

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 22.12.16.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 30.06.17 Bulletin 17/26.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥③ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES — FR et TECHNIP FRANCE Société anonyme — FR.

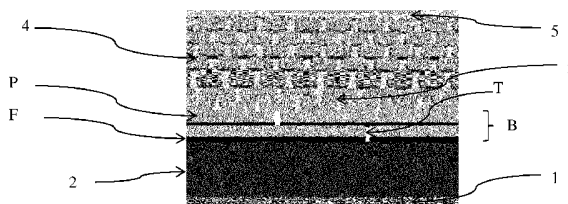
⑦② Inventeur(s) : LEFEBVRE XAVIER, MARTINEZ MICHAEL, KLOPFFER MARIE-HELENE, ROUSSEAU JEAN-MARC, PLENNEVAUX CECILE, DEMANZE FREDERIC et TARAVEL-CONDAT CAROL.

⑦③ Titulaire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES, TECHNIP FRANCE Société anonyme.

⑦④ Mandataire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES.

⑤④ CONDUITE FLEXIBLE DE TRANSPORT DE FLUIDE PETROLIER COMPRENANT UNE BARRIERE CONTRE LA DIFFUSION.

⑤⑦ L'invention concerne une conduite pour transporter un effluent pétrolier comportant de l'eau et au moins un composé acide parmi le dioxyde de carbone CO₂ et l'hydrogène sulfuré H₂S, la conduite comportant au moins un élément métallique de renfort mécanique (3, 5) et une gaine tubulaire polymère de pression (2), ledit élément métallique (3, 5) étant disposé à l'extérieur de ladite gaine de pression (2), une barrière de diffusion (B) étant disposée entre ladite gaine de pression (2) et ledit élément métallique de renfort mécanique (3, 5). Selon l'invention, ladite barrière (B) comporte au moins une bande métallique (F) enroulée autour de la gaine (2) de façon à procurer un recouvrement métallique compris entre 35 et 75% et un matériau polymère (P) intercalé dans ce recouvrement.



CONDUITE FLEXIBLE DE TRANSPORT DE FLUIDE PETROLIER COMPRENANT UNE BARRIERE CONTRE LA DIFFUSION

La présente invention concerne une conduite tubulaire flexible pour le transport de
5 fluide pétrolier utilisée dans le domaine de l'exploitation pétrolière en mer.

Les conduites flexibles visées par la présente invention sont formées d'un ensemble de
différentes couches concentriques et superposées, et sont dites de type non lié (« unbonded
» en anglais) car ces couches présentent une certaine liberté de déplacement des unes par
10 rapport aux autres. Ces conduites flexibles satisfont entre autres aux recommandations des
documents normatifs API 17J « Specification for Unbonded Flexible Pipe » (4^{ème} édition, Mai
2014) et API 17B « Recommended Practice for Flexible Pipe » (5^{ème} édition, Mars 2014)
publiés par l'American Petroleum Institute. Les couches constitutives des conduites flexibles
comprennent notamment des gaines polymériques assurant généralement une fonction
15 d'étanchéité, et des couches de renfort destinées à la reprise des efforts mécaniques et
formées par des enroulements de feuillard, de fils métalliques, de bandes diverses ou de
profilés en matériaux composites.

Ces conduites flexibles sont notamment utilisées pour transporter des hydrocarbures
20 de type pétrole ou gaz depuis un équipement sous-marin situé sur le fond marin, par
exemple une tête de puits, jusqu'à une unité flottante de production située à la surface. De
telles conduites peuvent être déployées à grande profondeur, couramment à plus de 2000m
de profond, et elles doivent donc être capables de résister à une pression hydrostatique de
plusieurs centaines de bar. En outre elle doivent aussi pouvoir résister à la pression très
25 élevée des hydrocarbures transportés, cette pression pouvant elle aussi être de plusieurs
centaines de bar.

Lorsque la conduite flexible est en service, elle peut être soumise à de fortes charges
statiques et dynamiques, ce qui peut engendrer un phénomène de fatigue. Les chargements
30 les plus sévères sont généralement observés dans la partie supérieure des conduites
montantes ("risers" en langue anglaise) reliant le fond marin à la surface. En effet, dans cette
zone, la conduite flexible est soumise à une forte contrainte statique en tension liée au poids
de la conduite, à laquelle s'additionnent des contraintes dynamiques en tension et en flexion
transverse liées aux mouvements de l'unité flottante de production sous l'effet de la houle et
35 des vagues. S'agissant de la partie de la conduite flexible s'étendant sur le fond marin
("flowlines" en langue anglaise), les charges appliquées sont essentiellement statiques.

Les conduites flexibles de type non lié les plus utilisées dans l'industrie pétrolière offshore comprennent généralement, de l'intérieur vers l'extérieur, une carcasse interne constituée d'un feuillard en acier inoxydable profilé et enroulé hélicoïdalement à pas court en spires agrafées les unes aux autres, ladite carcasse interne servant principalement à empêcher l'écrasement de la conduite flexible sous l'effet de la pression externe, une gaine interne d'étanchéité en polymère, une voûte de pression constituée d'au moins un fil métallique de forme agrafé et enroulé hélicoïdalement à pas court, ladite voûte de pression servant à reprendre les efforts radiaux liés à la pression interne, des nappes d'armures de traction formées d'enroulements hélicoïdaux à pas long de fils métalliques ou composites, lesdites nappes d'armures de traction étant destinées à reprendre les efforts longitudinaux que subit la conduite flexible, et enfin une gaine externe d'étanchéité destinée à protéger de l'eau de mer les couches de renfort. Dans la présente demande, on entend par enroulement à pas court tout enroulement ayant un angle d'hélice dont la valeur absolue est proche de 90 degrés, en pratique compris entre 70 degrés et 90 degrés. Le terme enroulement à pas long désigne quant à lui tout enroulement dont l'angle d'hélice est inférieur ou égal, en valeur absolue, à 55 degrés.

Dans la présente demande, les termes « gaine interne d'étanchéité » et « gaine de pression » ont la même signification et sont utilisés indifféremment.

La carcasse interne permet à la conduite flexible d'avoir une résistance à l'écrasement (« collapse » en anglais) suffisante pour lui permettre de résister à de fortes pressions externes, notamment la pression hydrostatique lorsque la conduite flexible est immergée à grande profondeur (1000m, voire 2000m, ou plus), ou encore les pressions externes de contact subies pendant les opérations de manutention et d'installation en mer. Une conduite flexible comportant une carcasse interne est dite à passage non lisse (« rough bore » en anglais) car l'élément le plus intérieur est la carcasse interne qui forme un passage non lisse en raison des dé joints entre les spires métalliques du feuillard agrafé.

La voûte de pression a pour fonction principale de permettre à la gaine interne d'étanchéité de résister, sans éclater, à la pression exercée par le fluide pétrolier transporté par la conduite, la face externe de la gaine interne d'étanchéité prenant appui contre la face interne de la voûte de pression. La voûte de pression contribue aussi à améliorer la résistance à l'écrasement de la carcasse interne, notamment car elle limite les possibilités de déformation de la carcasse interne sous l'effet de la pression hydrostatique.

La fonction principale des nappes d'armures de traction est de reprendre les efforts longitudinaux, notamment ceux liés au poids pendu de la conduite flexible lorsque celle-ci est installée sur le fond marin à partir d'un bateau de pose situé à la surface. Dans le cas d'une conduite montante (« riser » en anglais) reliant de façon permanente une installation posée sur le fond marin à un équipement flottant à la surface, ces efforts longitudinaux liés au poids pendu sont exercés en permanence. Lorsque la conduite est immergée à grande profondeur, les efforts longitudinaux liés au poids pendu lors de l'installation et/ou en service peuvent atteindre plusieurs centaines de tonnes.

Le fluide pétrolier transporté par la conduite flexible comprend les hydrocarbures extraits de certains champs pétroliers qui peuvent être extrêmement corrosifs. C'est le cas en particulier des hydrocarbures polyphasiques comportant de fortes pressions partielles en hydrogène sulfure (H_2S), typiquement au moins 2 bar, et/ou en dioxyde de carbone (CO_2), typiquement au moins 5 bar, et présentant en outre une forte concentration en chlorures, typiquement au moins 50000 ppm. De tels fluides sont généralement très acides ($pH < 4,5$). En outre, leur température peut excéder 90 ° C voire 130 ° C.

La carcasse interne est en contact direct avec ces fluides corrosifs et doit donc être réalisée dans un matériau très résistant à la corrosion, par exemple un acier inoxydable. Par contre, la voûte de pression et les armures de traction sont isolées de ces fluides grâce à la gaine interne d'étanchéité, et se trouvent donc dans un environnement nettement moins corrosif que celui de la carcasse interne, car seuls certains gaz corrosifs peuvent lentement diffuser à travers la gaine interne d'étanchéité. Par suite, la voûte de pression et les armures de traction peuvent être réalisées en acier au carbone nettement moins coûteux que l'acier inoxydable utilisé pour la carcasse interne.

Bien que la gaine de pression (gaine interne d'étanchéité) soit étanche aux hydrocarbures et aux autres fluides transportés tels que l'eau, de petites quantités de gaz peuvent lentement diffuser à travers cette dernière, notamment lorsque la température et sa pression sont élevées. Ce phénomène concerne principalement des molécules de petite taille, notamment l'eau en phase vapeur, et les gaz de dioxyde de carbone (CO_2), de sulfure d'hydrogène (H_2S) et de méthane (CH_4). Ainsi, lorsque le fluide pétrolier contient un ou plusieurs de ces gaz, ce ou ces derniers peuvent diffuser à travers la gaine de pression et venir s'accumuler dans l'espace annulaire situé entre la gaine de pression et la gaine externe d'étanchéité. La présence de ces gaz de diffusion dans l'espace annulaire peut générer un milieu corrosif pour les fils métalliques de la voûte de pression et des armures de traction. Ces mécanismes de migration et de corrosion sont amplifiés notamment par la température et par les teneurs en espèces acides.

Il est possible d'anticiper l'effet de la corrosion par une sélection rigoureuse des grades d'acier utilisés (acier « sour-service ») et par des épaisseurs d'acier adaptées pour la voûte de pression et pour les armures de traction. Il est connu qu'un grade d'acier pour milieu acide (« sour-service ») est plus cher à l'achat qu'un grade d'acier pour milieu sensiblement neutre (« sweet-service »), et aboutit à une structure de flexible plus lourde car, à section égale, un grade d'acier « sour-service » possède de moins bonnes propriétés mécaniques qu'un acier « sweet-service ».

Le document EP 844 429 propose d'introduire, dans une gaine en matériau polymère, des produits chimiquement actifs avec les composés acides (H_2S et/ou CO_2) de manière à neutraliser irréversiblement les effets corrosifs desdits composés acides et de manière à éviter les effets corrosifs sur les parties métalliques de la conduite.

D'autres solutions proposent d'utiliser des gaines continues métalliques dont la perméabilité aux gaz peut être considérée comme nulle, cependant la mise en œuvre de ces conduites flexibles peut être très compliquée, et la contrainte de flexibilité de la conduite amène à des solutions complexes du type « liner » métallique présentant généralement une résistance dans le temps insuffisante.

On connaît le document US-4903735 qui décrit l'enroulement de bandes métalliques sur une gaine en polymère, et dont les bords de la bande sont collés entre eux. Cependant, lors de l'enroulement de la conduite sur bobine, les collages ne peuvent rester intègres, ce qui procure des fuites au niveau de la bande métallique. En effet un contact métal-métal n'est pas étanche, sauf en configuration statique, après préparation minutieuse des surfaces.

La présente invention se propose de perfectionner ce principe en optimisant une couche barrière de diffusion.

Le dispositif selon l'invention

L'invention concerne une conduite flexible pour transporter un effluent pétrolier comportant de l'eau et au moins un composé acide parmi le dioxyde de carbone CO_2 et l'hydrogène sulfuré H_2S , ladite conduite comportant au moins un élément métallique de renfort mécanique et une gaine de pression, ledit élément métallique étant disposé à l'extérieur de ladite gaine de pression, une barrière de diffusion étant disposée entre ladite gaine de résistance à la pression et ledit élément métallique de renfort mécanique,

caractérisée en ce que ladite barrière de diffusion comporte au moins une bande métallique enroulée autour de ladite gaine de résistance à la pression de façon à procurer un recouvrement métallique sur une distance comprise entre 35 et 75% de la largeur de ladite bande métallique et en ce qu'un matériau polymère est intercalé dans ce recouvrement.

5

Selon un mode de réalisation, ladite bande métallique est recouverte au moins partiellement par une couche dudit matériau polymère sur au moins une face.

Alternativement, ladite barrière de diffusion est formée par ladite bande métallique et par une bande dudit matériau polymère.

10 Avantageusement, ladite bande dudit matériau polymère a une largeur sensiblement égale à la largeur de ladite bande métallique.

Conformément à une mise en œuvre, ladite bande métallique est en acier inox, en acier au carbone, en alliage de Nickel, de Titane, ou d'Aluminium.

15 De manière avantageuse, ledit matériau polymère de ladite barrière de diffusion est un élastomère ou un polymère thermoplastique choisi parmi les grades suivants : NBR (copolymère butadiène-acrylonitrile), CR (Polychloroprène, Néoprène), EPDM (éthylène-propylène-diène monomère), CO (Polychlorométhyloxyrane), TFE (tétrafluoroéthylène), PU (Polyuréthane), Silicone, PE (polyéthylène), PA (polyamide), PVDF (Polyfluorure de vinylidène).

20 Selon une option de réalisation, ladite barrière de diffusion comporte au moins deux couches de bande métallique enroulées à plat, la deuxième couche de bande métallique formant ledit recouvrement.

En alternative, ladite barrière de diffusion comporte au moins une couche de bande métallique enroulée en S pour former ledit recouvrement.

25 En variante, ladite barrière de diffusion comporte au moins une couche de bande métallique enroulée en « double S » pour former ledit recouvrement.

Conformément à un mode de réalisation, ladite barrière de diffusion a une largeur comprise entre 25 et 150 mm.

30 Selon une mise en œuvre de l'invention, la couche dudit matériau polymère de ladite barrière de diffusion a une épaisseur comprise entre 0,5 mm et 4 mm.

Selon un mode de réalisation, ladite bande métallique de ladite barrière de diffusion a une épaisseur comprise entre 0,2 mm et 2 mm.

Conformément à une option de réalisation une couche d'élastomère est intercalée entre ladite barrière de diffusion et ledit élément métallique de renfort mécanique.

Présentation succincte des figures

D'autres caractéristiques et avantages du procédé selon l'invention, apparaîtront à la lecture de la description ci-après d'exemples non limitatifs de réalisations, en se référant aux figures annexées et décrites ci-après.

La figure 1 illustre schématiquement en perspective une conduite flexible selon l'art antérieur.

Les figures 2a, 2b et 2c illustrent en coupe suivant un plan axial trois modes de réalisation d'une conduite flexible selon l'invention.

La figure 3 représente schématiquement en perspective un mode de réalisation de bandes métalliques selon l'invention.

La figure 4 montre un schéma géométrique utilisé pour les évaluations théoriques de l'efficacité de la barrière de diffusion selon l'invention.

Une conduite flexible selon l'art antérieur est représentée par la figure 1. Cette conduite est constituée de plusieurs couches décrites ci-après de l'intérieur vers l'extérieur de la conduite. La conduite flexible est de type non liée (« unbonded » en anglais) et répond aux spécifications définies dans le document normatif API 17J.

La carcasse interne 1 est constituée d'une bande métallique enroulée selon une hélice à pas court. Elle est destinée à la résistance à l'écrasement sous l'effet de la pression externe appliquée à la conduite.

La gaine interne d'étanchéité 2 est réalisée par extrusion d'un matériau polymère, en général choisi parmi les polyoléfines, les polyamides et les polymères fluorés.

La voûte de pression 3 réalisée en fils métalliques agrafés ou emboîtables assure la résistance à la pression interne dans la conduite.

Les nappes d'armures de traction 4 sont constituées par des fils métalliques enroulés en hélice selon des angles dont la valeur absolue est comprise entre 20° et 55°. La conduite comporte avantageusement deux nappes superposées et croisées d'armures de traction 4, comme représenté sur la figure 1. Par exemple, si la nappe interne d'armures de traction est enroulée avec un angle d'hélice égal à 30°, la nappe externe d'armures de traction est enroulée avec un angle d'hélice égal à -30°. Cette symétrie angulaire permet d'équilibrer la conduite en torsion, de façon à réduire sa tendance à tourner sous l'effet d'un effort de traction.

Lorsque les deux nappes superposées et croisées d'armure de traction 4 sont enroulées avec un angle d'hélice sensiblement égal à 55°, la voûte de pression 3 peut

optionnellement être supprimée car l'angle d'hélice de 55° confère aux nappes d'armure de traction 4 une bonne résistance à la pression interne.

La gaine externe d'étanchéité 5 en polymère forme une protection externe de la conduite.

5 La conduite représentée par la figure 1 est du type "rough bore", c'est-à-dire que le fluide en circulation dans la conduite est en contact avec la carcasse interne 1.

Alternativement, la conduite peut être du type "smooth bore". Dans ce cas, la conduite représentée par la figure 1 ne comporte pas de carcasse interne 1. La gaine polymère 2 est directement en contact avec le fluide en circulation dans la conduite.

10

Description détaillée de l'invention

La conduite flexible selon l'invention comporte au moins une gaine de pression et au moins un élément métallique de renfort mécanique. Dans la présente demande le terme « élément métallique de renfort mécanique » désigne n'importe quelle couche métallique de la conduite flexible entourant la gaine de pression et dont la fonction est de reprendre des efforts mécaniques auquel est soumis la conduite. Ainsi, chaque nappe d'armure de traction réalisée avec des fils d'armure métalliques constitue un élément métallique de renfort mécanique. En outre, la voûte de pression métallique constitue elle aussi un élément métallique de renfort mécanique. De plus, la conduite flexible selon l'invention peut avantageusement comporter au moins une des autres couches de la conduite flexible décrites en référence à la figure 1, notamment une carcasse interne, une gaine externe d'étanchéité et/ou d'autres couches supplémentaires. De préférence, la conduite flexible selon l'invention est de type non liée (« unbonded » en anglais) et répond aux spécifications définies dans le document normatif API 17J

25 Selon la présente invention, on limite l'acidité aqueuse au sein de l'élément métallique de renfort mécanique, en disposant une barrière de diffusion sur la gaine de pression afin de limiter les conséquences de la perméabilité relative de ladite gaine de pression aux gaz acides. La barrière de diffusion est disposée entre la gaine de pression et l'élément de renfort mécanique.

30 Selon l'invention, la barrière de diffusion comporte au moins une bande métallique enroulée autour de la gaine de pression de façon à procurer un recouvrement métallique. On appelle recouvrement métallique, le fait qu'une spire de l'enroulement de la bande métallique F se superpose à la spire précédente : deux spires consécutives de l'enroulement de la bande métallique se chevauchent. Le principe fondamental de la barrière de diffusion selon l'invention est fondé sur la coopération d'un assemblage entre plusieurs matériaux, chaque matériau ayant une fonction spécifique. On utilise un matériau métallique, à savoir la bande

métallique, pour son étanchéité quasi-totale aux gaz (acier inoxydable par exemple), et un polymère pour sa souplesse et sa perméabilité limitée. Par le terme de polymère, il faut comprendre les polymères thermoplastiques et les élastomères. La présence d'un polymère dans le recouvrement, à l'instar d'un joint, permet de mieux contrôler l'étanchéité (étanchéité métal-polymère).

Avantageusement, la barrière de diffusion peut être formée directement sur la surface externe de la gaine de pression de la conduite flexible. Dans ce but, une couche métallique est enroulée sur la gaine de pression de manière à conserver une certaine flexibilité à la conduite flexible mais avec un recouvrement suffisamment large pour créer un masquage d'une partie de la surface de diffusion (et donc de réduire les débits vers l'annuaire). La tortuosité créée a pour effet d'augmenter la longueur du chemin de diffusion et donc de réduire les débits. Les espaces vides de cette tortuosité sont comblés par le matériau polymère, de préférence faiblement perméable.

Avantageusement, la bande métallique F est enroulée avec un angle d'hélice de valeur absolue supérieure à 55°, préférentiellement supérieure à 70°.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, la barrière de diffusion peut comporter une bande métallique (également appelée feuillard métallique) recouverte par au moins partiellement par du polymère sur au moins un des faces de la bande métallique. Ainsi, le polymère est fixé directement sur la bande métallique. Une telle bande métallique recouverte au moins partiellement de polymère est désignée par le terme « bande multicouche » (préférentiellement bi ou tri couches). De cette manière, l'assemblage peut prendre la forme d'une bande multicouches qui, par exemple, peut être enroulée de manière hélicoïdale, avec recouvrement autour de la gaine de pression du flexible lors de la fabrication. Ce mode de réalisation permet de faciliter la fabrication de la conduite flexible.

Pour assurer une adhésion déterminée entre un polymère et un feuillard métallique, on peut envisager plusieurs techniques de réalisation :

- le collage (uniquement pour certains polymères/élastomères). Cette solution présente l'avantage d'être peu onéreuse.
- l'« adhésion », cette technique consiste à réaliser la mise en œuvre du polymère/élastomère directement sur le feuillard acier. L'adhésion est à la fois chimique et physique, ce qui assure une meilleure résistance et durabilité.

Selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, la barrière de diffusion peut comporter une bande métallique et une bande polymère distinctes. Ces deux bandes ne sont pas assemblées (elles ne sont pas collées ou n'adhèrent pas l'une sur l'autre avant leur ajout sur la gaine de polymère de résistance à la pression). La bande polymère est agencée au moins dans la zone de recouvrement de la bande métallique. De manière avantageuse, la

largeur de la bande polymère est sensiblement égale à la largeur de la bande métallique. Ainsi, il est possible de réaliser la pose simultanée des bandes, et de cette manière faciliter la fabrication de la conduite flexible. Alternativement, les deux bandes (de largeur sensiblement égale ou non) peuvent être enroulées de manière indépendante. De
5 préférence, l'adhésion suffisante (l'absence de mouvement relatif) entre chaque bande peut être assurée par la tension de pose lors de la fabrication et par la pression interne en service.

Selon l'invention, le recouvrement métallique procuré par l'enroulement de la bande
10 métallique F est réalisé de telle sorte que la distance de recouvrement (selon la direction longitudinale de la conduite flexible) est comprise entre 35 % et 75 % de la largeur de la bande métallique, pour réaliser la propriété de la barrière de diffusion. Ainsi, la pose de la bande métallique est réalisée sur l'enroulement précédent de la bande métallique sur une distance représentant de 35 à 75 % de la largeur de la bande métallique. Le taux de
15 recouvrement peut être choisi en fonction de la largeur de la bande métallique. Au-delà de 75 %, l'épaisseur de la barrière de diffusion serait trop importante (besoin de quatre couches de bandes métalliques). De manière avantageuse, pour augmenter la propriété de barrière de diffusion la distance de recouvrement métallique est supérieure à 40 % de la largeur de la bande métallique, de manière à ce que le masquage soit le plus important possible. De
20 préférence, pour optimiser cette propriété de barrière de diffusion, la distance de recouvrement métallique est comprise entre 45 et 55 % de la largeur de la bande métallique. En effet, un taux de recouvrement proche de 50 % est proche de l'optimal pour maximiser la propriété barrière de diffusion.

Plusieurs modes de réalisations peuvent être envisagés pour la réalisation de la
25 barrière de diffusion. Parmi ces modes de réalisation, on peut citer notamment le recouvrement à plat, le recouvrement en S et le recouvrement « en double S » (pour ce recouvrement, la bande métallique forme trois paliers sensiblement plats séparés par deux parties courbes). Les figures 2a à 2c montrent schématiquement selon une coupe d'une
30 conduite flexible, et de manière non limitative, ces exemples de réalisations de la barrière de diffusion selon l'invention. Sur ces figures, les éléments similaires aux éléments de la conduite flexible de l'art antérieur illustrée en figure 1 portent les mêmes références.

Au centre de la conduite, est agencée une carcasse interne métallique 1. Cette carcasse interne métallique 1 est recouverte d'une gaine de pression 2. Sur la gaine de
35 pression 2, est prévue une barrière de diffusion B. Au sein de cette barrière de diffusion B, des bandes métalliques F sont enroulées avec un matériau polymère P intercalé entre le recouvrement des bandes métalliques. A l'extérieur de la barrière de diffusion B sont

agencées une voûte de pression 3 métallique, des nappes d'armure de traction 4 métalliques et une gaine externe d'étanchéité 5 en polymère. La référence T identifie la longueur du recouvrement ou longueur de tortuosité remplie de matériau polymère.

Cet enroulement peut par exemple être réalisé à plat sous forme de deux couches (bande métallique et polymère) superposées avec recouvrement longitudinal (figure 2a). Les deux couches ont une largeur sensiblement identique. Pour cette réalisation, le recouvrement est sensiblement égal à 50 %.

Selon la figure 2b, on peut aussi réaliser une pose en S avec recouvrement longitudinal. Pour cette configuration, une partie de la bande métallique F recouvre directement la gaine de pression 2, et une autre partie recouvre un autre enroulement de la bande métallique F. Pour cette réalisation, le recouvrement est sensiblement égal à 50 %.

Selon le mode de réalisation de la figure 2c, l'enroulement est réalisé selon une forme de « double S », cette réalisation concerne un recouvrement métallique supérieur à 50 % de la largeur de la bande. De cette manière, trois bandes métalliques sont superposées. Pour cette réalisation, le recouvrement est sensiblement égal à 66 %.

Les conduites représentées sur les figures 2a, 2b, 2c sont du type "rough bore", c'est-à-dire que le fluide en circulation dans la conduite est en contact avec la carcasse interne 1.

Alternativement, les conduites peuvent être du type "smooth bore". Dans ce cas, les conduites représentées respectivement par les figures 2a, 2b et 2c ne comportent pas de carcasse interne 1. La gaine polymère 2 est directement en contact avec le fluide en circulation dans la conduite.

La présence d'un polymère dans la tortuosité, à l'instar d'un joint, permet d'optimiser l'étanchéité (étanchéité métal-polymère) de la barrière de diffusion B. Pour cela, la bande métallique F est de préférence posée avec une certaine tension pour assurer un contact entre les différentes couches et avec la gaine de pression 2 dans toutes les conditions d'utilisation du flexible, que ce soit en production ou en arrêt. En service, la pression interne au flexible contribue à assurer encore davantage le confinement des couches.

La fabrication de la barrière de diffusion B autour de la gaine de pression 2 peut être réalisée de différentes manières. De préférence, elle peut être réalisée par enroulement hélicoïdal d'une bande métallique F recouverte au moins partiellement par une couche de polymère P sur au moins une face, c'est-à-dire par l'enroulement d'une bande multicouche.

La bande métallique peut présenter différentes géométries. Les figures 3 illustre, de manière schématique et non limitative, l'enroulement d'une bande métallique F sur une gaine 2. La bande métallique F est recouverte d'un polymère non représenté.

La géométrie finale de la tortuosité dépend donc du mode de pose (à plat, en S, en double S, ou autre) et de la géométrie de la couche métallique.

Conformément à une variante de réalisation de l'invention, on peut envisager une méthode de fabrication de la barrière de diffusion à partir de bandes métalliques nues (non revêtues). Une première couche de bande métallique (feuillard en acier) est enroulée autour du flexible, et le polymère est extrudé directement sur le feuillard métallique, puis on forme la barrière de diffusion par ajout d'une deuxième bande de feuillard acier avec recouvrement suffisant pour former la tortuosité, et dans le cas d'un élastomère, la réticulation peut être réalisée après la pose des bandes métalliques. Ce mode de réalisation est plus difficile à contrôler en fabrication, mais présente l'intérêt de pouvoir réaliser une gaine élastomère ou polymère continue, sans espace entre chaque bande métallique qui est entièrement noyée dans le polymère.

Conformément à un mode de réalisation de l'invention, l'épaisseur de la bande métallique de la barrière de diffusion peut être comprise entre 0,2 et 2 mm. Une telle gamme d'épaisseur permet d'assurer correctement la fonction de barrière contre la diffusion des gaz acides, et permet de réaliser la pose avec une machine peu puissante (par exemple une rubaneuse). En outre une telle épaisseur permet de limiter la masse et le coût de la conduite flexible.

Conformément à un mode de réalisation de l'invention, l'épaisseur de la couche polymère (collée ou non à la bande métallique) de la barrière de diffusion peut être comprise entre 0,5 et 4 mm. Cette épaisseur peut être choisie en fonction de la largeur de la couche de polymère. En particulier, on peut choisir un ratio épaisseur/largeur de la couche polymère de manière à garantir la tortuosité de la barrière de diffusion. Une telle épaisseur de polymère permet d'assurer l'effet liée à la tortuosité (rôle de barrière de diffusion), tout en garantissant l'étanchéité.

Avantageusement, la largeur de la bande métallique de la barrière de diffusion est comprise entre 25 et 150 mm. Ainsi, il est possible d'utiliser les moyens de productions actuels utilisés pour les autres couches de la conduite flexible.

Une étude par éléments finis de nombreuses configurations théoriques a permis de déterminer l'impact des principaux paramètres géométriques et physiques de la barrière de diffusion sur la réduction de perméabilité : impact de la largeur de la couche métallique, de l'épaisseur de la tortuosité, de sa longueur, de sa position, de sa perméabilité, de l'espace entre deux bandes successives, etc. Dans la plupart des cas, la réduction de perméabilité est importante : d'un facteur 10 à 10^6 selon la configuration et les matériaux utilisés. Le choix

de la meilleure configuration est toujours un compromis qui prend en compte au moins : le mode d'utilisation du flexible, les conditions de pression et de température, les dimensions du flexible, le comportement mécanique du flexible et les coûts.

5 Des premiers calculs ont été réalisés à partir d'une géométrie théorique de barrière de diffusion selon le schéma de la figure 4. On considère une matrice de polymère de 4 mm d'épaisseur dans laquelle sont noyées des bandes métalliques imperméables de longueur L , séparées par une épaisseur e_T de polymère. Le recouvrement est ici de l'ordre de 50%. Le débit d'un gaz à travers cet assemblage, Q , est comparé au débit du même gaz dans la même épaisseur de polymère, Q_0 , sans les feuilles métalliques. Le ratio Q/Q_0 représente le
10 facteur de réduction de la perméabilité de l'assemblage, et permet directement de quantifier l'effet barrière d'un assemblage. Plus ce ratio est petit, plus la réduction de perméabilité et plus l'effet barrière sont importants. Les calculs réalisés sur cette géométrie ont permis de déterminer l'évolution de la propriété barrière selon la largeur du feuillard et l'épaisseur de la
15 tortuosité, pour un taux de recouvrement donné. Il est aussi possible de faire varier le taux de recouvrement, et on a montré par le calcul qu'un taux de recouvrement d'environ à 50% est proche de l'optimal pour maximiser la propriété barrière, toutes choses égales par ailleurs. Cependant, compte tenu des autres contraintes, mécaniques, de fabrication, ou de coûts, on peut considérer que pour une application flexible pétrolier, une largeur L de bande
20 métallique comprise entre 25 mm et environ 150 mm convient et le recouvrement peut être compris entre 35 % et 75%, de préférence supérieur à 40 %, bien que 50% est de préférence le meilleur compromis.

Les résultats principaux des calculs concernent la pose d'une barrière de diffusion comportant plusieurs bandes bi-matériaux (bande métallique revêtue de polymère selon le
25 premier mode de réalisation de l'invention), de largeur 100 mm, posées à plat ou en S sur une gaine de pression en polymère (polyamide, PA) d'épaisseur 5 mm. Les calculs de débit Q sur ces assemblages ont été comparés au débit Q_0 dans une gaine de pression en polymère (PA) de même épaisseur totale (et sans barrière de diffusion selon l'invention), soit 7 mm ou 9 mm selon l'épaisseur de barrière considérée. Par exemple, une barrière de
30 diffusion selon l'invention composée de HNBR (caoutchouc acrylonitrile butadiène hydrogéné) et d'inox posée à plat sous forme de 2 couches de 1 mm sur une gaine de pression de 5 mm de PA (polymère) possède un débit 40 fois plus faible que la même épaisseur totale de PA (7 mm dans ce cas).

Plusieurs informations peuvent être déduites des calculs :

- 35 - la pose à plat semble plus efficace d'un point de vue barrière que la pose en S, toutes choses égales par ailleurs ;

- la pose de 4 bandes de 1 mm semble plus efficace que la pose de 2 bandes de 2 mm, toutes choses égales par ailleurs ;
- Les propriétés du matériau remplissant la tortuosité impactent fortement le facteur de réduction du débit. Si on remplace le HNBR (élastomère) par du PA (thermoplastique), le facteur de réduction passe de 22 à 165. Dans les calculs, la perméabilité du PA est 14 fois inférieure à celle du HNBR.

L'ensemble des calculs met en évidence l'importance de la sélection du matériau présent dans la tortuosité. Ce matériau devra avoir la plus faible perméabilité possible tout en étant capable de se déformer élastiquement de manière importante à chaque cycle de fatigue. C'est pourquoi les matériaux seront préférentiellement choisis parmi les élastomères. De plus, un critère de choix du matériau polymère peut être sa compatibilité avec le matériau de la gaine polymère.

En effet, les flexions répétées de la conduite flexible, dans le cas notamment où celle-ci est utilisée en tant que colonne montante (« riser » en anglais) et est de ce fait soumise à de nombreux cycles de flexion, ne peuvent, de préférence, pas générer de déformations notables dans les bandes métalliques. Les déformations devront rester inférieures à 0.2%, de préférence 0.1%, pour ne pas plastifier le métal et donc réduire fortement sa durée de vie. Dans certains cas, les bandes métalliques peuvent accommoder la flexion de la conduite flexible en « glissant » sans se déformer, ou presque. Les bandes sont alors choisies assez épaisses pour avoir suffisamment de rigidité. Le glissement peut être soit un vrai glissement, mais cela peut générer de l'usure et nécessiter une lubrification, soit être accommodé par une couche intermédiaire souple constituée d'un matériau polymère apte à se cisailer sans générer d'efforts importants dans la bande métallique ou le substrat. Cette fonction est réalisée par le matériau polymère intercalé dans le recouvrement métallique procuré par l'enroulement de la bande métallique.

En outre, il est envisageable qu'une couche élastomère soit intercalée entre la gaine de pression et la bande métallique pour éviter un glissement direct entre les deux éléments. Dans d'autres cas, si la bande métallique est constituée d'un matériau métallique du type superélastique, ce « glissement » est limité voire évité.

Le matériau polymère peut préférentiellement également supporter les ouvertures et fermetures entre deux bandes métalliques, ce qui va générer des déformations localisées importantes dans l'élastomère.

Un calcul de mécanique permet de définir les épaisseurs optimales des bandes métalliques et élastomère et le jeu entre deux bandes. Il permettra aussi d'orienter le choix de l'élastomère.

L'application visée se situe de préférence aux conduites de transport de l'effluent pétrolier produit (« flowlines » et « risers »). Les chargements à prendre en compte sur la conduite sont :

- Les chargements en fabrication et installation, caractérisés par de fortes courbures, de faibles pressions de contact, température ambiante (-15°C à +50°C), un faible nombre de cycles de flexion (quelques milliers).
 - Le chargement en production. Il est limité à de fortes pressions de contact, des températures élevées avec de faibles variations des pressions de contact et de température dans le temps.
- Dans le cas de l'application étendue aux « risers », on peut prendre en compte les chargements dynamiques en production spécifiques aux « risers » qui peuvent être faibles courbures, fortes pressions de contact, température, grand nombre de cycles de flexion (quelques millions).
- Le matériau polymère présent dans la tortuosité peut présenter des caractéristiques précises en termes de :
- Perméabilité ;
 - Gonflement sous l'effet de la solubilité des gaz et de l'eau ;
 - Propriétés mécaniques (dureté, déformation élastique, fatigue, fluage) ;
 - Durabilité en présence des composés chimiques présents dans l'annulaire.

Les méthodes de détermination de ces caractéristiques sont pour l'ensemble assez classiques : tests de perméabilité aux différents gaz et liquides, vieillissements en atmosphères représentatives, essais mécaniques (traction, compression, fluage, fatigue, dureté, ...).

On rappelle que le polymère de la barrière de diffusion peut être un élastomère ou un polymère thermoplastique. Par exemple, la caractérisation de la perméabilité de plusieurs familles d'élastomères montre que les Viton ® (The Chemours Company, USA) et les Butyl font partie des grades les moins perméables, et donc adaptés à la barrière de diffusion selon l'invention. On constate que la perméabilité décroît avec l'augmentation de la dureté. Il y a donc certainement un compromis à trouver entre perméabilité (la plus faible possible) et propriétés mécaniques (souplesse suffisante en cisaillement, résistance en fatigue). Le prix de ces matériaux peut être aussi un facteur de choix. On peut citer entre autres : HNBR 80 ou 90 Shore, AFLAS 80 Shore ® (Seal and design, USA), VITON 75 ou 80 Shore ® (The Chemours Company, USA), HYPALON 60 Shore ® (DuPont, USA), BUTYL 60 Shore, COFLON XD ® (TECHNIP, France).

En outre, le matériau polymère de la barrière de diffusion peut être choisi parmi les grades suivants : NBR (copolymères butadiène-acrylonitrile), CR (Polychloroprène, Néoprène), EPDM (éthylène-propylène-diène monomère), CO (Polychlorométhoxyrane), TFE (tétrafluoroéthylène), PU (Polyuréthane), Silicone, PE (polyéthylène), PA (polyamide),
5 PVDF (Polyfluorure de vinylidène).

Conformément à un premier exemple de réalisation de l'invention, le matériau polymère utilisé pour réaliser la barrière de diffusion d'une conduite flexible montante (« riser ») typiquement soumise à des contraintes statiques et dynamiques peut être choisi parmi les élastomères, en raison de leurs bonnes propriétés mécaniques pour le cisaillement.

10 Conformément à une deuxième mise en œuvre de l'invention, le matériau polymère utilisé pour réaliser la barrière de diffusion d'une conduite flexible s'étendant sur le fond marin (« flowline ») typiquement soumise à des contraintes statiques peut être choisi parmi les polyamides, qui sont plus rigides, permettent de limiter le glissement, et sont peu onéreux.

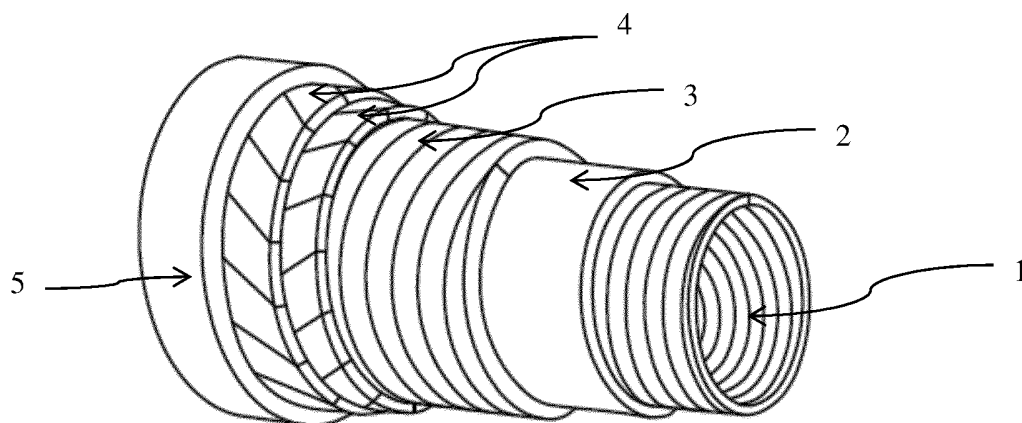
15 La spécification du feuillard métallique (bande métallique de la barrière de diffusion) peut prendre en compte la corrosivité du milieu annulaire, et l'utilisation d'un acier inoxydable peut ne pas être suffisante. La résistance à la corrosion de nombreux matériaux métalliques (aciers inoxydables et alliages de Nickel / de Titane / d'Aluminium, ...) est étudiée et la détermination du meilleur grade d'acier à utiliser en fonction des conditions de
20 fonctionnement peut être choisie parmi les aciers Inox, les aciers au carbone, Duplex, Super-Duplex, Monel, Inconel ® (Special Metals Corporation, USA), Hastelloy, ou équivalent. De manière avantageuse, la bande métallique peut être réalisée en aciers au carbone basses caractéristiques présentant une bonne résistance à la corrosion. En effet, la corrosion de ce type d'acier se présente sous la forme d'une corrosion généralisée, généralement plus lente,
25 que la corrosion par piqûres formée dans certains aciers.

Revendications

- 5 1) Conduite flexible pour transporter un effluent pétrolier comportant de l'eau et au moins un composé acide parmi le dioxyde de carbone CO_2 et l'hydrogène sulfuré H_2S , ladite conduite comportant au moins un élément métallique de renfort mécanique (3, 5) et une gaine de pression (2), ledit élément métallique (3, 5) étant disposé à l'extérieur de ladite gaine de pression (2), une barrière de diffusion (B) étant disposée entre ladite gaine de résistance à la pression (2) et ledit élément métallique de renfort mécanique (3, 5),
- 10 caractérisée en ce que ladite barrière de diffusion (B) comporte au moins une bande métallique (F) enroulée autour de ladite gaine de résistance à la pression (2) de façon à procurer un recouvrement métallique sur une distance comprise entre 35 et 75% de la largeur de ladite bande métallique (F) et en ce qu'un matériau polymère (P) est intercalé dans ce recouvrement.
- 15 2) Conduite selon la revendication 1, dans laquelle ladite bande métallique (F) est recouverte au moins partiellement par une couche dudit matériau polymère (P) sur au moins une face.
- 20 3) Conduite selon la revendication 1, dans laquelle ladite barrière de diffusion (B) est formée par ladite bande métallique (F) et par une bande dudit matériau polymère (P).
- 4) Conduite selon la revendication 3, dans laquelle ladite bande dudit matériau polymère (P) a une largeur sensiblement égale à la largeur de ladite bande métallique (F).
- 25 5) Conduite selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite bande métallique (F) est en acier inox, en acier au carbone, en alliage de Nickel, de Titane, ou d'Aluminium.
- 30 6) Conduite selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ledit matériau polymère (P) de ladite barrière de diffusion (B) est un élastomère ou un polymère thermoplastique choisi parmi les grades suivants : NBR (copolymère butadiène-acrylonitrile), CR (Polychloroprène, Néoprène), EPDM (éthylène-propylène-diène monomère), CO (Polychlorométhoxyrane), TFE (tétrafluoroéthylène), PU (Polyuréthane), Silicone, PE (polyéthylène), PA (polyamide), PVDF (Polyfluorure de vinylidène).
- 35

- 7) Conduite selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite barrière de diffusion (B) comporte au moins deux couches de bande métallique (F) enroulées à plat, la deuxième couche de bande métallique (F) formant ledit recouvrement.
- 5
- 8) Conduite selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle ladite barrière de diffusion (B) comporte au moins une couche de bande métallique (F) enroulée en S pour former ledit recouvrement.
- 10
- 9) Conduite selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle ladite barrière de diffusion (B) comporte au moins une couche de bande métallique (F) enroulée en « double S » pour former ledit recouvrement.
- 15
- 10) Conduite selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite bande métallique (F) de ladite barrière de diffusion (B) a une largeur comprise entre 25 et 150 mm.
- 20
- 11) Conduite selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la couche dudit matériau polymère (P) de ladite barrière de diffusion a une épaisseur comprise entre 0,5 mm et 4 mm.
- 25
- 12) Conduite selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle ladite bande métallique (F) de ladite barrière de diffusion (B) a une épaisseur comprise entre 0,2 mm et 2 mm.
- 13) Conduite selon l'une des revendications, dans laquelle une couche d'élastomère est intercalée entre ladite barrière de diffusion (B) et ledit élément métallique de renfort mécanique (3, 5).

1 / 2



ART ANTERIEUR
Figure 1

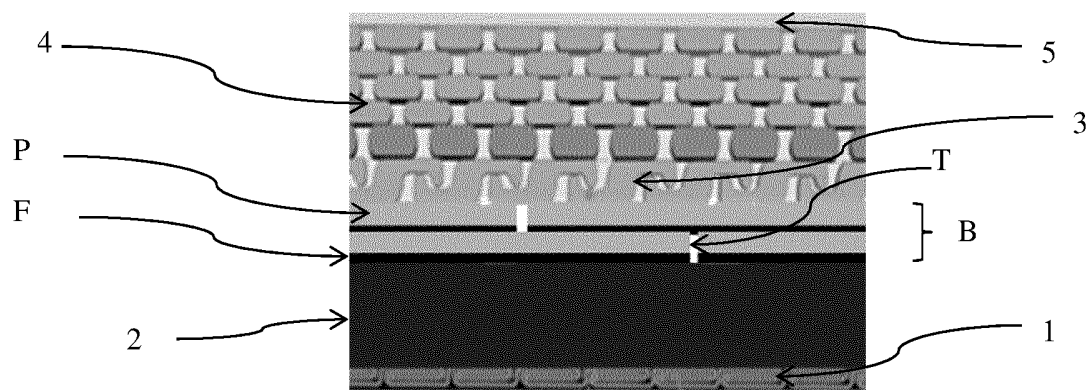


Figure 2a

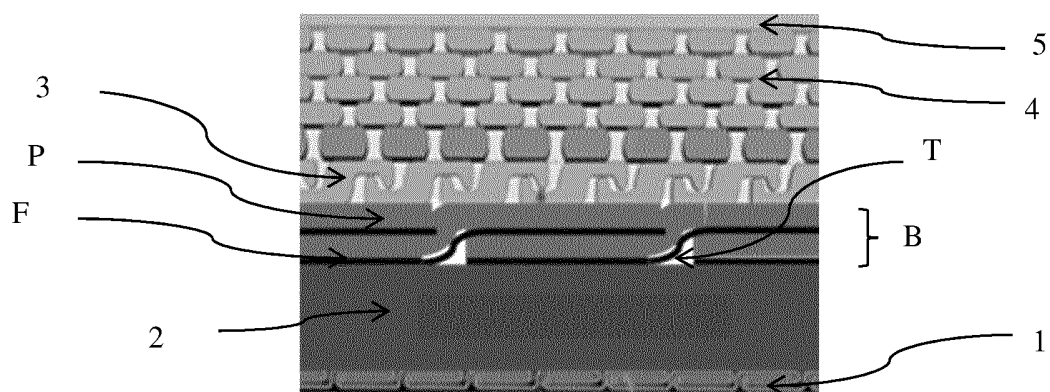


Figure 2b

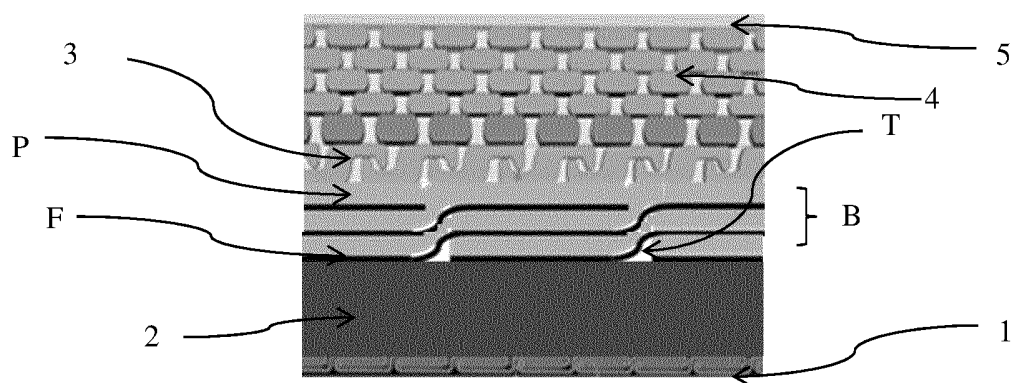


Figure 2c

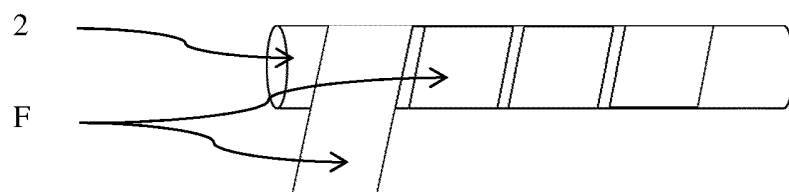


Figure 3

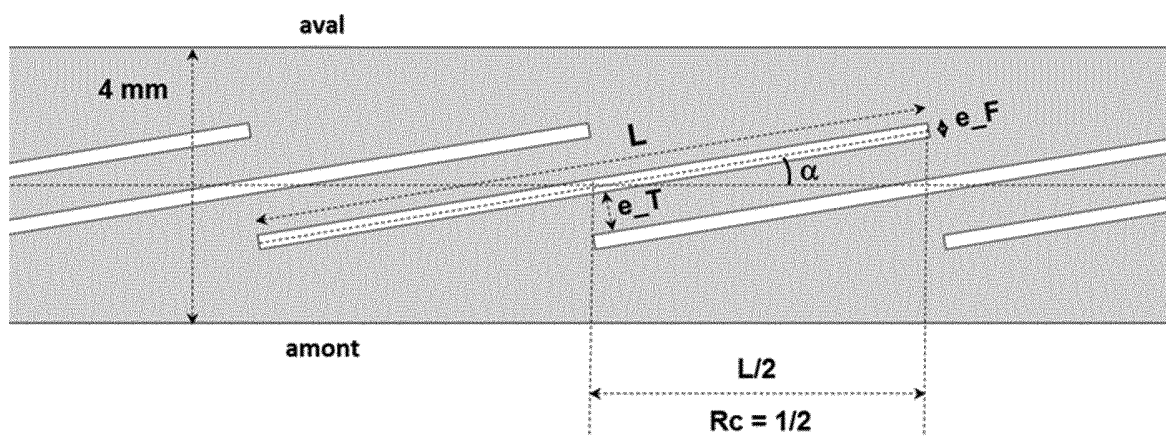


Figure 4