



## BREVET D'INVENTION

N° 897.319

Classif. Internat.:

Mis en lecture le:

C23F/B21D

19 -01- 1984

LE Ministre des Affaires Economiques,

*Vu la loi du 24 mai 1854 sur les brevets d'invention;**Vu la Convention d'Union pour la Protection de la Propriété Industrielle;**Vu le procès-verbal dressé le 19 juillet 19 83 à 11 h. 00**au Service de la Propriété industrielle;*

## ARRÊTE :

**Article 1.** - Il est délivré à : INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE  
4 avenue de Bois Préau, 92502 Rueil Malmaison (France)

repr. par Mme. G. Saint Paul, élisant domicile chez Mme. S. Van Namens, 17 rue des Quatre Chemins, 1300 Wavre,

T.40.D  
*un brevet d'invention pour: Procédé permettant d'accroître la résistance à la corrosion fissurante d'éléments allongés tels que des armatures de conduites flexibles ou de câbles et produits ainsi obtenus,*

*qu'il déclare avoir fait l'objet d'une demande de brevet déposée en France le 19 juillet 1982, n° 82 12697*

**Article 2.** - Ce brevet lui est délivré sans examen préalable, à ses risques et périls, sans garantie soit de la réalité, de la nouveauté ou du mérite de l'invention, soit de l'exactitude de la description, et sans préjudice du droit des tiers.

*Au présent arrêté demeurera joint un des doubles de la spécification de l'invention (mémento descriptif et éventuellement dessins) signés par l'intéressé et déposés à l'appui de sa demande de brevet.*

Bruxelles, le 19 janvier 19 84  
PAR DELEGATION SPECIALE:

Le Directeur

L. WUYTS

397319

BREVET D'INVENTION

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE

PROCEDE PERMETTANT D'ACCROITRE LA RESISTANCE  
A LA CORROSION FISSURANTE D'ELEMENTS ALLONGES  
TELS QUE DES ARMATURES  
DE CONDUITES FLEXIBLES OU DE CABLES,  
ET PRODUITS AINSI OBTENUS

Invention de Bernard LE BOUCHER  
et André SUGIER

La priorité conventionnelle suivante est revendiquée =  
Demande de Brevet en France n°82 12697 du 19 JUILLET 1982

app

La présente invention concerne un procédé permettant d'accroître la résistance à la corrosion fissurante d'éléments allongés, en particulier d'éléments métalliques allongés formés par étirage à froid, ainsi que les produits obtenus par ce procédé.

5 On sait que certains métaux sont sensibles à la corrosion fissurante, lorsqu'ils sont exposés à certains milieux corrosifs aqueux, notamment des milieux aqueux contenant de l'hydrogène sulfuré en étant simultanément soumis à des contraintes de traction, leur sensibilité à la corrosion fissurante étant d'autant plus grande que ces contraintes  
10 sont plus élevées.

En particulier, ce type de corrosion se rencontre avec les aciers au carbone étirés à froid dont la dureté après étirage dépasse la valeur 22 Rockwell C, ce qui est le cas des aciers à haute teneur en carbone.

15 En revanche, les aciers d'une dureté inférieure à la valeur-limite indiquée ci-dessus ne sont pas sensibles à la corrosion fissurante en milieu aqueux contenant de l'hydrogène sulfuré.

Une composition typique d'aciers susceptibles de subir ce type de corrosion est, par exemple, : C = 0,84% ; Mn = 0,575% ; Si = 0,174%  
20 S = 0,008% ; P = 0,017%.

De tels aciers subissent un traitement de trempe dit "patentage" et sont ensuite étirés et mis en forme à froid.

Un exemple de caractéristiques mécaniques ainsi obtenues est le suivant : résistance à la traction : 1 360 MPa, limite élastiques à 0,2%  
25 1 280MPa.

Une application importante, mais non exclusive, de l'invention réside dans la protection contre la corrosion fissurante d'éléments métalliques allongés destinés à être enroulés hélicoïdalement pour former les armatures de conduites flexibles ou câbles..

AFH

L'expérience montre, en effet, que dans certaines conditions d'utilisation, notamment au contact de milieux agressifs, tels que l'eau de mer, les armatures peuvent être endommagées par la corrosion fissurante, entraînant la rupture de la conduite flexible ou du câble.

5       On connaît déjà, notamment par le brevet français 1.426.113, le brevet britannique 1.054.979 et le brevet allemand 1.227.491, des procédés pour améliorer la résistance des métaux à la corrosion, dans lesquels on soumet ces métaux à des traitements mécaniques superficiels à froid, tels que sablage, grenaillage, galetage, emboutissage, marte-  
10      lage et brunissage. L'amélioration ainsi obtenue est dûe à une mise en compression du métal (écrouissage) au voisinage de sa surface. Cependant, la profondeur de métal affectée par ces traitements reste faible et est généralement limitée à 0,1 millimètre. (Avec un grenaillage intense, on peut atteindre une épaisseur de 0,2 mm).

15      Cette profondeur de traitement obtenue par les procédés antérieurs est insuffisante, car la résistance à la corrosion fissurante ainsi obtenue sur une faible épaisseur n'empêche pas la corrosion généralisée du métal. Celle-ci détruit peu à peu la couche superficielle mise en compression par le traitement préalable et la sensibilité du  
20      métal à la corrosion fissurante réapparaît alors.

L'objet principal de l'invention est de réaliser une protection des métaux contre la corrosion fissurante sur une épaisseur nettement supérieure à celle obtenue avec les procédés antérieurs.

Le procédé selon l'invention qui permet d'accroître la résistance d'un élément allongé à la corrosion fissurante, est caractérisé en ce que l'on soumet au moins les faces principales de chaque portion de l'élément allongé devant être exposée à la corrosion, préalablement à la mise en service de cet élément, à une série de flexions dans laquelle on inverse successivement le sens de la courbure de l'élément. Cette série de flexions étant adaptée à produire dans l'élément allongé des zones de compression ayant une épaisseur au moins égale au tiers de la distance séparant, les faces principales de l'axe longitudinal de l'élément allongé.

ggf

Selon un mode particulièrement avantageux de réalisation de l'invention, on effectue ladite série de flexions en faisant défiler l'élément allongé entre des galets disposés en chicane. Si l'on considère trois galets successifs entre lesquels défile l'élément allongé, on 5 choisira  $0,02 \leq \frac{h}{d} < 0,30$  et avantageusement  $0,06 \leq \frac{h}{d} \leq 0,20$ ,  $h$  mesurant l'abaissement du point le plus bas du galet intermédiaire au-dessous du plan tangent aux deux autres galets en leur point le plus haut, et  $2d$  étant la distance séparant les centres de ces deux autres galets.

10 L'invention concerne également les produits ainsi obtenus et notamment un élément allongé métallique résistant à la corrosion fissurante présentant une distribution des contraintes internes telles que, dans une direction perpendiculaire à la paroi de cet élément, ou tout au moins aux parois principales correspondant à la plus grande dimension de la 15 section droite, de cet élément, le métal présente successivement une zone à l'état comprimé, une zone neutre, puis une zone en tension, caractérisé en ce que ledit élément a été prétraité par flexions alternées de façon que l'épaisseur de la zone de compression soit au moins égale au tiers de la distance entre la paroi et l'axe de l'élément.

20 25 L'élément allongé peut être éventuellement redressé soit par simple passage dans les trains de galets précédemment mentionnés, soit par passage dans des dispositifs supplémentaires tels ceux décrits dans les brevets français 1.244.097 et 2.061.698, américain 3.269.007 et suisse 98121.

Des exemples de mise en oeuvre de l'invention sont décrits ci-après en se référant aux dessins annexés, où :

- la figure 1 illustre des résultats d'essais effectués sans appliquer le procédé selon l'invention,
- la figure 2 montre un type d'appareil permettant d'effectuer le traitement selon l'invention,

fff

- la figure 2A est un schéma permettant de préciser les conditions de mise en oeuvre de la présente invention,
- la figure 3 illustre les résultats obtenus après application de ce traitement mécanique préalable,
- 5 - les figures 4 et 5 montrent respectivement, à titre comparatif, des résultats obtenus lors d'un autre test avec des fils ayant subi un traitement comportant des flexions alternées de plus faible amplitude, et des fils ayant subi un simple grenaillage,
- 10 - la figure 6 montre, à titre comparatif, la répartition des contraintes dans l'épaisseur d'un fil brut et dans l'épaisseur d'un fil ayant subi divers traitements mécaniques.

Comme illustré par la figure 2, dans le procédé selon  
15 l'invention permettant d'accroître la résistance à la corrosion fissurante d'un élément allongé formé par étirage à froid, on fait défiler l'élément 1 entre des galets 2 disposés en chicane.

La figure 2 illustre schématiquement deux trains de galets successifs 3A et 3B respectivement.

20 Dans chaque train de galets, les galets 2 sont portés par des couples de bâtis (bâtis 4A, 5A et 4B, 5B). Des vérins 6A et 6B permettent de rapprocher les bâtis 4A et 4B des bâtis 5A et 5B respectivement.

ggf

Plus particulièrement, le traitement préalable selon l'invention pourra être réalisé en faisant défiler l'élément allongé entre des galets disposés en chicane tels que, si l'on considère trois galets successifs, on ait :  $0,02 < \frac{h}{d} < 0,30$ ,  $h$  mesurant l'abaissement du point 5 le plus bas du galet intermédiaire au-dessous du plan P tangent aux deux autres galets en leur point le plus haut, et  $2d$  étant la distance séparant les axes de ces deux autres galets (Fig. 2A).

On choisira avantageusement  $0,06 < \frac{h}{d} < 0,20$ .

Comme représenté sur la figure 2, il pourra être avantageux de faire suivre le premier train 3A de galets en chicane réalisant le traitement selon l'invention, d'un second train de galets 3B, dans lequel le rapport  $\frac{h}{d}$  est en général plus faible (par exemple de l'ordre de 0,005 à 0,08), le train 3B constituant alors un train de finition réalisant un redressement du fil, de façon que le fil sorte sensiblement rectiligne de ce second train de galets.

Dans chaque train de galets A et B, le rapport  $\frac{h}{D}$  pourra être sensiblement constant, ou être réglé de façon, par exemple, à être croissant de l'entrée vers la sortie du train de galets, tout en restant dans les limites fixées ci-dessus.

Si nécessaire, on effectuera plusieurs passages de l'élément 20 à travers les trains de galets, ou l'on utilisera plus de deux trains de galets en série.

ggf

La sensibilité à la corrosion fissurante d'éléments métalliques allongés est appréciée de la façon suivante : l'élément allongé est placé de façon à reposer sur deux points d'appui fixes, tandis qu'un troisième point d'appui, placé entre les deux premiers, peut être déplacé progressivement pour communiquer une courbure à l'élément allongé. La face convexe de l'élément ainsi courbé se trouve alors mise en tension. .  
 5 La tension n'est pas mesurée réellement : on se contente de noter la flèche  $f$  prise par l'élément allongé. Cette flèche est exprimée en millimètres ; les deux points d'appui extrêmes étant, par exemple, distants de 100 mm.  
 10

L'élément étant ainsi placé sous tension, on l'immerge dans de l'eau de mer synthétique désaérée préparée suivant la norme ASTM D 1141 et saturée d'hydrogène sulfuré. On opère à 16-20°C et on note le temps  $t$  en heures au bout duquel la fissuration se produit.

15

TEST N° 1

Ce test est réalisé sur des éléments qui n'ont pas été soumis au traitement selon l'invention (fils bruts). Ces éléments sont des fils plats d'acier dont la section droite est rectangulaire, de dimensions 6 X 3 mm.

20

La figure 1 montre les résultats obtenus : les cercles noirs correspondent à des fils bruts rompus et les autres à des fils bruts non rompus.

25

Pour des flèches supérieures à 7 mm les éléments se fissurent en quelques heures. Pour les flèches inférieures la durée de vie augmente rapidement et on note que pour des flèches de 5 mm des éléments ne sont pas rompus au bout de 100 heures. La durée de vie indéfinie doit se situer vers des flèches un peu inférieures à 5 mm. Il s'agit d'un acier à 0,78 % de carbone dont les caractéristiques sont les suivantes : charge de rupture 1 485 MPa, limite élastique à 0,2 % 1 280 MPa. La flèche 5 mm correspond à peu près à 74 % de la limite élastique. La durée de vie indéfinie serait donc obtenue vers 70 % de la limite élastique.

GPP

# OPTION 10

## AMELIORATION DE LA RESISTANCE DES FILS PAR APPLICATION DU PROCEDE SELON L'INVENTION

### TEST N° 2

On fait passer les éléments allongés 1 identiques à ceux utilisés dans le test N° 1 dans un appareil capable de leur faire subir en continu par défilement, une série de flexions en sens opposés grâce à des éléments de déformation et de guidage 2 (galets) disposés en chicane, comme illustré sur la figure 2. ( $\frac{h}{d} = \text{constante} = 0,18$  dans le premier train 3A de galets et  $\frac{h}{d}$  variant de la valeur 0,06 à l'entrée à la valeur 0,03 à la sortie dans le second train 3B de galets).

Lors de ce traitement, les éléments allongés 1 sont disposés de façon que leurs faces principales, correspondant à la plus grande dimension de leur section droite, soient au contact des galets.

Après ce traitement, la résistance des éléments allongés est nettement accrue, comme le montre la figure 3 où les cercles noirs représentent des fils rompus et les autres cercles des fils non rompus.

La durée de vie indéfinie serait encore conservée pour des flèches atteignant presque 10 mm, ce qui correspond à une contrainte à peu près égale à 100 % de la limite élastique.

20

### TEST N° 3

La figure 4 donne les résultats obtenus pour un élément identique à ceux utilisés dans les tests N° 1 et 2, après passage dans un appareil tel que décrit dans le test N° 2, mais avec un rapport  $\frac{h}{d} = 0,015$  dans le premier train et  $\frac{h}{d} = 0,004$  dans le deuxième train. On note une légère amélioration par rapport au test N° 1 la durée de vie indéfinie serait conservée pour des flèches atteignant 6 mm, dont très inférieures à celles atteintes dans le test N° 2.

MM

TEST N° 4

La figure 5 donne les résultats obtenus pour un élément identique à celui du test N° 1, mais ayant subi un grenaillage d'intensité 12 Almen A sur les deux faces principales. On note une légère amélioration 5 par rapport au test N° 1, la durée de vie indéfinie serait conservée comme dans le test N° 3 pour des flèches atteignant 6 mm environ, donc très inférieures à celles atteintes dans le test N° 2.

La figure 6 montre, à titre comparatif, la répartition des contraintes dans l'épaisseur d'un fil brut, dans celle d'un fil soumis 10 à un simple grenaillage et dans des fils ayant subi un traitement par flexions alternées.

Un fil plat d'acier à 0,84 % de carbone (dimensions de la section droite 6 X 3 mm) a été préparé par patentage (trempe spéciale) de fil machine.

15 On détermine les contraintes dans le fil en fonction de la distance à la surface du fil, la valeur S de la contrainte mesurée étant exprimée en Megapascal et portée en ordonnée sur le graphique (valeur positive pour une contrainte de tension et négative pour une contrainte de compression) et l'abscisse d représentant la profondeur dans le métal 20 (en mm) comptée à partir de la surface du fil, vers son axe longitudinal de symétrie X'X.

La méthode utilisée pour déterminer les contraintes dans le fil a été la méthode dite "de la flèche", ou "curvature method", bien connue des spécialistes de la métallurgie et décrite par exemple dans le 25 numéro 31 de septembre 1977, pages 12 et suivantes, du bulletin trimestriel "Les Mémoires Techniques du C. E. T. I. M.", édité par le Centre Technique des Industries Mécaniques.

La courbe 9 de la figure 6 montre que dans un fil brut la couche superficielle est en tension, tandis que les contraintes de compression se rencontrent à cœur. 30

On fait subir à ce même fil un grenaillage d'intensité 12 Almen A sur les deux faces principales. On voit sur la figure 6 (courbe 10) que des contraintes de compression ont été induites dans le métal jusqu'à une profondeur de 0,2 millimètre à partir de sa surface externe.

5           On a également pratiqué sur un autre échantillon du même fil un traitement mécanique de flexions alternées selon l'invention en le faisant défiler entre deux trains de sept galets disposés en chicane, le rapport  $\frac{h}{d}$  dans le premier train est constant et égal à 0,18 et varie de 0,06 à l'entrée du deuxième train de galets à 0,03 en sortie. Les galets 10 ont 52 cm de diamètre, h mesure l'abaissement du point le plus bas du galet intermédiaire au-dessous du plan tangent aux deux autres galets en leur point le plus haut, et 2d est la distance séparant les centres de ces deux autres galets.

La courbe 11 de la figure 6 montre que le traitement selon 15 l'invention a permis de créer des contraintes de compression dans le métal sur une épaisseur de près de 1,1 millimètre à partir de chaque face de ce fil plat de 3 millimètres d'épaisseur, c'est-à-dire, dans une zone représentant plus des  $\frac{2}{3}$  de l'épaisseur du fil, les contraintes de traction se trouvant reportées à cœur, au voisinage immédiat de 20 l'axe de symétrie X'X.

Le fil ainsi traité selon l'invention présente une grande résistance à la corrosion fissurante.

Un autre échantillon du même fil a été soumis à un traitement mécanique de flexions alternées en dehors des limites  $\frac{h}{d}$  définies plus 25 haut. Le rapport  $\frac{h}{d}$  dans le premier train de galets a été fixé à 0,015 dans le premier train de galets et à 0,004 dans le deuxième train de galets. La courbe 12 de la figure 6 montre que ce traitement n'a permis de créer des contraintes de compression que sur une épaisseur de 0,2 mm à partir de ce fil plat de 3 millimètres d'épaisseur.

gfp

## R E V E N D I C A T I O N S

---

1. - Procédé permettant d'accroître la résistance d'un élément allongé à la corrosion fissurante, caractérisé en ce que l'on soumet au moins les faces principales de chaque portion de l'élément allongé devant être exposée à la corrosion, préalablement à sa mise en service, à une série de flexions dans laquelle on inverse successivement le sens de la courbure de l'élément, ladite série de flexions étant adaptée à produire dans l'élément allongé des zones de compression ayant une épaisseur au moins égale au tiers de la distance séparant desdites faces l'axe longitudinal dudit élément allongé.
- 5 10 2. - Procédé selon la revendication 1, suivant lequel on effectue ladite série de flexions en faisant défiler l'élément allongé au moins dans un premier train de galets disposés en chicane, caractérisé en ce que, si l'on considère trois galets successifs entre lesquels défile l'élément allongé, on a
- 15 
$$0,02 \leq \frac{h}{d} \leq 0,30$$
 h mesurant l'abaissement du point le plus bas du galet intermédiaire au-dessous du plan tangent aux deux autres galets en leur point le plus haut, et  $2d$  étant la distance séparant les centres de ces deux autres galets.
- 20 3. - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le rapport  $\frac{h}{d}$  est compris entre 0,06 et 0,20.
4. - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on fait défiler l'élément allongé successivement à travers ledit premier train de galets disposés en chicane, puis à travers au moins un second train 25 de galets disposés en chicane dans lequel le rapport  $\frac{h}{d}$  est plus faible que dans le premier train de galets.

5. - Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comporte au moins un second train de galets dans lequel le rapport  $\frac{h}{d}$  est compris entre 0,005 et 0,08.



6. - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on fait défiler l'élément allongé à travers au moins un train de galets dans lequel le rapport  $\frac{h}{d}$  est sensiblement constant.

7. - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on fait 5 défiler l'élément allongé à travers au moins un train de galets dans lequel le rapport  $\frac{h}{d}$  croît de l'entrée à la sortie du train de galets.

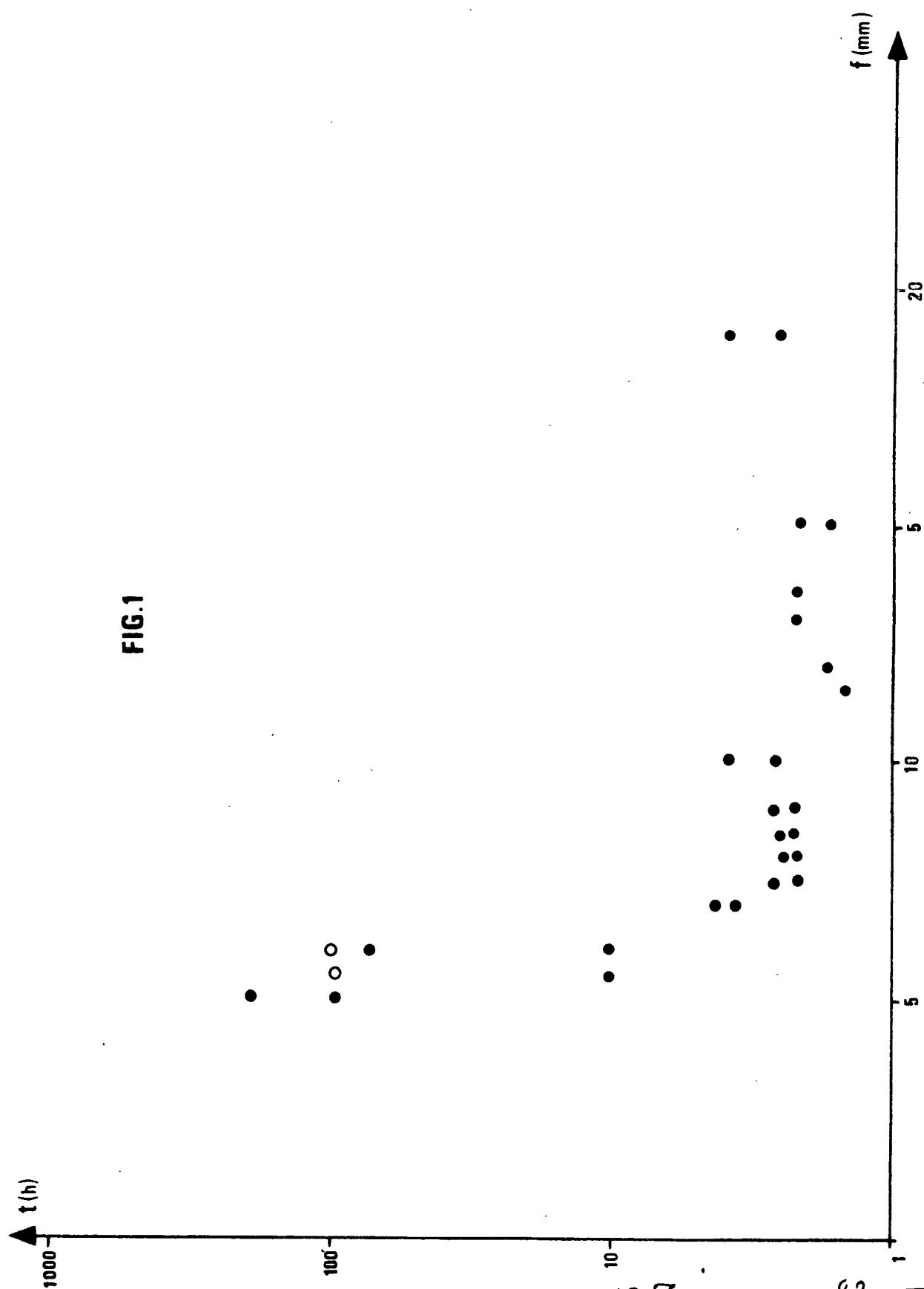
8. - Elément allongé métallique résistant à la corrosion fissurante, présentant une distribution des contraintes internes telles que, dans une direction perpendiculaire à la paroi de cet élément, ou tout au moins aux parois principales correspondant à la plus grande dimension de la 10 section droite de cet élément, le métal présente successivement une zone à l'état comprimé, une zone neutre, puis une zone en tension, caractérisé en ce que ledit élément a été prétraité par flexions alternées de façon que l'épaisseur de la zone de compression soit au moins égale au tiers de la distance entre la paroi et l'axe de l'élément.

Le 13 Juillet 1983

L. Saint Paul

897319

PL-1-5



13 Juillet 1983

of Saint Paul

897319

PL.II.5

FIG.2

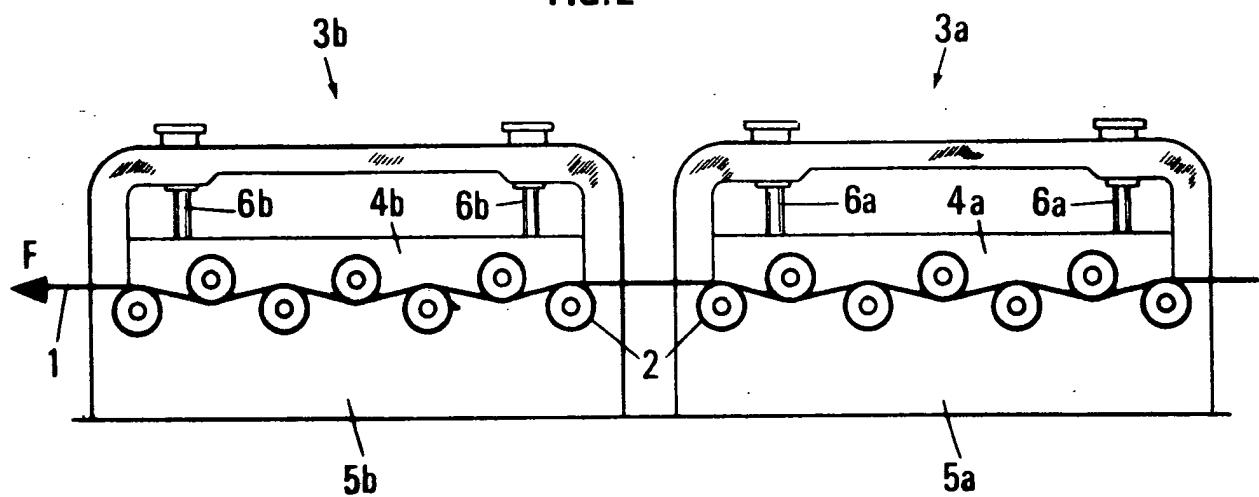
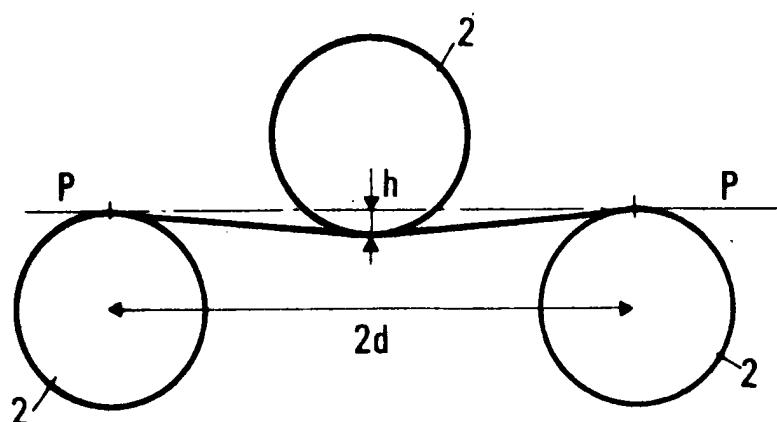


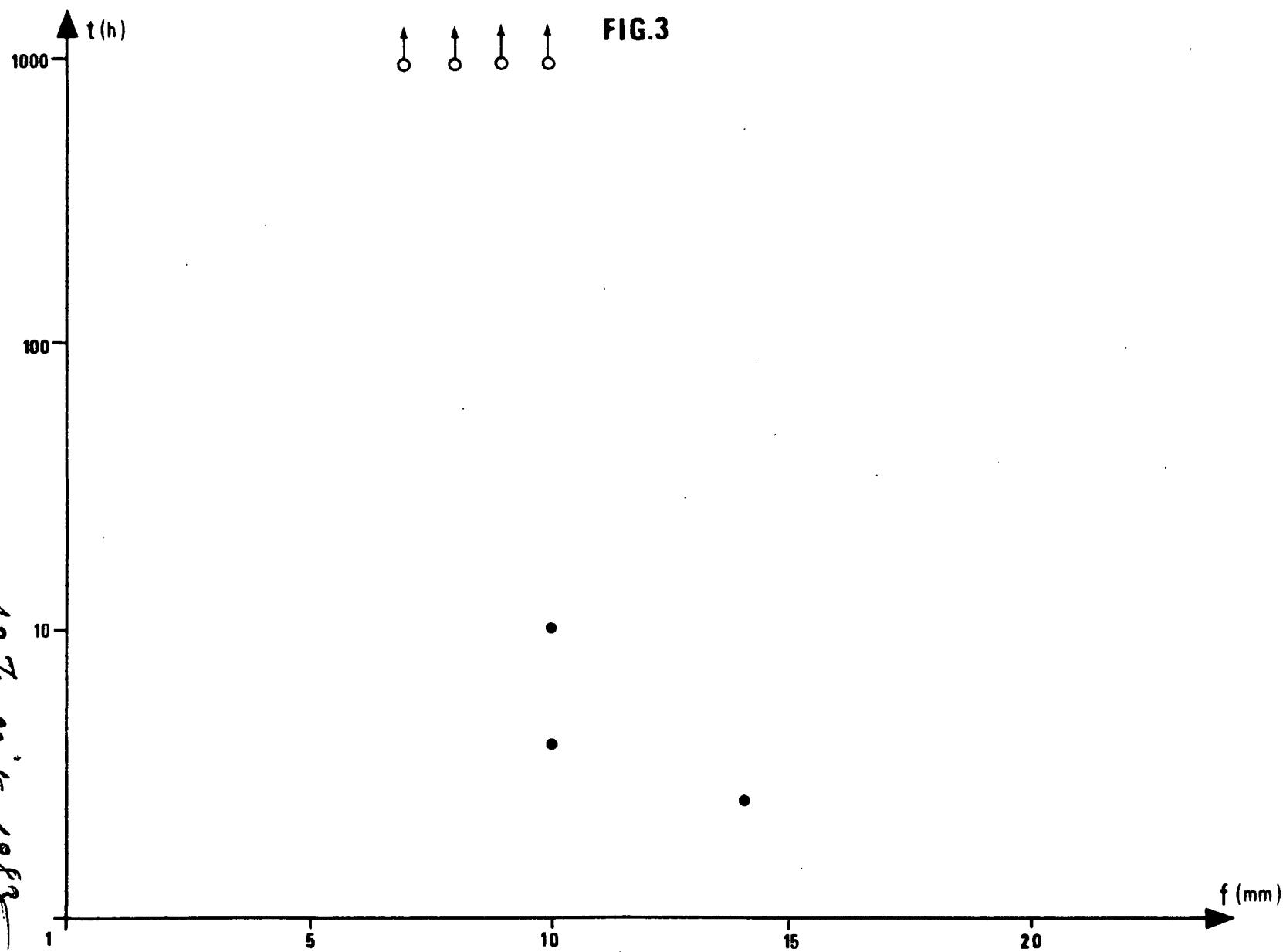
FIG.2A



13 Juillet 1988  
G. Saettlau

33210

PL.III.5



13 Juillet 1983  
G. Sauvageau

PL IV 5

332610

FIG.5

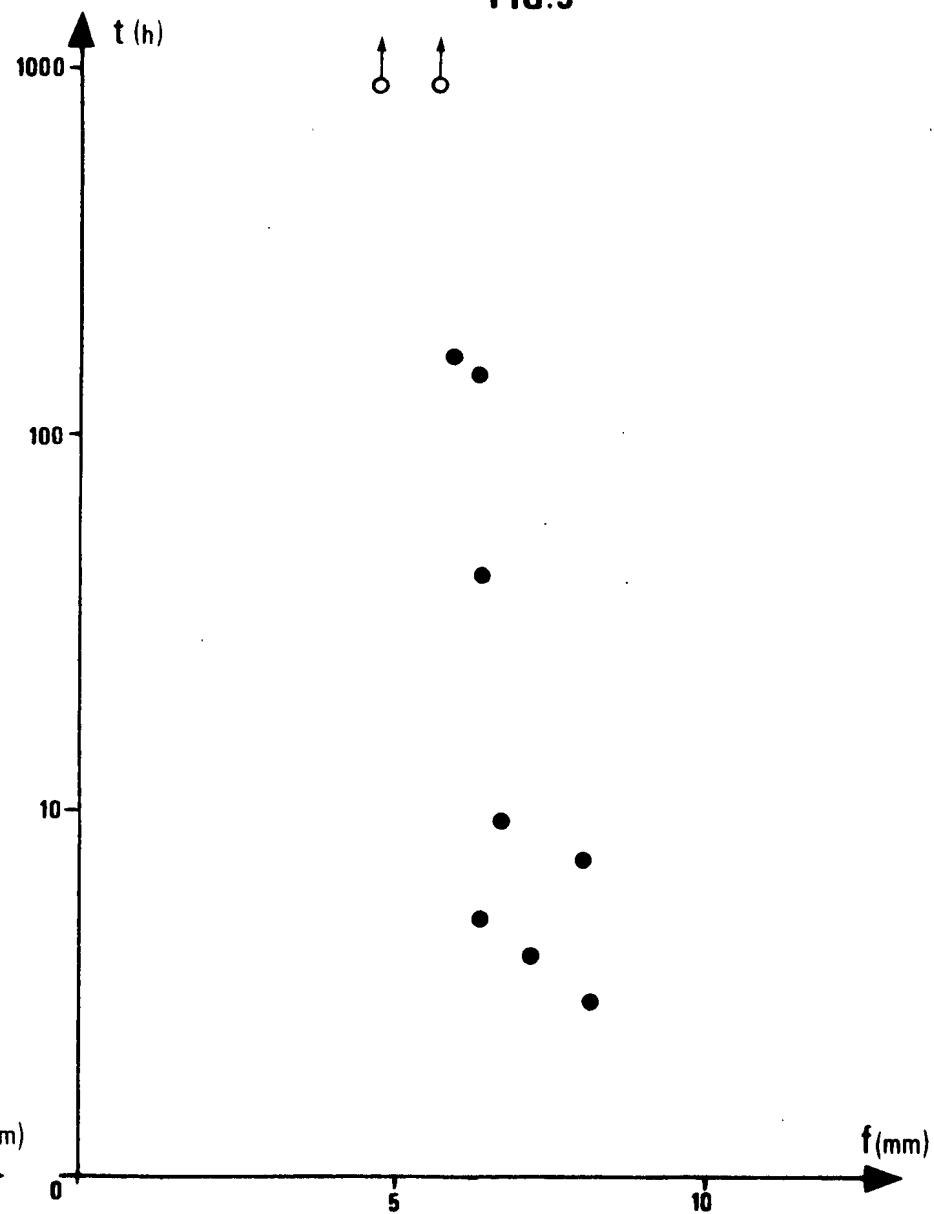
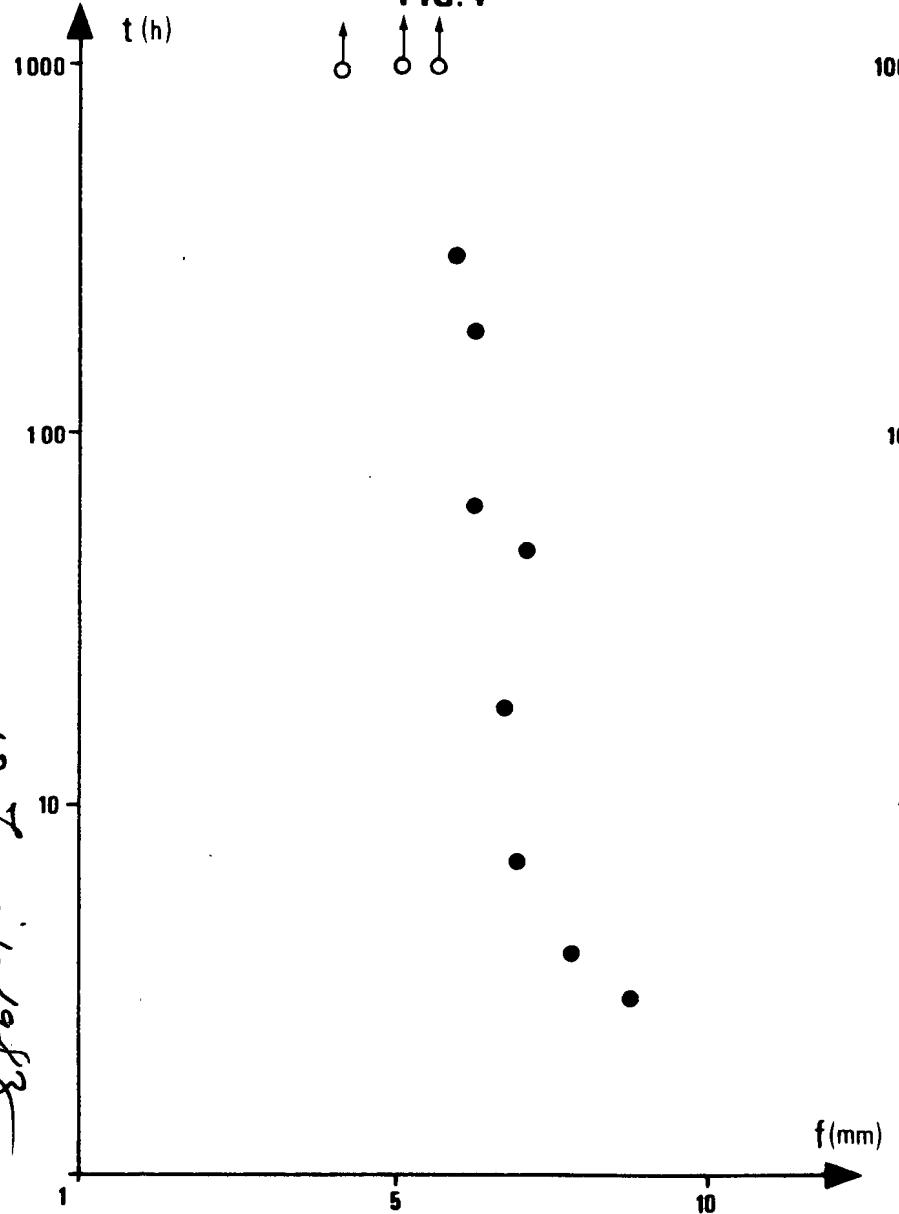


FIG.4

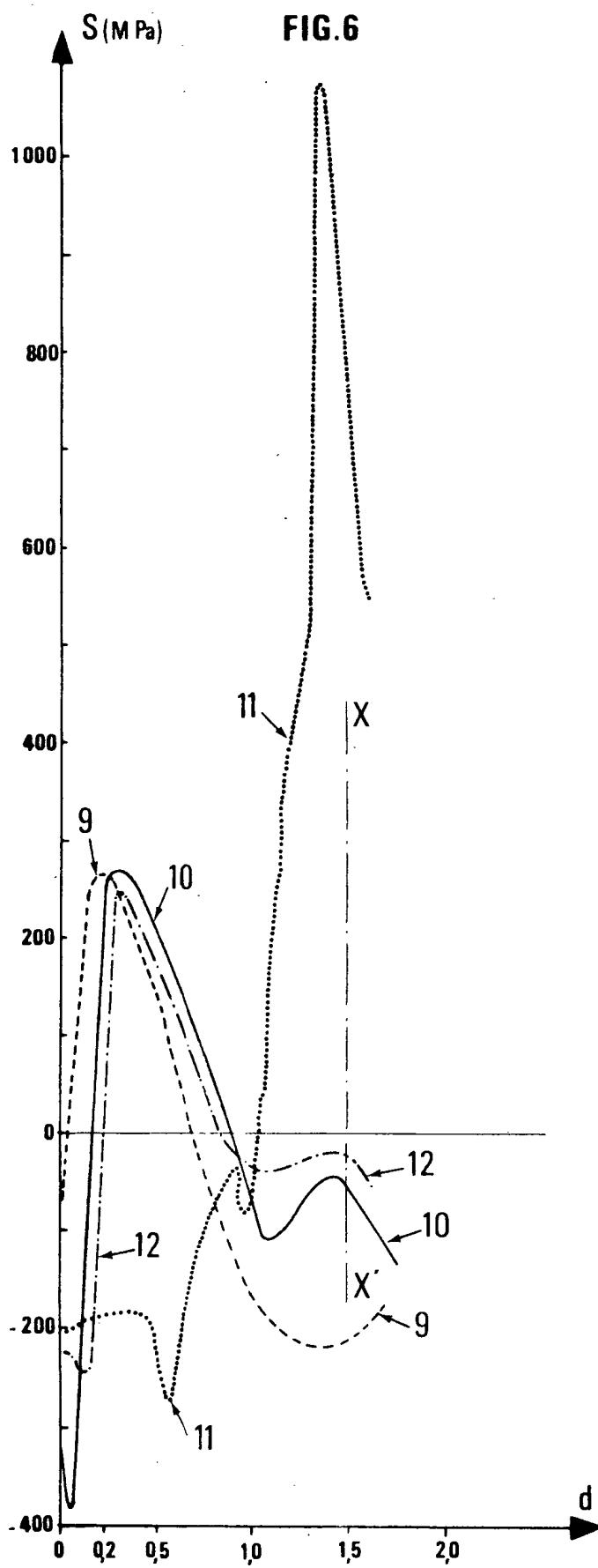


13 Februar 1983

R. Ganssmuller

0007010

PL\_V\_5



13 Juillet 1988  
G. Saint Paul