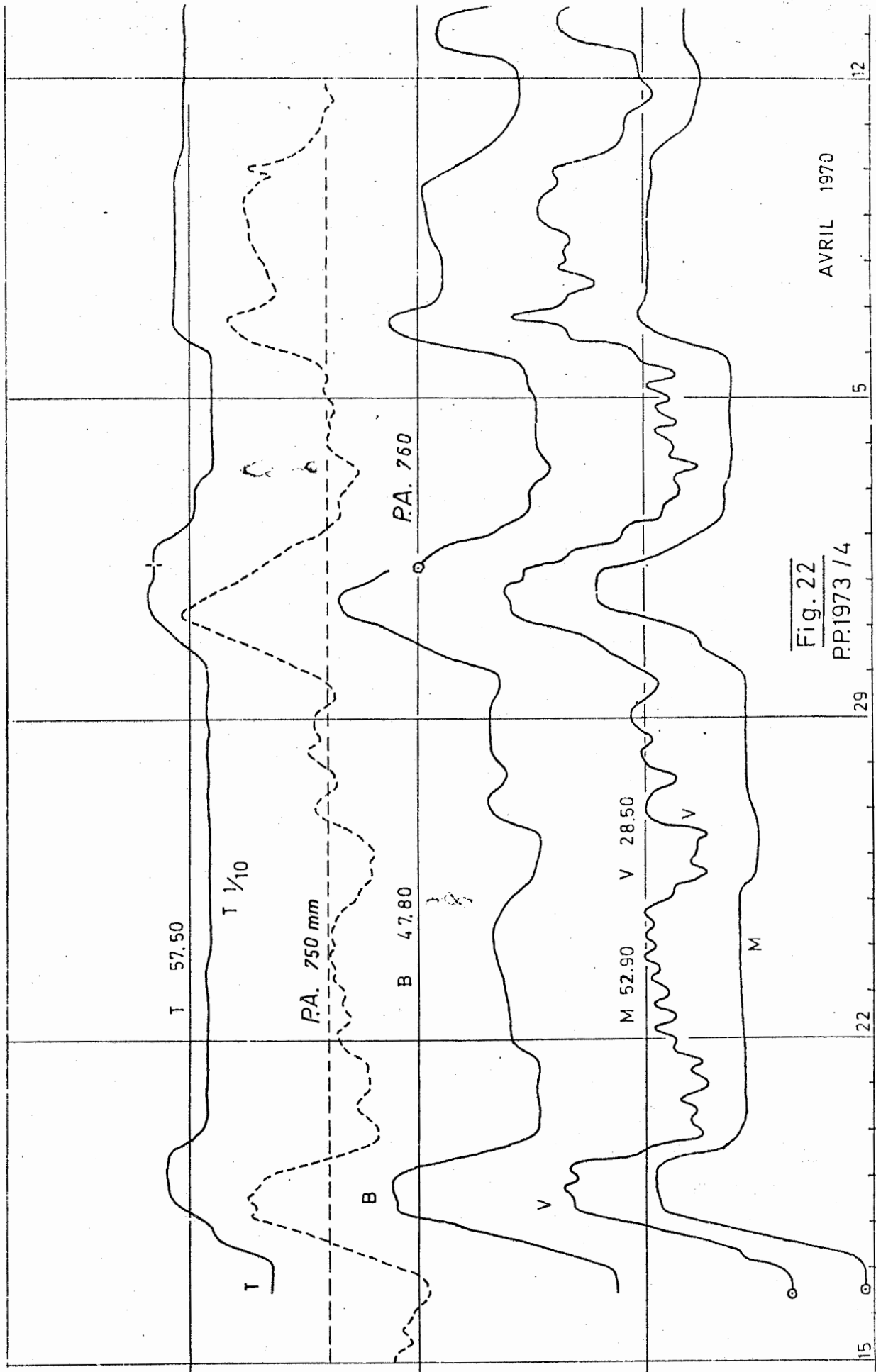


Fig. 22  
PP:1973 / 4

AVRIL 1970

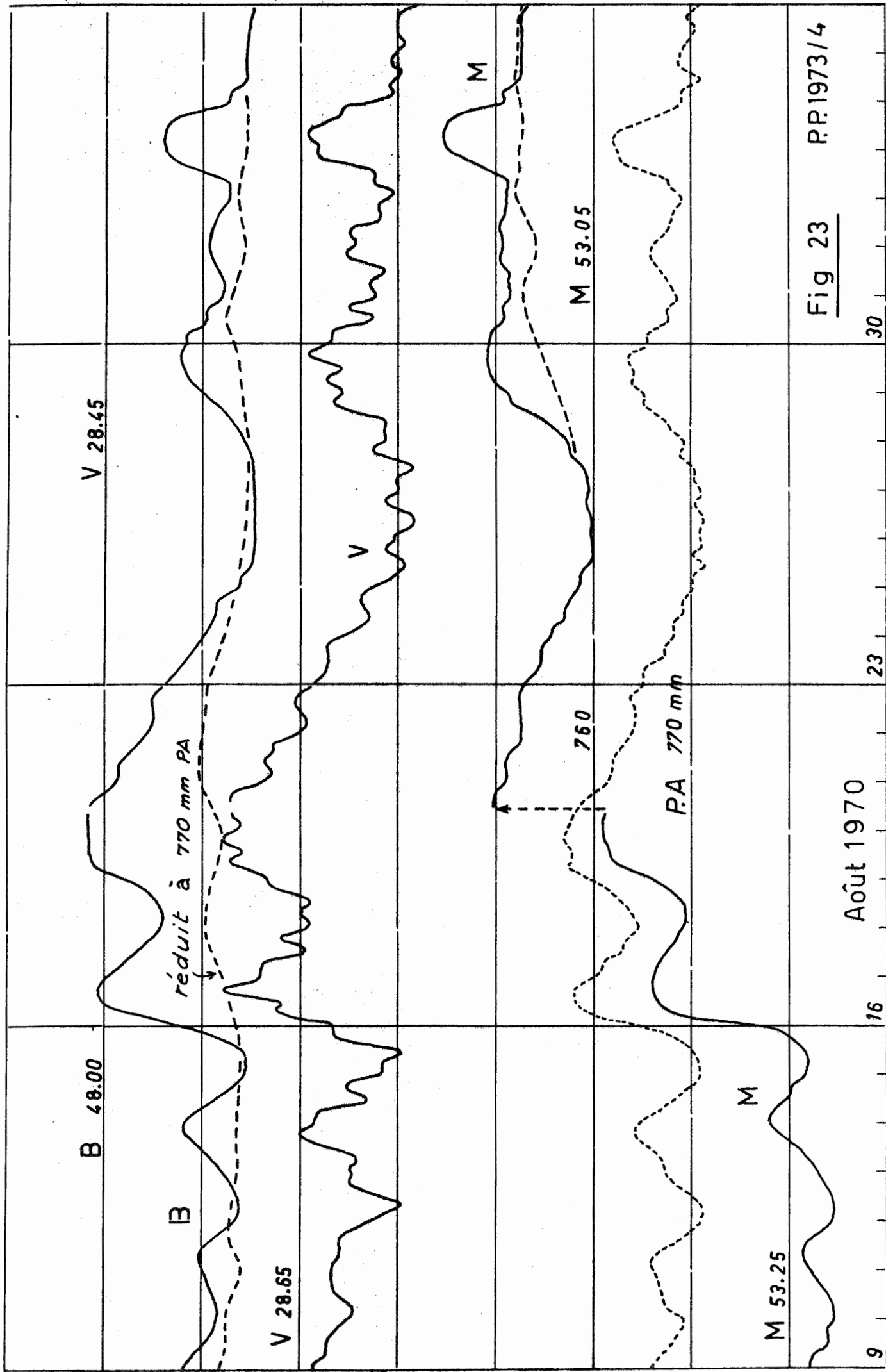


Fig 23

PP1973/4

30

23

Août 1970

16

9



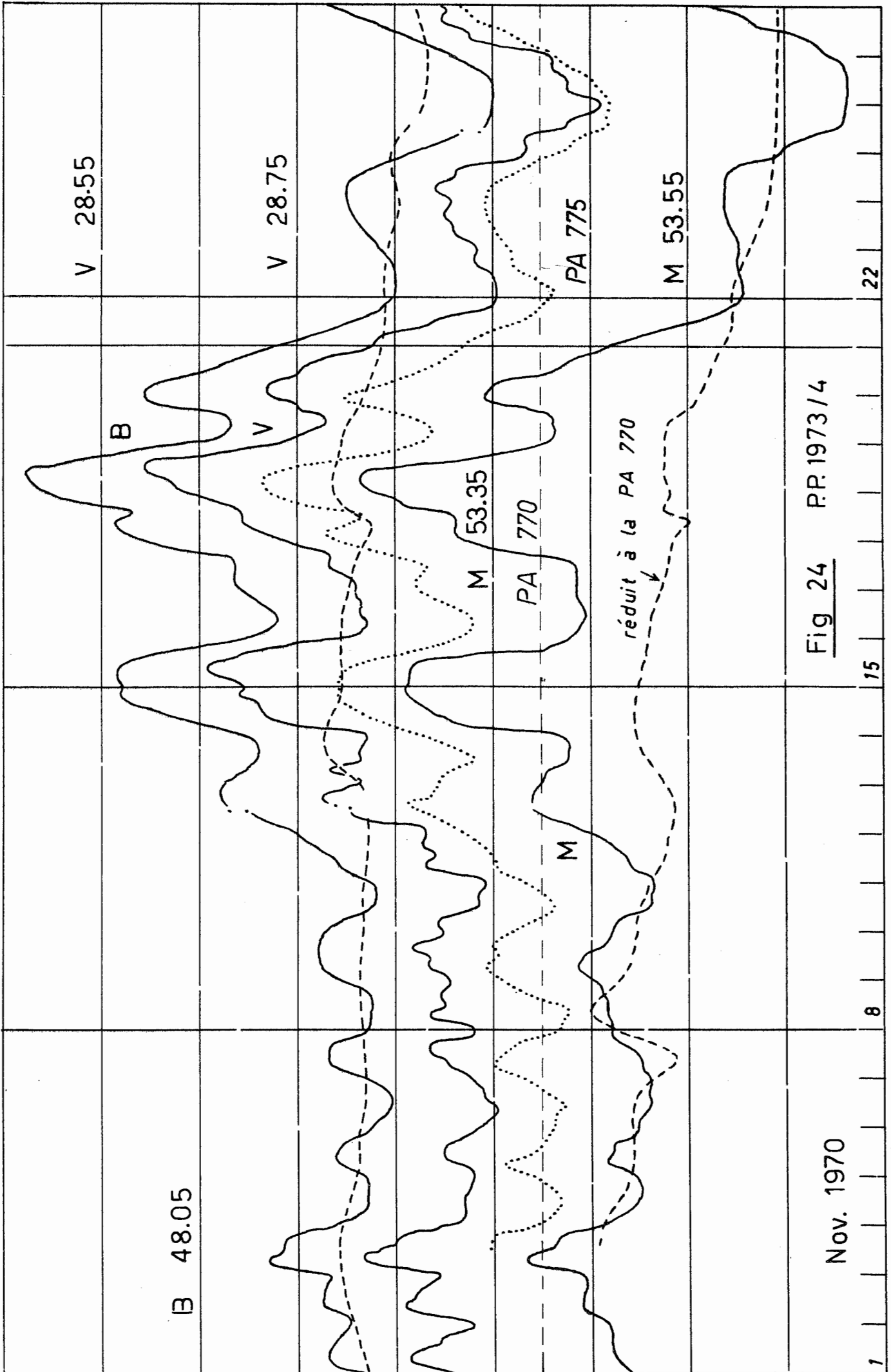


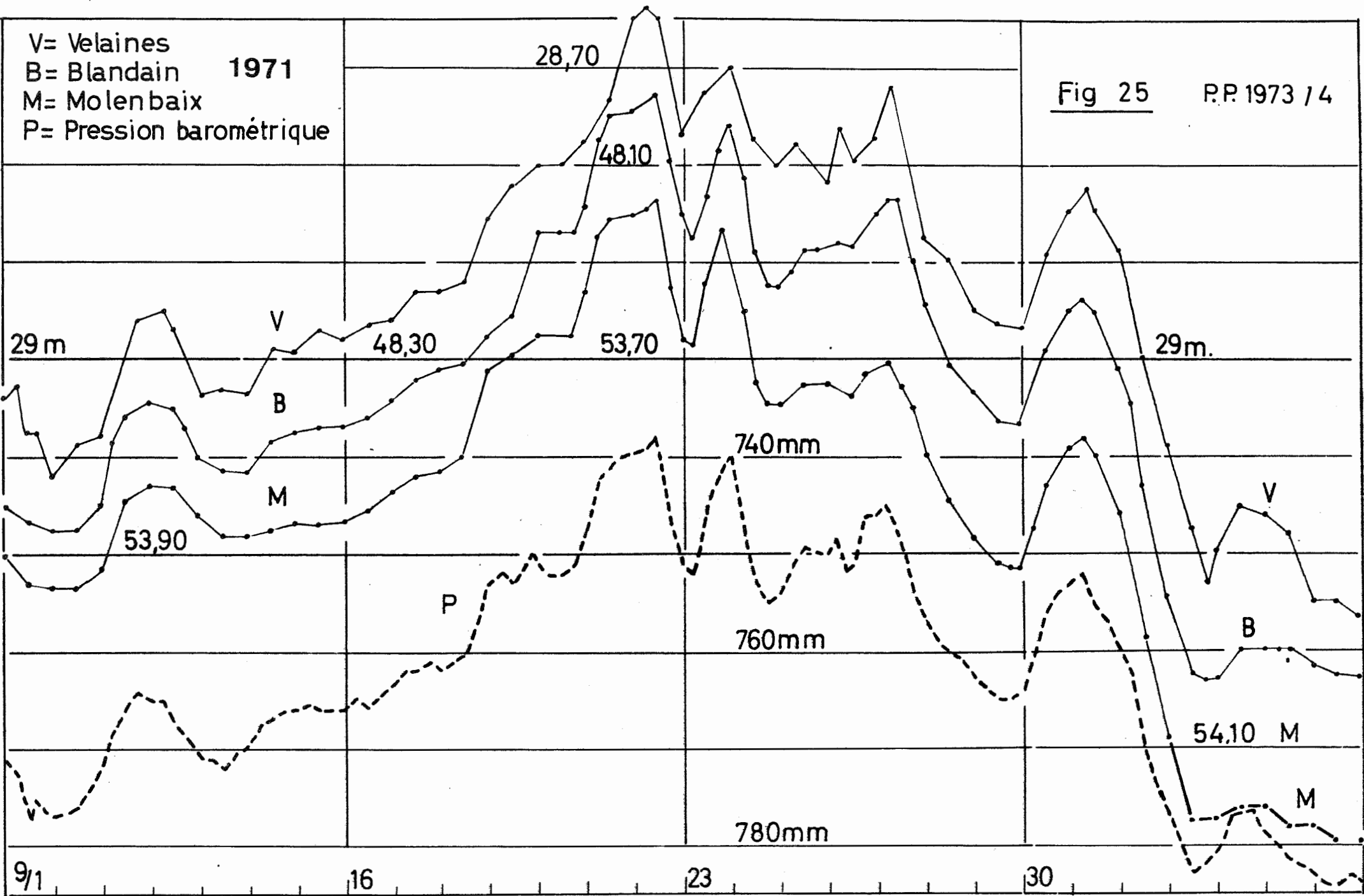
Fig 24 PR 1973/4

Nov. 1970

V= Velaines  
 B= Blandain  
 M= Molenbaix  
 P= Pression barométrique

1971

Fig 25 R.P. 1973 / 4



1971

V 28,70

48 B

53,60 M

Fig 26

PP. 1973/4

29

29,10

48,40 B

29,10 V

V

54 M

P  
745

48,60 B

M

54,20

765

54,20 M

775

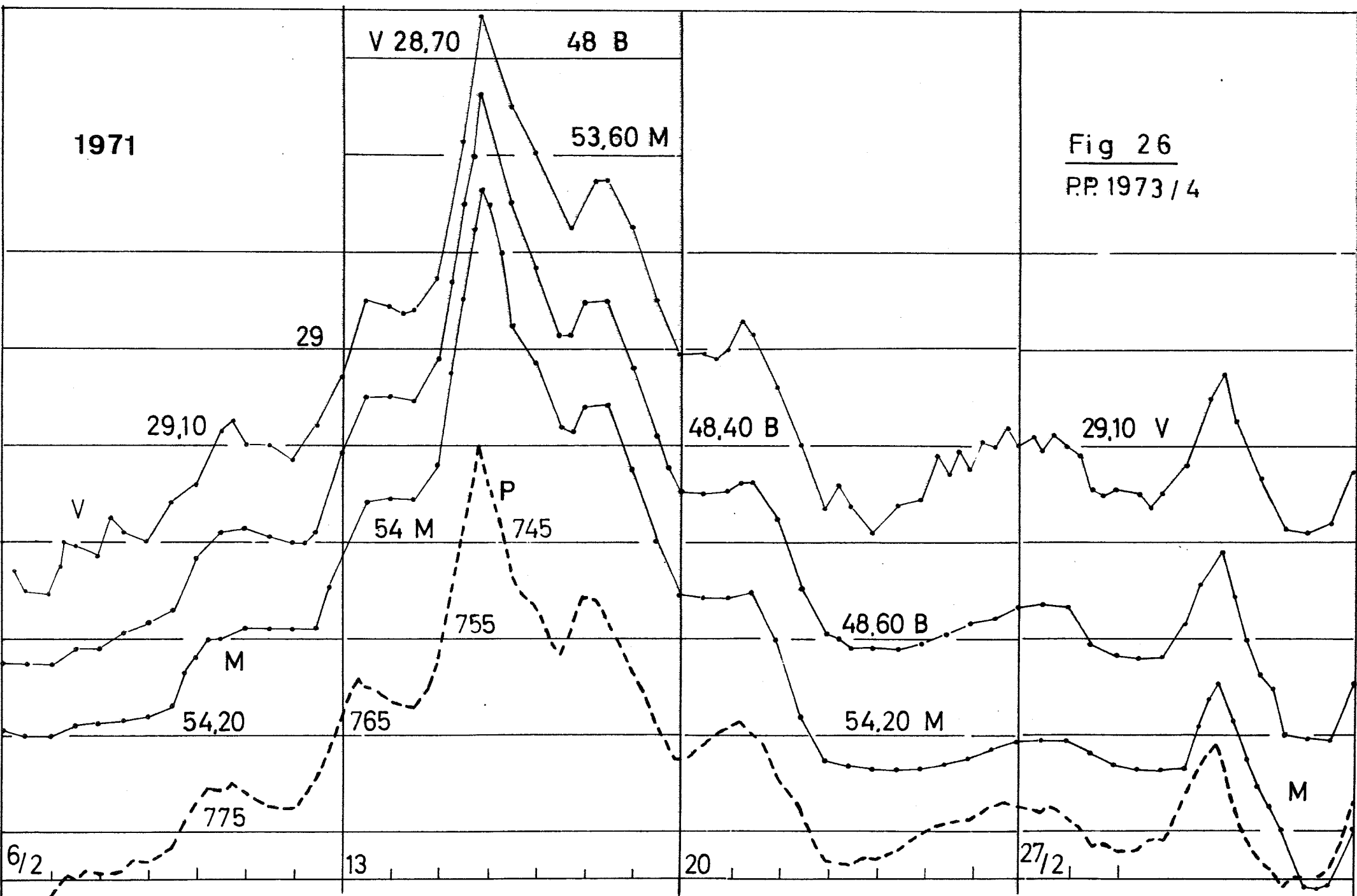
M

6/2

13

20

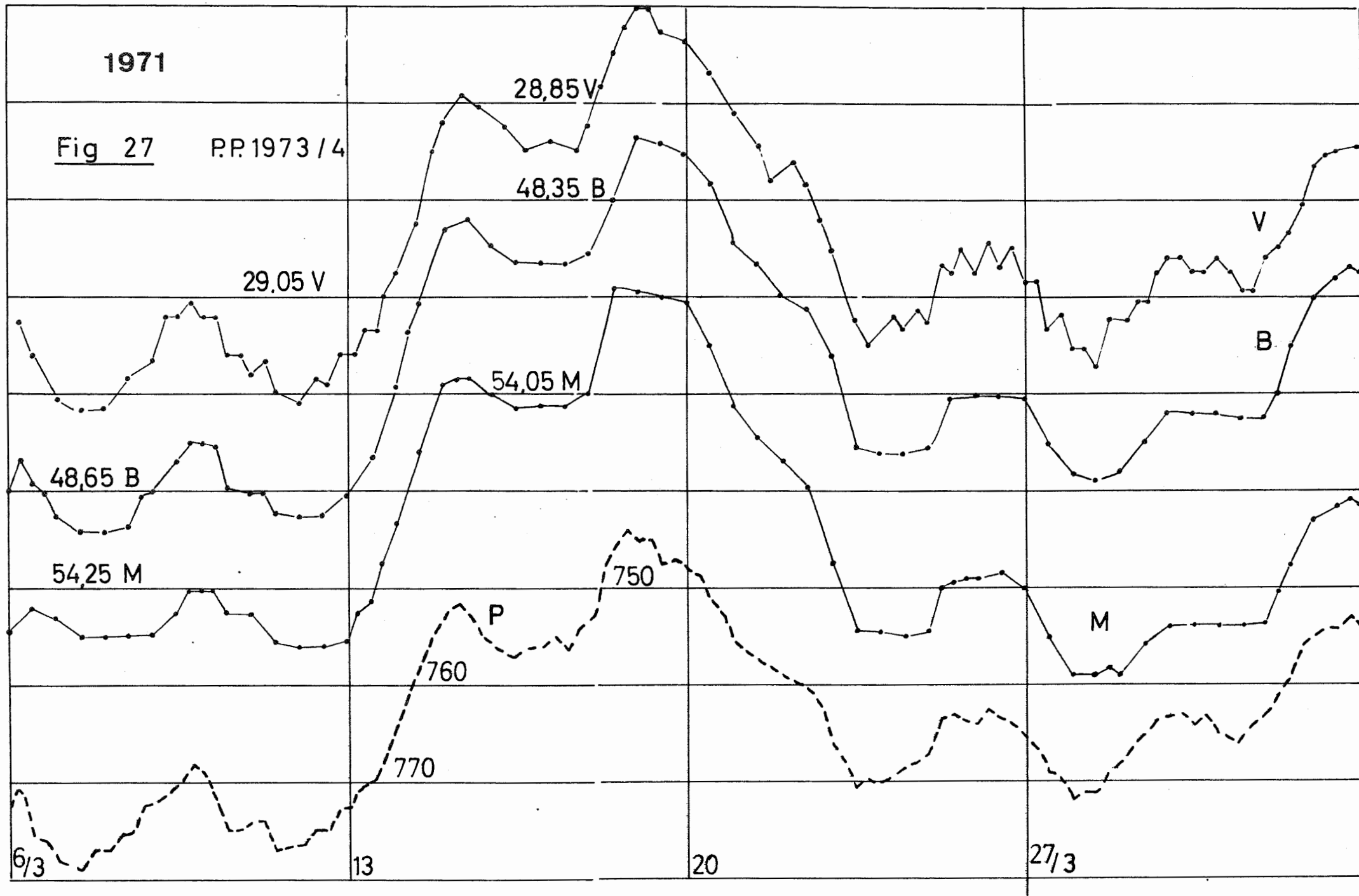
27/2

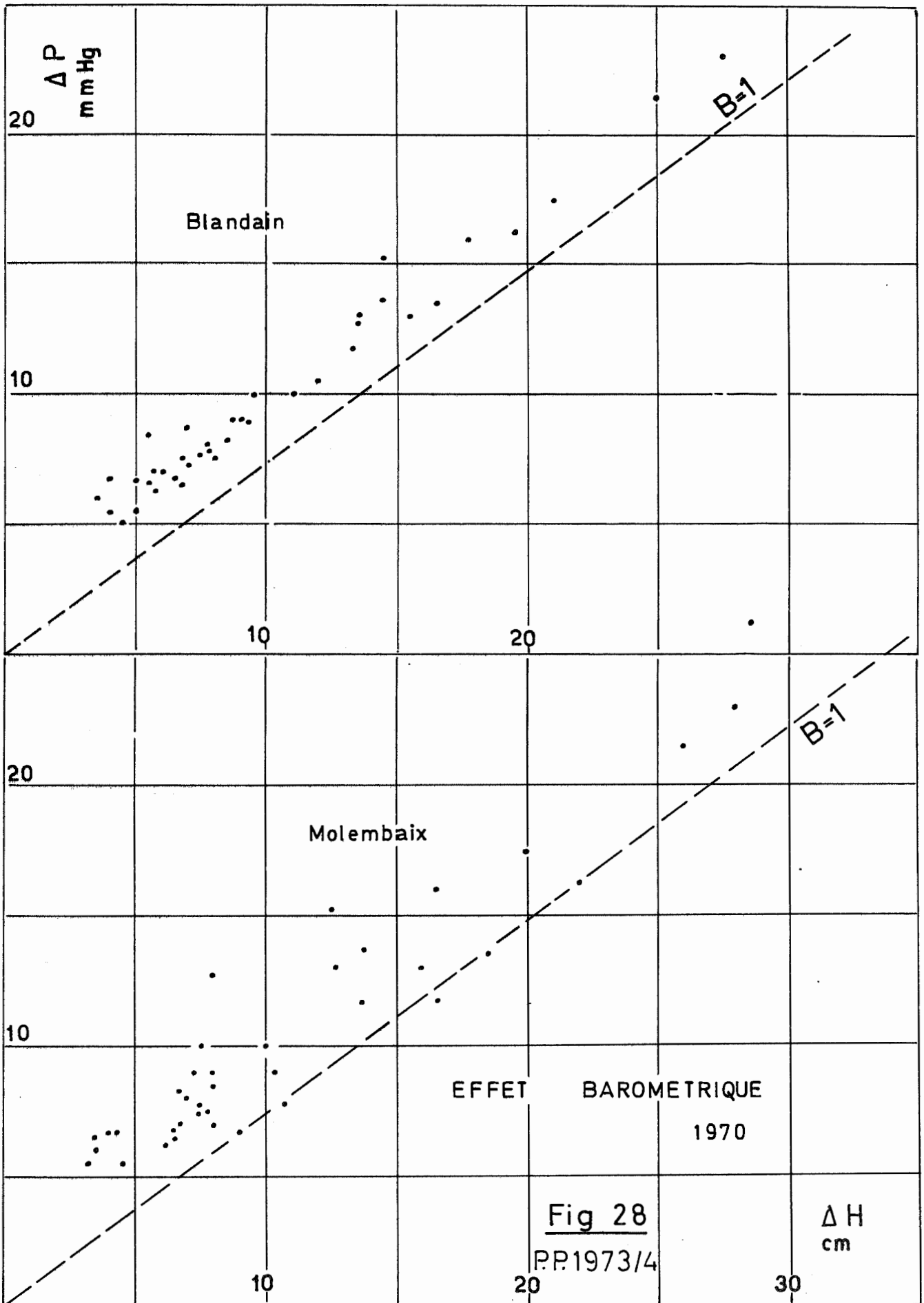


1971

Fig 27

R.P.1973/4

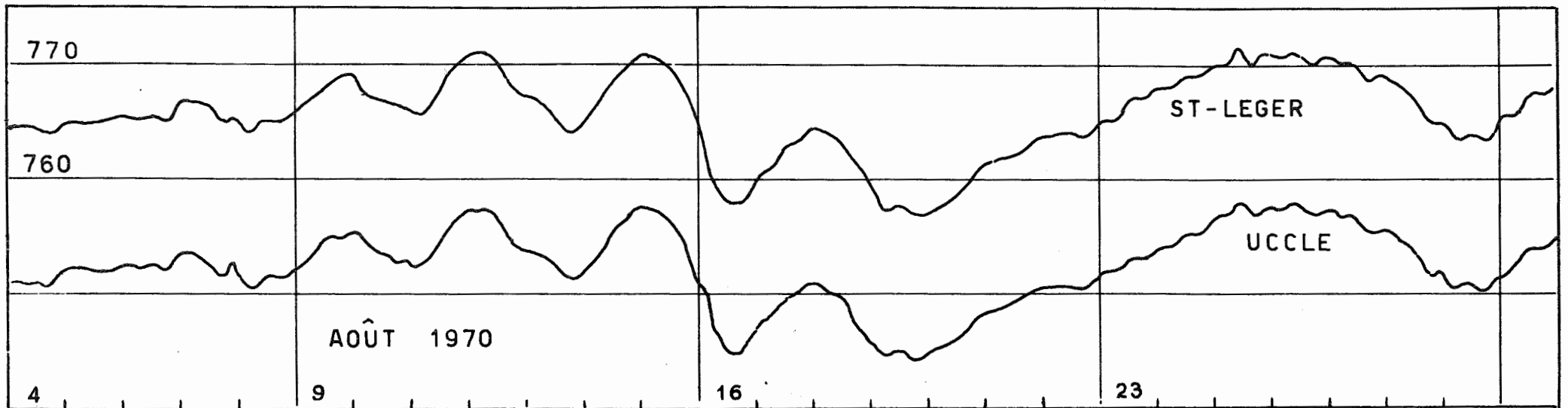




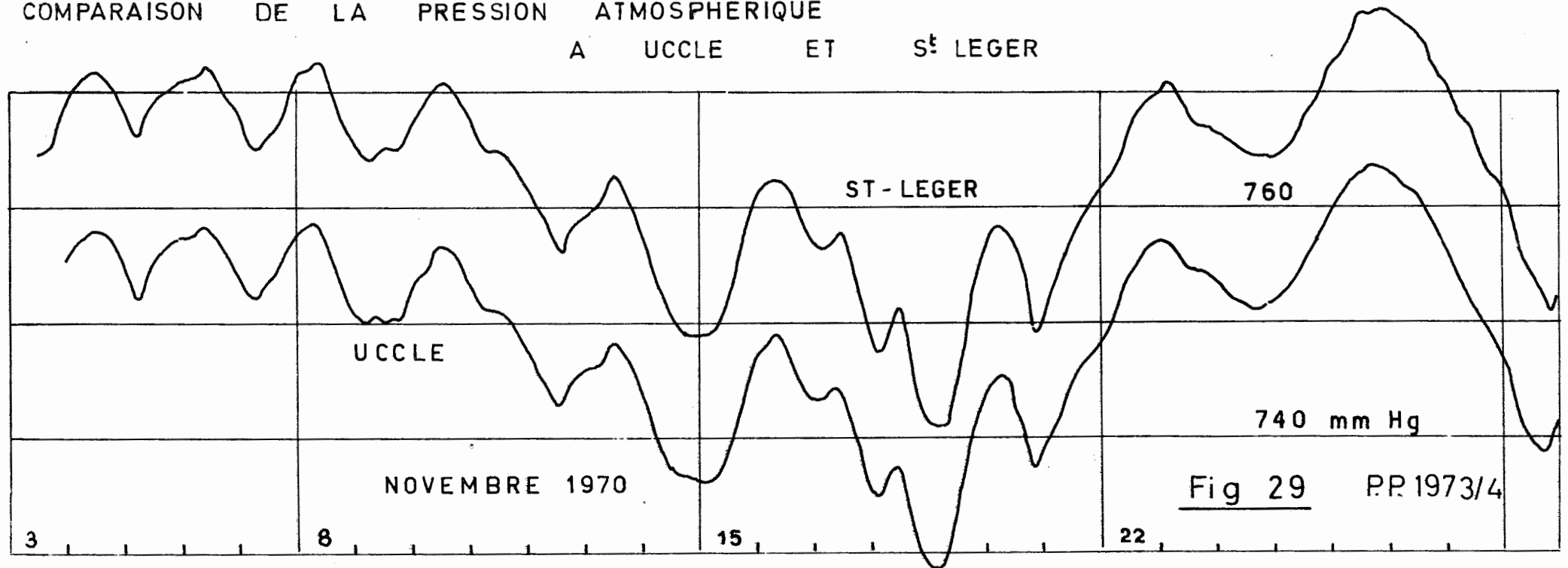
EFFET BAROMETRIQUE  
1970

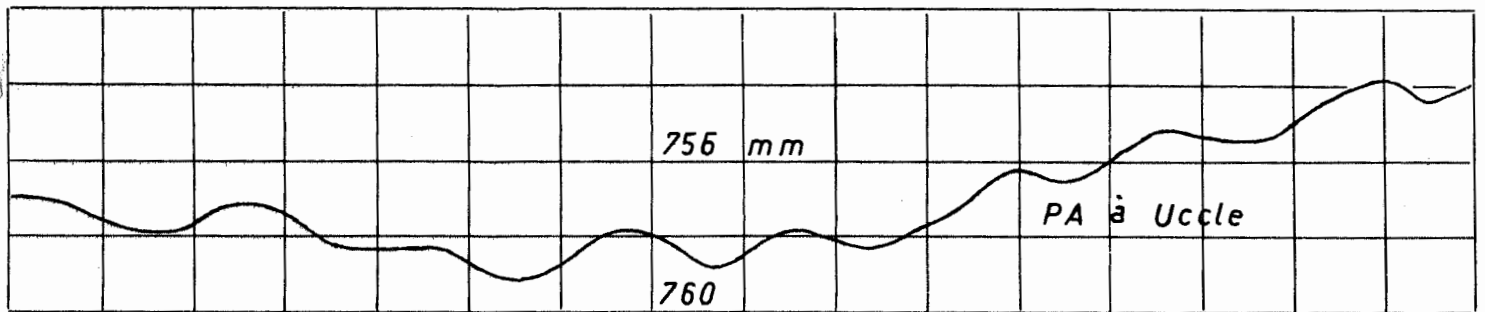
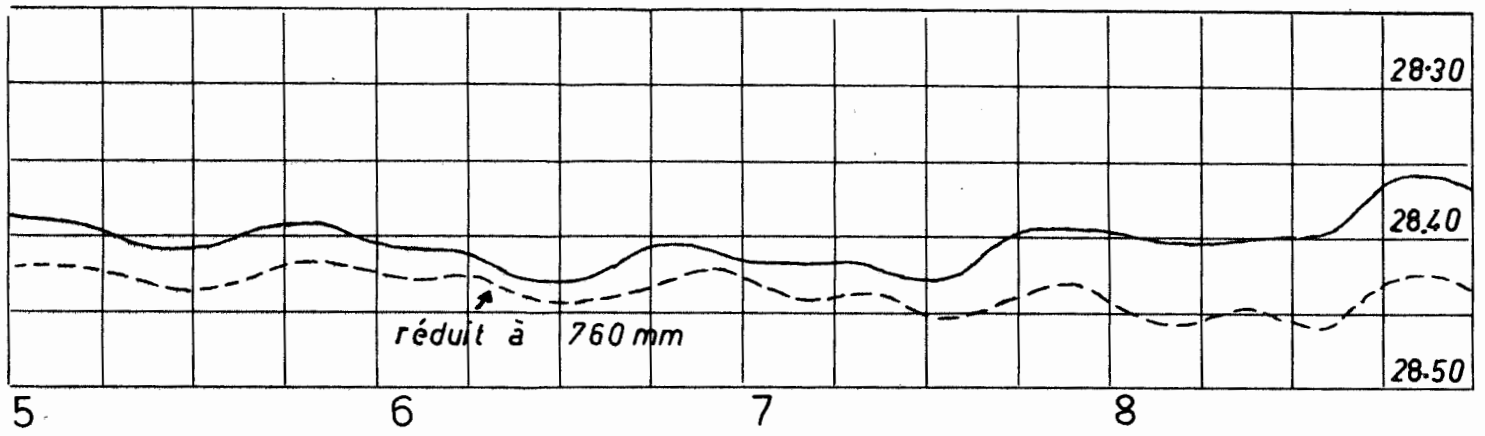
Fig 28  
PP.1973/4

$\Delta H$   
cm



COMPARAISON DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE  
A UCCLE ET S<sup>t</sup> LEGER





VELAINES      Septembre 1969

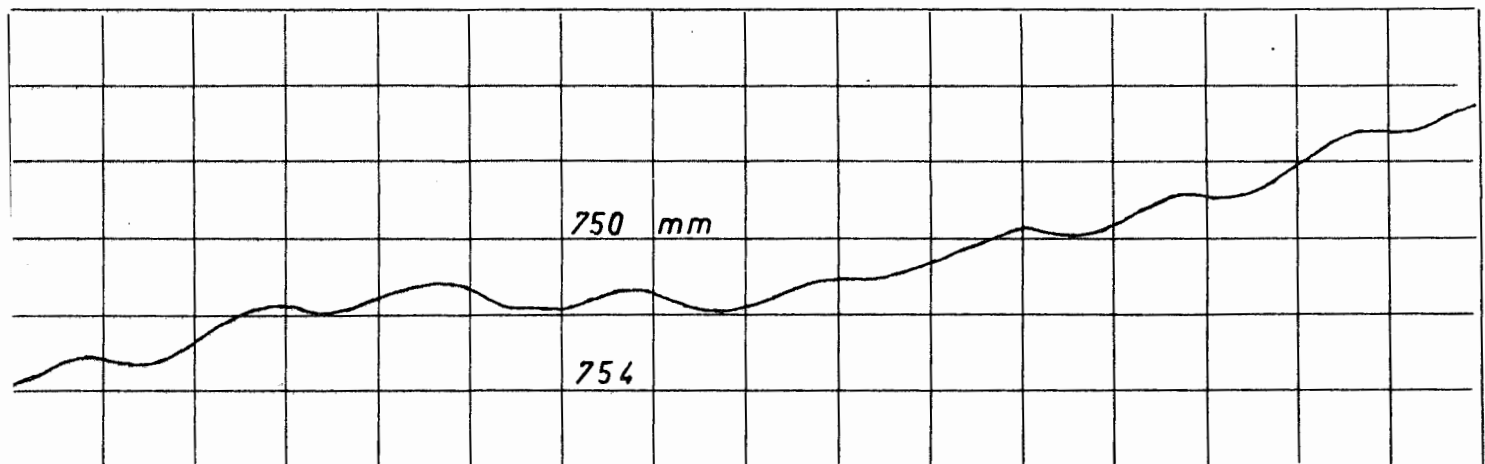
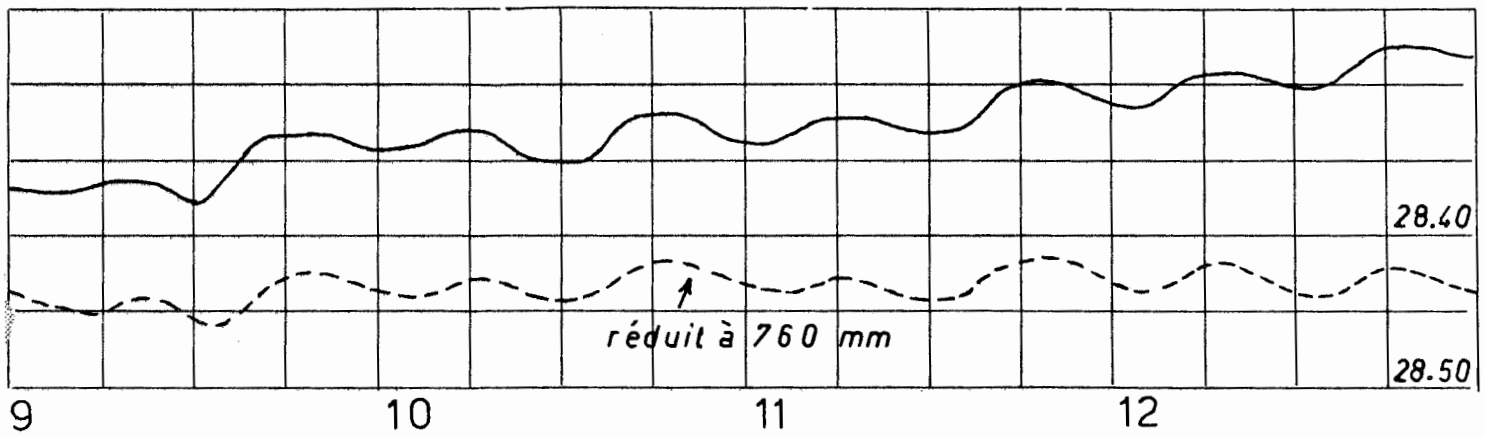
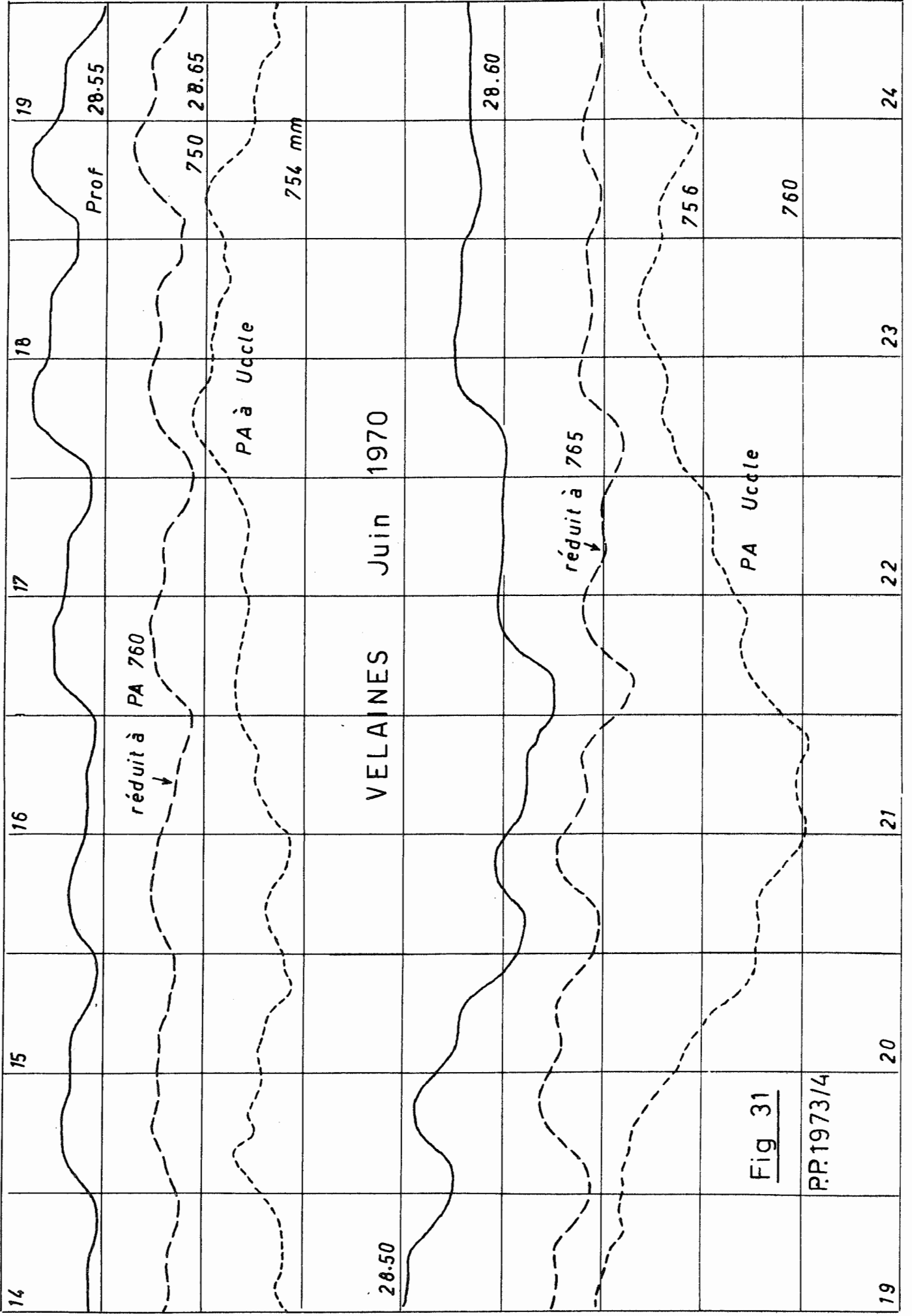


Fig 30

P.R. 1973/4





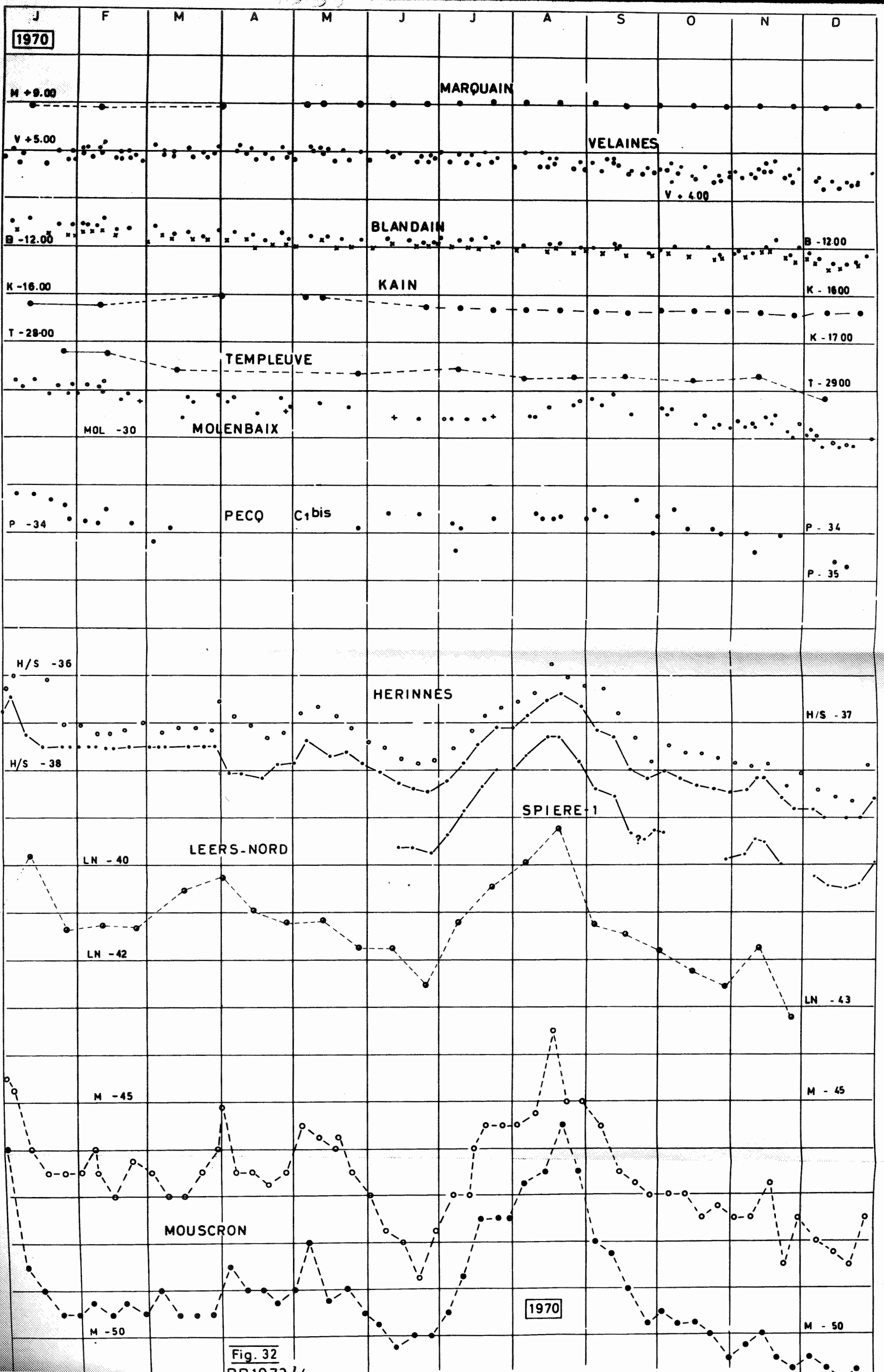
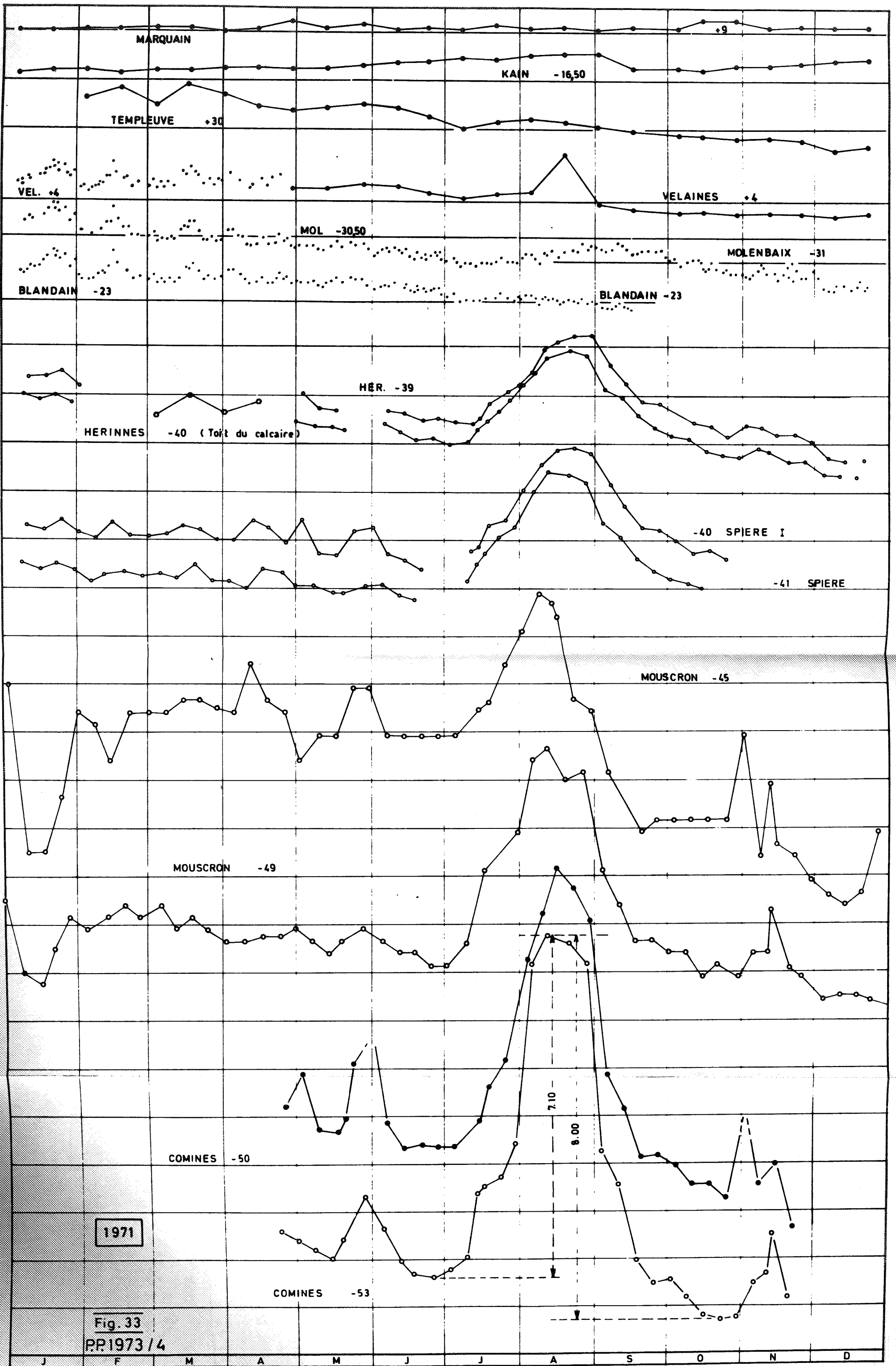
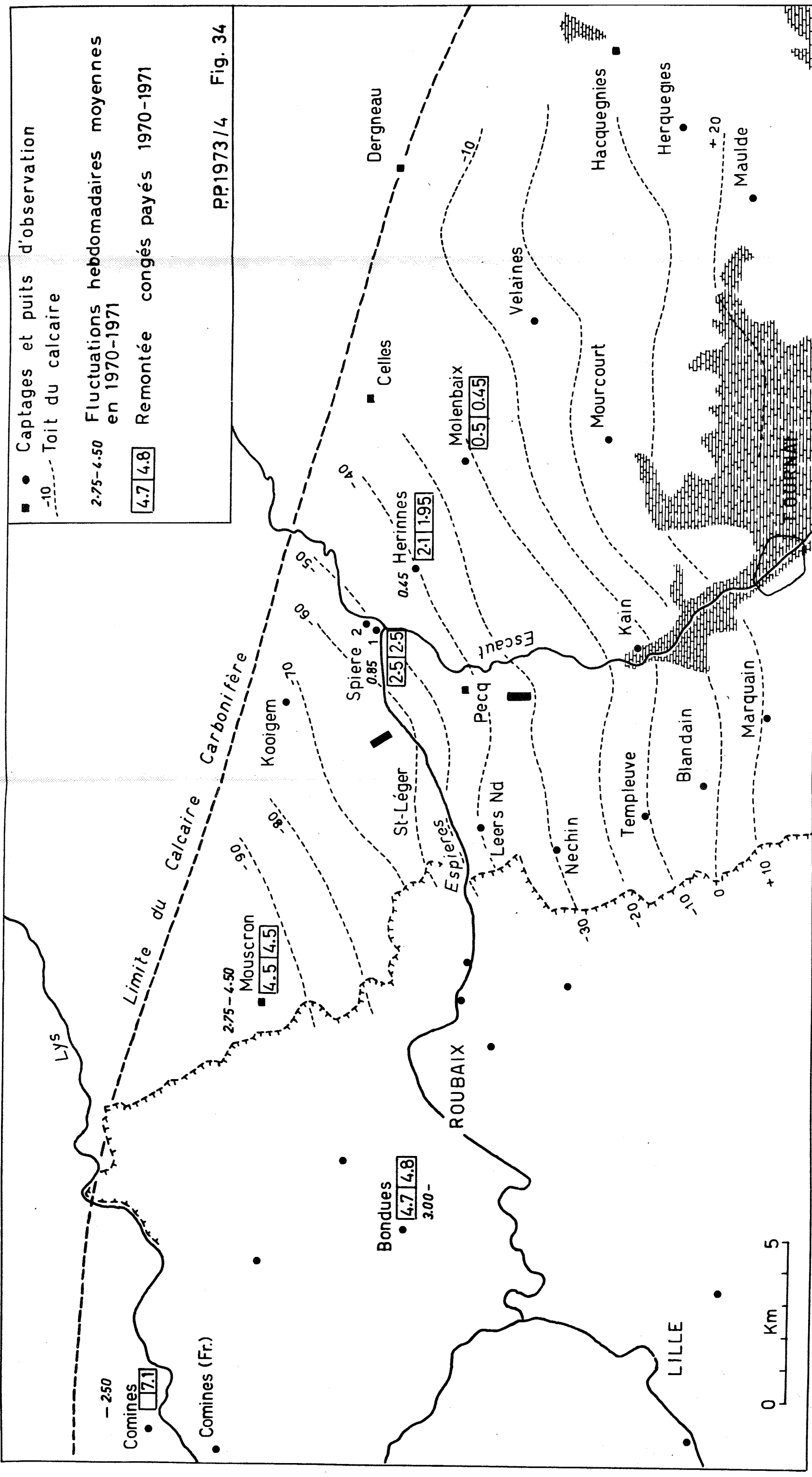
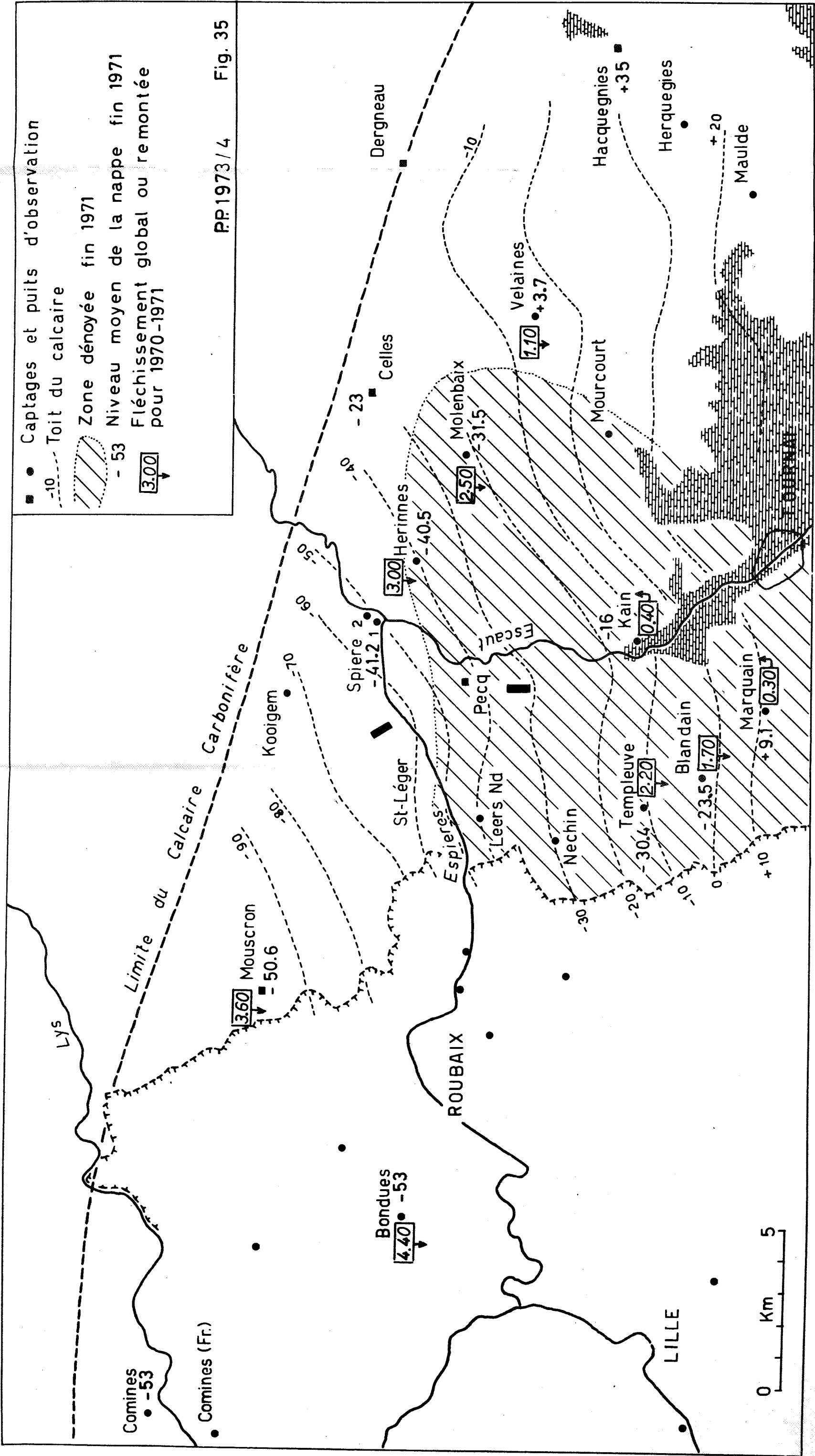


Fig. 32  
001072 /





P.P.1973/4 Fig. 34



PP1973/4 Fig. 35

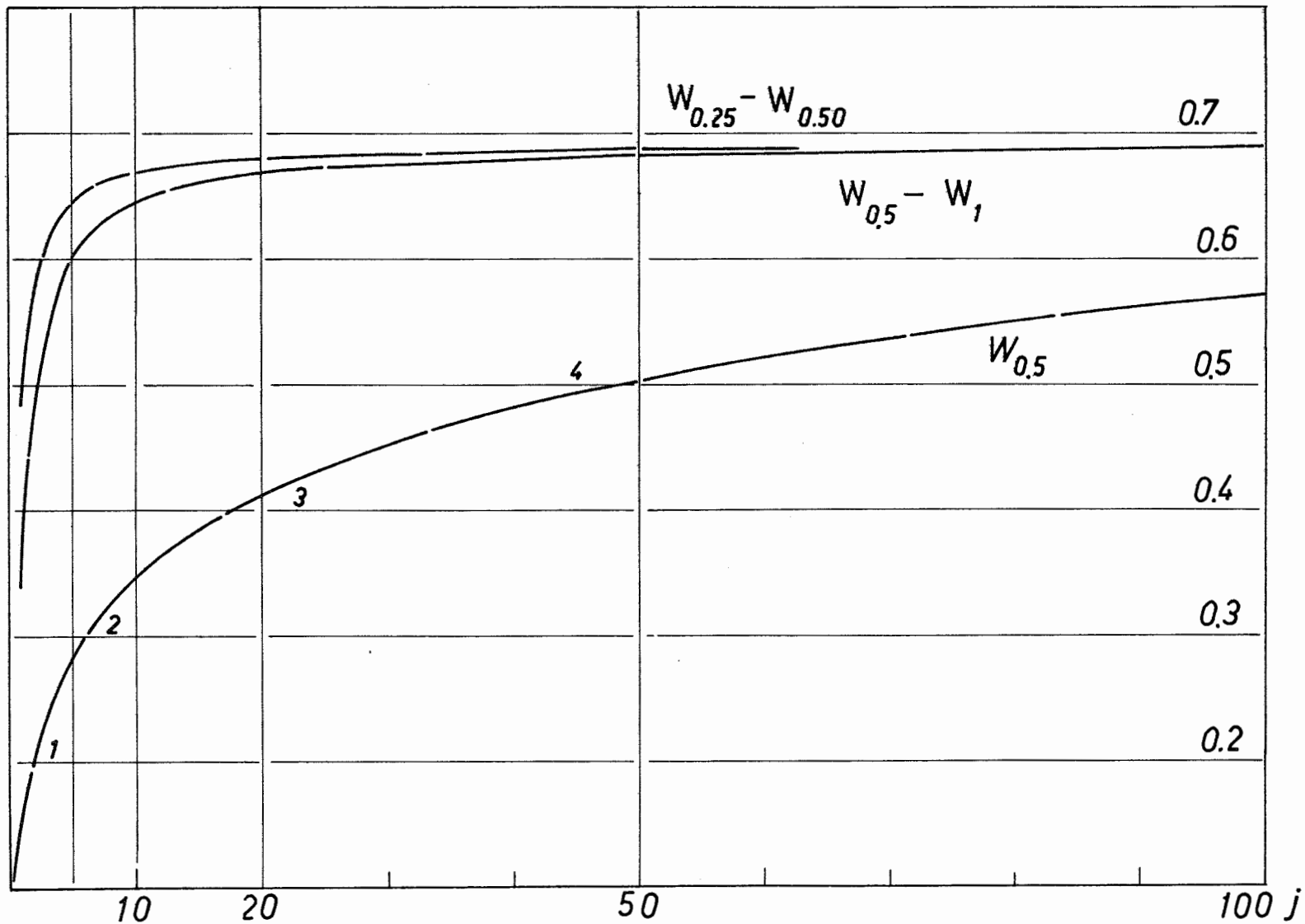


Fig 36

Pompage continu — Ecart entre puits voisins

PR.1973/4

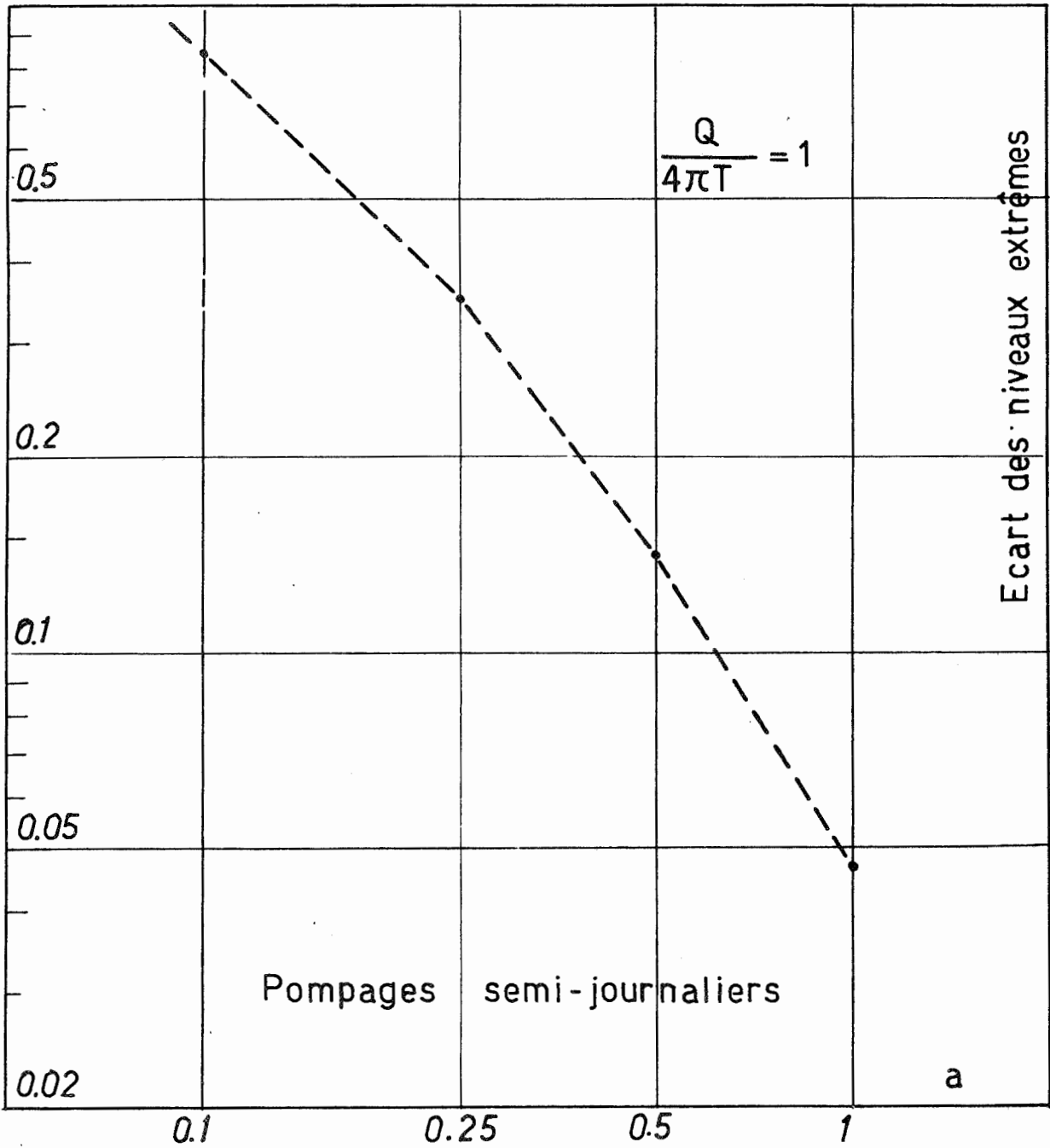
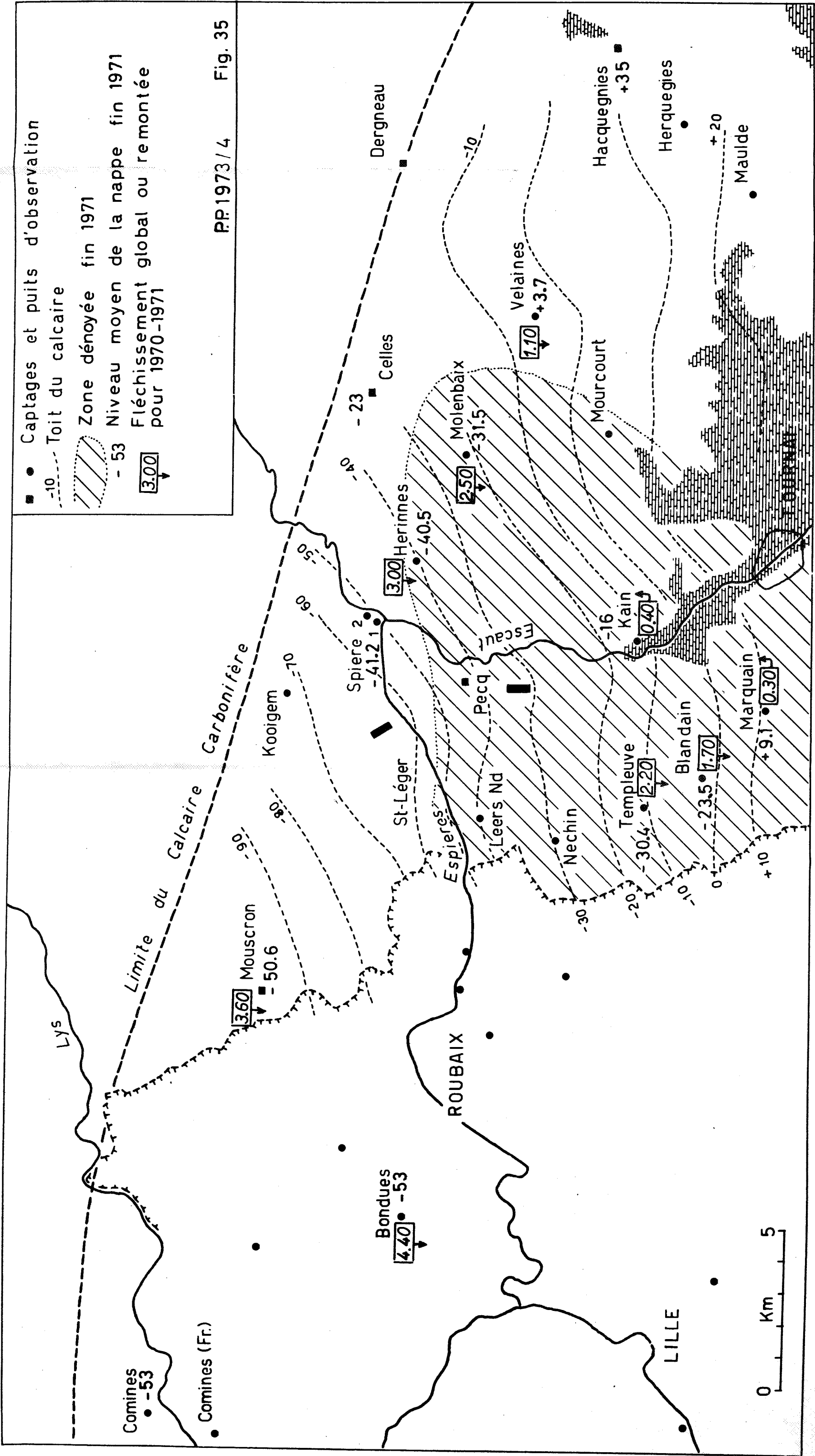


Fig 47 P.P. 1973 / 4



PP1973/4 Fig. 35

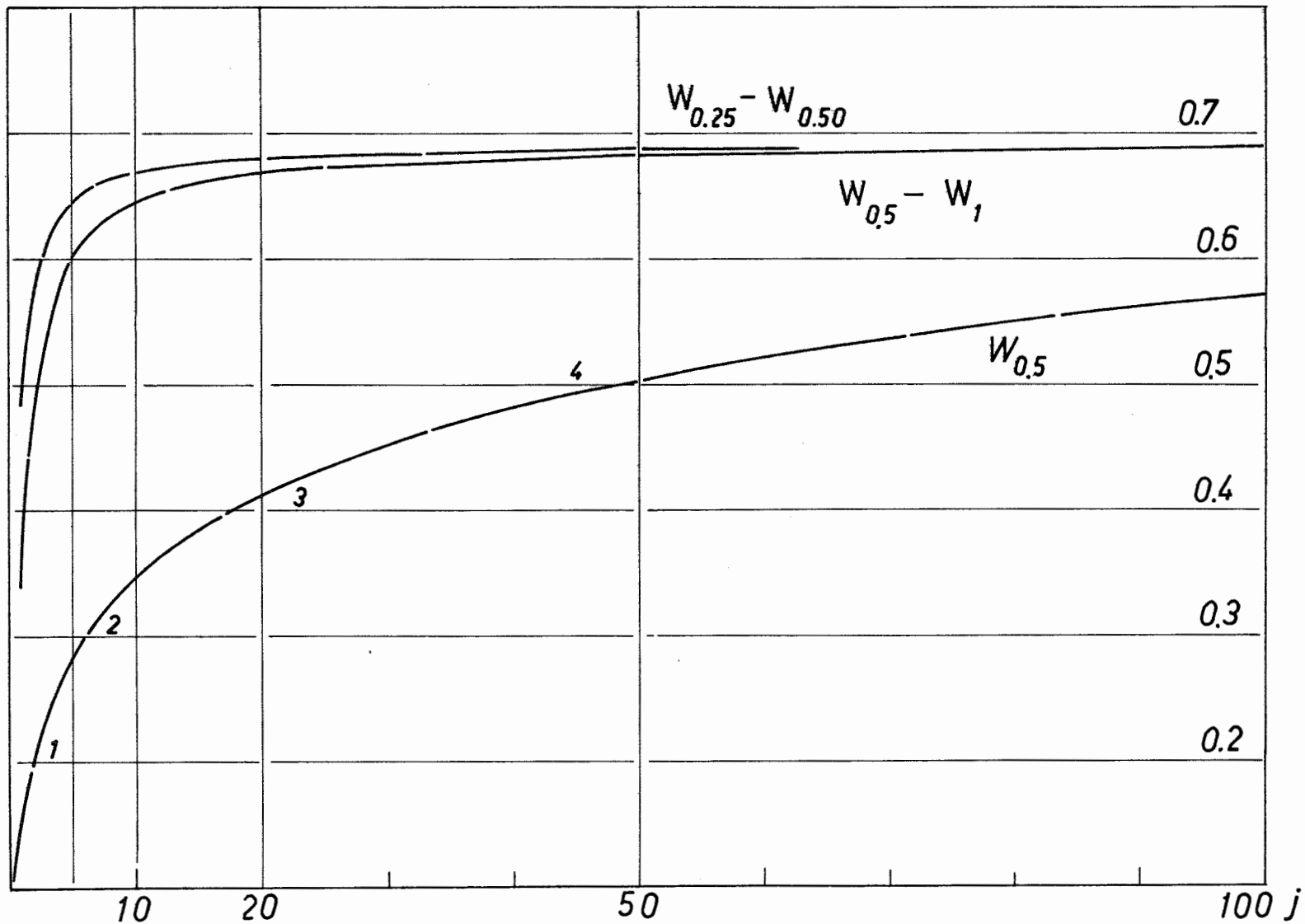


Fig 36 Pompage continu — Ecart entre puits voisins

PR.1973/4



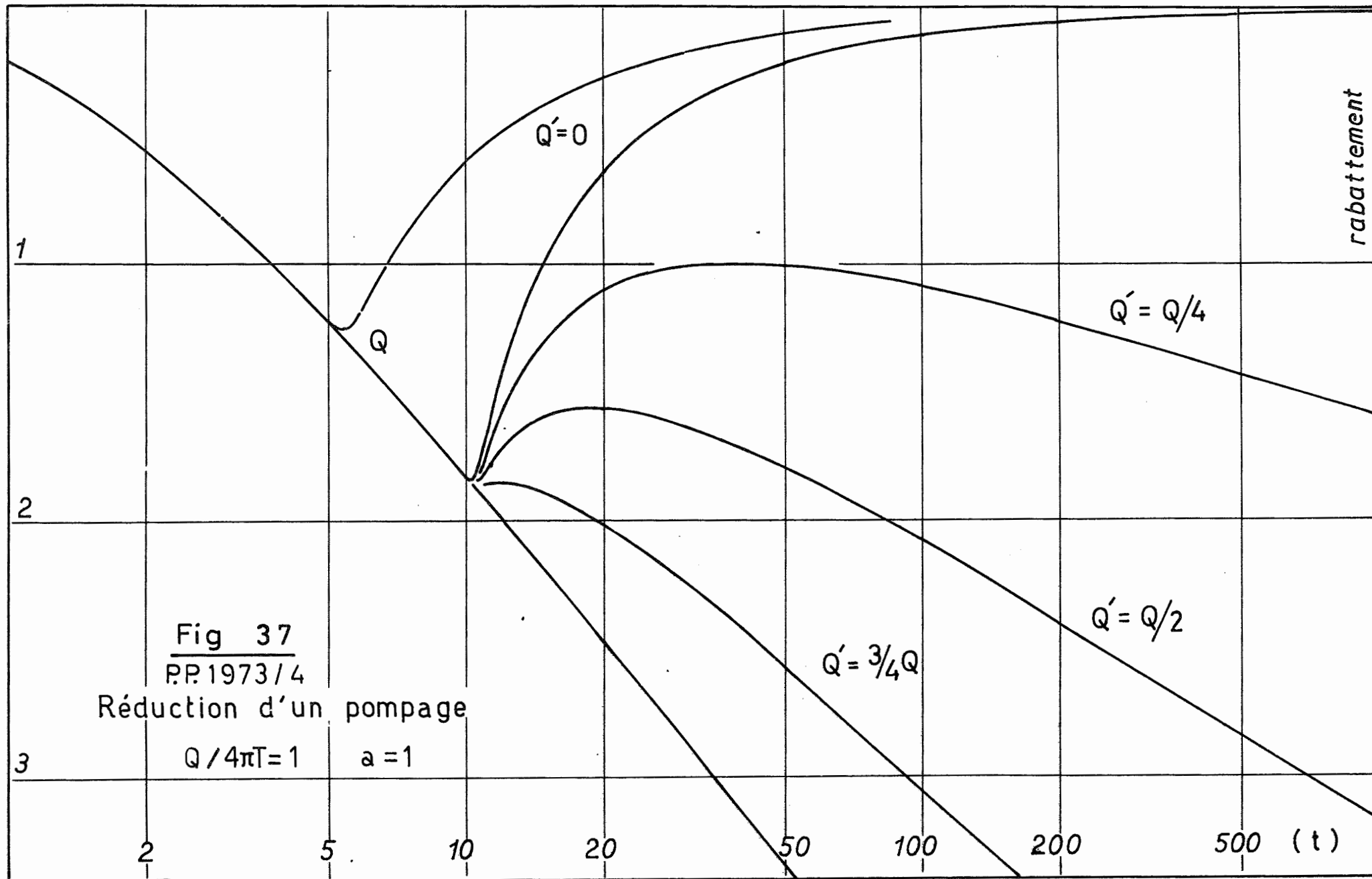


Fig 37

RP.1973/4

Réduction d'un pompage

$Q / 4\pi T = 1$

$a = 1$

3

2

5

10

20

50

100

200

500

(t)

1

2

*rabattement*

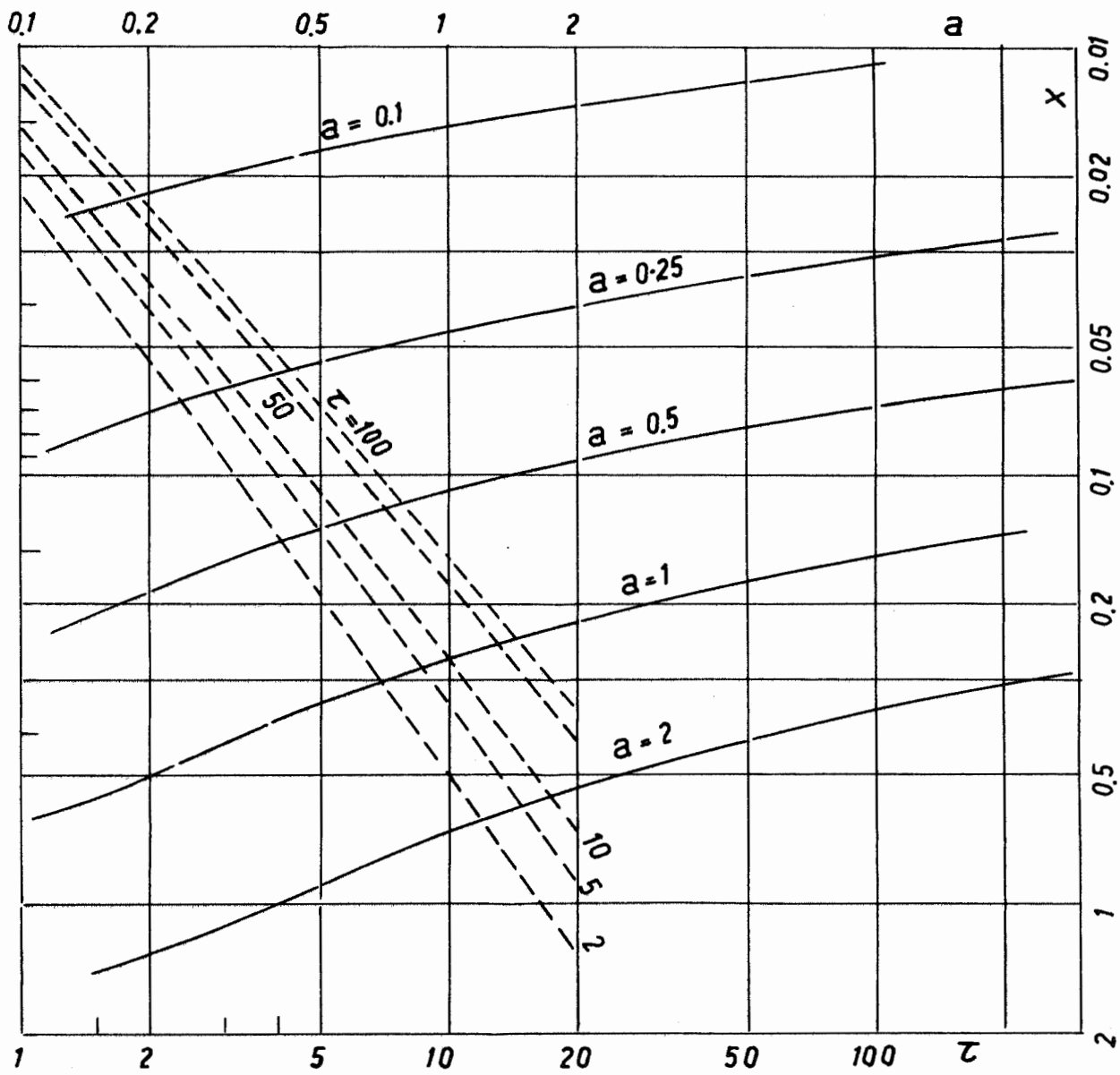


Fig 38 Décalage  $x$  du maximum après arrêt  
 P.P.1973/4

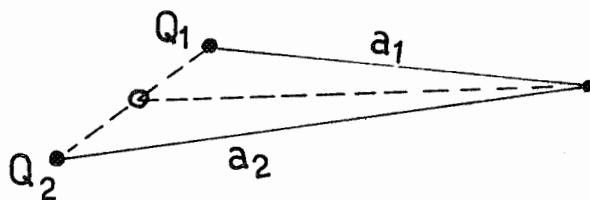
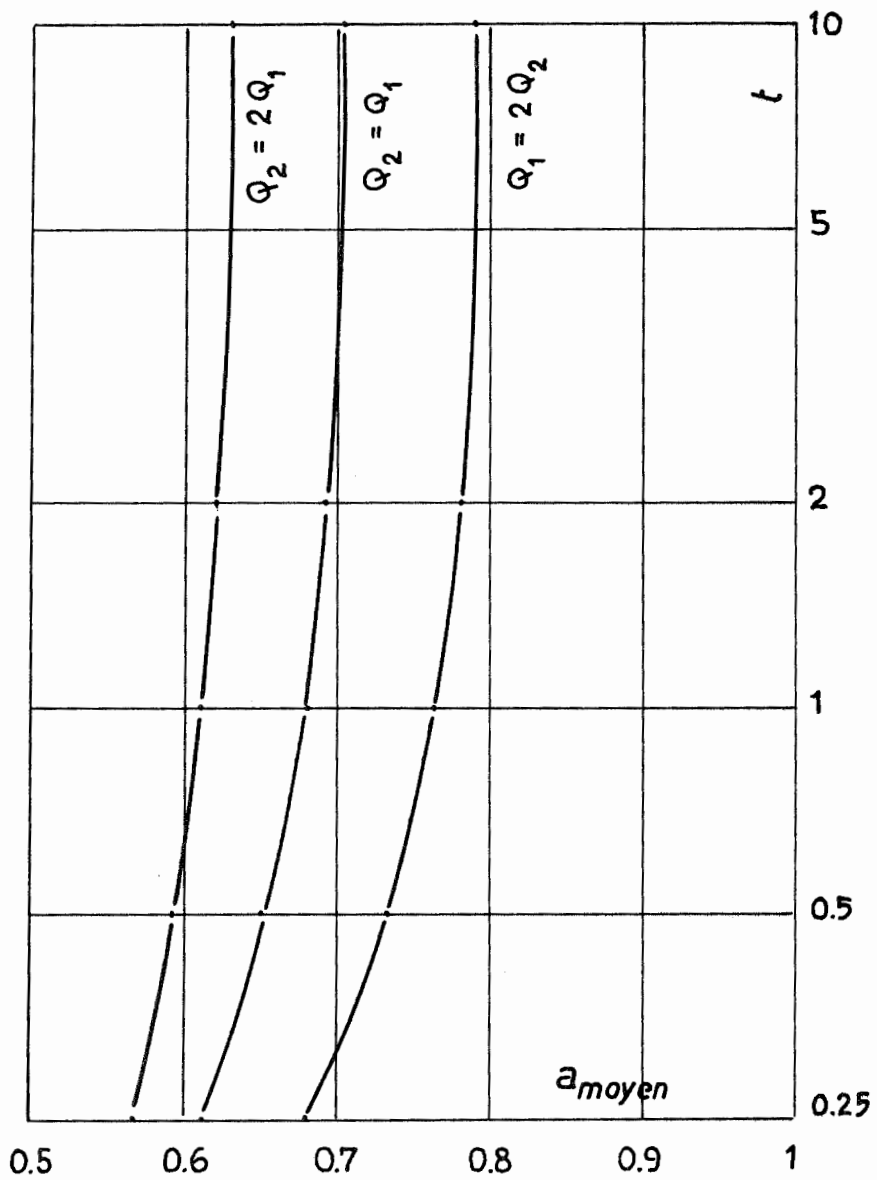


Fig 39 Centre d'un groupe de puits  
P.P.1973/4

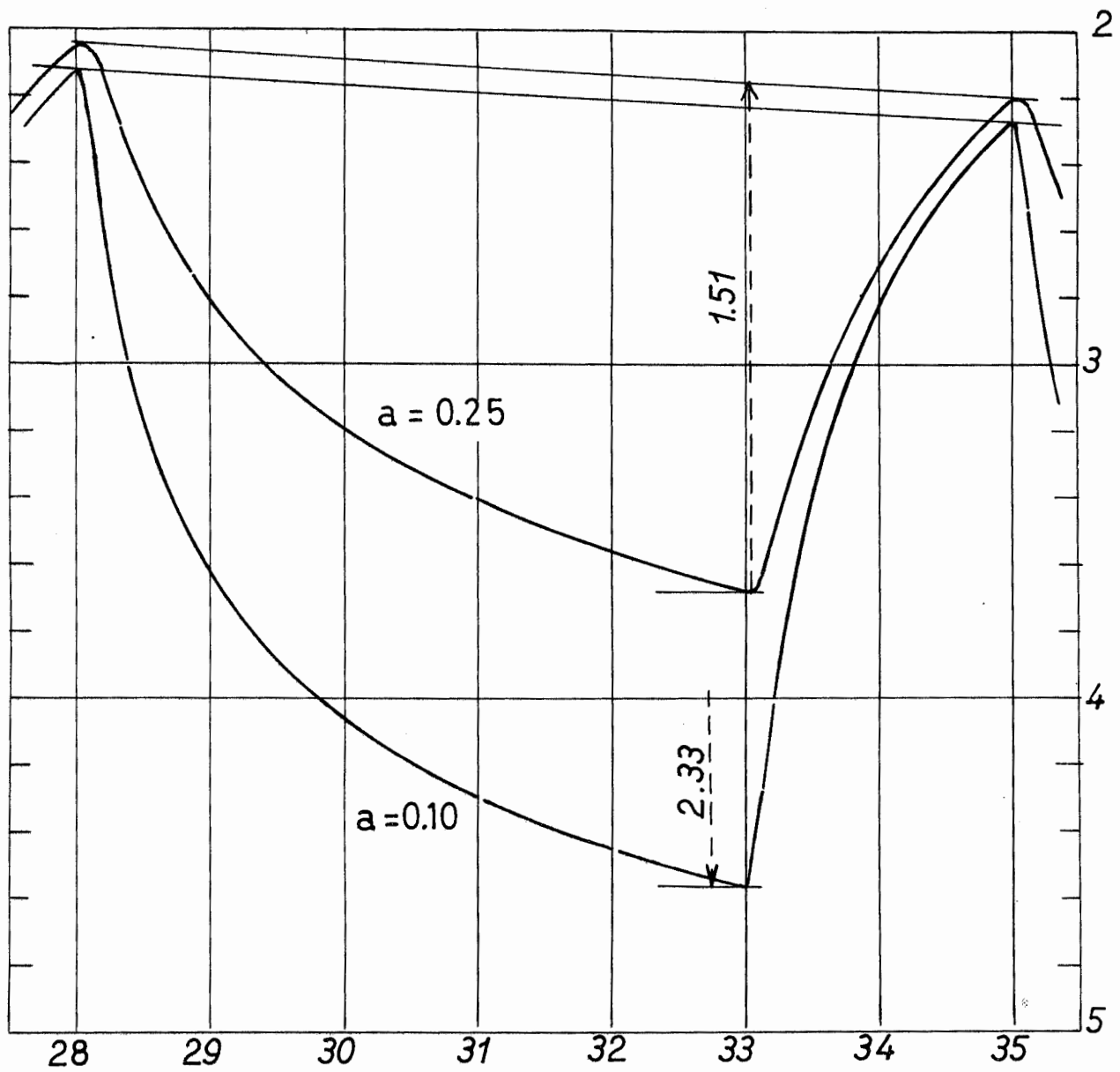


Fig 40 Variations hebdomadaires  
 P.P.1973/4 pour  $Q/4\pi T=1$  et  $\lambda = 2/7$

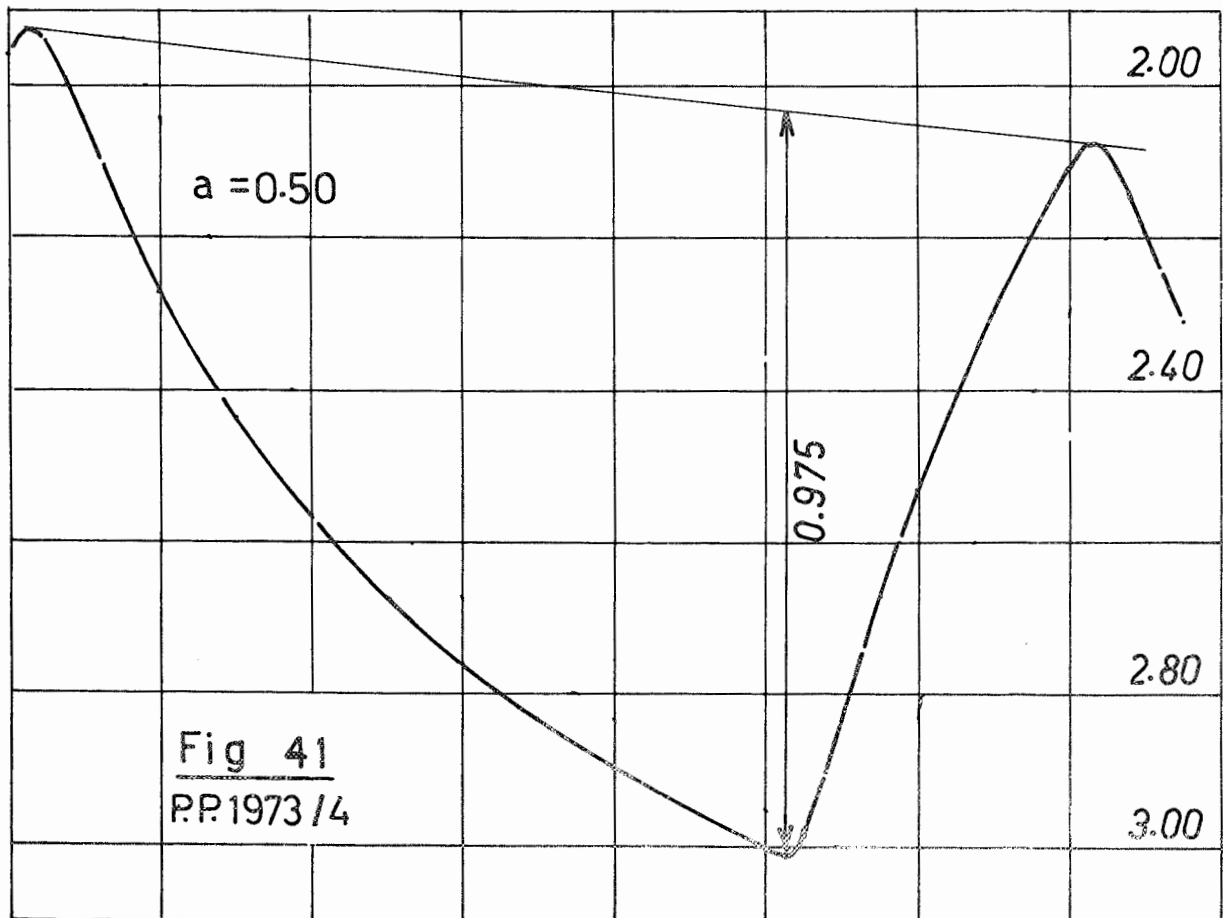
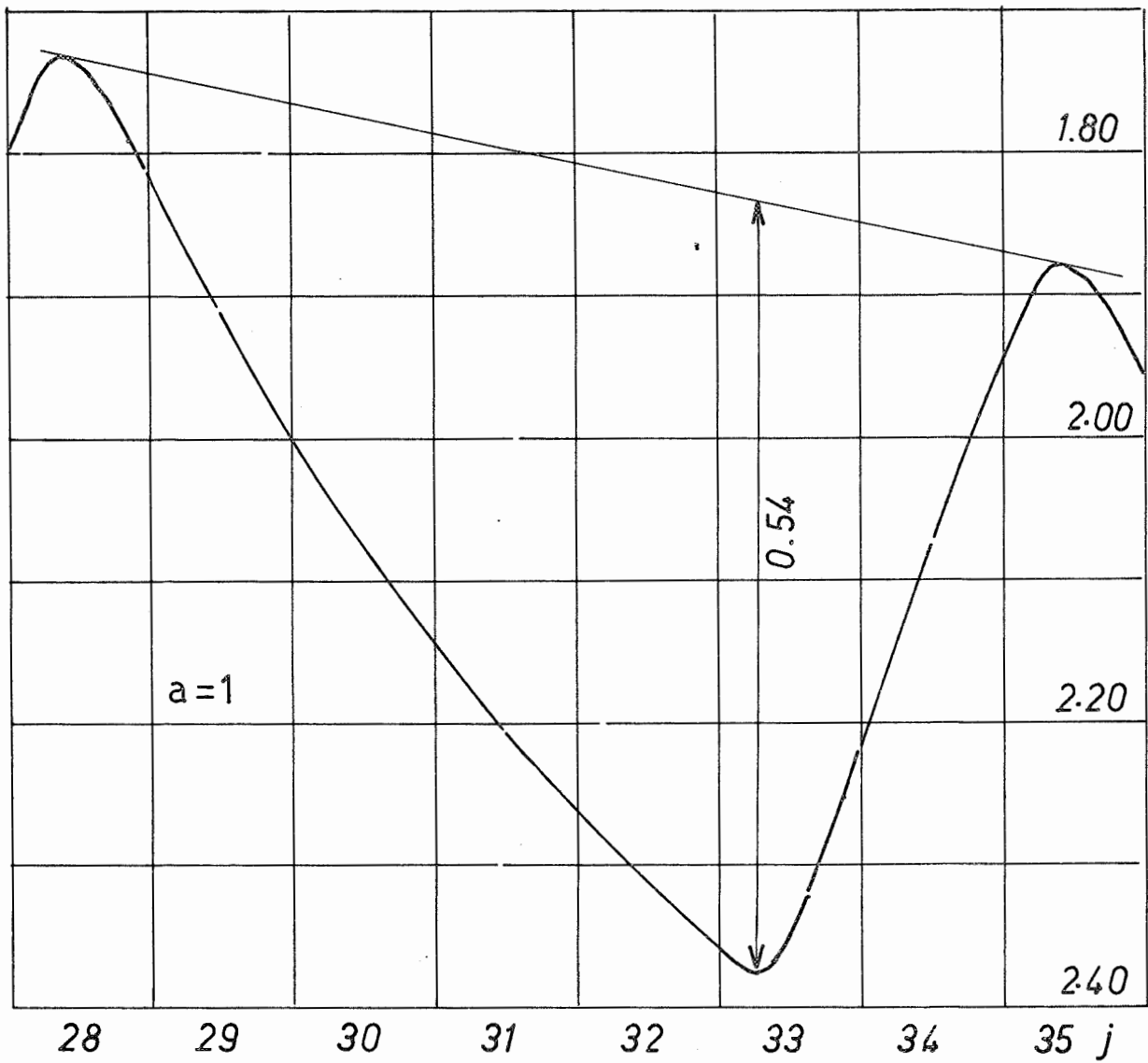


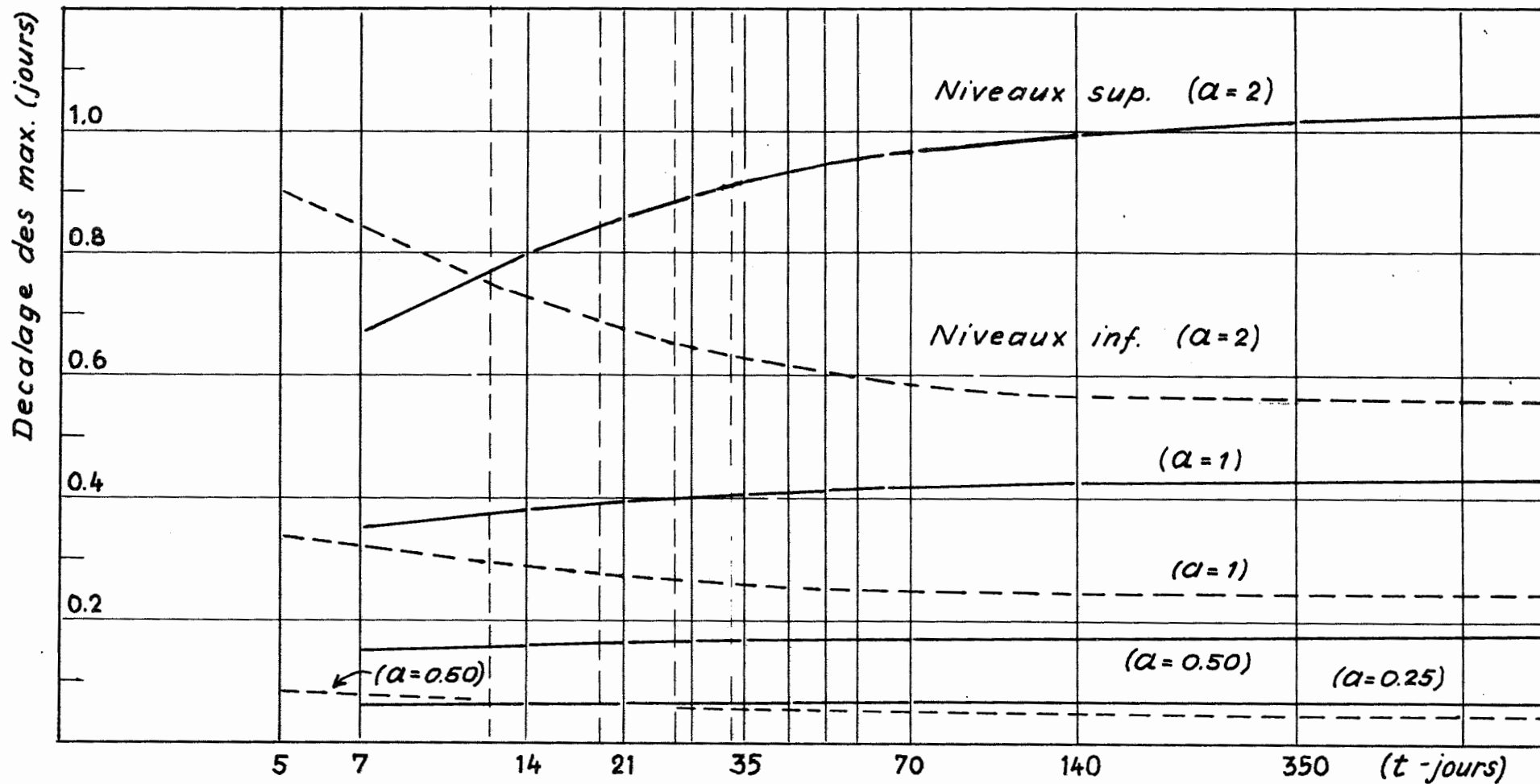
Fig 41  
 PR.1973/4



Fig 43

Pompages intermittents

P.P. 1973 / 4



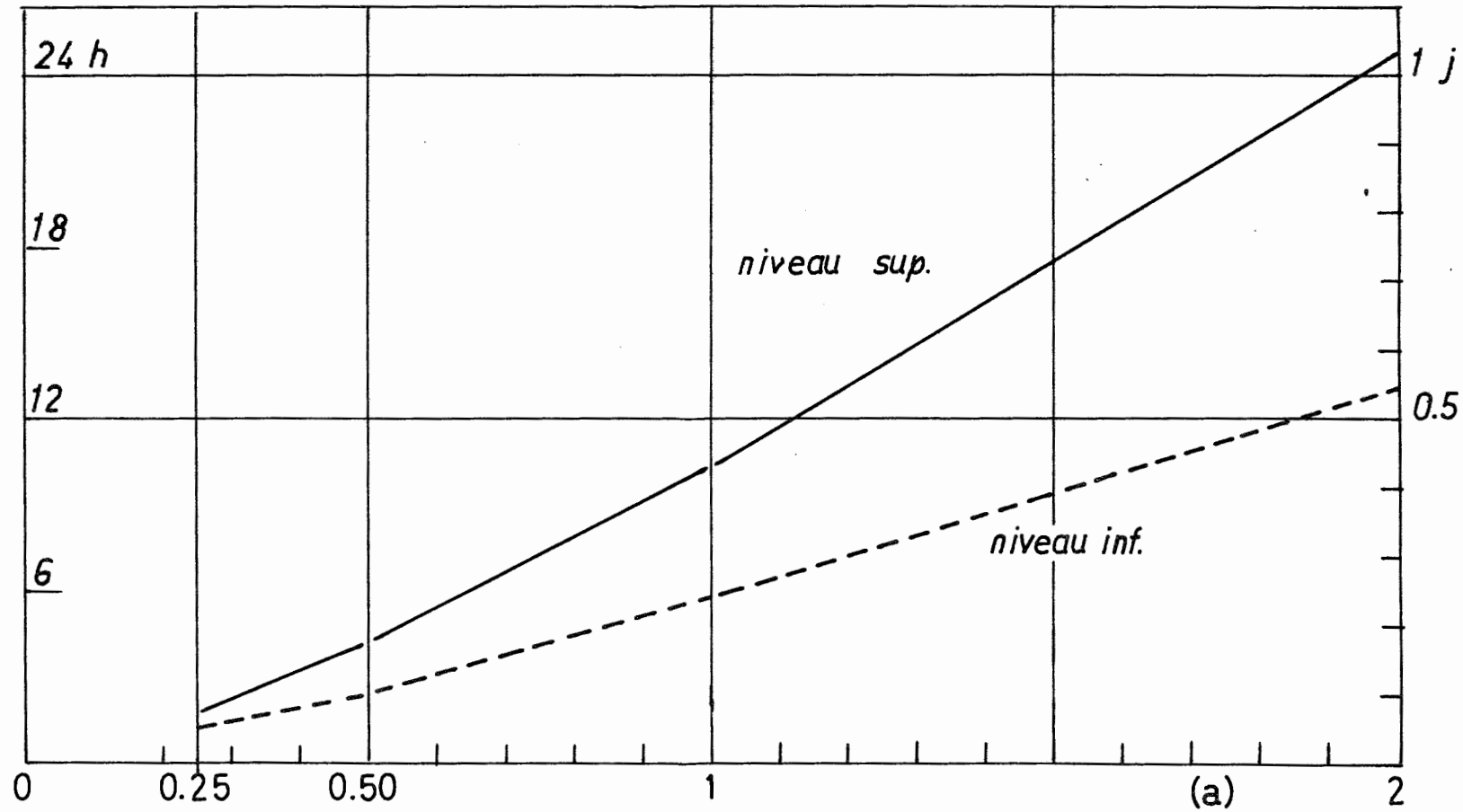
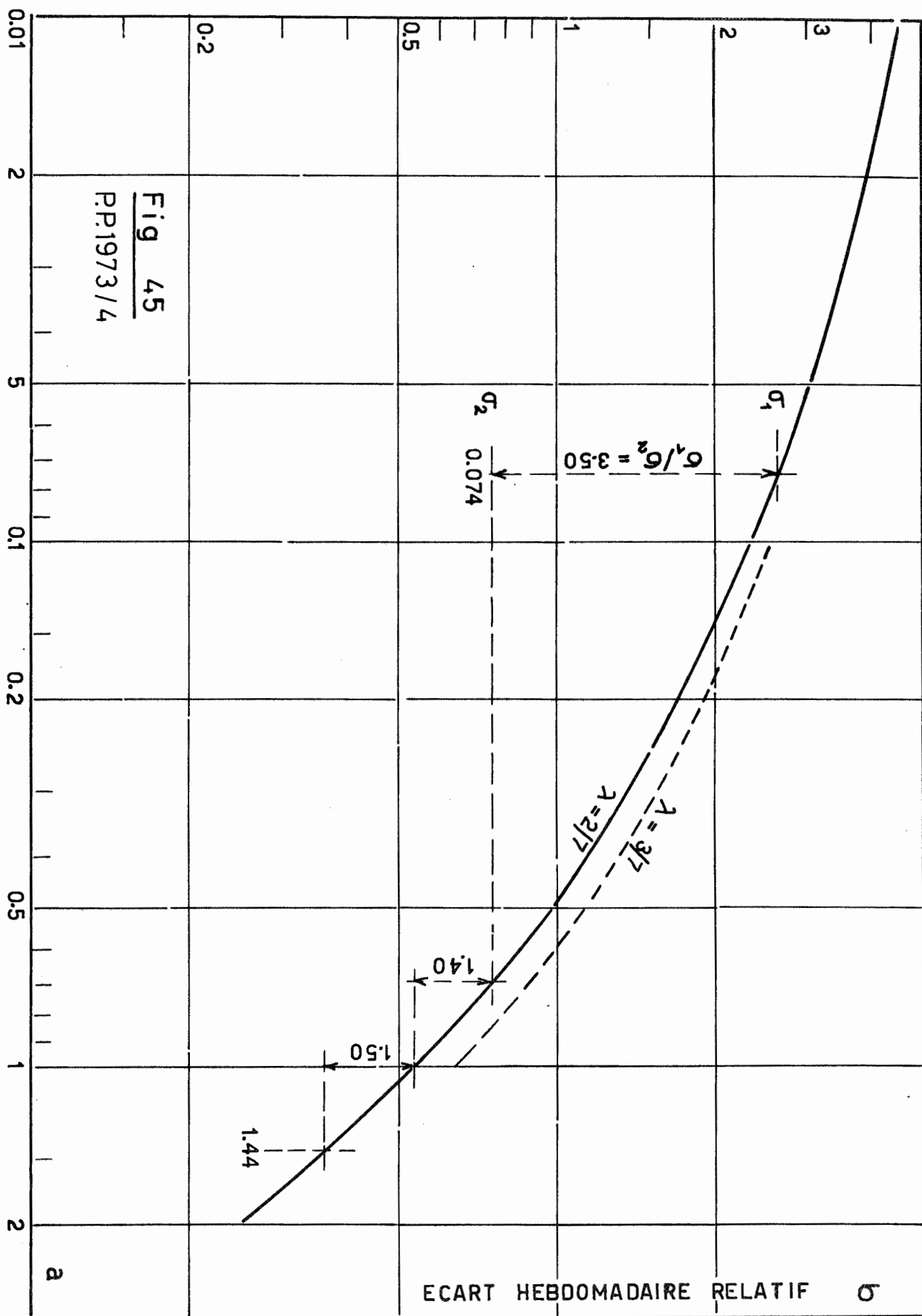


Fig 44 Décalage des niveaux extrêmes en pompage intermittent  
 P.P.1973 /4 pour  $t = \infty$





**Fig 45**  
 PP1973/4

# POMPAGES SEMI-JOURNALIERS

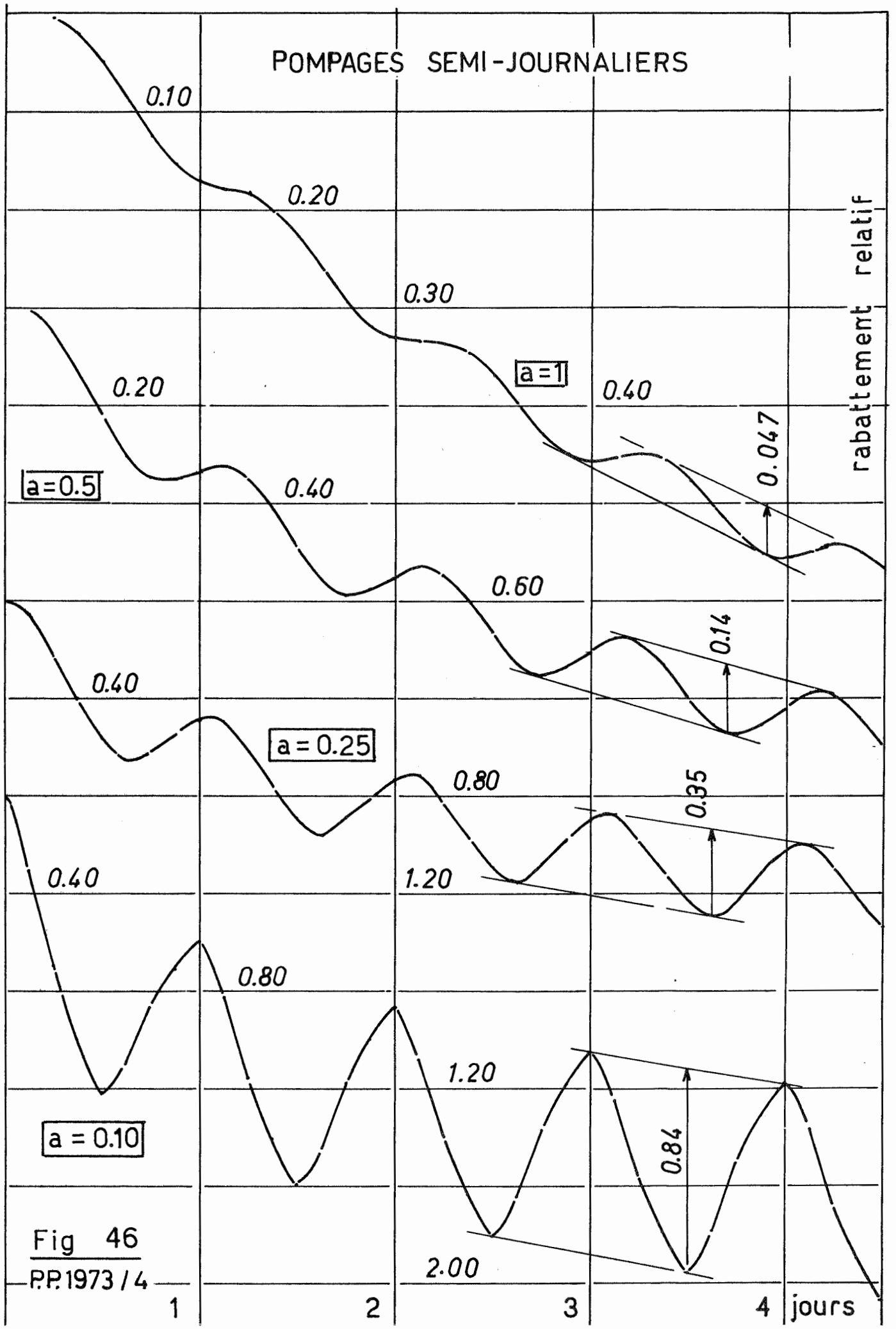
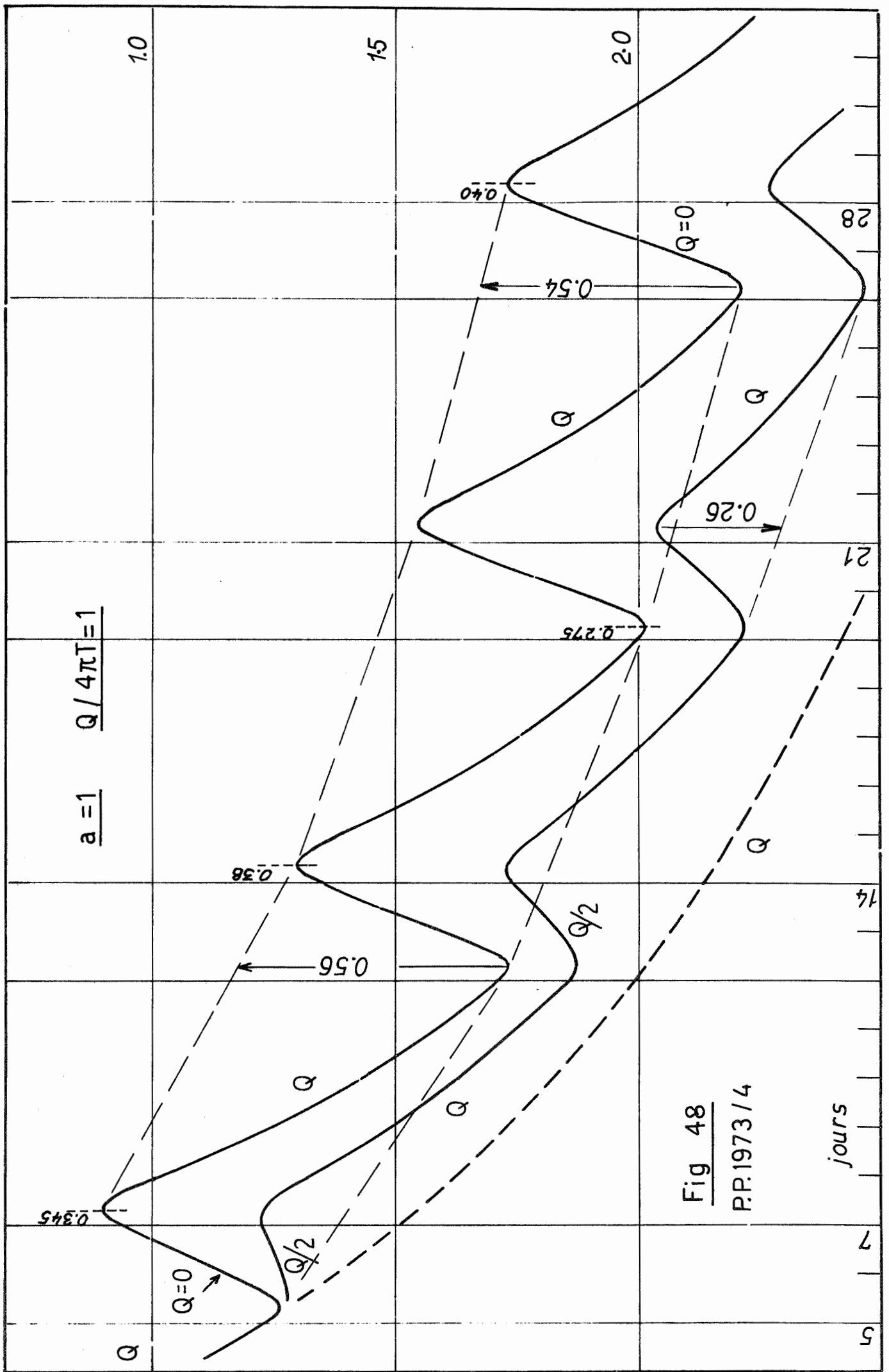


Fig 46  
P.P.1973/4

1 2 3 4 jours

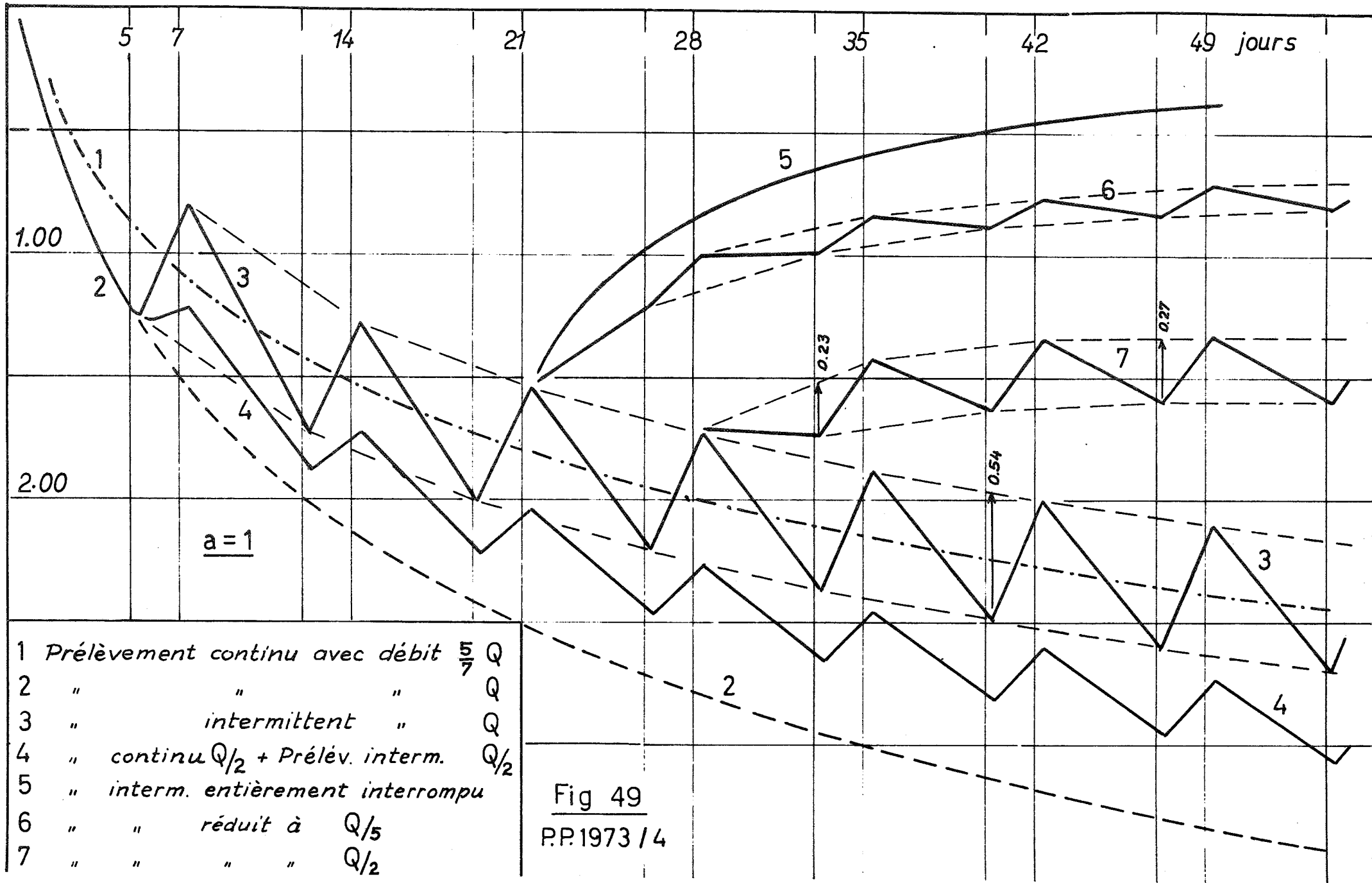




$a = 1$      $Q/4\pi T = 1$

Fig 48  
PR.1973/4

jours



a = 1

Pompages perturbés

1.5

2.0

2.5

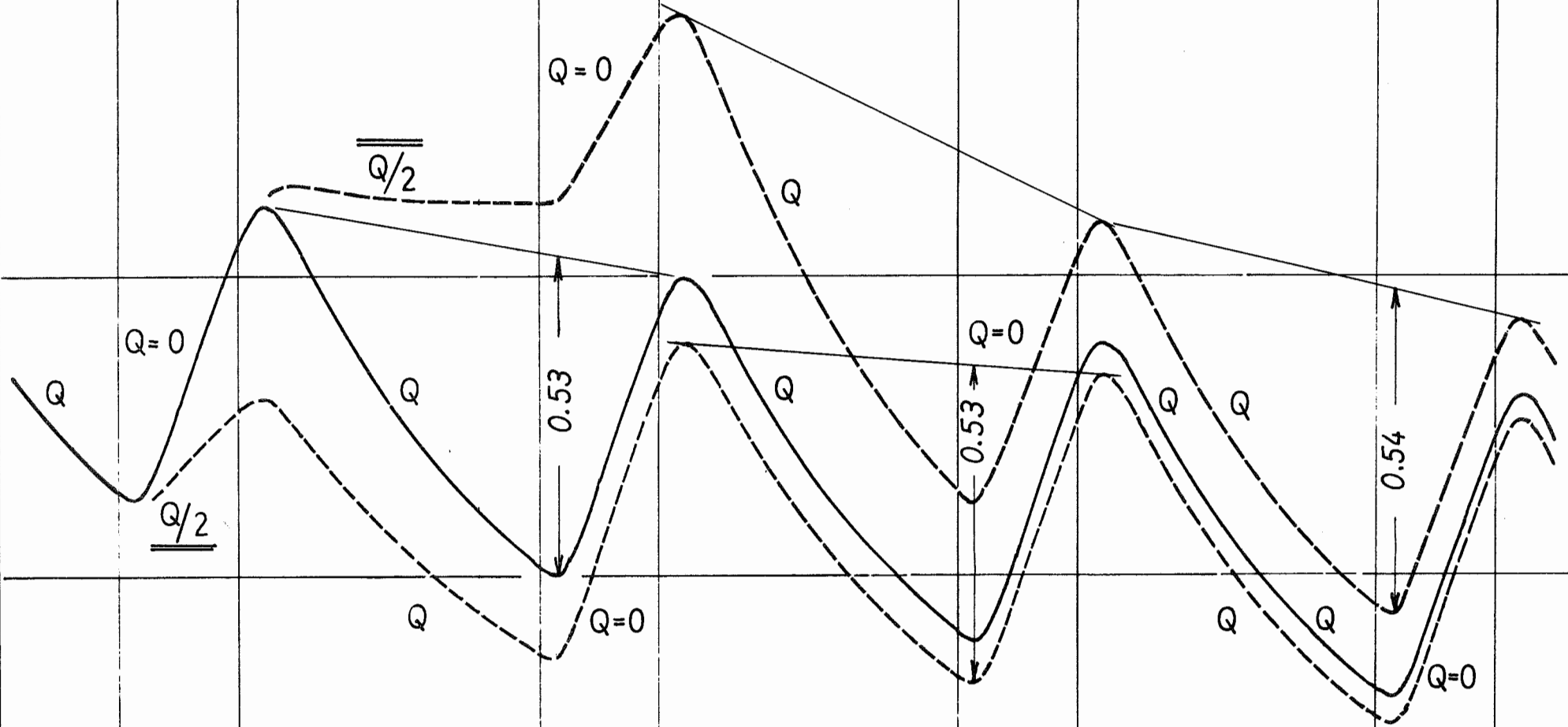


Fig. 50  
P.P.1973/4

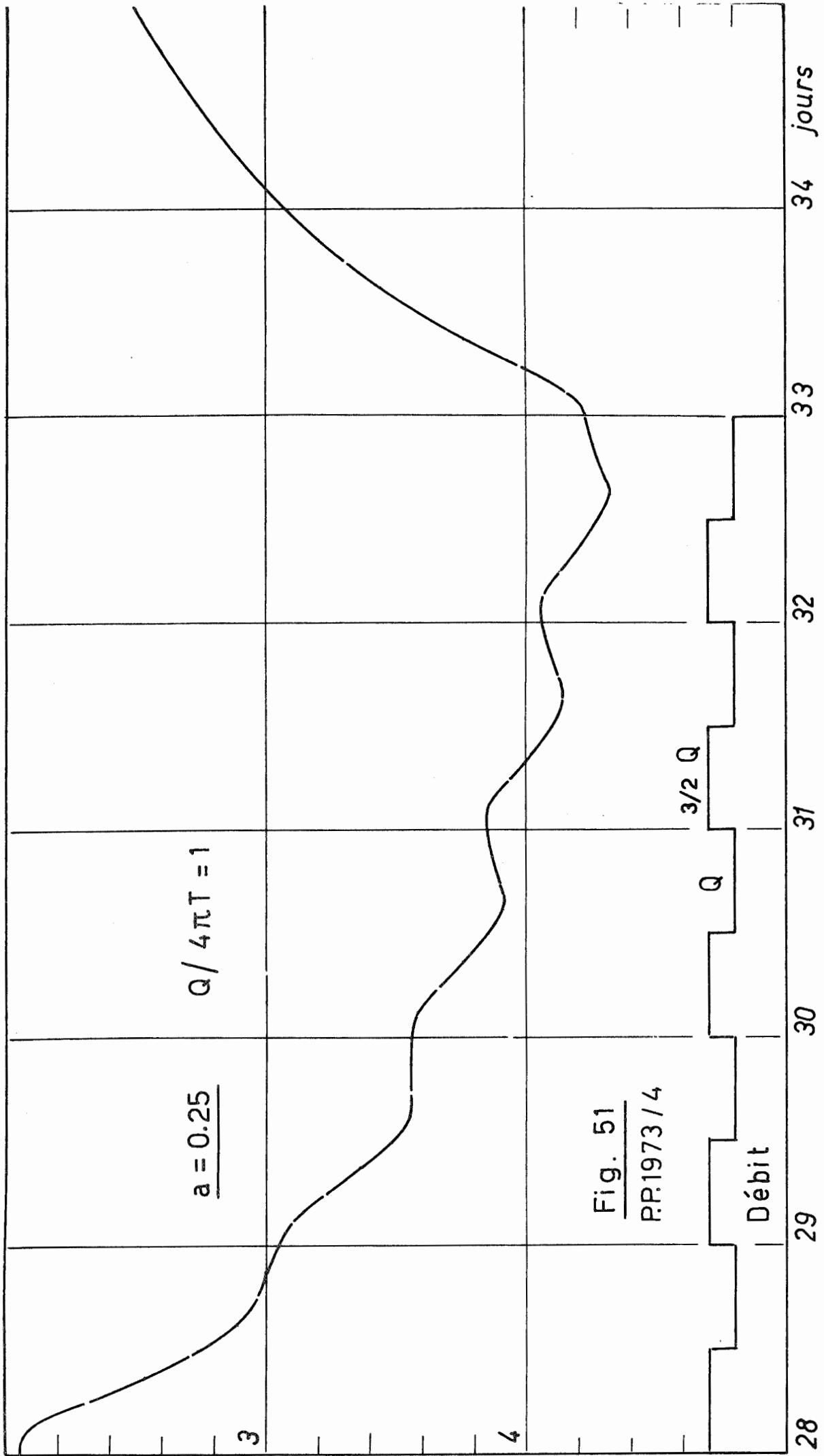
33

35

42

49

56



$$a = \frac{0.25}{4}$$

$$Q / 4\pi T = 1$$

$$3/2 Q$$

$$Q$$

Fig. 51  
PR:1973/4

Débit

28 29 30 31 32 33 34 jours

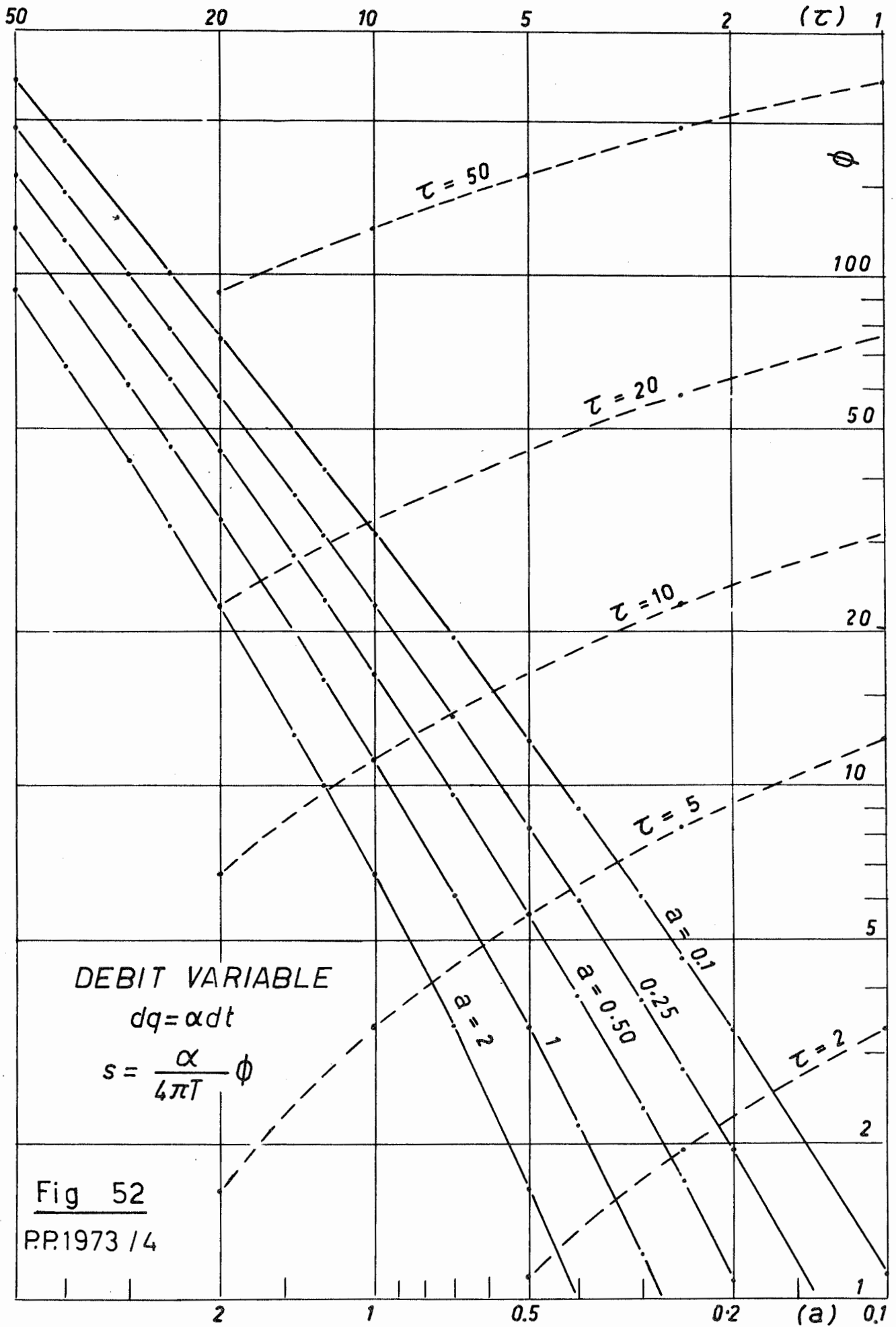
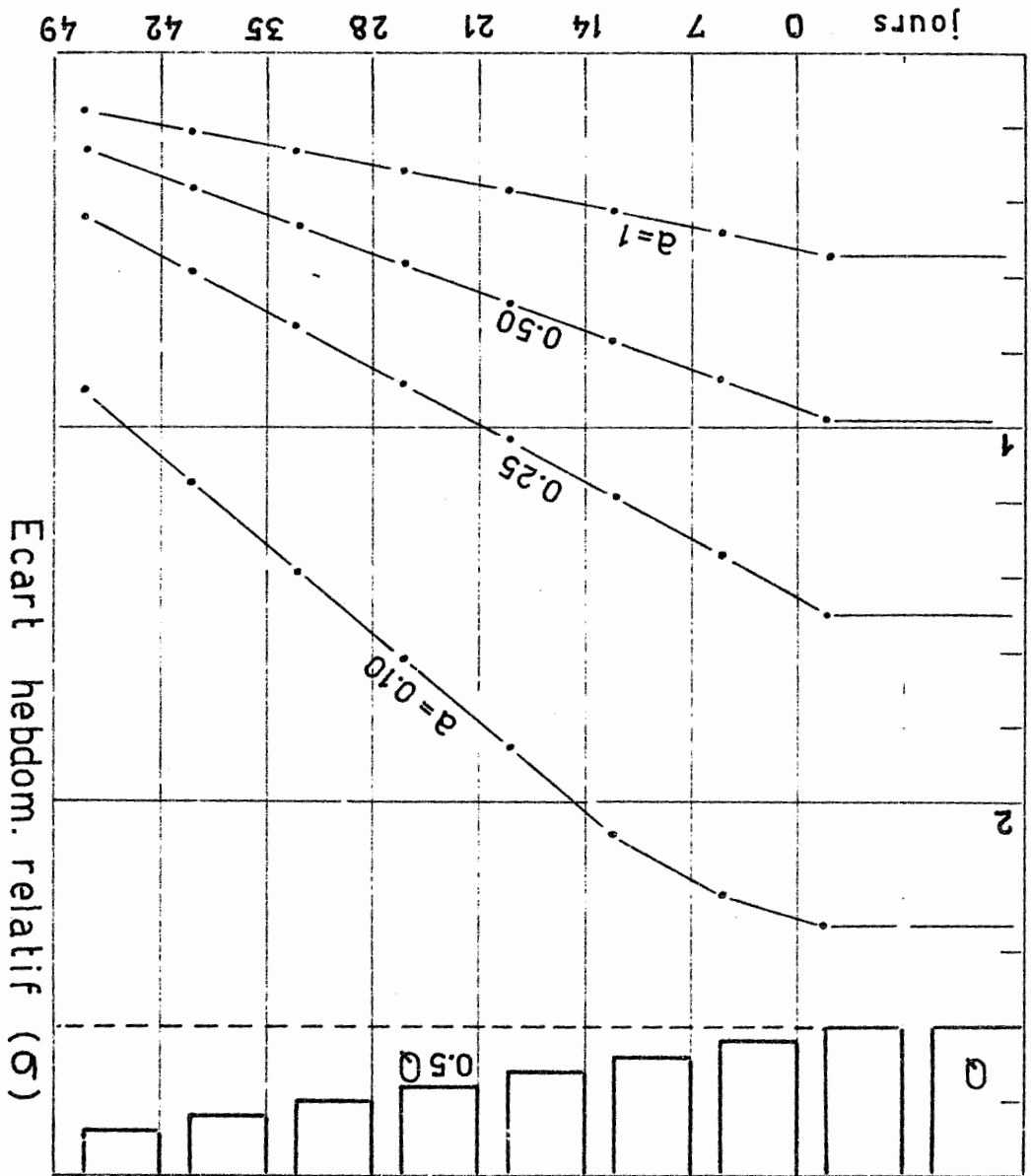




Fig 53 Pompages intermittents variables



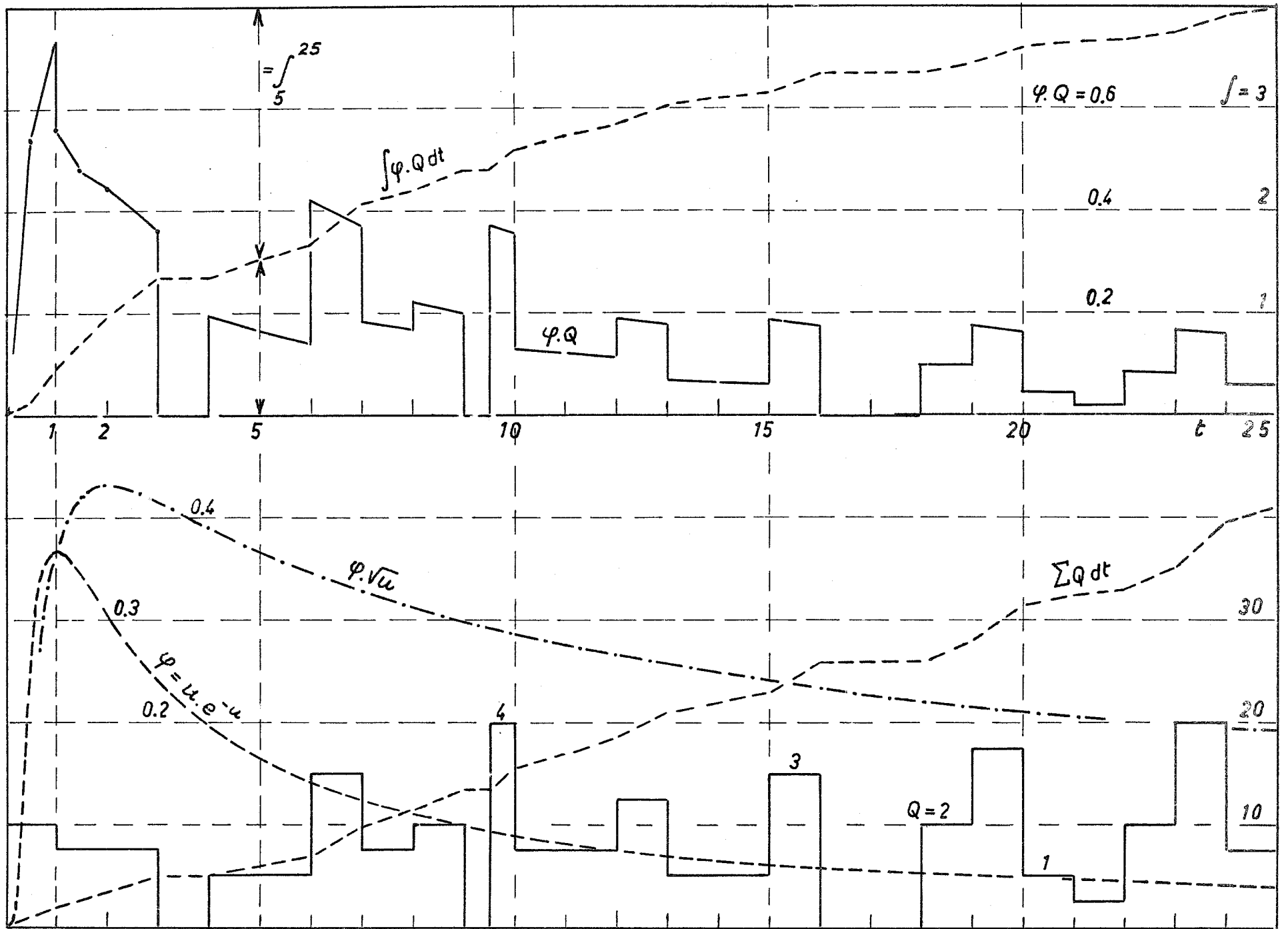


Fig 54

Application du principe des lignes d'influence

## LISTE DES FIGURES

- 1 - 4 Exemples de variation de la nappe à Spiere-Hérinnes (juin - septembre 1970).
- 5 - 12 Id. à Spiere-Hérinnes-Comines en 1971.
- 13 Enregistrements comparés à Bondues-Spiere-Hérinnes (juin 1970).
- 14 Enregistrements comparés à Bondues-Comines (B)-Comines (Fr) du 18/X au 1/XI/1971.
- 15 - 16 Remontée de la nappe à Hérinnes (1970 - 1971).
- 17 - 18 Comparaison des fluctuations à Spiere et Hérinnes (1970 - 1971).
- 19 - 20 Formes relatives des variations hebdomadaires à Bondues - Spiere et Comines.
- 21 - 24 Exemples de variation de la nappe à Blandain, Molenbaix et Velaines en 1970.
- 25 - 27 Id. pour 1971.
- 28 Effet barométrique à Blandain et Molenbaix en 1970.
- 29 Pression atmosphérique à Uccle et St. Léger en 1970.
- 30 - 31 Fluctuations diurnes et semi-diurnes à Velaines.
- 32 Evolution générale de la nappe en 1970.
- 33 Id. pour 1971.
- 34 Répartition des fluctuations hebdomadaires et de la remontée pendant les congés payés.
- 35 Allure générale de la nappe fin 1971.
- 
- 36 Différence de rabattement entre 2 points voisins.
- 37 Effet de la réduction d'un pompage continu.
- 38 Décalage du niveau maximum après arrêt d'un pompage continu.
- 39 Variation du "centre" de deux puits captants.
- 40 - 41 Pompages intermittents. Variations hebdomadaires relatives.
- 42 Id. Variations hebdomadaires réduites à 100.
- 43 - 44 Pompages intermittents. Décalage des niveaux extrêmes.
- 45 Ecart hebdomadaire relatif en fonction de la distance.
- 46 - 47 Pompages semi-journaliers. Courbes de rabattement - Ecart relatif des niveaux extrêmes.
- 48 - 51 Pompages hétérogènes ou interrompus. Cas divers.
- 52 Pompages à débit continûment variable. Rabattement relatif.
- 53 Pompages intermittents à débit variable.
- 54 Calcul de l'effet d'un pompage hétérogène par application du principe des lignes d'influence.