MESURE DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE A LA SECTION DES MASSES DU BIPM

par G. Girard

Lorsqu'on fait une comparaison d'étalons de masse, la pression atmosphérique intervient dans le calcul de la correction due à la poussée de l'air (par l'intermédiaire de la masse volumique de l'air). Si l'on compare un étalon de 1 kg en acier inoxydable à un étalon en platine iridié, cette correction est d'environ 100 mg. Si l'on ne veut pas introduire d'incertitude supérieure à 1 µg (écart-type sur la valeur d'une masse de 1 kg déterminée à la balance NBS-2) il faudrait mesurer la pression au moment des pesées avec une incertitude inférieure à 1 Pa. De plus, la balance NBS-2 étant enfermée dans une enceinte étanche et des mesures de pression devant se faire sans altérer le rythme des lectures des oscillations, il faut disposer d'un appareil de mesures à lecture directe.

Jauge de pression Texas Instruments

Une jauge de ce type a été étudiée à la fin de 1967 pour le Laboratoire National d'Essais, France. C'est une jauge à tube de quartz enroulé en spirale dont le principe est illustré à la figure 1. La spirale est suspendue dans le vide par son extrémité supérieure, son extrémité inférieure étant libre ; elle porte un petit miroir vertical. La pression appliquée à l'intérieur du tube ayant tendance à "dérouler" la spirale, fait tourner le miroir autour de l'axe vertical. La rotation du miroir est mesurée par autocollimation. L'affichage de la pression se fait par un compteur.

On a constaté à l'époque qu'après un cycle de pression entre le vide et la pression atmosphérique les indications données par la jauge présentaient une hystérésis non négligeable. Dans notre application, cet inconvenient est mineur : les pressions que l'on mesure sont concentrées dans un petit domaine et l'on peut étalonner la jauge au manobaromètre interférentiel du BIPM.

Notre choix s'est porté en décembre 1973 sur un modèle de jauge figurant au catalogue du constructeur et répondant au mieux à nos besoins ; c'est une jauge de type "absolu" permettant des mesures entre 88 kPa et 115 kPa (1 division ≈ 0,13 Pa).

Dès son arrivée en août 1974, elle a été comparée, soit au manobaromètre interférentiel du BIPM[1], soit au baromètre Fuess à mercure de la salle des balances. Ces comparaisons se sont poursuivies jusqu'en septembre 1976 époque à laquelle une fausse manoeuvre endommagea le détecteur. La figure 2 donne l'évolution, entre ces deux dates, des corrections à appliquer aux mesures faites avec cette jauge ; cette évolution est devenue pratiquement linéaire après février 1975 ce qui facilitait bien l'extrapolation en attendant un futur point d'étalonnage.

Après réparation, cette jauge nous est revenue en mars 1977. Ses indications par rapport au baromètre Fuess montrèrent une grande instabilité malgré des étalonnages fréquents jusqu'en décembre 1978.

On se décida, en mars 1980, à commander une autre spirale de même gamme de mesure mais ce n'est qu'en avril 1981, après de multiples péripéties, que nous avons reçu une spirale 0-150 kPa (0-1500 mbar d'après le constructeur), type "absolu" (1 division ≈ 1 Pa).

Des comparaisons au manobaromètre interférentiel débutèrent alors, d'où une première courbe d'étalonnage (A) obtenue les 27 avril et 6 mai 1981 (voir figure 3). D'autres comparaisons, en quelques points seulement, montrèrent des variations erratiques. Une seconde courbe d'étalonnage (B) fut obtenue en octobre 1981. Depuis, des comparaisons fréquentes ont lieu, généralement en un ou deux points seulement. Les corrections obtenues par rapport au manobaromètre peuvent être ramenées à une même pression de référence (on a choisi 100 kPa) en utilisant la courbe B de la figure 3. La figure 4 montre l'évolution, depuis octobre 1981, de la correction à appliquer aux lectures faites sur cette jauge au point 100 kPa.

On peut admettre que l'incertitude de chaque point de la courbe B est d'environ 5 Pa ce qui entraîne une incertitude du même ordre sur les points de la figure 4.

---

(1) A cette époque le fonctionnement du manobaromètre interférentiel ne donnait pas entière satisfaction. Une révision complète, décidée en 1976, s'effectua tout au long de l'année 1977. La valeur de la pression est donnée avec une incertitude de l'ordre de 0,2 Pa.

Jauge de pression MKS Baratron

Au début de 1978, la jauge Texas ne rendant pas les services que nous en attendions, nous avons essayé d'utiliser une jauge MKS Baratron, dont un exemplaire (domaine de mesures 0-1330 kPa (0-10000 torrs)) était en service au BIPM et qui semblait nous convenir. L'élément sensible est un diaphragme métallique tendu devant une électrode divisant une cavité en deux parties dont l'une est maintenue sous vide et l'autre soumise à la pression à mesurer. Sous l'action de la pression, le diaphragme s'incurve, ce qui entraîne une modification de la capacité entre le diaphragme et l'électrode voisine. Nous avons donc acheté une telle jauge (domaine 133 kPa (1000 torrs)) et dès sa réception en octobre 1978 les ennuis commencèrent. Cette jauge fut renvoyée à l'usine en octobre 1978 et janvier 1979. A son retour en mars 1979[2] et jusqu'en octobre 1979 nous l'avons utilisée malgré sa grande instabilité. Après un nouveau retour à l'usine elle nous revint en décembre, mais son fonctionnement laissait toujours à désirer.

Jauge de pression Ruska

Devant l'impossibilité d'obtenir des mesures de pression avec la précision que nous souhaitions avec les deux jauges précédentes, nous nous sommes informés auprès d'utilisateurs de divers laboratoires sur du matériel fiable. La jauge Ruska nous a été recommandée.

Nous avons acheté en novembre 1981[3] une jauge Ruska type "absolu", domaine 0-110 kPa (1 division = 1 Pa). Le détecteur de pression est aussi une spirale de quartz suspendue dans le vide, comme dans la jauge Texas, mais il n'y a pas ici de rotation du miroir associé, car un asservissement le maintient en position fixe (voir figure 6).

Dès son arrivée au BIPM, en septembre 1981, nous l'avons comparée au manobaromètre du BIPM. La figure 7 montre l'évolution des corrections à appliquer aux mesures faites avec cette jauge depuis son arrivée au BIPM. Il faut noter que dans le domaine 98 kPa-103 kPa, la correction d'étalonnage est constante ce qui est très appréciable pour l'utilisateur car il n'a qu'à se préoccuper de la variation de cette correction en fonction du temps.

---

(2) En avril 1979, on décida d'installer une canalisation reliant le manobaromètre à la Salle des balances afin de faciliter les comparaisons.

(3) Entre temps nous avons fait des comparaisons d'une jauge Garrett (du type "à membrane") à notre manobaromètre ; elles ont montré une très bonne stabilité pendant le peu de temps que cette jauge a été mise à notre disposition (10 jours). Les résultats obtenus avec une autre jauge Garrett, étudiée en 1981 pendant deux mois, ont été très satisfaisants (voir figure 5).

Conclusion

La jauge Texas Instruments avec le premier détecteur répondait assez bien à nos besoins à conditions de la comparer fréquemment à un étalon. Malheureusement ce modèle de détecteur n'étant plus en fabrication nous avons dû en essayer un autre qui ne nous convient pas.

La jauge Ruska peut dans la plupart des cas nous satisfaire à condition a) de la conserver à la pression atmosphérique ; b) de la comparer souvent à notre manobaromètre car sa dérive actuelle est d'environ 0,6 pascal par jour.

Nous mettons beaucoup d'espoir dans la jauge Garrett que nous avons achetée en espérant qu'elle soit aussi bonne que celle étudiée en 1981.

Il n'est donc pas facile de trouver actuellement une jauge suffisamment fiable pour notre usage.

Une solution à notre problème serait la modernisation et l'automatisation de notre manobaromètre interférentiel.

Janvier 1983.

Légendes des figures

Fig. 1.- Schéma de principe de la jauge de pression Texas Instruments.

Fig. 2.- Jauge de pression Texas (spirale 88-115 kPa) : évolution de la correction à appliquer aux mesures effectuées à la pression atmosphérique.
- ● comparaison au baromètre Fuess N° 2453
- o comparaison au manobaromètre interférentiel du BIPM.

Fig. 3.- Jauge de pression Texas (spirale 0-150 kPa) : correction à appliquer aux mesures en fonction de la pression.
- A ● étalonnage des 27 avril et 6 mai 1981
- B ● étalonnage du 9 octobre 1981
- • autres comparaisons effectuées entre le 13 mai et le 28 septembre 1981.

Fig. 4.- Jauge de pression Texas (spirale 0-150 kPa) : évolution de la correction à appliquer aux mesures effectuées à une pression de 100 kPa depuis le 9 octobre 1981.

Fig. 5.- Evolutions comparatives des corrections à appliquer aux lectures de la jauge Ruska du BIPM (Evolution moyenne tirée de la figure 7) et de la jauge Garrett étudiée en 1981.

Fig. 6.- Jauge de pression Ruska : schéma de principe de la mesure de pression.

Fig. 7.- Jauge Ruska : évolution de la correction à appliquer aux mesures effectuées à la pression atmosphérique depuis septembre 1981. La jauge est constamment restée en fonctionnement sauf du 23 décembre 1981 au 4 janvier 1982 par suite d'une coupure de l'alimentation électrique ; du 10 octobre au 10 novembre 1981 un essai de mise sous vide n'a pas donné de résultats concluants.

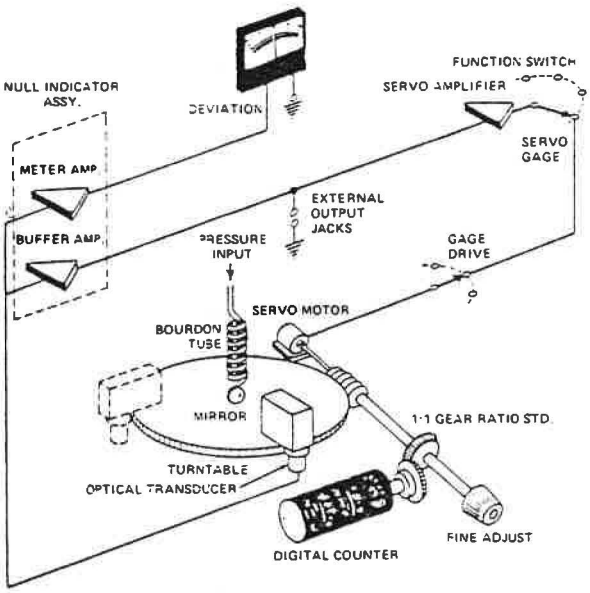
NULL INDICATOR ASSY.
DEVIATION
FUNCTION SWITCH
SERVO AMPLIFIER
SERVO GAGE
METER AMP
BUFFER AMP
EXTERNAL OUTPUT JACKS
PRESSURE INPUT
GAGE DRIVE
SERVO MOTOR
BOURDON TUBE
MIRROR
1:1 GEAR RATIO STD.
TURNTABLE
OPTICAL TRANSDUCER
FINE ADJUST
DIGITAL COUNTER

Fig. 1

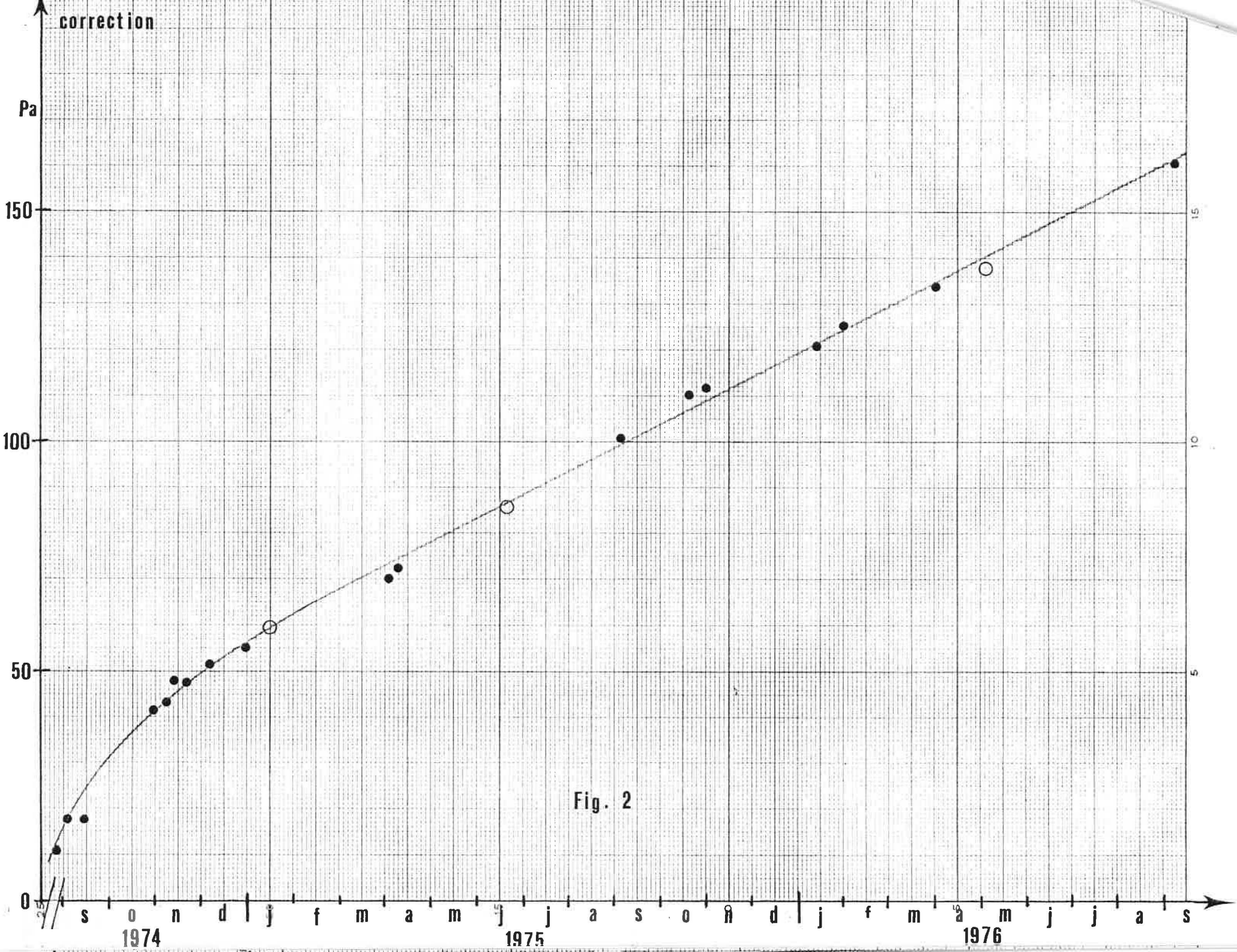
correction
Pa
150
100
50
0
s o n d j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s
1974
1975
1976

Fig. 2

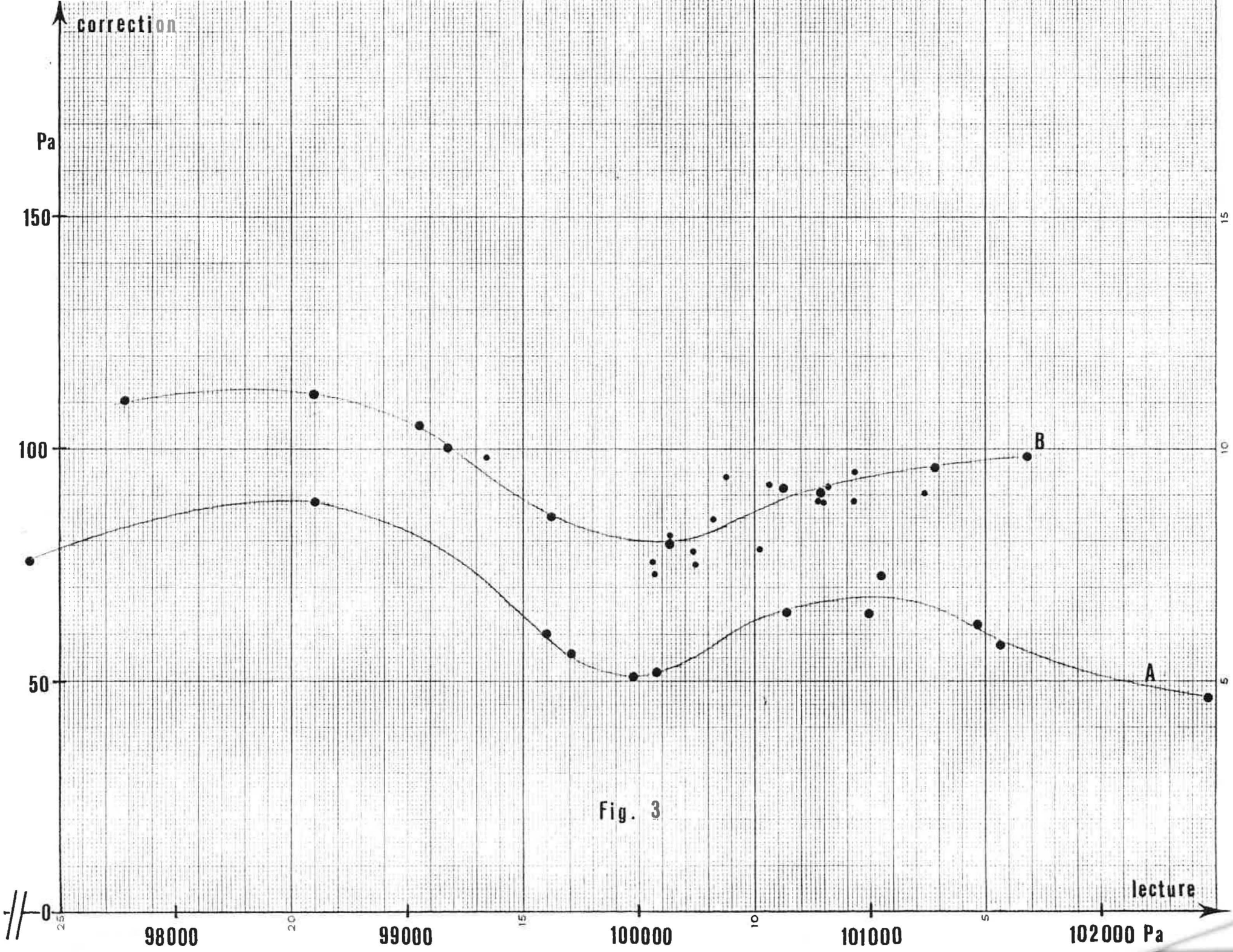
correction
Pa
150
100
50
0
B
A
lecture
25
20
15
10
5
98000
99000
100000
101000
102000 Pa

Fig. 3

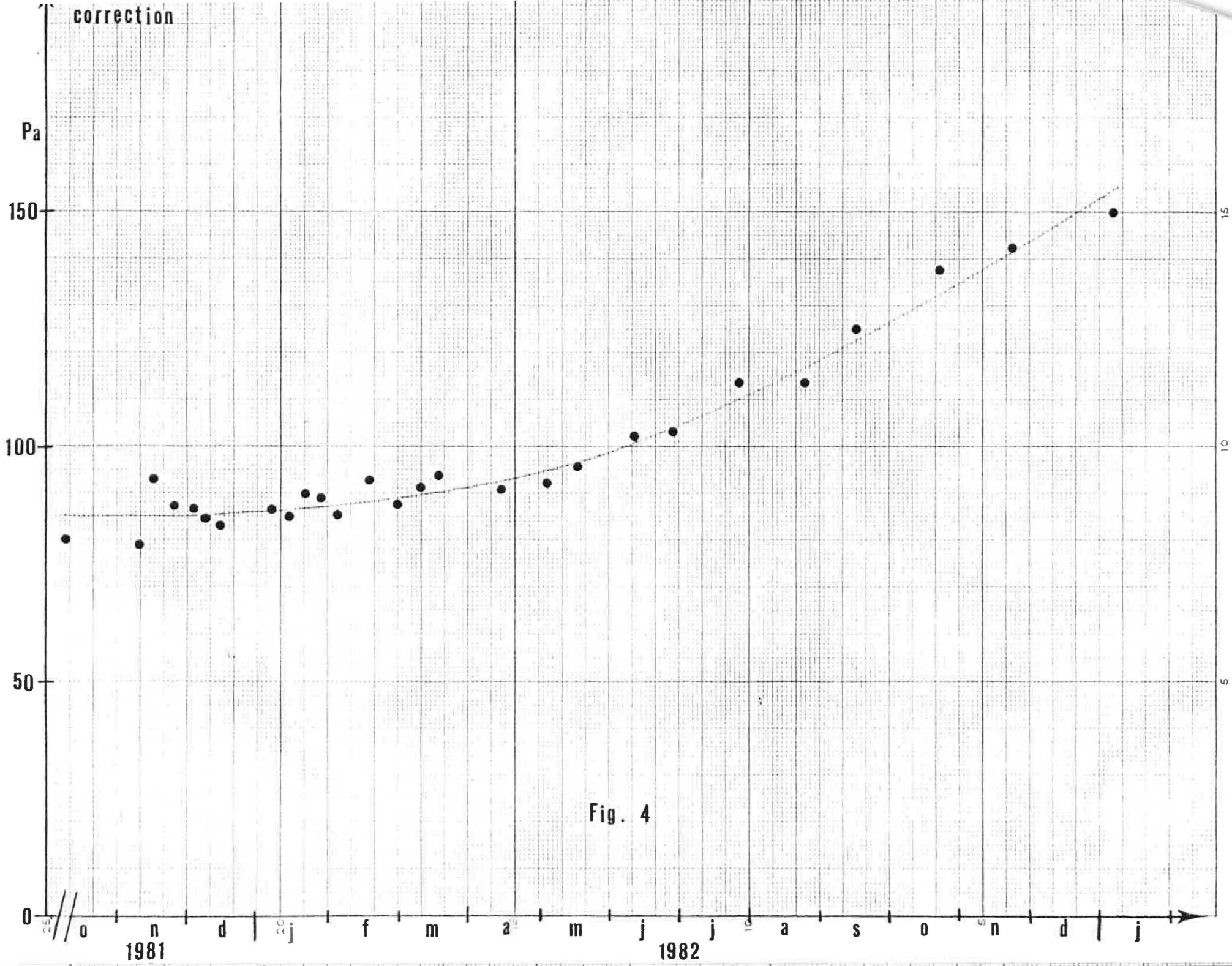
correction
Pa
150
100
50
0
15
10
5
o
n
d
j
f
m
a
m
j
j
a
s
o
n
d
j
1981
1982

Fig. 4

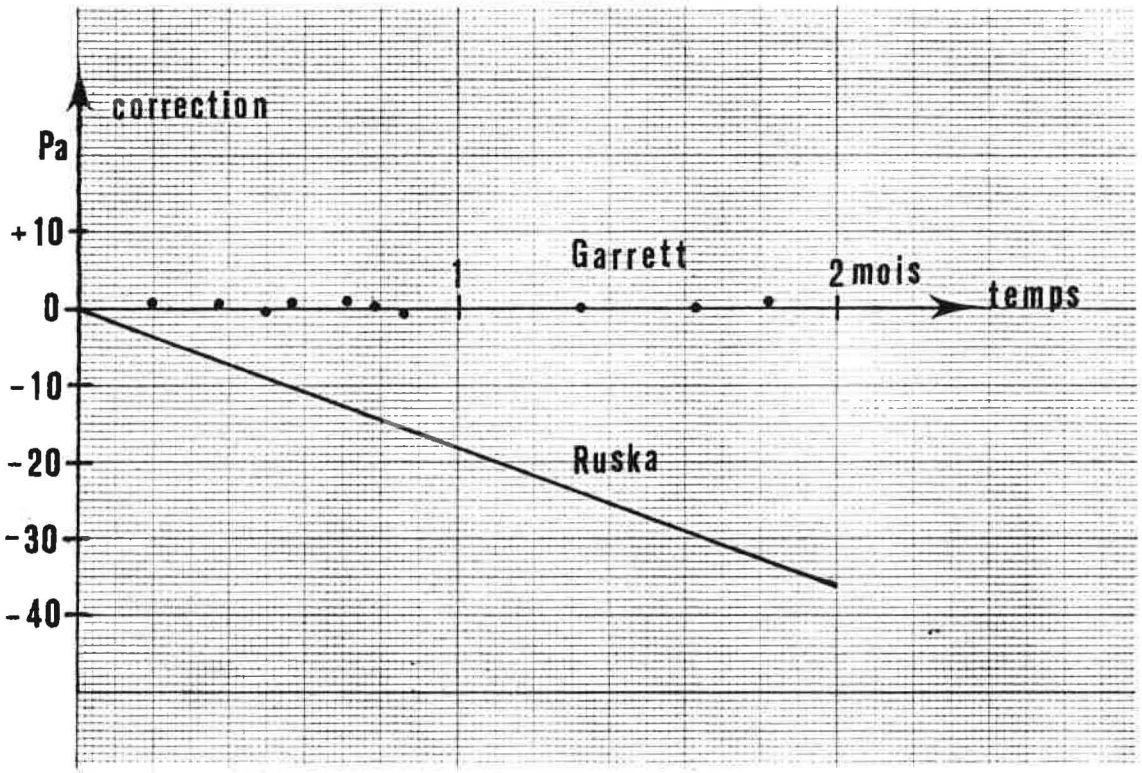
correction
Pa
+10
0
-10
-20
-30
-40
1
Garrett
2 mois
temps
Ruska

Fig. 5

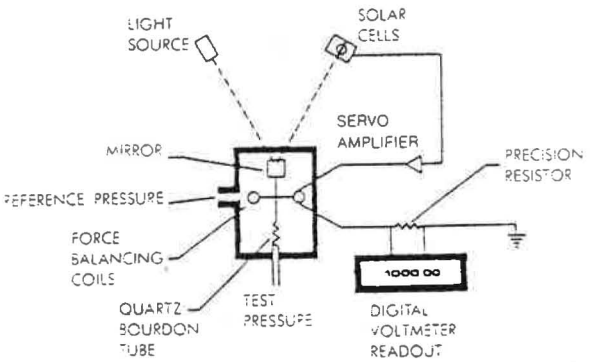
LIGHT SOURCE
SOLAR CELLS
SERVO AMPLIFIER
MIRROR
PRECISION RESISTOR
REFERENCE PRESSURE
FORCE BALANCING COILS
QUARTZ BOURDON TUBE
TEST PRESSURE
DIGITAL VOLTMETER READOUT

Fig. 6

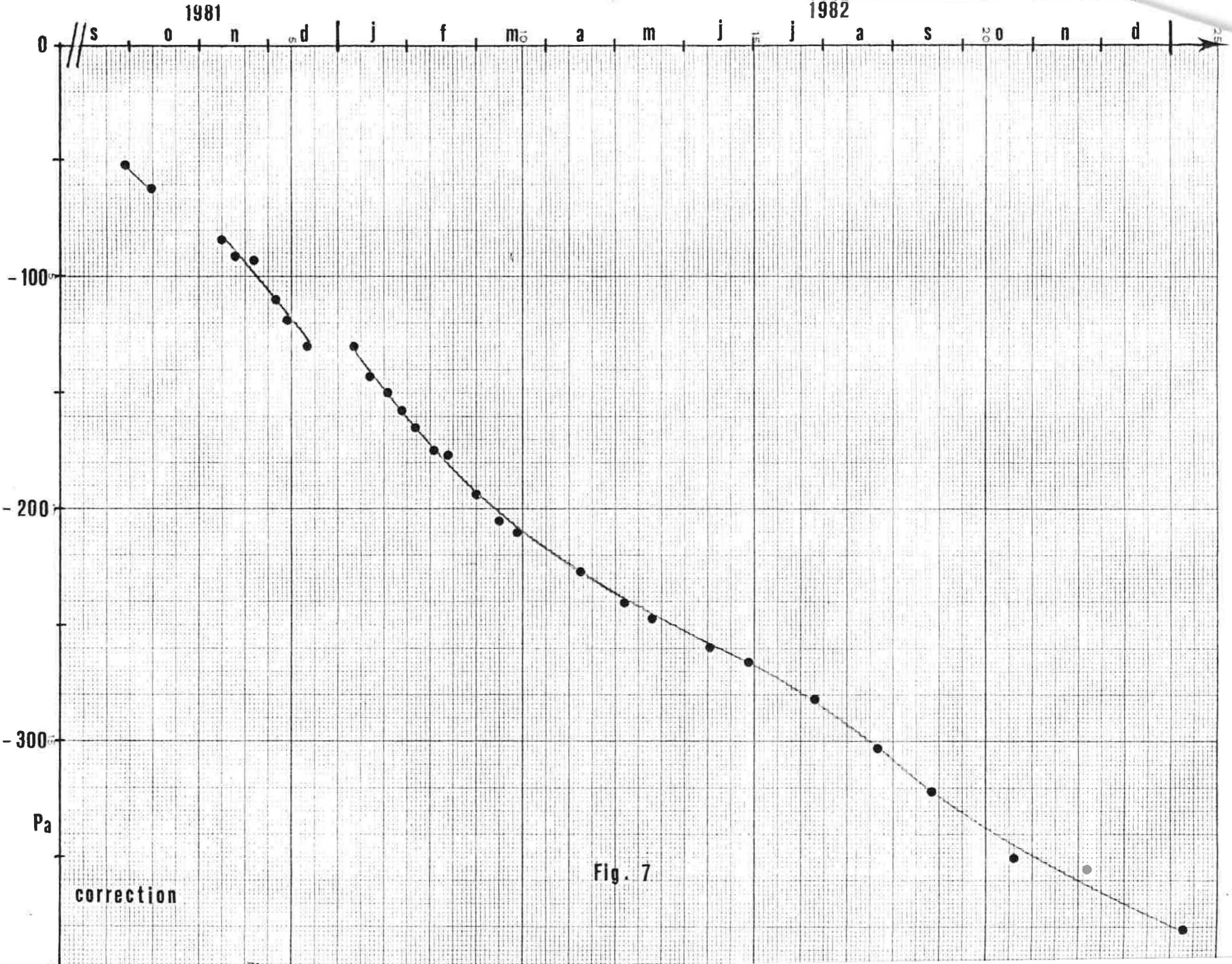

Fig. 7