

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 18529

(54) Tuyau flexible.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). F 16 L 11/08.

(22) Date de dépôt..... 26 août 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : URSS, 27 août 1979, n° 2.780.069.

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 10 du 6-3-1981.

(71) Déposant : INSTITUT MATEMATIKI I MEKHANIKI AKADEMII NAUK AZERBAIDZHANSKOI
SSR, résidant en URSS.

(72) Invention de : Gasan Mamed Bagir Ogly Abdullaev, Faramaz Gazanfar Ogly Maxudov, Gabil
Garibkhanovich Aliev, Tofik Kyazim Ogly Ismailov, Damad Mir Sadykh Ogly Miri-Zade,
Ilgam Ali Ogly Gasanov, Yamar Akhmed Ogly Gadzhiev et Rovshan Ibrahim Ogly
Shakhmamedov.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Z. Weinstein,
20, av. de Friedland, 75008 Paris.

La présente invention concerne les conduits flexibles, et a notamment pour objet un tuyau flexible. Elle peut être utilisée avec le plus d'intérêt en présence de hautes pressions intérieures et efforts de traction axiaux élevés dans les industries du pétrole, du gaz, de traitement du pétrole, ainsi que dans les industries chimique et houillère.

Les puits qu'on exploite dans les industries du pétrole et du gaz nécessitent l'emploi de tuyaux flexibles capables de travailler en présence de hautes pressions intérieures et efforts de traction axiaux. Or, les tuyaux que l'on utilise actuellement dans ces conditions ne possèdent pas une souplesse suffisante, ce qui compromet sérieusement leur mise en oeuvre et leur transport. D'autre part, les tuyaux ayant assez de souplesse ne supportent pas les efforts de traction axiaux élevés, ce qui ne permet pas, par exemple, de les descendre dans un puits, une mine.

Le problème de la création d'un tuyau flexible capable de fonctionner en présence de hautes pressions intérieures et efforts de traction élevés, bien qu'existant depuis relativement longtemps, n'a pas jusqu'ici trouvé une solution valable.

On connaît un tuyau flexible (voir brevet USA N° 3715454) qui contient une partie intérieure de support réalisée sous forme d'anneaux cylindriques distants l'un de l'autre et reliés entre eux à l'aide de bagues à parois semi-rondes faisant un tout avec lesdits anneaux cylindriques et faisant saillie au-dessus de ceux-ci. Les bagues saillantes présentent des enfoncements coaxiaux formant au moins un évidement longeant tout le tuyau. Dans chacun des évidements est placé un fil de renforcement attaché au tuyau sur toute la longueur de celui-ci.

En fonction de la quantité de fils de renforcement, ledit tuyau peut être utilisé soit en présence uniquement d'une pression intérieure, soit en présence de cette pression et d'un effort de traction axial. Dans le second

cas, on prévoit des fils complémentaires pour équilibrer les efforts de traction axiaux provenant de l'extérieur, Toutefois, plus on ajoute de fils, plus la diminution de la souplesse du tuyau est considérable. De la sorte, le
5 tuyau en question, renforcé axialement, se distingue par la possibilité de fonctionner en présence de hautes pressions intérieures et de grands efforts de traction axiaux, par des déformations volumétriques, axiales et radiales peu importantes, par une grande durée de vie, un
10 poids spécifique élevé, une technologie compliquée de fabrication et un coût élevé.

Quand le tuyau est suffisamment renforcé axialement, sa souplesse est très faible. En plus, le tuyau ne peut pas travailler à l'état recourbé, car, dans ce cas, les fils
15 de renforcement ne sont plus uniformément chargés et la structure toute entière perd de son pouvoir porteur. Tout ceci réduit considérablement le champ d'application du tuyau considéré.

On connaît aussi un tuyau flexible (voir brevet
20 France N° 2142764) contenant un tube support intérieur en matériau élastique et une gaine protectrice extérieure entre lesquels sont placées des couches de renforcement. Chacune desdites couches de renforcement est réalisée en tresses métalliques enroulées hélicoïdalement, l'angle que
25 l'enroulement forme avec l'axe géométrique du tuyau variant suivant une relation déterminée depuis la couche de renforcement inférieure vers la couche supérieure dans une gamme de 80 à 6°.

Le tuyau qui vient d'être décrit se distingue par
30 une souplesse suffisante et sa capacité de supporter des pressions intérieures. Cependant, étant donné que, pendant le service, apparaissent de fortes déformations axiales et volumétriques, surtout dans le cas d'une pression intérieure pulsée, les fils des tresses de renforcement
35 s'usent du fait de leurs déplacements relatifs. Ceci se répercute beaucoup sur la longévité du tuyau. D'autre part, ce mode de construction du tuyau s'avère inefficace

en présence d'un effort de traction axial .

On connaît aussi un tuyau flexible (voir brevet Grande-Bretagne N° 1334025) qui comporte un tube de support intérieur en matière élastique et une gaine protectrice 5 extérieure entre lesquels sont disposées des couches de renforcement. Chacune des couches de renforcement est réalisée sous forme d'une famille de fils parallèles entre eux et enroulés en spirale, l'angle formé par l'enroulement avec l'axe géométrique du tuyau variant suivant une relation 10 déterminée depuis la couche de renforcement inférieure vers la couche supérieure dans une gamme de 80 à 6°. Chaque couche de renforcement est placée entre des couches intercalaires en tissu non métallique.

Ce tuyau est, lui aussi, suffisamment souple et 15 capable de supporter des pressions intérieures. Il est en outre d'une durée de vie plus grande que celle faisant l'objet du brevet France N° 2142764 grâce au fait que les couches de renforcement sont isolées l'une de l'autre au moyen de couches intercalaires en tissu non métallique.

20 Toutefois, le tuyau construit d'après ce modèle ne peut fonctionner qu'en présence de pressions intérieures relativement faibles, ce qui s'explique par une répartition irrégulière des sollicitations dues à la pression intérieure sur les fils de chacune des couches de renforcement. 25 D'autre part, lorsque ledit tuyau est utilisé en présence d'une pression intérieure pulsée, on voit apparaître, entre les couches, des moments non équilibrés dus à l'inégalité de charge et à l'asymétrie d'enroulement des fils formant les couches de renforcements, ce qui provoque l'usure de la couche 30 intercalaire du tissu et conduit à la destruction du tuyau.

Le tuyau ainsi conçu est inefficace en présence d'efforts de traction axiaux.

On connaît un tuyau flexible (voir brevet américain N° 3212523) qui comporte un tube de support intérieur et 35 une gaine protectrice extérieure fabriqués en matière élastique. Entre le tube et la gaine, sont disposées des couches de renforcement réalisées sous forme d'une famille

de fils parallèles entre eux et enroulés en spirale (par exemple des fils d'acier résistants). Les fils qui constituent les couches de renforcement sont enroulés en sens contraires, l'angle formé par l'enroulement avec l'axe géométrique du tuyau variant depuis la couche de renforcement inférieure vers la couche supérieure dans une gamme de 51 à 59°.

L'enroulement des fils dans ladite gamme d'angles s'explique par le fait qu'une charge égale des fils en présence d'une pression intérieure ne peut être obtenue que si l'angle d'enroulement est proche de 55°. Les écarts desdits angles par rapport à cette valeur proviennent de la variation du diamètre d'enroulement de chacune des couches de renforcement et sont fonction du nombre desdites couches de renforcement.

Chacune des couches de renforcement est placée entre des couches intercalaires en tissu non métallique, la couche intercalaire inférieure étant posée directement sur le tube de support et servant à assurer une répartition régulière des efforts apparaissant, au cours de l'utilisation du tuyau, entre la surface du tube support et les couches de renforcement.

Le tuyau qui vient d'être décrit se caractérise par la souplesse et la capacité de ne supporter que la pression intérieure. Ce mode de construction permet au tuyau de résister à des pressions intérieures assez élevées, car la charge est égale sur chacune des couches de renforcement, ce tuyau ayant aussi une durée de vie plus grande dans les conditions de pression intérieure pulsée. Ces avantages s'expliquent par le fait que les moments entre les couches sont dans une certaine mesure équilibrés grâce à l'égalité des charges et à l'enroulement presque symétrique des fils constituant les couches de renforcement.

Cependant ce tuyau est incapable de supporter les efforts de traction axiaux. Ceci provient du fait que les angles de 51 à 59° entre l'enroulement des fils et l'axe

géométrique du tuyau n'assurent pas la stabilité de la section du tuyau en cas d'efforts de traction axiaux, étant donné que des efforts importants sont transmis par les fils à la surface du tube de support. Ceci compromet l'égalité
5 des charges sur les fils constituant les couches de renforcement et a pour conséquence la destruction du tuyau.

Compte tenu du poids spécifique considérable du tuyau considéré, il est évident qu'il ne peut résister à l'effort de traction dû à son propre poids.

10 Lors de l'utilisation d'un tel tuyau en présence d'une pression intérieure pulsée, il se produit des déformations axiales, radiales et volumétriques assez grandes, ce qui réduit dans une mesure déterminée la durée de vie du tuyau.

15 L'invention vise donc un tuyau dont les couches de renforcement permettent, tout en conservant la souplesse voulue, de l'utiliser en présence simultanée d'une pression intérieure et d'un effort de traction axial.

Le problème ainsi posé est résolu en ce que le
20 tuyau flexible du type comportant un tube de support intérieur et une gaine protectrice extérieure fabriqués en matière élastique, ainsi que des couches de renforcement disposées entre ceux-ci et dont chacune se présente sous forme d'une famille de fils parallèles entre eux et
25 enroulés en spirale, et une couche intercalaire en tissu non métallique située directement sur la surface du tube de support et servant à répartir irrégulièrement les efforts apparaissant entre ledit tube de support et les couches de renforcement, est caractérisé, selon l'invention,
30 en ce qu'il possède au moins deux paires de couches de renforcement disposées directement l'une sur l'autre, chacune desdites paires étant réalisée sous forme de deux familles de fils enroulés symétriquement, l'angle d'enroulement des fils de la paire inférieure de couches de
35 renforcement par rapport à l'axe géométrique du tuyau étant plus grand que l'angle d'enroulement des fils de la paire supérieure de couches de renforcement.

Ce mode de réalisation du tuyau flexible permet de le rendre plus souple grâce à la manière dont sont disposées les paires de couches de renforcement, ainsi que de l'utiliser en présence de l'action simultanée, d'une part, 5 d'une pression intérieure élevée supportée principalement par la paire inférieure de couches de renforcement, qui présente un angle plus grand d'enroulement des fils, et d'autre part, de grands efforts de traction axiaux subis principalement par la paire supérieure de couches de 10 renforcement, présentant un angle plus petit d'enroulement des fils.

La disposition décrite des paires de couches de renforcement assure le fonctionnement du tuyau proposé en présence d'une pression intérieure pulsée. Ceci s'explique 15 par le fait qu'on obtient, dans le dispositif considéré, grâce au travail de toutes les couches de renforcement à la fois, une charge égale des fils enroulés symétriquement constituant lesdites couches de renforcement, ce qui permet d'équilibrer pratiquement complètement les moments entre 20 les couches et d'éviter ainsi le déplacement des couches de renforcement l'une par rapport à l'autre. Outre ceci, l'égalité des charges sur les fils, due au travail en commun de toutes les couches de renforcement, permet d'utiliser le tuyau proposé en présence d'une pression 25 intérieure élevée.

Le mode de construction du tuyau flexible proposé, possédant au moins deux paires de couches de renforcement, dont l'une présente un angle d'enroulement des fils, par rapport à l'axe géométrique, plus grand que l'autre, assure 30 audit tuyau, au cours de son fonctionnement, des déformations axiales, volumétriques et radiales faibles et par conséquent une durée de vie prolongée.

Le fait que le tuyau soit exempt de couches intercalaires en tissu non métallique disposées entre les 35 couches de renforcement permet de réduire le poids, l'épaisseur des parois et par conséquent le coût du tuyau.

Les valeurs maximales de la pression intérieure

et de l'effort de traction axial que le tuyau peut supporter, d'une part, et les caractéristiques géométriques et les propriétés mécaniques du matériau dont il est fait, d'autre part, obéissent aux relations suivantes :

$$\begin{aligned} N &= L_1 \left[L_1 \frac{[\sigma_1]}{E_1} - L_2 \frac{[\sigma_2]}{E_2} \right] ; \\ P &= L_1 \left[L_3 \frac{[\sigma_2]}{E_2} - L_4 \frac{[\sigma_1]}{E_1} \right] \end{aligned}$$

- dans lesquelles : P est la pression intérieure maximale;
 N, l'effort de traction axial maximal;
 L_{1-4} , les coefficients d'hétérogénéité
 structurale du tuyau, qui sont fonction de l'aire de section
 transversale du tuyau, du nombre et de l'angle d'enroulement
 des fils des paires inférieure et supérieure de couches de
 renforcement, des diamètres intérieur et extérieur du
 tuyau, du module de cisaillement et du coefficient de
 Poisson du matériau élastique;
 $[\sigma_1]$, la tension admissible des fils de la
 paire inférieure de couches de renforcement;
 $[\sigma_2]$, la tension admissible des fils de
 la paire supérieure de couches de renforcement;
 E_1 , le module d'élasticité des fils de
 la paire inférieure de couches de renforcement;
 E_2 , le module d'élasticité des fils de
 la paire supérieure de couches de renforcement.

Ceci permet, selon les valeurs de la pression
 intérieure et de l'effort de traction axial auxquelles doit
 fonctionner le tuyau, de déterminer les caractéristiques
 géométriques voulues de celui-ci et les propriétés
 mécaniques des matériaux à utiliser pour sa confection, et
 aussi, en fonction desdites caractéristiques et propriétés,
 de déterminer les valeurs maximales de la pression inté-
 rieure et de l'effort de traction axial que le tuyau
 considéré peut supporter.

Il est utile que l'angle d'enroulement des fils de la paire inférieure de couches de renforcement se situe dans une plage de 75 à 90°, celui des fils de la paire supérieure de couches de renforcement se trouvant dans la
5 gamme de 0 à 20°.

Le choix des angles d'enroulement des fils assure au tuyau la possibilité de fonctionner en présence d'efforts de traction axiaux élevés grâce à la stabilité de la section du tuyau, ceci permet aussi de réduire à un minimum
10 les déformations axiales, radiales et volumétriques au cours de l'utilisation du tuyau.

En présence de pressions intérieures élevées et/ou d'efforts de traction axiaux élevés, la variante la plus fiable est celle dans laquelle, sur la paire supérieure de
15 couches de renforcement, est disposée au pions une paire supplémentaire de couches de renforcement, l'angle d'enroulement des fils de chaque paire supplémentaire de couches de renforcement, se trouvant dans des limites de 75 à 90°, augmentant successivement, tandis que l'angle d'enroulement
20 des fils de chaque paire supplémentaire de couches de renforcement, se trouvant dans des limites de 0 à 20°, diminue successivement par rapport à l'angle d'enroulement des fils de la paire précédente de couches de renforcement se trouvant dans les mêmes limites. Le fait de modifier
25 les angles d'enroulement des fils des paires supplémentaires de couches de renforcement permet d'augmenter, en moyenne de 6%, la valeur de la pression intérieure et de l'effort de traction axial par rapport au mode de réalisation du tuyau suivant lequel on n'a pas changé les angles
30 d'enroulement des fils des paires supplémentaires de couches de renforcement.

Il est raisonnable que la valeur du décalage de l'angle d'enroulement des fils de chaque paire supplémentaire de couches de renforcement se trouve dans les limites
35 de 0,2 à 5°, la relation entre les valeurs des décalages des angles d'enroulement des fils des paires supplémentaires étant la suivante :

$$\Delta \alpha_n = (0,2 \text{ à } 0,8) \Delta \beta_n$$

où $\Delta \alpha_n$ est la valeur du décalage de l'angle d'enroulement des fils d'une paire supplémentaire de
5 couches de renforcement, ledit angle se trouvant dans les limites de 75 à 90°;

$\Delta \beta_n$ est la valeur du décalage de l'angle d'enroulement des fils d'une paire supplémentaire de couches de renforcement, ledit angle se trouvant dans des
10 limites de 0 à 20°.

Il est utile que les fils constituant les couches de renforcement soient en fibre de verre.

Ceci permet de simplifier la technique de fabrication du tuyau par rapport à ceux dont les fils sont en
15 acier, ainsi que de réduire le poids du tuyau et de le rendre plus souple.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la lumière de la description explicative qui va suivre de
20 différents modes de réalisation donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs, avec références aux dessins non limitatifs annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente une vue d'ensemble du tuyau flexible proposé, avec arrachements aux différentes
25 couches, selon l'invention;

- la figure 2 représente un exemple de réalisation d'un tuyau proposé ayant trois paires de couches de renforcement, avec arrachements aux différentes couches;

- la figure 3 représente un exemple de réalisation
30 d'un tuyau proposé ayant trois paires de couches de renforcement avec arrachements aux différentes couches;

- la figure 4 représente un exemple de réalisation d'un tuyau proposé, ayant quatre paires de couches de renforcement, avec arrachements aux différentes couches.

35 Le tuyau flexible revendiqué comporte un tube de support intérieur 1 en matériau élastique (figure 1) et une gaine protectrice extérieure 2, elle aussi en matière élastique.

Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 sont disposées au moins deux paires 3 et 4 de couches de renforcement, respectivement 5, 6 et 7, 8. Lesdites couches sont situées directement l'une sur l'autre et se présentent 5 chacune sous forme d'une famille de fils 9 parallèles entre eux, enroulés en spirale. Chacune des paires 3 et 4 de couches de renforcement 5, 6 et 7, 8 est réalisée, selon l'invention, sous forme de deux familles de fils 9, enroulés 10 symétriquement, l'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5, 6 par rapport à l'axe géométrique du tuyau étant plus grand que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7, 8. La densité d'enroulement des fils 9 dans chacune des couches de renforcement 5, 15 6, 7 et 8 est de 90% au moins. Entre le tube de support 1 et la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5, 6, se trouve une couche intercalaire 10 en tissu non métallique. Ladite couche intercalaire 10 a pour fonction de répartir régulièrement les efforts apparaissant au cours de 20 l'utilisation du tuyau, entre le tube de support 1 et les paires 3, 4 de couches de renforcement 5, 6 et 7, 8.

Les angles α_0 et β_0 d'enroulement des fils 9 peuvent être choisis à volonté, mais le plus rationnel est le mode d'exécution du tuyau dans lequel, conformément à 25 l'invention, l'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5, 6 se situe dans une plage de 75 à 90°, tandis que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure de couches de renforcement 7, 8 se situe entre 0 et 20°.

30 Les fils 9 constituant les couches de renforcement 5, 6, 7 et 8 peuvent être en n'importe quel matériau, mais pour pouvoir exploiter le tuyau en présence de hautes charges de travail, il est plus avantageux d'utiliser des fils 9 en fibre de verre.

35 Les figures 2, 3 et 4 illustrent les modes de réalisation du tuyau conformément auxquels, sur la paire supérieure de couches de renforcement, est située au moins

une paire supplémentaire de couches de renforcement.

La figure 2 montre un mode de réalisation du tuyau, objet de l'invention, qui peut être appliqué avec le plus d'efficacité en présence de pressions intérieures élevées.

- 5 Sur la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 est directement placée une paire supplémentaire 11 de couches de renforcement 12 et 13. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 par rapport à l'axe géométrique du tuyau se
- 10 trouve dans une gamme de 75 à 90° et peut être égal à l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire supplémentaire 11 de couches de renforcement 12 et 13. Cependant, il est rationnel que l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11, selon l'invention, soit supérieur de 0,2 à
- 15 5° à l'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3.

- L'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 se trouve dans des limites de 0 à 20°. Ainsi, les angles d'enroulement α_0 , α_1 , des fils 9 des paires 3 et 11 sont supérieurs à l'angle β_0
- 20 d'enroulement des fils 9 de la paire 4.

- La figure 3 illustre un mode de réalisation du tuyau, objet de l'invention, qui peut être appliqué avec le plus d'efficacité en présence d'efforts de traction axiaux élevés. Sur la paire supérieure 4 de couches de
- 25 renforcement 7 et 8 est directement placée une paire supplémentaire 14 de couches de renforcement 15 et 16. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 par rapport à l'axe géométrique du tuyau se trouve dans les limites de 75 à 90°.
- 30 L'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 se trouve dans des limites de 0 à 20° et peut être égal à l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire supplémentaire 14 de couches de renforcement 15 et 16. Cependant il est
- 35 rationnel que l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14, selon l'invention, soit inférieur de 0,2 à 5° à l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4.

Ainsi, l'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 dépasse les angles β_0 et β_1 d'enroulement des fils 9 des paires 4 et 14.

La figure 4 montre un mode de réalisation du tuyau, objet de l'invention, qui peut être appliqué avec le plus d'efficacité en présence de pressions intérieures élevées, ainsi que d'efforts de traction axiaux élevés. Sur la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8, sont placées, l'une directement au-dessus de l'autre, des paires supplémentaires 11 et 14 de couches de renforcement 12, 13 et 15, 16, respectivement. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 par rapport à l'axe géométrique du tuyau se trouve dans des limites de 75 à 90° et peut être égal à l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire supplémentaire 11 de couches de renforcement 12 et 13. L'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 se trouve dans des limites de 0 à 20° et peut être égal à l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire supplémentaire 14 de couches de renforcement 15 et 16.

Cependant, il est avantageux que l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11, selon l'invention, soit supérieur, de 0,2 à 5°, à l'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3, et que l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14, selon l'invention, soit inférieur de 0,2 à 5°, à l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4. La valeur du décalage des angles d'enroulement des fils 9 des paires supplémentaires 11 et 14 est choisie d'après la relation suivante :

$$\Delta\alpha_1 = (0,2 \text{ à } 0,8) \cdot \Delta\beta_1$$

$$\text{où : } \Delta\alpha_1 = \alpha_1 - \alpha_0$$

$$\Delta\beta_1 = \beta_0 - \beta_1$$

Le tuyau faisant l'objet de l'invention fonctionne comme suit.

En cas d'exploitation du tuyau dans des conditions de pression intérieure et d'extension axiale, la pression intérieure est transmise du tube de support 1 (figure 1) aux paires 3 et 4 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8. Cette pression intérieure est répartie uniformément par la couche intercalaire en tissu non métallique et est subie principalement par la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6. D'autre part, ladite pression intérieure est aussi supportée en partie par la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8. Cette dernière subit principalement l'effort de traction axial qui est également en partie supporté par la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6.

Dans le cas du tuyau représenté sur la figure 2, la pression intérieure est subie principalement par les paires 3 et 11 de couches de renforcement 5, 6 et 12, 13. L'effort de traction axial est essentiellement supporté par la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8.

Dans le cas du tuyau représenté sur la figure 3, la pression intérieure est principalement subie par la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6, tandis que l'effort de traction axial est en majeure partie supporté par les paires 4 et 14 de couches de renforcement 7, 8 et 15, 16.

Dans le cas du tuyau représenté sur la figure 4, la pression intérieure est principalement subie par les paires 3 et 11 de couches de renforcement 5, 6 et 12, 13. L'effort de traction axial est supporté essentiellement par les paires 4 et 14 de couches de renforcement 7, 8 et 15, 16.

Ci-dessous sont donnés des exemples concrets mais non limitatifs de réalisation du tuyau flexible revendiqué.

Exemple 1

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support 1 (figure 1) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, sont disposées deux paires 3 et 4 de couches de renforcement 5,

6 et 7,8. Lesdites couches de renforcement sont constituées par enroulement de familles de fils en fibre de verre.

L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 (selon l'invention) était de 82° , tandis que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8, selon l'invention, était de 14° . Le diamètre des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,0975$ cm, alors que le diamètre des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0770$ cm.

Les fils 9 de la paire inférieure 3 de couches 5 et 6 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_1] = 7856$ bars environ. Les fils 9 de la paire supérieure 4 de couches 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 8221,5$ bars. La densité d'enroulement des fils 9 des deux paires de couches de renforcement était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1 on a placé une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi confectionné a un diamètre intérieur égal à 3,8 cm et un diamètre extérieur égal à 6,1 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 2,0 kg.

Le tuyau qui vient d'être décrit a été soumis à des essais au cours desquels on a déterminé la valeur maximale de la pression intérieure, de l'effort de traction axial, des déformations radiale, axiale et volumétrique.

On a déterminé aussi le rayon minimum de flexion du tuyau.

L'essai du tuyau à la pression intérieure a été réalisé de la façon suivante. La longueur du tuyau à essayer satisfaisait à la condition $L \gg 20d_{int}$, où L est la longueur du tuyau; d_{int} est le diamètre intérieur du tuyau. Le tuyau était associé à une pompe à main à l'aide de laquelle on a envoyé du liquide dans le tuyau (de l'eau, en l'occurrence). La pression du liquide dans le

tuyau a été mesurée à l'aide d'un manomètre, le volume du liquide refoulé a été déterminé à l'aide d'une burette et la variation de la longueur du tuyau a été mesurée à l'aide d'une règle métrique. C'est ainsi que l'on a
 5 déterminé les valeurs maximales de la pression intérieure, des déformations radiale, axiale, volumétrique. La déformation volumétrique maximale a été déterminée suivant la relation :

$$10 \quad \xi_v = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \cdot 100\%$$

dans laquelle V_1 est le volume du liquide pompé au moment de la pression intérieure maximale; V_0 est le volume utile du tuyau au départ.

15 La déformation maximale axiale a été déterminée suivant la relation :

$$\xi_{ax} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

20 dans laquelle L_1 est la longueur du tuyau au moment de la pression maximale; L_0 est la longueur du tuyau au départ.

La déformation maximale radiale a été déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$25 \quad \xi_{rad} = \frac{d_1 - d_0}{d_0} \cdot 100\%$$

Pour déterminer l'effort de traction axial maximal on a pris un tuyau long de 1 m et on l'a soumis à l'épreuve de la pression intérieure et de la force axiale de traction.
 30 L'épreuve a été réalisée à l'aide d'une machine de rupture et d'une pompe à main à laquelle on a couplé le tuyau. Tout au long de l'épreuve la pression intérieure a été maintenue constante au moyen de la pompe à main. Au moment
 35 de la détermination de la valeur maximale de la force axiale de traction, on a trouvé, à l'aide des formules ci-dessus, la valeur maximale des déformations axiale,

radiale et volumétrique.

L'essai de flexion du tuyau a été réalisé sur un banc de flexion. Le tuyau a été couplé à une pompe à main à l'aide de laquelle on y a pompé du liquide en maintenant, au cours de l'essai, la pression intérieure au niveau de 147 à 245 bars. On a plié le tuyau jusqu'à la rupture des fils constituant les couches de renforcement et on a déterminé le rayon de flexion.

Les essais ont donné les résultats suivants :

10	- pression intérieure maximale, bars	725,2
	- effort de traction axial maximal, t	26,2
	- déformation radiale maximale, en % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à l'état non chargé	0,2
15	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à l'état non chargé	0,9
	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau non chargé	1,1
20	- rayon minimal de flexion du tuyau, m..	0,6.

Exemple 2

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 1) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, sont disposées deux paires 3 et 4 de couches de renforcement 5, 6 et 7, 8. Lesdites couches ont été obtenues par enroulement de familles de fils en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 (selon l'invention) était de 90° , alors que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8, selon l'invention, était de 5° . Le diamètre des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches 5 et 6 était $d_1 = 0,0975$ cm, le diamètre des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches 7 et 8 était $d_2 = 0,0770$ cm.

Les fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_1] = 7856$ bars.

5 Les fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,5102 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 8221,5$ bars.

10 La densité d'enroulement des fils 9 des deux paires de couches de renforcement était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1 on a placé une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

15 Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur de 1,0 cm et un diamètre extérieur égal à 3,6 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 0,7 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

20	- pression intérieure maximale, bars	1274
	- effort de traction axial maximal, t	8,2
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,1
25	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,2
	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,3
30	- rayon minimal de flexion du tuyau, m ..	0,3 .

Exemple 3

On a confectionné un tuyau comprenant un tube de support intérieur 1 (figure 1) et une gaine protectrice 35 extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, sont disposées deux paires 3 et 4 de couches

de renforcement 5, 6 et 7, 8 obtenues par enroulement de familles de fils en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 était (selon l'invention) de 75° ,
 5 l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 (selon l'invention) était de 18° . Le diamètre des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,0975$ cm, le diamètre des fils 9 de la paire
 10 supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0770$ cm.

Les fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 se caractérisent par un module d'élasticité $E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible
 15 $[6_1] = 7856$ bars. Les fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont les valeurs suivantes des mêmes paramètres :
 $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars et $[6_2] = 8221,5$ bars.

La densité d'enroulement des fils des deux paires
 20 de couches de renforcement était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau décrit a un diamètre intérieur égal à
 25 1,6 cm et un diamètre extérieur égal à 4,2 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,3 kg.

Le tuyau ainsi fabriqué a été soumis aux essais selon la méthode décrite dans l'exemple 1, qui ont donné les résultats suivants :

30	- pression intérieure maximale, bars	931
	- effort de traction axial maximal, t ...	8,5
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,9
35	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,3

- déformation volumétrique maximale, %
par rapport aux dimensions de départ
du tuyau à vide 1,2
- rayon minimal de flexion du tuyau, m 0,3 .

5

Exemple 4

On a fabriqué un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 1) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 sont disposées deux paires 3 et 4 de couches de renforcement 5, 6 et 7, 8 constituées par des familles de fils 9 en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 (selon l'invention) était de 80° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 selon l'invention était de 0° . Le diamètre des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 $d_1 = 0,0975$ cm, celui des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 $d_2 = 0,0770$ cm.

Les fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 se caractérisent par un module d'élasticité $E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[G_1] = 7856$ bars; pour les fils de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 ces paramètres sont : $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et $[G_2] = 8221,5$ bars.

La densité d'enroulement des fils des deux paires de couches de renforcement était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, était disposée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi confectionné a un diamètre intérieur égal à 10,0 cm et un diamètre extérieur égal à 12,8 cm.

Le poids d'un mètre de tuyau est de 4,4 kg.

Les essais qu'on a fait subir au tuyau décrit ci-dessus ont donné les résultats suivants :

- pression intérieure maximale, bars 401,8

	- effort de traction axial maximal, t	40,0
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,0
5	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,2
	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,2
10	- rayon minimal de flexion du tuyau, m ...	1,8.

Exemple 5

On a confectionné un tuyau constitué d'un tube de support intérieur 1 (figure 1) et d'une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, sont disposées deux paires 3 et 4 de couches de renforcement 5, 6 et 7, 8 constituées par enroulement de familles de fils 9 en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 (selon l'invention) était de 85° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 20° . Le diamètre des fils de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,0975$ cm, le diamètre des fils de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0770$ cm.

Les fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 se caractérisent par un module d'élasticité $E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_1] = 7856$ bars environ. Les fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 8221,5$ bars.

La densité d'enroulement des fils des deux paires de couches de renforcement était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1,

était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 1,0 cm et un diamètre extérieur égal à 3,6 cm. Le poids d'un mètre dudit tuyau est de 0,7 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau décrit ont donné les résultats suivants :

	- tension intérieure maximale , bars	1078
	- effort de traction axial maximal, t	7,0
10	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,4
	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,1
15	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,5
	- rayon minimal de flexion du tuyau, m	0,15.

Exemple 6

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 1) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, sont placées deux paires 3 et 4 de couches de renforcement 5, 6 et 7, 8 constituées par enroulement de familles de fils 9 en fibre de verre. L'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 15° ; l'angle α_0 d'enroulement des fils de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 70° . Le diamètre des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,0975$ cm, celui des fils de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0770$ cm.

Les fils de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 ont un module d'élasticité

$E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible
 $[\sigma_1] = 7856$ bars. Les fils 9 de la paire supérieure 4 de
couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité
 $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible
5 $[\sigma_2] = 8221,5$ bars.

La densité d'enroulement des fils 9 des deux paires
de couches de renforcement était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1,
était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton
10 d'une épaisseur de 0,5 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur
égal à 1,6 cm, et un diamètre extérieur égal à 4,2 cm.
Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,3 kg.

Les essais que l'on a fait subir audit tuyau
15 selon la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les
résultats suivants :

	- pression intérieure maximale, bars	803,6
	- effort de traction axial maximal, t ...	8,0
20	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,6
	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,7
25	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,3
	- rayon minimal de flexion du tuyau, m ..	0,3 .

Exemple 7

30 On a confectionné un tuyau comportant un tube de
support intérieur 1 (figure 1) et une gaine protectrice
extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité
 $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine
protectrice 2, sont disposées deux paires 3 et 4 de couches
35 de renforcement 5, 6 et 7, 8 constituées par enroulement
de familles de fils 9 en fibre de verre. L'angle α_0
d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de

couches de renforcement 5 et 6 (selon l'invention) était de 86° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7, 8 était, selon l'invention, de 25° . Le diamètre des fils de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,0975$ cm, celui des fils de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0770$ cm. Les fils de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_1] = 7856$ bars. Les fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 8221,5$ bars.

La densité d'enroulement des fils 9 des deux paires de couches de renforcement était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, était disposée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi obtenu possède un diamètre intérieur égal à 7,5 cm et un diamètre extérieur égal à 10,3 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 3,6 kg.

Les essais qu'on a fait subir audit tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

- 25 - pression intérieure maximale, bars 470,4
- effort de traction axial maximal, t 20,0
- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 0,4
- 30 - déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 1,4
- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 1,8
- 35 - rayon minimal de flexion du tuyau, m 0,8

Exemple 8

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 1) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 sont disposées deux paires 3 et 4 de couches de renforcement 5, 6 et 7, 8 constituées par enroulement de familles de fils en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 78° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 était, selon l'invention, de 12° . Le diamètre des fils de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,0975$ cm, celui des fils de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0770$ cm. Les fils de la paire inférieure 3 de couches de renforcement 5 et 6 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[6_1] = 7856$ bars. Les fils 9 de la paire supérieure 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[6_2] = 8221,5$ bars.

La densité d'enroulement des fils des deux paires de couches de renforcement était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, est disposée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi obtenu a un diamètre intérieur égal à 2,5 cm et un diamètre extérieur égal à 5,1 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,6 kg.

Les essais auxquels on a soumis le tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

- pression intérieure maximale, bars 666,4
- effort de traction axial maximal, t 16,0
- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 0,5

- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 0,6
- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 1,1
- rayon minimal de flexion du tuyau, m .. 0,4 .

Exemple 9

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support 1 intérieur (figure 2) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, étaient disposées trois paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13. Les couches de renforcement 5, 6 et 12, 13 étaient constituées par enroulement de familles de fils 9 en fibre de polyamide, les couches de renforcement 7 et 8 étaient formées par des fils de fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6, égal à l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13, était de 82° , tandis que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 16° .

Le diamètre des fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 était $d_1 = 0,16$ cm, celui des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0975$ cm.

Les fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,0037 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_1] = 1960,0$ bars. Les fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 7856$ bars environ.

La densité d'enroulement des trois paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 12 et 13 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, était disposée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi obtenu a un diamètre intérieur égal à 1,6 cm et un diamètre extérieur égal à 4,4 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,5 kg.

Les essais auxquels on a soumis le tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

10	- pression intérieure maximale, bars ...	744,8
	- effort de tension axial maximal, t....	7,0
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,2
15	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,8
	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	2,0
20	- rayon de flexion minimal du tuyau, m ..	0,35.

Exemple 10

On a confectionné un tuyau comprenant un tube de support intérieur 1 (figure 2) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, sont disposées trois paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13 constituées par enroulement de familles de fils 9 en fibre de verre.

L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6, égal à l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13, était de 87° , tandis que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était, selon l'invention, de 18° . Le diamètre des fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5, 6 et 12, 13 était $d_1 = 0,0975$ cm, le

diamètre des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0770$ cm. Les fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5, 6 et 12, 13 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[G_1] = 7856$ bars environ. Les fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[G_2] = 8221,51$ bars.

La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6 et de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1 était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 1,0 cm et un diamètre extérieur égal à 3,7 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 0,8 kg.

Les essais que l'on a fait subir audit tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les

résultats suivants :

	- pression intérieure maximale, bars	1881,6
	- effort de traction axial maximal, t	5,0
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,3
	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,9
	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,2
	- rayon minimal de flexion du tuyau , m...	0,2 .

Exemple 11

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 et une gaine protectrice extérieure 2 (figure 2), tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 235,2$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine

protectrice 2 étaient disposées trois paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, constituées par enroulement de familles de fils 9 en fibre de polyamide pour les couches 5 et 6, 12 et 13 et en fibre de verre pour les couches 7 et 8. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6, égal à l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13 était de 87° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8, selon l'invention, était de 8° . Le diamètre des fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5, 6 et 12, 13 était $d_1 = 0,16 \text{ cm}$, celui des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0770 \text{ cm}$. Les fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5, 6 et 12, 13 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,0037 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_1] = 1960$ bars. Les fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 8221,5$ bars.

La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 12, 13 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi obtenu a un diamètre intérieur égal à 1,6 cm et un diamètre extérieur égal à 4,4 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,5 kg.

Les essais que l'on a fait subir audit tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

- pression intérieure maximale, bars 872,2
- effort de traction axial maximal, t 8,0
- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 1,0

- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 0,3
- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 1,3
- rayon minimal de flexion du tuyau, m 0,35 .

Exemple 12

- On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 3) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 235,2$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, étaient disposées trois paires 3, 4 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 15 et 16, constituées par enroulement de familles de fils 9 en fibre de verre pour les couches 5 et 6 et en fibre de polyamide pour les couches 7 et 8, 15 et 16. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 86° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8, égal à l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14 de couches de renforcement 15 et 16, était de 12° . Le diamètre des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,0770$ cm, le diamètre des fils 9 des paires 4 et 14 de couches de renforcement 7 et 8, 15 et 16 était $d_2 = 0,16$ cm.

- Les fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_1] = 8221,2$ bars.
- Les fils 9 des paires 4 et 14 de couches de renforcement 7 et 8, 15 et 16 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,0027 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 1960$ bars.

- La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4 et 14 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 15 et 16 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1,

était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 2,5 cm et un diamètre extérieur égal à 5,3 cm. Le
5 poids d'un mètre de tuyau était de 1,7 kg.

Les essais que l'on a fait subir audit tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

	- pression intérieure maximale, bars	646,8
10	- effort de traction axial maximal, t	7,0
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,6
15	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	3,0
	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	3,6
20	- rayon minimal de flexion du tuyau, m ...	0,45 .

Exemple 13

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 3) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité
25 $E_0 = 372,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, étaient disposées trois paires 3, 4 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 15 et 16 constituées par enroulement de familles de fils 9 en fibre de verre.
L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de
30 couches de renforcement 5 et 6 était de 78° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8, égal à l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14 de couches de renforcement 15 et 16 était de 5° . Le diamètre des fils 9 de la paire 3 de
35 couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,055$ cm, celui des fils des paires 4 et 14 de couches de renforcement 7, 8 et 15, 16 était $d_2 = 0,0975$ cm. Les fils 9 de la paire 3

de couches de renforcement 5 et 6 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,5831 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_1] = 8254,5$ bars. Les fils 9 des paires 4 et 14 de couches de renforcement 7, 8 et 15, 16 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_2] = 7856$ bars environ. La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4, 14 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 15 et 16 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 3,8 cm et un diamètre extérieur égal à 6,2 cm. Le poids d'un mètre de tuyau était de 2,2 kg.

Les essais que l'on a fait subir audit tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

	- pression intérieure maximale, bars	705,6
	- effort de traction axial maximal , t ...	40,0
20	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,8
	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,8
25	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,6
	- rayon minimal de flexion du tuyau, m....	0,8 .

Exemple 14

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 4) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 372,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, étaient disposées quatre paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 constituées par enroulement de familles de fils 9

en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6, égal à l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13, était de 78° , tandis que
 5 l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8, égal à l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14 de couches de renforcement 15 et 16, était de 18° .

Le diamètre des fils 9 des paires 3, 4, 11 et 14
 10 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 était $d_{1,2} = 0,0975$ cm. Les fils 9 des paires 3, 4, 11, 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 ont un module d'élasticité
 $E_{1,2} = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible
 15 $[\sigma_{1,2}] = 7856$ bars. La densité d'enroulement des fils 9 de chacune des paires de couches de renforcement était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton
 20 d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 2,5 cm et un diamètre extérieur égal à 5,4 cm. Le poids d'un mètre de tuyau était de 1,7 kg.

Les essais auxquels on a soumis ledit tuyau d'après
 25 la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

	- pression intérieure maximale, bars	1215,2
	- effort de traction axial maximal, t	28,0
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,2
30	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,8
35	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	3,0

- rayon minimal de flexion du tuyau, m.... 0,43 .

Exemple 15

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 4) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 372,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, étaient disposées quatre paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 constituées par enroulement de familles de fils 9 en fibre de polyamide. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6, égal à l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13 était de 86° , tandis que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8, égal à l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14 de couches de renforcement 15 et 16, était de 10° .

Le diamètre des fils 9 des paires 3, 4, 11, 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16, était $d_{1,2} = 0,16$ cm. Le module d'élasticité des fils 9 des paires 3, 4, 11, 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 était $E_{1,2} = 0,0039 \cdot 10^6$ bars environ et la tension admissible, $[\sigma_{1,2}] = 1960$ bars. La densité d'enroulement des fils 9 de toutes les paires de couches de renforcement était de 90%. Directement sur la surface du tube de support 1, était disposée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 3,8 cm et un diamètre extérieur égal à 6,8 cm. Le poids d'un mètre de tuyau constitue 1,9 kg.

Les essais auxquels on a soumis ledit tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

- pression intérieure maximale, bars	421,4
- effort de traction axial maximal, t	15,5
- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	2,1

- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 2,7
- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 5,0
- rayon minimal de flexion du tuyau, m..... 0,65 .

Exemple 16

- On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 2) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2, étaient disposées trois paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13. Les couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 sont obtenues par enroulement de familles de fils 9 en fibre de polyamide, tandis que les couches de renforcement 7 et 8 sont en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 82° , l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13 était de 84° , alors que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était égal à 16° .

- Le diamètre des fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 était $d_1 = 0,16$ cm tandis que le diamètre des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0975$ cm.

- Les fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,0037 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_1] = 1960$ bars.

Les fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_2] = 7856$ bars.

- La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 12 et 13 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur 5 égal à 1,6 cm et un diamètre extérieur égal à 4,4 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,5 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

10	- pression intérieure maximale, bars	803,6
	- effort de traction axial maximal, t	7,0
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,2
15	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,8
	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	2,0
20	- rayon minimal de flexion du tuyau, m....	0,35 .

Exemple 17

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 2) et une gaine protectrice 25 extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 78,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 étaient disposées trois paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13 obtenues par enroulement de familles de fils en fibre de 30 verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 87° , l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13 était de $87^\circ 30'$, alors que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de 35 renforcement 7 et 8 était égal à 18° .

Le diamètre des fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 était

$d_1 = 0,0975$ cm, tandis que le diamètre des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était
 $d_2 = 0,0770$ cm. Les fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 ont un module d'élasticité

5 $E_1 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible

$[\sigma_1] = 7856$ bars. Les fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité

$E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible

$[\sigma_2] = 8221,5$ bars.

10 La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 et de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, était placée une couche intercalaire 10 en tissucoton
 15 d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 1,0 cm et un diamètre extérieur égal à 3,7 cm.
 Le poids d'un mètre de tuyau est de 0,8 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau d'après
 20 la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

	- pression intérieure maximale, bars	1960
	- effort de traction axial maximal, t	5,0
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,3
25	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,9
30	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,2
	- rayon minimal de flexion du tuyau, m...	0,2 .

Exemple 18

35 On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 2) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité

$E_0 = 235,2$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 sont disposées trois paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13. Les couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 sont constituées par enroulement de familles de fils 9 en fibre de polyamide tandis que les couches de renforcement 7 et 8 sont en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 83° , l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13 était de 88° , alors que l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 8° .

Le diamètre des fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 était $d_1 = 0,16$ cm, tandis que le diamètre des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était $d_2 = 0,0770$ cm.

Les fils 9 des paires 3 et 11 de couches de renforcement 5 et 6, 12 et 13 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,0037 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_1] = 1960$ bars.

Les fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 8221,5$ bars.

La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4 et 11 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 12 et 13 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1, était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 1,6 cm et un diamètre extérieur égal à 4,4 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,5 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

- pression intérieure maximale, bars 901,6
- effort de traction axial maximal, t 8,0

- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 1,0
- 5 - déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 0,3
- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide 1,3
- 10 - rayon minimal de flexion du tuyau, m..... 0,35 .

Exemple 19

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 3) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité

15 $E_0 = 235,2$ bars.

Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 on a disposé trois paires 3, 4 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 15 et 16. Les couches de renforcement 5 et 6 sont obtenues par enroulement de familles de fils 9

20 en fibre de verre, tandis que les couches de renforcement 7 et 8, 15 et 16 sont en fibre de polyamide. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 86° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8

25 était de 12° , alors que l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14 de couches de renforcement 15 et 16 était égal à 7° . Le diamètre des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,0770$ cm, tandis que le diamètre des fils 9 des paires 4 et 14 de

30 couches de renforcement 7 et 8, 15 et 16 était $d_2 = 0,16$ cm.

Les fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,5103 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_1] = 8221,5$ bars.

Les fils 9 des paires 4 et 14 de couches de

35 renforcement 7 et 8, 15 et 16 ont un module d'élasticité $E_2 = 0,0027 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 1960,0$ bars.

La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4 et 14 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 15 et 16 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1 était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 2,5 cm et un diamètre extérieur égal à 5,3 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,7 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

	- pression intérieure maximale, bars	646,6
	- effort de traction axial maximal, t ...	9,0
15	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,6
	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	3,0
20	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	3,6
	- rayon minimal de flexion du tuyau, m...	0,55.

Exemple 20

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 3) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 372,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 sont disposées trois paires 3, 4 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 15 et 16 qui sont obtenues par enroulement de familles de fils 9 en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 78° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 6° , alors que l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14 de

couches de renforcement 15 et 16 était égal à 4° . Le diamètre des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était $d_1 = 0,055$ cm, tandis que le diamètre des fils 9 des paires 4 et 14 de couches de renforcement 7 et 8, 5 15 et 16 était $d_2 = 0,0975$ cm.

Les fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 ont un module d'élasticité $E_1 = 0,5831 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_1] = 8254,4$ bars.

Les fils 9 des paires 4 et 14 de couches de 10 renforcement 7 et 8, 15 et 16 ont leur module d'élasticité $E_2 = 0,4655 \cdot 10^6$ bars environ et une tension admissible $[\sigma_2] = 7856$ bars environ.

La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4 et 14 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 15 et 16 15 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1 était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur 20 égal à 3,8 cm et un diamètre extérieur égal à 6,2 cm. Le poids d'un mètre linéaire de tuyau est de 2,2 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

25	- pression intérieure maximale, bars	705,6
	- effort de traction axial maximal, t ...	45,0
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,8
30	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	0,8
	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,6
35	- rayon minimal de flexion du tuyau, m ..	0,85 .

Exemple 21

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 4) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 372,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 sont disposées quatre paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 obtenues par enroulement de familles de fils 9 en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 78° , l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13 était de 80° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 18° , alors que l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14 de couches de renforcement 15 et 16 était égal à $15^\circ 30'$. La valeur du décalage de l'angle d'enroulement des fils était $\Delta\alpha_1 = \alpha_1 - \alpha_0 = 2^\circ$, et la valeur du décalage $\Delta\beta_1 = \beta_1 - \beta_0 = 2^\circ 30'$. Ainsi, $\Delta\alpha_1 = 0,8 \Delta\beta_1$.

Le diamètre des fils 9 des paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 était $d_{1,2} = 0,0975$ cm. Les fils 9 des paires 3, 4, 11, 14 des couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 ont un module d'élasticité $E_{1,2} = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_{1,2}] = 7856$ bars environ.

La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 12, 13, 15 et 16 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1 était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 2,5 cm et un diamètre extérieur égal à 5,4 cm. Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,7 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les

résultats suivants :

	- pression intérieure maximale, bars	1293,6
	- effort de traction axial maximal, t ...	31,0
5	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,2
	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,8
10	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	3,0
	- rayon minimal de flexion du tuyau, m ...	0,43.

Exemple 22

15 On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 4) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 372,4$ bars.

20 Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 sont disposées quatre paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 obtenues par enroulement de familles de fils 9 en fibre de polyamide. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 86° , l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13 était de $86^\circ 12'$, l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 10° , alors que l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14 de couches de renforcement 15 et 16 était égal à 9° . La valeur du décalage de l'angle d'enroulement des fils était

$$\Delta\alpha_1 = \alpha_1 - \alpha_0 = 0^\circ 12', \text{ tandis que la valeur}$$

$$\Delta\beta_1 = \beta_0 - \beta_1 = 1^\circ. \text{ Ainsi, } \Delta\alpha_1 = 0,2 \Delta\beta_1.$$

35 Le diamètre des fils 9 des paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 était $d_{1,2} = 0,16$ cm.

Les fils 9 des paires 3, 4, 11 et 14 de couches de

renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 ont un module d'élasticité $E_{1,2} = 0,0039.10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_{1,2}] = 1960$ bars.

La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5, 6, 7, 8, 12 et 13, 15, 16 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1 était placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 3,8 cm et un diamètre extérieur égal à 6,8 cm. Le poids d'un mètre linéaire de tuyau est de 1,9 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les

résultats suivants :

	- pression intérieure maximale, bars	431
	- effort de traction axial maximal, t	17
	- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	2,1
	- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	2,7
	- déformation volumétrique maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	5,0
	- rayon minimal de flexion du tuyau, m ...	0,65.

Exemple 23

On a confectionné un tuyau comportant un tube de support intérieur 1 (figure 4) et une gaine protectrice extérieure 2, tous deux en caoutchouc à module d'élasticité $E_0 = 372,4$ bars. Entre le tube de support 1 et la gaine protectrice 2 sont disposées quatre paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 obtenues par enroulement de familles de fils 9 en fibre de verre. L'angle α_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 3 de couches de renforcement 5 et 6 était de 78°,

l'angle α_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 11 de couches de renforcement 12 et 13 était de 79° , l'angle β_0 d'enroulement des fils 9 de la paire 4 de couches de renforcement 7 et 8 était de 18° , alors que l'angle β_1 d'enroulement des fils 9 de la paire 14 de couches de renforcement 15 et 16 était égal à 16° . La valeur du décalage de l'angle d'enroulement des fils était

$$\Delta \alpha_1 = \alpha_1 - \alpha_0 = 1^\circ, \text{ tandis que la valeur}$$

$$\Delta \beta_1 = \beta_0 - \beta_1 = 2^\circ. \text{ Ainsi, } \Delta \alpha_1 = 0,5 \Delta \beta_1.$$

Le diamètre des fils 9 des paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 était $d_{1,2} = 0,0975$ cm.

Les fils 9 des paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 ont un module d'élasticité $E_{1,2} = 0,4655 \cdot 10^6$ bars et une tension admissible $[\sigma_{1,2}] = 7856$ bars environ.

La densité d'enroulement des fils 9 des paires 3, 4, 11 et 14 de couches de renforcement 5 et 6, 7 et 8, 12 et 13, 15 et 16 était de 90%.

Directement sur la surface du tube de support 1 est placée une couche intercalaire 10 en tissu coton d'une épaisseur de 0,05 cm.

Le tuyau ainsi fabriqué a un diamètre intérieur égal à 2,5 cm et un diamètre extérieur égal à 5,4 cm.

Le poids d'un mètre de tuyau est de 1,7 kg.

Les essais que l'on a fait subir au tuyau d'après la méthode exposée dans l'exemple 1 ont donné les résultats suivants :

- pression intérieure maximale, bars	1323
- effort de traction axial maximal, t	32,0
- déformation radiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,2
- déformation axiale maximale, % par rapport aux dimensions de départ du tuyau à vide	1,8

- déformation volumétrique maximale, %
par rapport aux dimensions de départ
du tuyau à vide 3,0
- rayon minimal de flexion du tuyau, m .. 0,43.

5 Bien entendu, l'invention n'est nullement limitée
aux modes de réalisation décrits et représentés qui n'ont
été donnés qu'à titre d'exemple. En particulier, elle
comprend tous les moyens constituant des équivalents
techniques des moyens décrits ainsi que leurs combinaisons
10 si celles-ci sont exécutées suivant son esprit et mises en
oeuvre dans le cadre de la protection comme revendiquée.

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

1.- Tuyau flexible comportant un tube de support intérieur et une gaine protectrice extérieure, tous deux en matière élastique, ainsi que des couches de renforcement
5 disposées entre ledit tube et ladite gaine et dont chacune est constituée par une famille de fils parallèles entre eux et enroulés en spirale, et une couche intercalaire en tissu non métallique située directement sur la surface
10 dudit tube de support et servant à répartir uniformément les efforts apparaissant au cours de l'utilisation du tuyau entre ledit tube de support et lesdites couches de renforcement, caractérisé en ce qu'il possède au moins deux paires de couches de renforcement disposées directement l'une sur l'autre, chacune desdites paires étant
15 réalisée sous forme de deux familles de fils enroulés symétriquement, l'angle d'enroulement des fils de la paire inférieure de couches de renforcement par rapport à l'axe géométrique du tuyau étant plus grand que l'angle d'enroulement des fils de la paire supérieure de couches
20 de renforcement.

2.- Tuyau flexible selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'angle d'enroulement des fils de la paire inférieure de couches de renforcement se situe dans une plage de 75 à 90°, l'angle d'enroulement des fils de
25 la paire supérieure de couches de renforcement étant compris entre 0 et 20°.

3.- Tuyau flexible selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que sur la paire supérieure de couches de renforcement est disposée au moins une paire
30 supplémentaire de couches de renforcement, les angles d'enroulement respectifs des fils de chaque paire supplémentaire de couches de renforcement, situés dans la plage de 75 à 90° et allant en augmentant successivement, et les angles d'enroulement respectifs des fils de chaque paire
35 supplémentaire, situés dans les limites de 0 à 20°, allant

en diminuant successivement par rapport à l'angle d'enroulement des fils de la paire précédente de couches de renforcement se trouvant dans les mêmes limites.

- 4.- Tuyau flexible selon l'une des revendications 1, 2 et 3, caractérisé en ce que la valeur du décalage de l'angle d'enroulement des fils de chaque paire supplémentaire de couches de renforcement se trouve dans les limites de 0,2 à 5°, la relation entre les valeurs de décalage des angles d'enroulement des fils des paires supplémentaires étant la suivante :

$$\Delta \alpha_n = (0,2 \text{ à } 0,8). \Delta \beta_n$$

- où $\Delta \alpha_n$ est la valeur du décalage de l'angle d'enroulement des fils de la paire supplémentaire de couches de renforcement, ledit angle se trouvant dans les limites de 75 à 90°;
- $\Delta \beta_n$ est la valeur du décalage de l'angle d'enroulement des fils de la paire supplémentaire de couches de renforcement, ledit angle se trouvant dans les limites de 0 à 20°.

- 5.- Tuyau flexible selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les fils formant les couches de renforcement sont fabriqués en fibre de verre.

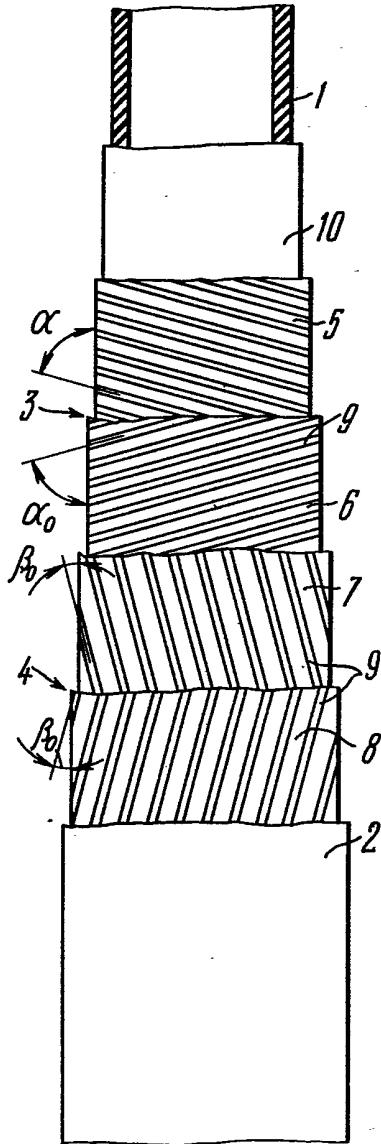


FIG. 1

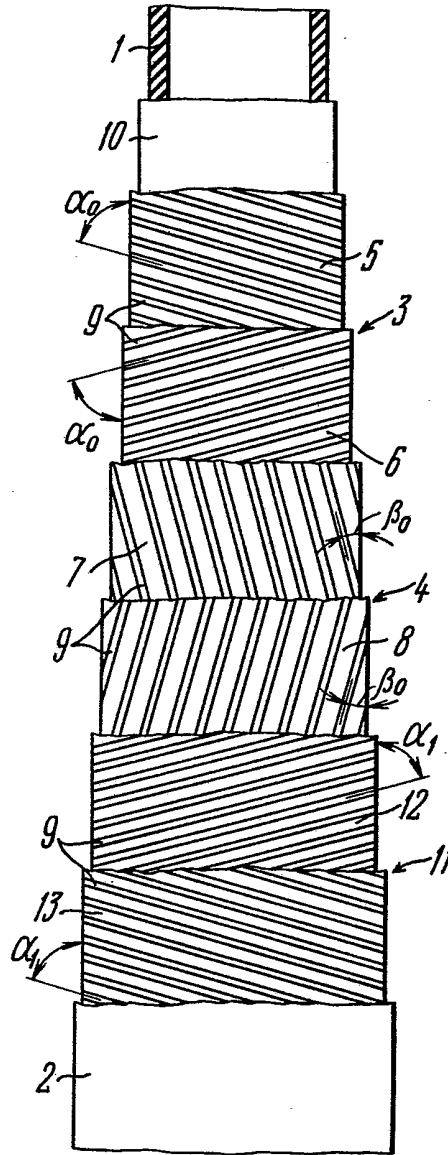


FIG. 2

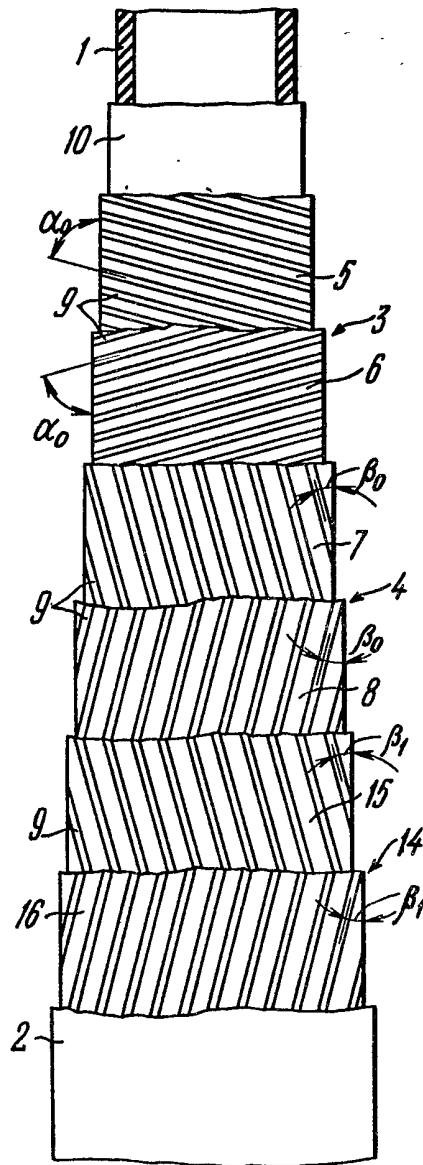


FIG. 3

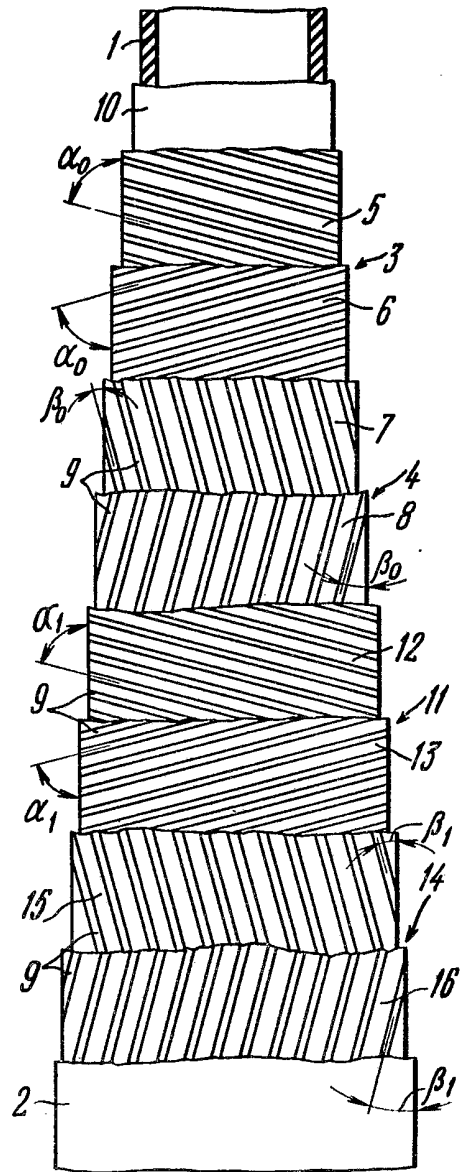


FIG. 4