

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 5 avril 1983.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOP « Brevets » n° 41 du 12 octobre 1984.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE, or-
ganisme professionnel.* — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Robert Sugier.

⑦3 Titulaire(s) :

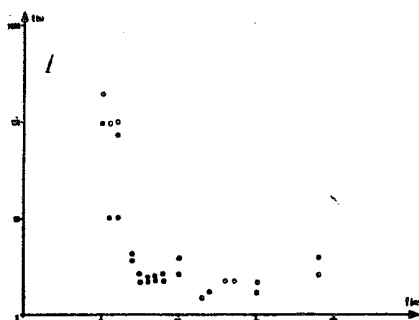
⑦4 Mandataire(s) :

⑤4 Nouveau 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.

⑤7 Procédé permettant d'accroître la résistance à la corro-
sion fissurante d'éléments métalliques allongés.

Ce procédé 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 sa mise en
service, à une série de flexions résultant d'une succession
d'étapes d'enroulement et d'étapes de déroulement en alter-
nance, ou d'une succession d'étapes d'enroulement dans un
sens et dans l'autre alternativement.

Application à la protection des armatures de conduites
flexibles ou câbles vis-à-vis de la corrosion fissurante.



- 1 -

la présente invention concerne un procédé permettant d'accroître la résistance à la corrosion fissurante d'éléments métalliques 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 sont plus élevées.

10

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.

20

Une composition typique d'aciers susceptibles de subir ce type de corrosion est, par exemple, : C = 0,84 % ; Mn = 0,575 % ; Si = 0,174 %
S = 0,008 % ; P = 0,01 %.

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

- 2 -

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

- 5 Une application importante, mais non exclusive, de l'invention réside dans la protection contre la corrosion fissurante d'éléments métalliques allongés destinés à être enroulé hélicoïdalement pour former les armatures de conduites flexibles ou câbles.
- 10 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.
- 15 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, martelage et
- 20 brunissage. L'amélioration ainsi obtenue est due 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).

25

- 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
- 30 compression par le traitement préalable et la sensibilité du 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
- 35 supérieure à celle obtenue avec les procédés antérieurs.

- 3 -

- 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
- 5 mise en service de cet élément, à une série de flexions résultant d'une succession d'étapes d'enroulement et d'étapes de déroulement en alternance ou par une succession d'étapes d'enroulement dans un sens et dans l'autre alternativement.
- 10 Selon un mode particulièrement avantageux de réalisation de l'invention, on effectue ladite série de flexions en enroulant successivement l'élément allongé sur des tambours disposés en série et ayant des sens de rotation opposés d'un tambour au suivant, ces tambours comportant aux moins deux tambours successifs de diamètres compris entre 100 et
- 15 1000 mm.

- 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,
- 20 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 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 une
- 25 succession d'étapes d'enroulement et d'étapes de déroulement/^{en alternance}, ou par une succession d'étapes d'enroulement dans un sens et dans l'autre alternativement, 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.

30

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,
- 35 - La figure 2 montre un type d'appareil permettant d'effectuer le traitement selon l'invention,

- 4 -

- la figure 3 illustre les résultats obtenus après application de ce traitement mécanique préalable,
- 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 rayon de courbure et des fils ayant subi un simple grenaillage,
- 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.

Dans le procédé selon l'invention, on fait enrouler l'élément 1 alternativement dans un sens et dans l'autre sur des tambours de façon à créer des contraintes de compression sur les deux faces.

La figure 2 illustre schématiquement les tambours et les enroulements alternés réalisés.

Plus particulièrement, le traitement préalable selon l'invention pourra être réalisé en enroulant d'abord l'élément allongé, dans un sens, sur un premier tambour 2a de diamètre ϕ_1 puis dans l'autre sens sur un deuxième tambour 2b de diamètre ϕ_2 tel que $100\text{mm} \leq \phi_2 = \phi_1 \leq 500\text{mm}$.

A la sortie du deuxième tambour l'élément sera enroulé, dans un sens, sur un troisième tambour 2c de diamètre $500\text{mm} \leq \phi_3 \leq 1000\text{mm}$, puis éventuellement sur un quatrième tambour 2d de diamètre $400\text{mm} \leq \phi_4 \leq 1000\text{mm}$ et tels que $\phi_3, \phi_4 > \phi_1, \phi_2$.

Si nécessaire on pourra faire plusieurs enroulements successifs sur les tambours.

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 mis en tension.

- 5 -

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 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 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

20 6 x 3 mm.

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

30 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

35 élastique.

TEST 2

On fait passer les éléments allongés identiques à ceux utilisés dans

40 le test n° 1 dans un appareillage où ils subissent un enroulement

- 6 -

sur quatre tambours successifs, comme illustré sur la figure 2
($\phi_1 = \phi_2 = 200$ mm et $\phi_3 = \phi_4 = 500$ mm).

Lors de ce traitement les éléments allongés 1 sont disposés de façon
5 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
10 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.

15

TEST 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
20 tel que décrit dans le test N° 2, mais avec des tambours tels que
 $\phi_1 = \phi_2 = 600$ mm et $\phi_3 = \phi_4 = 1\ 100$ mm. On note une légère amélioration
par rapport au test n°1. La durée de vie indéfinie serait con-
servée pour des flèches atteignant 6 mm, donc très inférieures à celles
atteintes dans le test N° 2.

25

TEST 4

La figure 5 donne les résultats obtenus pour un élément identique à
celui du test N° 1, mais ayant subi un grenailage d'intensité 12 Almen
30 A sur les deux faces principales. On note une légère amélioration par
rapport au test N° 1; la durée de vie indéfinie serait conservée comme
dans le test N° 4 pour des flèches atteignant 6 mm environ, donc très
inférieures à celles atteintes dans le test N° 2.

35 La figure 6 montre, à titre comparatif, la répartition des contraintes
dans l'épaisseur d'un fil brut, dans celle d'un fil soumis à un simple

- 7 -

grenailage et dans des fils ayant subi un traitement par flexions alternées selon la figure 2.

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.

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 Mégapascal 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 (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 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 3 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 coeur.

On fait subir à ce même fil un grenailage d'intensité 12 Almen A sur les deux faces principales. On voit sur la figure 6 (courbe 4) que des contraintes de compression ont été induites dans le métal jusqu'à une profondeur de 0,15 millimètres à partir de sa surface externe.

On a également pratiqué sur un autre échantillon du même fil un traitement mécanique dans l'appareillage représenté figure 2 et en réalisant un enroulement dans les conditions définies dans le test N° 2, c'est-à-dire $\phi_1 = \phi_2 = 200$ mm et $\phi_3 = \phi_4 = 500$ mm.

- 8 -

La courbe 5 de la figure 6 montre que le traitement selon l'invention a permis de créer des contraintes de compression dans le métal sur une épaisseur de près de 0,7 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 $\frac{2}{5}$ de l'épaisseur du fil, les contraintes de traction se trouvant reportées à coeur.

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

10

Un autre échantillon du même fil a été soumis à un traitement mécanique dans l'appareillage représenté figure 2, mais en réalisant un enroulement dans les conditions définies dans le test N° 3 c'est-à-dire $\phi_1 = \phi_2 = 600$ mm et $\phi_3 = \phi_4 = 1\ 100$ mm.

15

La courbe 6 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.

REVENDICATIONS

=====

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
5 de flexions résultant d'une succession d'étapes d'enroulement et d'étapes de déroulement en alternance, ou d'une succession d'étapes d'enroulement dans un sens et dans l'autre alternativement.
2. - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on
10 enroule l'élément allongé successivement dans un sens et dans l'autre sur un premier et un deuxième tambours dont les diamètres (ϕ_1 , ϕ_2) sont compris entre 100 et 500 millimètres.
3. - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que les dia-
15 mètres (ϕ_1 et ϕ_2) desdits tambours sont compris entre 140 et 300 mm.
4. - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'à la sortie desdits tambours, on enroule l'élément allongé successivement dans un sens puis dans l'autre sur un troisième et un quatrième tam-
20 bour dont les sens de rotation sont opposés et dont le diamètre est compris entre 300 et 1 000 mm.
5. - Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que les diamètres desdits tambours sont compris entre 500 et 800 mm.
- 25 6. - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on enroule l'élément allongé successivement dans un sens sur un premier tambour et dans l'autre sens sur un deuxième tambour ayant sensiblement même diamètre que le premier ($\phi_1 = \phi_2$)
- 30 7. - Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'on enroule l'élément allongé dans un sens sur un troisième tambour de

- 10 -

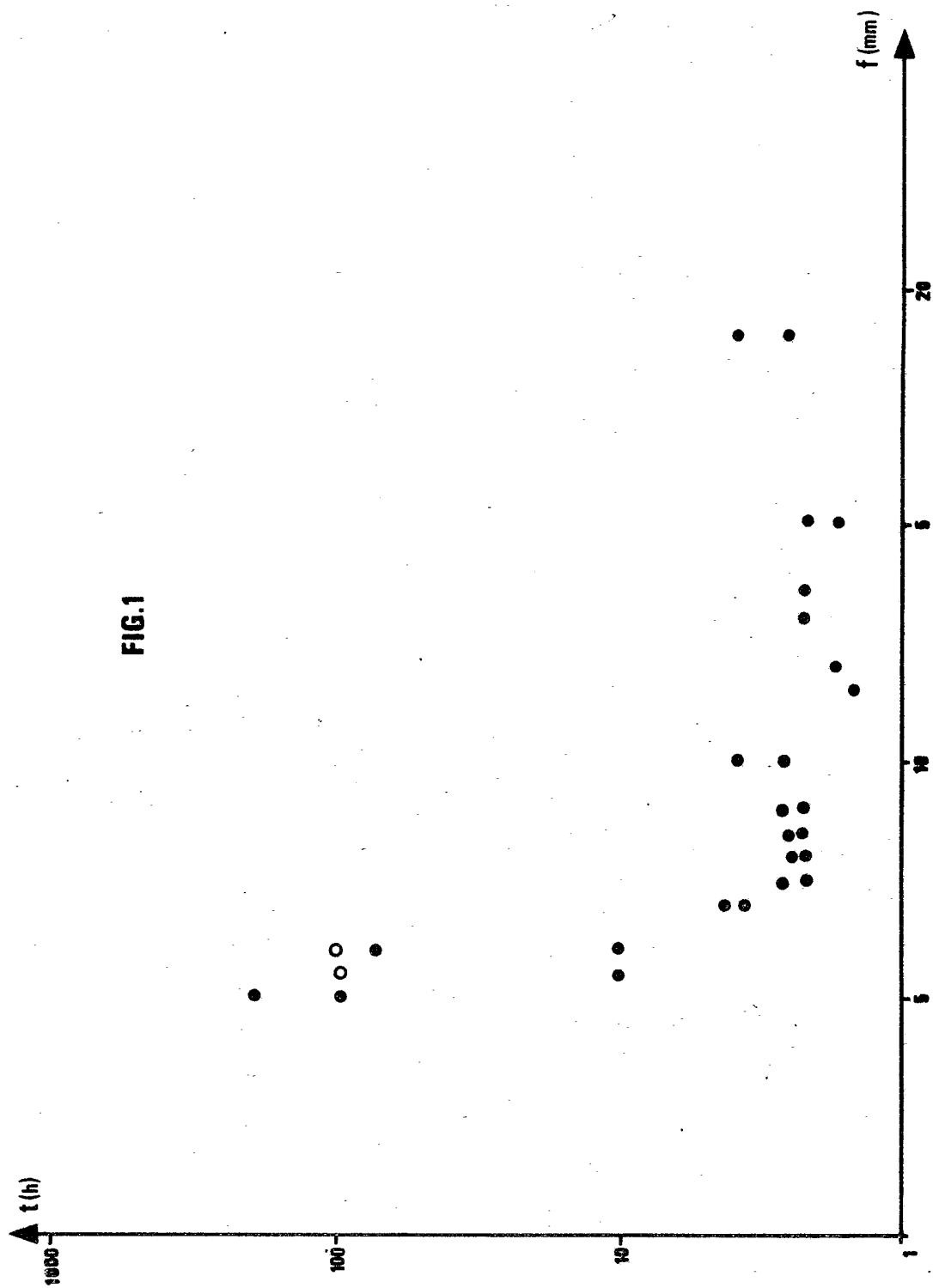
diamètre ϕ_3 et éventuellement dans l'autre sens sur un quatrième tambour de diamètre ϕ_4 tels que $\phi_4 \gg \phi_3 > \phi_1 = \phi_2$.

8. - Élément allongé métallique résistant à la corrosion fissurante, 5 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 section droite de cet élément, le métal présente successivement une zone à l'état comprimé, une zone neutre, puis une zone en tension, 10 caractérisé en ce que ledit élément a été prétraité par une succession d'étapes d'enroulement et d'étapes de déroulement en alternance ou par une succession d'étapes d'enroulement dans un sens et dans l'autre alternativement 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 15 de l'élément.

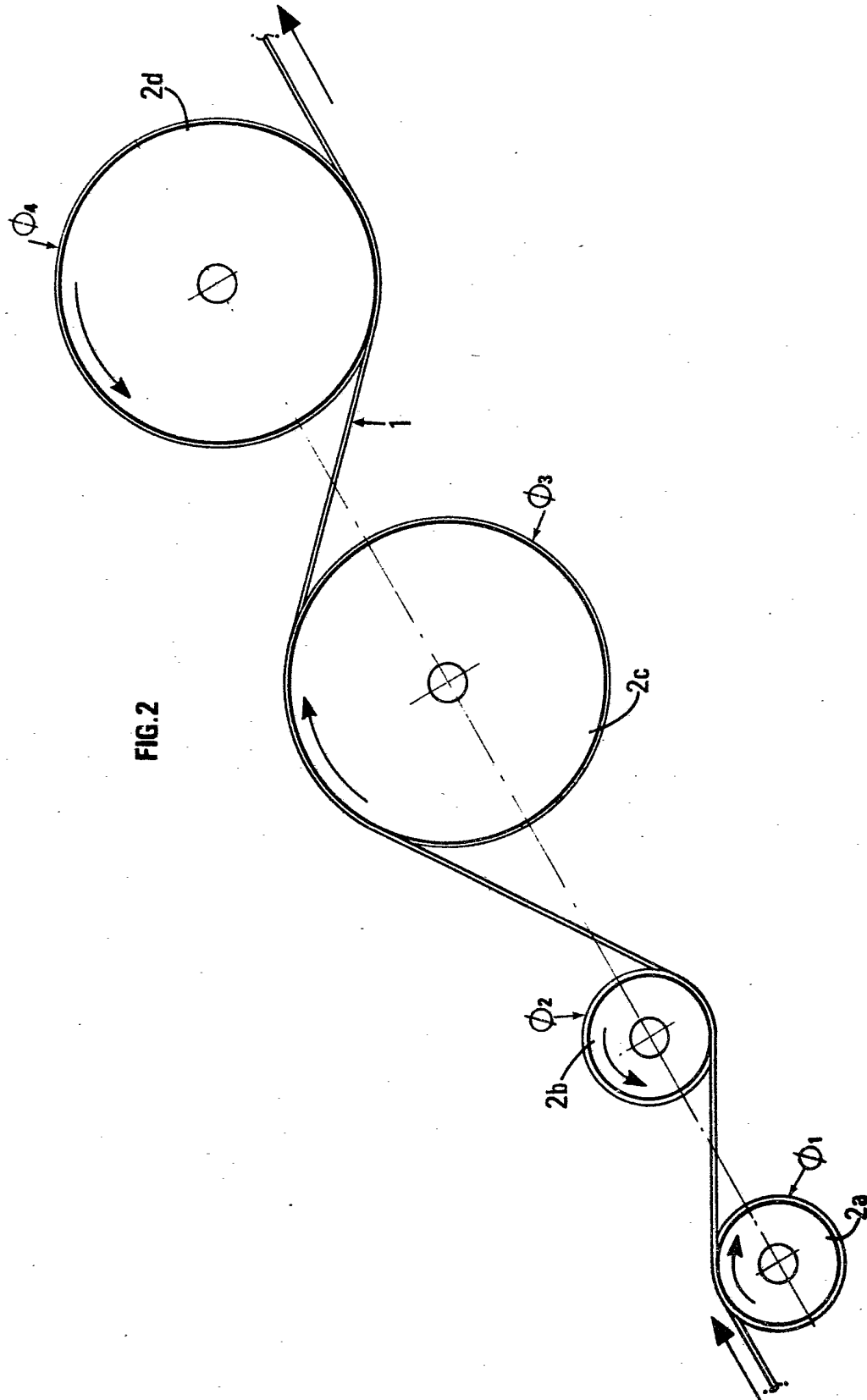
9. - Appareillage pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une succession de tambours rotatifs ayant des diamètres compris entre 100 et 1 000 millimètres 20 et des sens de rotation s'inversant d'un tambour au suivant.

10. - Appareillage selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comporte de l'entrée à la sortie de cet appareillage au moins deux tambours dont les diamètres ϕ_1 et ϕ_2 , sont compris entre 100 et 500 25 millimètres, suivis de deux tambours dont les diamètres ϕ_3 et ϕ_4 sont compris entre 400 et 1 000 millimètres et tels que $\phi_4 \gg \phi_3$.

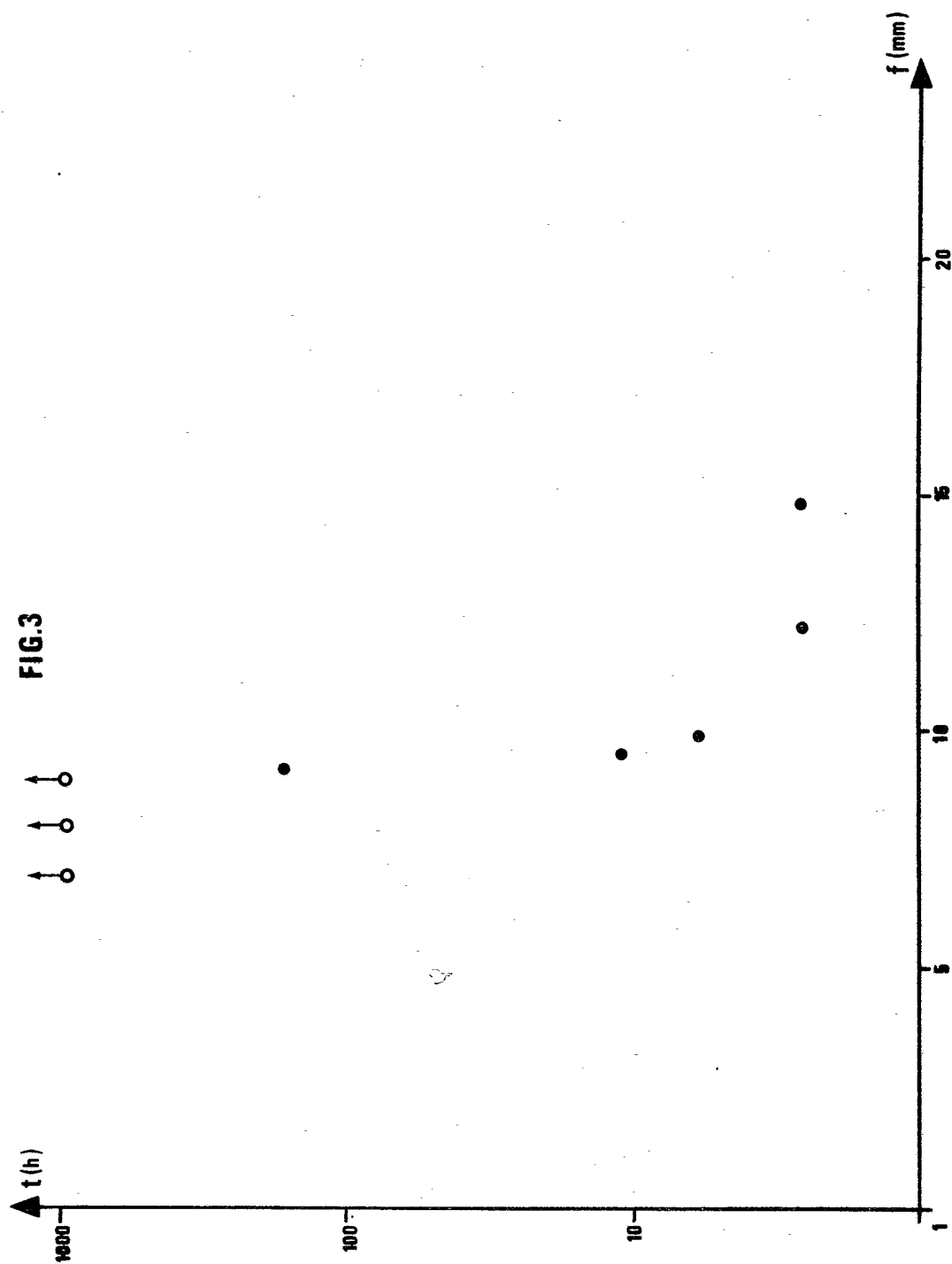
PL.I.5



PL.II.5



PL.III.5



PL IV.5

FIG.5

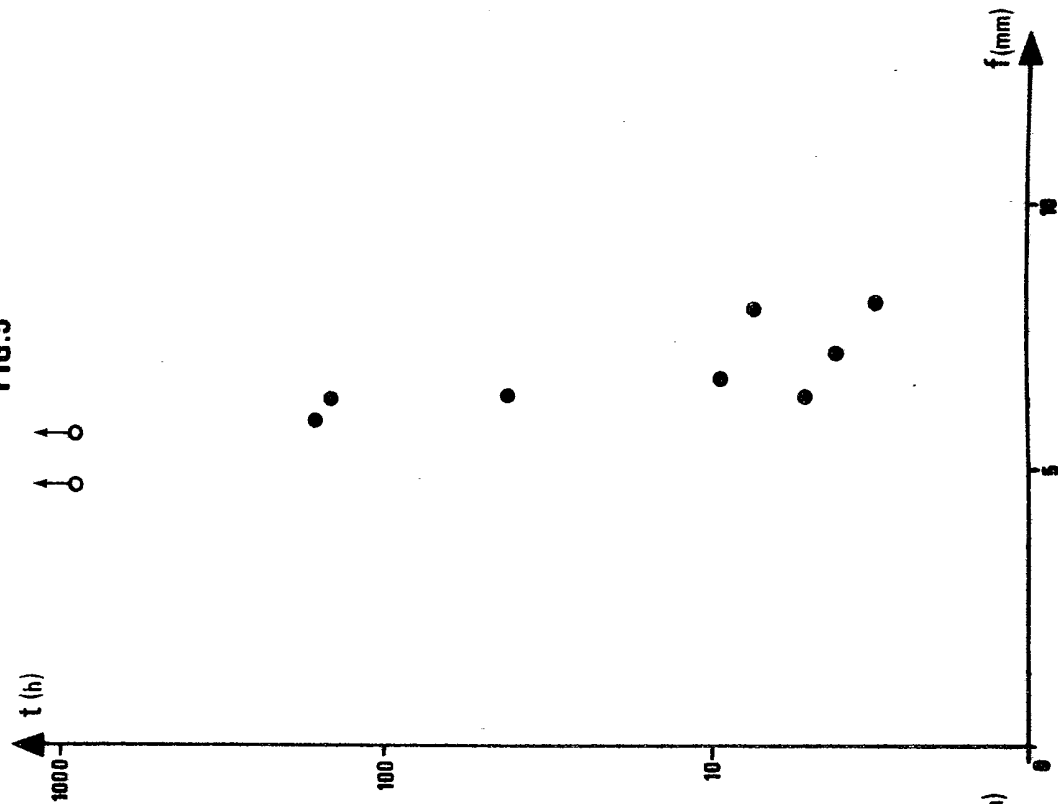
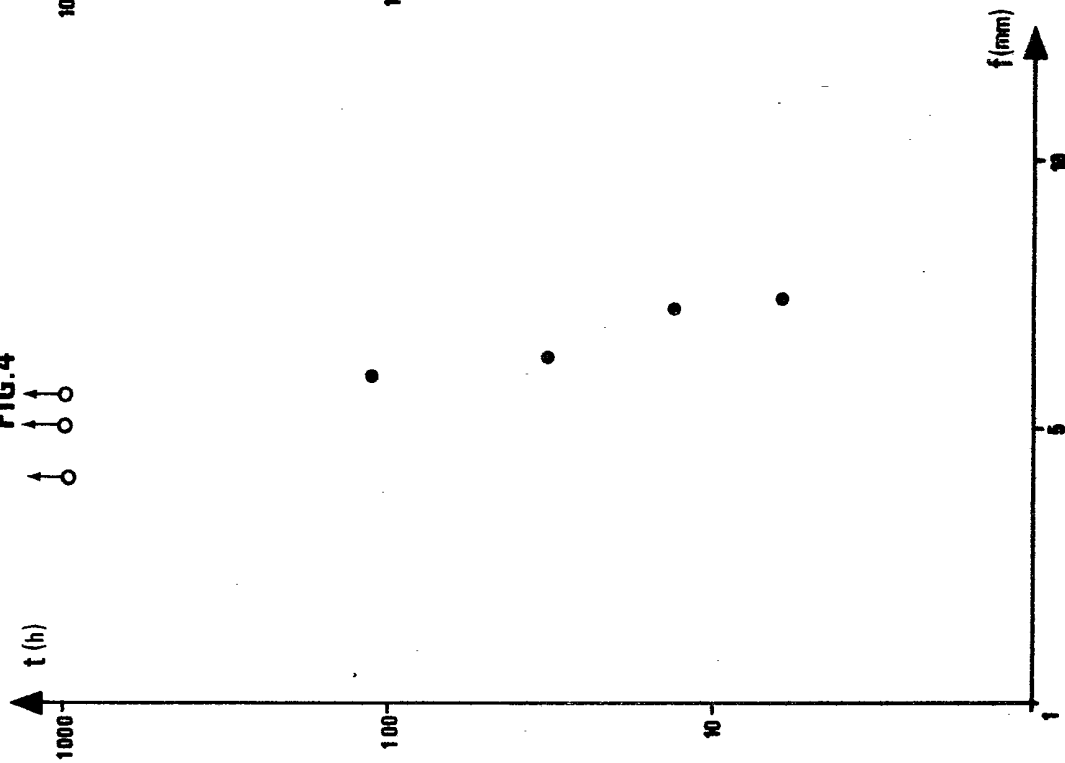


FIG.4



PL.V.5

FIG.6

