

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 076 337**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **17 63362**

⑤① Int Cl⁸ : **F 16 L 11/14 (2018.01), B 29 C 48/18, B 29 C 63/22,
B 32 B 1/08**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ CONDUITE FLEXIBLE SOUS-MARINE COMPRENANT UNE GAINÉ EXTERNE MULTI-
COUCHES.

②② Date de dépôt : 29.12.17.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 05.07.19 Bulletin 19/27.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 17.01.20 Bulletin 20/03.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *TECHNIP FRANCE Société
anonyme — FR.*

⑦② Inventeur(s) : *QUEMENEUR EMMANUELLE.*

⑦③ Titulaire(s) : *TECHNIP FRANCE Société anonyme.*

⑦④ Mandataire(s) : *LAVOIX.*

FR 3 076 337 - B1



Conduite flexible sous-marine comprenant une gaine externe multicouches

La présente invention concerne une conduite flexible sous-marine destinée au transport des hydrocarbures en eau profonde.

5 Ces conduites sont susceptibles d'être utilisées sous fortes pressions, supérieures à 100 bars, voire jusqu'à 1000 bars, et à des températures élevées, supérieures à 130°C, voire 170°C, pendant de longues périodes de temps, c'est-à-dire plusieurs années, typiquement 30 ans.

10 Les conduites flexibles sous-marines destinées au transport des hydrocarbures en eau profonde comprennent un assemblage de tronçons flexibles ou un seul tronçon flexible. Ces conduites flexibles comprennent une couche de renforcement métallique autour d'une gaine polymérique interne d'étanchéité, dans laquelle circulent les hydrocarbures. Elles comprennent typiquement, de l'extérieur vers l'intérieur de la conduite :

- 15
- une gaine polymérique externe d'étanchéité,
 - au moins une nappe d'armures de traction en tant que couche de renforcement, qui est généralement métallique,
 - une gaine polymérique interne d'étanchéité,
 - éventuellement une carcasse.

20 Chaque nappe d'armure de traction est formée de fils, généralement métalliques, posés avec un jeu qui crée ainsi un volume libre, appelé annulaire, entre la gaine polymérique externe d'étanchéité et la gaine polymérique interne d'étanchéité. L'annulaire peut être rempli de gaz qui sont issus de l'espace interne de la conduite et qui ont traversés la gaine polymérique interne d'étanchéité par perméabilité.

25 La gaine polymérique externe d'étanchéité doit répondre à différentes fonctions qui sont notamment :

- 30
- la protection mécanique de la(es) nappe(s) d'armures de traction, notamment la protection aux chocs et frottements auxquels la conduite flexible pourrait être confrontée lors de son installation ou de sa mise en service, et la résistance à l'usure,
 - l'apport de raideur/de rigidité à la conduite flexible, notamment dans les zones très dynamiques pour limiter la courbure de la conduite flexible,
 - la protection contre la pénétration de l'eau de mer au sein de l'annulaire afin d'éviter la corrosion des fils métalliques,
 - 35 - la capacité à assurer la résistance aux efforts circonférentiels (« hoop stress » en anglais) dus à la pression des gaz remplissant l'annulaire,

- l'isolation thermique, car pour faciliter les exploitations des gisements, l'espace interne doit être à une température supérieure à la température de formation des hydrates et paraffines.

5 Il existe deux principales applications pour ces conduites flexibles qui peuvent être statiques ou dynamiques. Le document normatif API 17J, 4ème édition, Mai 2014 définit l'application dynamique et l'application statique.

10 Par application dynamique, il est entendu une application dans laquelle la conduite flexible est soumise à des efforts cycliques. En effet, dans certaines configurations, la conduite flexible s'étend entre une structure de fond telle qu'une tête de puit ou un collecteur et un ensemble de surface tel qu'un navire de production, de stockage et de déchargement (« FPSO », Floating Production Storage and Offloading en langue anglaise). Une telle conduite est appelée conduite montante (« riser » en langue anglaise). Dans cette configuration, le mouvement du navire de pose impose de larges contraintes cycliques à la conduite flexible caractéristiques d'une application dynamique.

15 Par opposition, une application statique est caractérisée par l'absence de larges contraintes cycliques imposées à la conduite. Typiquement, la conduite flexible peut s'étendre sur le fond marin ou être ensouillée dans le fond marin. Une telle conduite est généralement désignée par le terme anglais « flowline ». Dans cette configuration, les sollicitations mécaniques sont peu cycliques.

20 Différents matériaux ont été sélectionnés pour répondre aux diverses fonctions de la gaine polymérique externe d'étanchéité. Ces matériaux sont principalement des polyamides (PA), des polyéthylènes (PE) et des polymères thermoplastiques élastomères (TPE). En fonction des conditions d'application de la conduite flexible, un matériau sera privilégié par rapport à un autre pour les performances recherchées comme par exemple la raideur, l'isolation thermique et l'étanchéité à l'eau de mer.

25 Les polyéthylènes sont sensibles à la formation d'entailles. Ils ne sont donc généralement pas utilisés pour la gaine externe en contact avec l'eau de mer pour des applications dynamiques à cause des risques d'endommagement lors de la manipulation des conduites.

30 Pour les applications dynamiques, les gaines externes sont généralement limitées aux matériaux polymère thermoplastique élastomère ou polyamide.

Les polyamides sont principalement utilisés lors de requis spécifiques comme une très bonne résistance à l'usure.

35 A titre de matériau constitutif de la couche la plus externe en contact avec l'eau de mer, on privilégie les polymères thermoplastiques élastomères qui présentent notamment de meilleures propriétés en perméabilité que le polyéthylène, ce qui permet de

désévériser l'environnement de l'annulaire et une meilleure isolation thermique. Par exemple, la demande FR 2 837 898 décrit une conduite flexible dont la gaine polymérique externe d'étanchéité est en polymère thermoplastique élastomère (TPE). L'utilisation d'une gaine externe en TPE a toutefois des limitations : la résistance aux efforts

5 circonférentiels des gaines TPE est significativement plus faible que celle du polyéthylène. Aussi, la rigidité des gaines en TPE est insuffisante dans le cadre des applications dynamiques et conduit parfois à devoir augmenter l'épaisseur de la gaine externe uniquement par rapport à cet aspect, ce qui implique un coût supplémentaire. Enfin, la résistance à l'usure du TPE est inférieure à celle du polyéthylène.

10 Les conduites flexibles sous-marine peuvent comprendre en outre une gaine de protection qui revêt la gaine polymérique externe d'étanchéité (la gaine de protection est alors la couche la plus externe, celle en contact avec l'eau de mer). La fonction de la gaine de protection est de protéger la gaine polymérique externe d'étanchéité et/ou de rendre la conduite flexible plus rigide notamment dans les zones très dynamiques.

15 Par exemple, la demande WO 2011/072690 décrit une conduite flexible comprenant une gaine polymérique externe d'étanchéité revêtue par une couche améliorant la rigidité (« stiffening cover » en anglais) et étant à base d'un polymère dont le module de flexion est supérieur à celui du matériau constitutif de la gaine polymérique externe d'étanchéité. Dans un mode de réalisation, le matériau de cette couche

20 améliorant la rigidité peut être une combinaison d'un TPE et d'un polymère thermoplastique thermovinyle. Dans un autre mode de réalisation, le matériau de la couche améliorant la rigidité est identique à celui de la gaine polymérique externe d'étanchéité. Toutefois, il peut alors être observé des difficultés lors du montage avec l'embout compte tenu du collage trop intime entre ces deux gaines de même nature. En

25 outre, en cas d'endommagement de la couche améliorant la rigidité, il peut y avoir propagations de fissures (« cracks » en anglais) de la couche améliorant la rigidité à travers la gaine polymérique externe d'étanchéité. Les gaines de protection et gaine externe n'assurent alors plus leurs fonctions d'étanchéité. Il est donc préférable d'avoir des matériaux en gaine polymérique externe d'étanchéité et gaine de protection bien

30 distincts. En outre, en cas d'endommagement de la couche améliorant la rigidité, la raideur de la conduite flexible peut devenir insuffisante, notamment pour des applications dynamiques.

De plus, la présence de cette gaine de protection supplémentaire requiert l'ajout d'une étape supplémentaire dans la fabrication des conduites flexibles.

35 Cette gaine de protection pose également des problématiques de transmission des efforts radiaux lors de la pose. Ce point est notamment critique pour les applications

fortes profondeurs pour lesquelles le point suspendu est important lors de la pose. Cette problématique concerne aussi bien les structures des applications dynamiques que les statiques.

5 Le développement de gaine polymérique externe d'étanchéité alternative n'ayant pas ces inconvénients et permettant d'utiliser la conduite flexible, en particulier dans des applications dynamiques, est recherché.

A cet effet, selon un premier objet, l'invention a pour objet une conduite sous-marine destinée au transport d'hydrocarbures, comprenant, de l'extérieur vers l'intérieur de la conduite :

- 10
- une gaine polymérique externe d'étanchéité,
 - au moins une nappe d'armures de traction en tant que couche de renforcement,
 - une gaine polymérique interne d'étanchéité,
 - éventuellement une carcasse métallique,

caractérisée en ce que la gaine polymérique externe d'étanchéité comprend une couche 15 polymérique externe comprenant un polymère P_e qui revêt une couche polymérique interne comprenant un polymère P_i , le module de Young à 20 °C du polymère P_e étant inférieur à celui du polymère P_i .

La couche polymérique externe permet de protéger la couche polymérique interne et ainsi de préserver l'étanchéité de la conduite flexible.

20 La couche polymérique interne permet d'améliorer :

- la rigidité de la conduite flexible,
- la résistance aux efforts circonférentiels de la gaine polymérique externe d'étanchéité, et/ou
- la résistance à l'usure de la gaine polymérique externe d'étanchéité.

25 Ainsi, les propriétés mécaniques de la gaine polymérique externe d'étanchéité sont améliorées en comparaison avec une gaine polymérique externe d'étanchéité constituée d'une seule couche, notamment une seule couche en polymère thermoplastique élastomère.

30 Ces propriétés font que la conduite flexible sous-marine selon l'invention est particulièrement adaptée à être utilisée pour des applications en dynamique. Il s'agit de préférence d'une conduite montante.

35 Typiquement le polymère P_e de la couche polymérique externe a un module de Young à 20 °C inférieur à 500 MPa, notamment inférieur à 300 MPa, de préférence de 200 MPa à 300 MPa et le polymère P_i de la couche polymérique interne a un module de Young à 20 °C supérieur à 500 MPa, notamment supérieur à 700 MPa, de préférence supérieur à 1000 MPa.

Alternativement, le polymère P_e de la couche polymérique externe a un module de Young à 20 °C inférieur à 300 MPa, de préférence de 200 MPa à 300 MPa et le polymère P_i de la couche polymérique interne a un module de Young à 20 °C supérieur à 300 MPa, notamment supérieur à 500 MPa, de préférence supérieur à 700 MPa, un module supérieur à 1000 MPa étant particulièrement préféré.

Le module de Young est mesuré selon la norme ASTM D638-14 ("Standard test method for tensile properties of plastics") de 2014, typiquement prenant en compte les paramètres de test suivants :

- Vitesse de la machine de test : 50 mm/min,
- Echantillon de test : type IV selon la classification de la Norme ASTM D638
- Caractéristiques de l'échantillon de test : 25 mm de long, 6 mm de large et 2 mm d'épaisseur.

Avantageusement, le polymère P_e de la couche polymérique externe a un module de Young à 20 °C de 200 MPa à 300 MPa. La couche polymérique externe est ainsi suffisamment élastique pour résister aux contraintes extérieures et assurer l'étanchéité de la conduite et suffisamment rigide pour résister à l'abrasion liée aux dispositifs d'installation de la conduite flexible tels que les tensionneurs ou colliers de serrage ou aux efforts de serrage.

Compte tenu de cette rigidité minimale que présente avantageusement le polymère P_e , la couche polymérique externe exerce un effort sur la couche polymérique interne. Cet effort est susceptible d'accroître le phénomène de propagation de fissures à travers la couche polymérique interne.

De préférence, la résistance de collage (« bonding strength » en anglais) entre la couche polymérique interne et la couche polymérique externe est de 1 N/m à 10 N/m, de préférence de 2 N/m à 6 N/m. La résistance au collage peut être mesurée selon la norme ISO8510-2, 2^{de} édition, de 2006-12-01.

En effet, de manière surprenante, il a été mis en évidence qu'une résistance au collage maximale de 10 N/m permet avantageusement de limiter la propagation des fissures et permet l'utilisation d'un polymère P_e avec une rigidité suffisante.

Il a été également découvert qu'un collage insuffisant entre la couche polymérique interne et la couche polymérique externe peut entraîner des difficultés lors de l'installation. En effet, les efforts radiaux de serrage ne sont alors pas transmis entre les deux couches et en résulte un glissement de la couche polymérique interne pendant l'installation de la conduite flexible. Pour pallier cet inconvénient, il a été mis en évidence que la résistance de collage minimale entre la couche polymérique interne et la couche polymérique externe est avantageusement de 1 N/m.

Avantageusement, une telle résistance de collage est suffisante pour :

- que la couche polymérique interne revêtue par la couche polymérique externe forment ensemble une seule et même couche (à savoir la gaine polymérique externe d'étanchéité),

5 - assurer une bonne transmission des efforts radiaux lors de la pose de la conduite flexible (et en particulier une meilleure transmission des efforts radiaux lors de la pose par rapport à une gaine polymérique externe d'étanchéité comprenant deux couches non liées entre elles) car l'adhésion de la couche polymérique interne et de la couche polymérique externe est importante,

10 mais est suffisamment faible pour que la couche polymérique interne et la couche polymérique externe ne soient pas intimement liées. Ainsi, lorsque des fissures se forment dans la couche polymérique externe, elles ne propagent pas dans la couche polymérique interne. L'absence de fissures sur la couche polymérique interne permet avantageusement d'assurer l'étanchéité de la conduite.

15 La gaine polymérique externe d'étanchéité peut être obtenue en coextrudant la couche polymérique interne et la couche polymérique externe dans des conditions permettant d'obtenir une telle résistance au collage, en particulier en choisissant :

- les polymères P_e et P_i ,
- la température de coextrusion, de préférence entre 140°C et 220°C,
- 20 - la vitesse d'extrusion, de préférence comprise entre 0,2 m/min et 0,6 m/min, et/ou
- le mode de refroidissement, notamment la vitesse de refroidissement et/ou la nature du flux utilisé pour refroidir, de préférence l'eau.

De préférence, la conduite flexible ne comprend pas de liant entre la couche polymérique externe et la couche polymérique interne afin de limiter les coûts.

25 Généralement, le polymère P_i de la couche polymérique interne est en polyoléfine, notamment en polyéthylène homopolymère, en polypropylène homopolymère, en copolymère de polyéthylène et de polypropylène ou en mélange de ceux-ci. La couche polymérique interne peut comprendre une seule polyoléfine ou un mélange de polyoléfines.

30 Le polymère P_e de la couche polymérique externe est généralement en polymère thermoplastique élastomère (TPE). La couche polymérique externe peut comprendre un seul TPE ou un mélange de TPE. Ces TPE sont en effet particulièrement adaptés pour obtenir la résistance au collage susmentionnée entre la couche polymérique interne et la couche polymérique externe lorsque des couches les comprenant sont coextrudées.

35 Lorsque la couche polymérique interne ou la couche polymérique externe comprend plusieurs polymères, le module de Young à considérer est celui du mélange de

polymères. Par exemple, lorsque la couche polymérique interne comprend plusieurs polymères P_i et la couche polymérique externe comprend plusieurs polymères P_e , le module de Young à 20°C du mélange de polymères P_e est inférieur à celui du mélange de polymères P_i . Les polymères thermoplastiques élastomères présentent généralement un allongement au seuil d'écoulement supérieur à 15 %. Les TPE se situent entre les résines thermoplastiques, à mise en œuvre facile et variée, mais dont les propriétés sont limitées en température ou, dans le domaine dynamique et les élastomères aux copropriétés élastiques remarquables, mais dont la mise en œuvre est lourde, complexe et souvent polluante. La structure des TPE comporte toujours deux phases non compatibles, l'une d'entre elles rassemblant les séquences thermoplastiques dispersées dans la phase élastomère. On distingue en général cinq catégories de TPE :

- les élastomères thermoplastiques oléfiniques (TPO), qui sont des mélanges physiques réalisés à partir de polyoléfines. On distingue ceux qui contiennent plus de 60% d'oléfine et ceux dont la phase élastomère est prépondérante (plus de 70 %), celle-ci pouvant être réticulée ou non,
- les copolymères blocs à base de polystyrène dont la phase rigide est constituée de séquences polystyrène, la phase souple pouvant être par exemple formée de séquences polybutadiène (SBS), polyisoprène (SIS), ou poly (éthylène butylène) (SEBS)
- les copolymères blocs à base de polyuréthane (TPU) qui peuvent être obtenus par réaction conjointe d'un diol de haute masse moléculaire qui constitue la séquence élastomère cristallisable du TPE, sur un diisocyanate et un diol de basse masse moléculaire qui engendrent la séquence rigide.
- les copolymères blocs à base de polyester tels que ceux obtenus par copolymérisation d'un polybutylène (PBT) ou d'un polyéthylène téréphtalate (PET) qui constitue les séquences rigides et cristallines et d'un glycol de bas poids moléculaire (butane diol, diéthylène glycol) qui, associé à un polyalkylene ether glycol forme la séquence souple cristallisable.
- les copolymères blocs à base de polyamide dont les séquences rigides sont constituées de polyamide (PA) et les séquences souples cristallisables de polyéther, appelés aussi polyétheramides.

Les TPE peuvent être choisis parmi les caoutchoucs éthylène-propylène-diène monomère (EPDM), les copolymères acrylonitrile-butadiène-styrène, les copolymères méthylméthacrylate-butadiène-styrène, les copolymères ester-amide et éther-amide, les copolyéthers-esters thermoplastiques, les copolymères séquences à base de polystyrène et d'élastomère du type polyisoprène, le polybutadiène etc... les copolymères styrène-

butadiène-styrène, les copolymères éthylène-éthylacrylate, éthylène-éthylacétate et éthylène-vinyle acétate ainsi que leurs terpolymères, les élastomères fluorés, les élastomères de silicone, les élastomères silicone fluorés, les polyuréthanes.

Le TPE peut être réticulé, non réticulé, ou un mélange de TPE réticulé et non réticulé.

Les polyoléfines utilisées à titre de polymère P_i et les TPE utilisés à titre de polymère P_e sont disponibles commercialement ou peuvent être préparés par des procédés connus de l'homme du métier.

De préférence, la couche polymérique interne et la couche polymérique externe n'ont pas la même couleur. En cas d'endommagement de la couche polymérique externe, la différence de coloration permet d'avoir un indicateur d'usure de la couche polymérique externe d'étanchéité. Cette différence de couleur peut notamment être visible lors d'une inspection par un véhicule télécommandé (« remotely operated vehicle » ROV en anglais).

La gaine polymérique externe d'étanchéité est multicouches. Dans un mode de réalisation, elle est constituée de la couche polymérique interne et de la couche polymérique externe. Dans un autre mode de réalisation, elle comprend une ou plusieurs couches supplémentaire(s), notamment une ou plusieurs couche(s) localisée(s) entre la couche polymérique interne et la nappe d'armure de traction (lorsque la conduite comprend plusieurs nappes d'armure, il s'agit de la nappe d'armure la plus externe). Typiquement, la gaine polymérique externe d'étanchéité comprend une couche polymérique supplémentaire en polymère P_s , la couche polymérique supplémentaire étant revêtue par la couche polymérique interne.

De préférence, la résistance de collage entre la couche polymérique interne et la couche polymérique supplémentaire est de 1 N/m à 10 N/m, de préférence de 2 N/m à 6 N/m. Une telle résistance de collage est suffisante pour :

- que la couche polymérique supplémentaire revêtue par la couche polymérique interne revêtue par la couche polymérique externe forment ensemble une seule et même gaine polymérique externe d'étanchéité,
- assurer une bonne transmission des efforts radiaux lors de la pose de la conduite flexible, car l'adhésion de la couche polymérique interne et de la couche polymérique supplémentaire est importante,

mais suffisamment faible pour que la couche polymérique interne et la couche polymérique supplémentaire ne soient pas intimement liées.

La gaine polymérique externe d'étanchéité peut être obtenue en coextrudant la couche polymérique supplémentaire, la couche polymérique interne et la couche

polymérique externe dans des conditions permettant d'obtenir les résistances au collage susmentionnées, en particulier en choisissant :

- les polymères P_s , P_e et P_i ,
- la température de coextrusion,
- 5 - la vitesse d'extrusion, de préférence comprise entre 0,2 m/min et 0,6 m/min, et/ou
- le mode de refroidissement, notamment la vitesse de refroidissement et/ou la nature du flux utilisé pour refroidir, de préférence l'eau.

Généralement, la couche polymérique externe, la couche polymérique interne et l'éventuelle couche polymérique supplémentaire sont obtenues par coextrusion. La coextrusion est facile à mettre en œuvre. Le procédé de préparation selon l'invention est ainsi plus simple et moins coûteux qu'un procédé dans lequel chaque couche de la gaine polymérique externe d'étanchéité est extrudée l'une après l'autre. De préférence, la conduite ne comprend pas de liant entre la couche polymérique supplémentaire et la couche polymérique interne afin de limiter les coûts.

15 La gaine polymérique externe d'étanchéité comprenant des couches coextrudées permet avantageusement de simplifier le design des embouts car il n'y a qu'une seule gaine à sertir, alors qu'au moins deux gaines doivent être serties dans les embouts lorsque la conduite comprend :

- une gaine polymérique externe d'étanchéité comprenant des couches non liées entre-elles, ou
- 20 - une gaine polymérique externe d'étanchéité et une gaine de protection.

Typiquement, le polymère P_s de la couche polymérique supplémentaire est en polymère thermoplastique élastomère, qui peut être identique ou différent de celui de la couche polymérique externe. Le TPE utile à titre de polymère P_s est notamment tel que défini ci-dessus. La couche polymérique supplémentaire peut comprendre un seul TPE ou un mélange de TPE.

Chaque couche de la gaine polymérique externe d'étanchéité de la conduite comprend typiquement :

- une matrice polymérique, et
- 30 - éventuellement des composants dispersés de façon discontinue dans la matrice polymérique.

Par « matrice polymérique », on entend la phase continue polymérique qui forme la couche de la gaine polymérique externe d'étanchéité. La matrice polymérique est une matrice continue. Chaque couche de la gaine polymérique externe d'étanchéité peut éventuellement comprendre des composants dispersés de façon discontinue dans la matrice polymérique, mais qui ne font pas partie de la matrice polymérique. De tels

composants peuvent par exemple être des charges telles que des fibres, qui peuvent eux-mêmes être polymériques.

La gaine polymérique externe d'étanchéité est généralement obtenue par coextrusion d'autant de mélanges maîtres que de couches comprises dans la gaine polymérique externe d'étanchéité (par exemple deux mélanges maîtres pour une gaine polymérique externe d'étanchéité constituée des couches polymérique interne et couche polymérique externe). Chaque mélange maître contient au moins un polymère (qui formera la matrice polymérique) et éventuellement un ou plusieurs additifs. Lors de la coextrusion, certains additifs sont incorporés dans la matrice polymérique, alors que d'autres ne se mélangent pas avec le(s) polymère(s) formant la matrice polymérique et se dispersent de façon discontinue dans la matrice polymérique, pour former des composants dispersés de façon discontinue dans la matrice polymérique.

De préférence, la matrice polymérique de la couche polymérique interne comprend un polymère P_i et/ou la matrice polymérique de la couche polymérique externe comprend un polymère P_e et/ou la matrice polymérique de la couche polymérique supplémentaire comprend un polymère P_s .

Généralement :

- la proportion massique de polymère P_i ou du mélange de polymère P_i dans la couche polymérique interne est supérieure à 50% en poids, notamment supérieure à 70% en poids, de préférence supérieur ou égale à 80% en poids par rapport à la couche polymérique interne, et/ou
- la proportion massique de polymère P_e ou du mélange de polymère P_e dans la couche polymérique externe est supérieure à 50% en poids, notamment supérieure à 70% en poids, de préférence supérieur ou égale à 80% en poids par rapport à la couche polymérique externe, et/ou
- la proportion massique de polymère P_s ou du mélange de polymère P_s dans la couche polymérique supplémentaire est supérieure à 50% en poids, notamment supérieure à 70% en poids, de préférence supérieur ou égale à 80% en poids par rapport à la couche polymérique supplémentaire.

La couche polymérique interne et/ou la couche polymérique externe et/ou la couche polymérique supplémentaire peut(vent) comprendre des additifs, tels que des antioxydants, anti-UV, charges de renfort et/ou adjuvant de fabrication.

Généralement, la couche polymérique externe est susceptible d'être en contact avec l'eau de mer. Par « couche polymérique externe susceptible d'être en contact avec l'eau de mer », on entend que la couche entre en contact avec l'eau de mer lorsque la conduite est mise en service. Ainsi, la conduite ne comprend pas de couche tubulaire

externe (c'est-à-dire de couche étanche à l'eau de mer) qui s'opposerait au contact entre l'eau de mer et la couche polymérique externe. Typiquement, la couche polymérique externe de la conduite n'est pas revêtue par un tube métallique ou par une couche tubulaire polymérique. De préférence, la couche polymérique externe est ainsi la couche la plus externe de la conduite. Les propriétés avantageuses de la gaine polymérique externe d'étanchéité rapportées ci-dessus ont en effet pour conséquence qu'une gaine de protection ou un surgainage ne sont pas nécessaires.

En plus de la gaine polymérique externe d'étanchéité, la conduite comprend au moins une nappe d'armures de traction, une gaine polymérique interne d'étanchéité, et éventuellement une carcasse métallique, ces couches étant généralement telles que décrites dans les documents normatifs publiés par l'American Petroleum Institute (API), API 17J (4ème édition – Mai 2014) et API RP 17B (5ème édition – Mai 2014).

Si la conduite comprend une carcasse métallique, elle est dite à passage non lisse ("rough-bore" en langue anglaise). Si la conduite est exempte de carcasse métallique, elle est dite à passage lisse ("smooth-bore" en langue anglaise).

La fonction principale de la carcasse métallique est de reprendre les efforts radiaux dirigés de l'extérieur vers l'intérieur de la conduite afin d'éviter l'effondrement (« collapse » en langue anglaise) de tout ou partie de la conduite sous l'effet de ces efforts. Ces efforts sont notamment liés à pression hydrostatique exercée par l'eau de mer lorsque la conduite flexible est immergée. Ainsi, la pression hydrostatique peut atteindre un niveau très élevé lorsque la conduite est immergée à grande profondeur, par exemple 200 bar lorsque la conduite est immergée à une profondeur de 2000 m si bien qu'il est alors souvent indispensable d'équiper la conduite flexible d'une carcasse métallique.

La carcasse métallique a aussi pour fonction d'empêcher l'effondrement de la gaine polymérique interne d'étanchéité lors d'une décompression rapide d'une conduite flexible ayant transporté des hydrocarbures. En effet, les gaz contenus dans les hydrocarbures diffusent lentement à travers la gaine polymérique interne d'étanchéité et se retrouvent en partie piégés dans l'espace annulaire compris entre la gaine polymérique interne d'étanchéité et la gaine polymérique externe. Par suite, lors d'un arrêt de production engendrant une décompression rapide de l'intérieur de la conduite flexible, la pression régnant dans cet espace annulaire peut temporairement devenir nettement supérieure à la pression régnant à l'intérieur de la conduite, ce qui en l'absence de carcasse métallique conduirait à l'effondrement de la gaine polymérique interne d'étanchéité.

Par suite, généralement, pour le transport d'hydrocarbures, une conduite comportant une carcasse métallique est préférée, alors qu'une conduite exempte de

carcasse métallique sera adaptée pour le transport d'eau et/ou de vapeur d'eau sous pression. En outre, lorsque la conduite est destinée à la fois à transporter des hydrocarbures et à être immergée à grande profondeur, alors la carcasse métallique devient indispensable dans la plupart des applications.

5 La carcasse métallique est constituée d'éléments longitudinaux enroulés hélicoïdalement à pas court. Ces éléments longitudinaux sont des feuillards ou des fils en acier inoxydable agencés en spires agrafées les unes aux autres. Avantageusement, la carcasse métallique est réalisée en profilant un feuillard en forme de S puis en l'enroulant en hélice de façon àagrafer entre elles les spires adjacentes.

10 Dans la présente demande, la notion d'enroulement à pas court désigne tout enroulement hélicoïdal selon un angle d'hélice proche de 90° , typiquement compris entre 75° et 90° . La notion d'enroulement à pas long recouvre quant à elle les angles d'hélice inférieurs à 60° , typiquement compris entre 20° et 60° pour les nappes d'armures.

15 De manière connue, la gaine polymérique interne d'étanchéité est destinée à confiner de manière étanche le fluide transporté au sein de la conduite flexible. Elle est formée en matériau polymère, par exemple à base d'une polyoléfine telle que du polyéthylène, à base d'un polyamide tel que du PA11 ou du PA12, ou à base d'un polymère fluoré tel que du polyfluorure de vinylidène (PVDF). Le choix du matériau polymérique est généralement fonction des conditions de pression, de température et de
20 la composition du fluide transporté.

Les nappes d'armures de traction sont constituées de fils métalliques ou en matériau composite enroulés selon des pas longs et ont pour fonction principale de reprendre les efforts axiaux liés d'une part à la pression interne régnant à l'intérieur de la conduite flexible et d'autre part au poids de la conduite flexible notamment lorsqu'elle est
25 suspendue. La présence d'une couche de renforcement métallique supplémentaire destinée à reprendre les efforts radiaux liés à la pression interne, couche notamment appelée «voûte de pression », n'est pas indispensable dès lors que les angles d'hélice des fils constituant les nappes d'armures de traction sont proches de 55° . En effet, cet angle d'hélice particulier confère aux nappes d'armures de traction la capacité de
30 reprendre, en plus des efforts axiaux, les efforts radiaux exercés sur la conduite flexibles et dirigés de l'intérieur vers l'extérieur de la conduite.

De manière préférée et notamment pour les applications en grande profondeur, outre les nappes d'armures de traction, la conduite flexible comprend une voûte de pression intercalée entre la gaine polymérique interne d'étanchéité et les nappes
35 d'armures de traction. Dans un tel cas, les efforts radiaux exercés sur la conduite flexible, notamment les efforts radiaux dirigés de l'intérieur vers l'extérieur de la conduite sont

repris par la voûte de pression afin d'éviter l'éclatement de la gaine polymérique interne sous l'effet de la pression régnant à l'intérieur de la conduite. La voûte de pression est constituée d'éléments longitudinaux enroulés à pas court, par exemple des fils métalliques de section en forme de Z (zêta), C, T (téta), U, K ou X agencés en spires agrafées les unes aux autres.

La nature, le nombre, le dimensionnement et l'organisation des couches constituant les conduites flexibles sont essentiellement liés à leurs conditions d'utilisation et d'installation. Bien sûr, la conduite peut comprendre une ou plusieurs couches tubulaires (métalliques et/ou polymériques) en plus de la gaine polymérique externe d'étanchéité, de la(des) nappe(s) d'armures de traction, de la gaine polymérique interne d'étanchéité et de l'éventuelle carcasse métallique, par exemple :

- une couche de maintien entre la gaine polymérique externe et les nappes d'armures de traction,
- une ou plusieurs couche(s) anti-usure.

Les conduites flexibles selon l'invention conviennent notamment au transport de fluides, notamment d'hydrocarbures dans les fonds marins et ce, à de grandes profondeurs. Avantageusement, les couches de renforcement de la conduite flexible telles que la (les) nappe(s) d'armures de traction et/ou la voûte de pression est(sont) libre(s) de se déplacer par rapport aux couches polymériques telles que la gaine polymérique interne d'étanchéité et/ou la gaine polymérique externe d'étanchéité et/ou toute couche polymérique tubulaire composant la conduite flexible. Typiquement, les couches de renforcement de la conduite flexible selon la présente invention ne sont pas noyées dans une gaine élastomérique. Aussi, les couches de renforcement de la conduite flexible telles que les nappes d'armures de traction et/ou la voûte de pression sont libres de se déplacer par rapport aux couches polymériques telles que la gaine interne d'étanchéité et/ou la gaine polymérique externe d'étanchéité et/ou toute couche tubulaire composant la conduite flexible.

Les conduites flexibles peuvent être utilisées à grande profondeur, typiquement jusqu'à 3000 mètres de profondeur. Elles permettent le transport de fluides, notamment d'hydrocarbures, ayant une température atteignant typiquement 130°C et pouvant même dépasser les 150°C et une pression interne pouvant atteindre 1000 bars, voire 1500 bars.

La couche polymérique externe et la couche polymérique interne de la gaine polymérique externe d'étanchéité ont généralement une épaisseur de 1 mm à 75 mm, de préférence de 2 mm à 7,5 mm. Leurs épaisseurs peuvent être identiques ou différentes.

La gaine polymérique externe d'étanchéité de la conduite flexible est typiquement tubulaire, a généralement un diamètre de 50 mm à 600 mm, de préférence de 50 mm à

400 mm, et/ou une épaisseur de 2 mm à 150 mm, préférentiellement de 4 mm à 15 mm et/ou une longueur de 1 m à 10 km.

Selon un deuxième objet, l'invention concerne un procédé de préparation d'une conduite telle que définie ci-dessus comprenant les étapes de :

- 5 a) extrusion pour former la gaine polymérique interne d'étanchéité, l'extrusion étant éventuellement réalisée sur une carcasse métallique,
- b) assemblage de la gaine polymérique interne d'étanchéité obtenue à l'étape a) avec au moins une nappe d'armures de traction, puis
- 10 c) coextrusion de la couche polymérique externe, de la couche polymérique interne et l'éventuelle couche polymérique supplémentaire pour former la gaine polymérique externe d'étanchéité.

Si l'extrusion de l'étape a) n'est pas réalisée sur une carcasse, mais de manière indépendante, la conduite flexible obtenue est à passage lisse (« Smooth bore » en anglais). Si l'extrusion de l'étape a) est réalisée sur une carcasse, la conduite flexible
15 obtenue est à passage non lisse (« Rough bore » en anglais).

Les étapes a) d'extrusion et c) de coextrusion peuvent être réalisées par toute méthode connue de l'homme du métier, par exemple en utilisant une extrudeuse mono-vis ou bi-vis.

Lorsqu'une des couches de la gaine polymérique externe d'étanchéité comprend
20 plusieurs polymères, le mélange des deux polymères peut être réalisé avant ou pendant la coextrusion.

Les couches sont ainsi assemblées pour former une conduite flexible sous-marine dans laquelle la(les) couche(s) de renforcement, telle(s) que la (les) nappe(s) d'armures de traction et/ou la voûte de pression, est(sont) libre(s) de se déplacer par rapport aux
25 couches polymériques telles que la gaine polymérique interne d'étanchéité et/ou la gaine polymérique externe d'étanchéité et/ou toute couche polymérique tubulaire composant la conduite flexible. Aussi, les couches sont assemblées pour former une conduite flexible sous-marine dans laquelle les couches de renforcement telles que les nappes d'armures de traction et/ou la voûte de pression sont libres de se déplacer par rapport aux couches
30 polymériques telles que la gaine interne d'étanchéité et/ou la gaine polymérique externe d'étanchéité et/ou toute couche tubulaire formant la conduite flexible.

Selon un troisième objet, l'invention a pour objet une conduite flexible sous-marine susceptible d'être obtenue par le procédé précité.

Selon un quatrième objet, l'invention a pour objet l'utilisation de la conduite flexible
35 sous-marine précitée pour le transport d'hydrocarbures, en particulier pour des applications dynamiques.

D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après de modes de réalisation particuliers de l'invention, donnés à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux figures 1 et 2.

5

Les figures 1 et 2 sont des vues schématiques partielles en perspective de conduites flexibles selon l'invention.

La figure 1 illustre une conduite flexible sous-marine conforme à l'invention comprenant, de l'extérieur vers l'intérieur :

- 10 - une gaine polymérique externe d'étanchéité comprenant une couche polymérique interne 10 comprenant un polymère P_i et étant revêtue par une couche polymérique externe 8 comprenant un polymère P_e , le module de Young à 20°C du polymère P_e étant inférieur à celui du polymère P_i ,
- une nappe externe d'armures de traction 12,
- 15 - une nappe interne d'armures de traction 14 enroulée en sens opposé de la nappe externe 12,
- une voûte de pression 18 de reprise des efforts radiaux générés par la pression des hydrocarbures transportés,
- une gaine polymérique interne d'étanchéité 20, et
- 20 - une carcasse interne 22 de reprise des efforts radiaux d'écrasement.

La figure 2 illustre une conduite flexible conforme à l'invention comprenant, de l'extérieur vers l'intérieur :

- une gaine polymérique externe d'étanchéité comprenant une couche polymérique supplémentaire 11 comprenant un polymère P_s et étant revêtue par une couche
- 25 polymérique interne 10 comprenant un polymère P_i et étant revêtue par une couche polymérique externe 8 comprenant un polymère P_e , le module de Young à 20°C du polymère P_e étant inférieur à celui du polymère P_i ,
- une nappe externe d'armures de traction 12,
- une nappe interne d'armures de traction 14 enroulée en sens opposé de la nappe
- 30 externe 12,
- une voûte de pression 18 de reprise des efforts radiaux générés par la pression des hydrocarbures transportés,
- une gaine polymérique interne d'étanchéité 20, et
- une carcasse interne 22 de reprise des efforts radiaux d'écrasement.

35 Du fait de la présence de la carcasse interne 22, ces conduites sont dites à passage non lisse (" rough bore " en langue anglaise). L'invention pourrait aussi

s'appliquer à une conduite dite à passage lisse (" smooth-bore " en langue anglaise), ne comportant pas de carcasse interne.

De même, on ne sortirait pas du champ de la présente invention en supprimant la voûte de pression 18. De préférence, en l'absence de voûte de pression 18, les angles d'hélice des fils constituant les nappes d'armures 12, 14 sont proches de 55° et en sens opposé.

Les nappes d'armures 12, 14 sont obtenues par enroulement à pas long d'un ensemble de fils en matériau métallique ou composite, de section généralement sensiblement rectangulaire. L'invention s'appliquerait aussi si ces fils avaient une section de géométrie circulaire ou complexe, du type par exemple T autoagrafé. Sur la figure 1, seules deux nappes d'armures 12 et 14 sont représentées, mais la conduite pourrait aussi comporter une ou plusieurs paires supplémentaires d'armures. La nappe d'armures 12 est dite externe car elle est ici la dernière, en partant de l'intérieur de la conduite, avant la gaine d'étanchéité externe 10.

La conduite flexible peut également comprendre des couches non représentées sur les figures 1 et 2, telles que :

- une couche de maintien entre la gaine polymérique externe 10 et les nappes d'armures de traction 12 et 14, ou entre deux nappes d'armures de traction,
- une ou plusieurs couches anti-usure (" anti-wear layer " en anglais) en matériau polymérique en contact soit avec la face interne de la couche de maintien précitée, soit avec sa face externe, soit avec les deux faces, cette couche anti-usure permettant d'éviter que la couche de maintien s'use au contact avec des armures métalliques. Les couches anti-usure, qui sont bien connues de l'homme du métier, sont généralement réalisées par enroulement hélicoïdal d'un ou plusieurs rubans obtenus par extrusion d'un matériau polymérique à base de polyamide, de polyoléfines, ou de PVDF (" polyvinylidene fluoride " en anglais). On pourra aussi se reporter au document WO 2006/120320 qui décrit des couches anti-usure constituées de rubans en polysulfone (PSU), polyethersulfone (PES), polyphenylsulfone (PPSU), polyetherimide (PEI), polytétrafluoroéthylène (PTFE), polyétheréthercétone (PEEK) ou polysulfure de phénylène (PPS).

17
REVENDEICATIONS

1.- Conduite flexible sous-marine destinée au transport d'hydrocarbures comprenant, de l'extérieur vers l'intérieur de la conduite :

- 5
- une gaine polymérique externe d'étanchéité,
 - au moins une nappe d'armures de traction (12,14) en tant que couche de renforcement,
 - une gaine polymérique interne d'étanchéité (20),
 - éventuellement une carcasse métallique (22),
- 10
- caractérisée en ce que la gaine polymérique externe d'étanchéité comprend une couche polymérique externe (8) comprenant un polymère P_e qui revêt une couche polymérique interne (10) comprenant un polymère P_i , le module de Young à 20°C du polymère P_e étant inférieur à celui du polymère P_i .

15

2.- Conduite selon la revendication 1, dans laquelle le polymère P_e de la couche polymérique externe (8) a un module de Young à 20 °C inférieur à 500 MPa, notamment inférieur à 300 MPa, et le polymère P_i de la couche polymérique interne (10) a un module de Young à 20 °C supérieur à 500 MPa, notamment supérieur à 700 MPa, de préférence supérieur à 1000 MPa.

20

3.- Conduite selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle le polymère P_e de la couche polymérique externe 8 a un module de Young à 20 °C de 200 à 300 MPa.

25

4.- Conduite selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle la résistance de collage entre la couche polymérique interne (10) et la couche polymérique externe (8) de 1 à 10 N/m, de préférence de 2 à 6 N/m.

30

5.- Conduite selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, ne comprenant pas de liant entre la couche polymérique externe (8) et la couche polymérique interne (10).

35

6.- Conduite selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans laquelle le polymère P_i de la couche polymérique interne (10) est en polyoléfine, notamment en polyéthylène homopolymère, en polypropylène homopolymère, en copolymère de polyéthylène et de polypropylène ou en mélange de ceux-ci.

7.- Conduite selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans laquelle le polymère P_e de la couche polymérique externe (8) est en polymère thermoplastique élastomère.

5 8.- Conduite selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans laquelle la couche polymérique externe (8) et la couche polymérique interne (10) sont obtenues par coextrusion.

10 9.- Conduite selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans laquelle la couche polymérique externe (8) est susceptible d'être en contact avec l'eau de mer.

10.- Procédé de préparation d'une conduite selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 comprenant les étapes de :

- 15 a) extrusion pour former la gaine polymérique interne d'étanchéité (20), l'extrusion étant éventuellement réalisée sur une carcasse métallique (22),
- b) assemblage de la gaine polymérique interne d'étanchéité (20) obtenue à l'étape a) avec au moins une nappe d'armures de traction (12,14), puis
- c) coextrusion de la couche polymérique externe (8) et de la couche polymérique interne (10) pour former la gaine polymérique externe d'étanchéité.

20

11.- Utilisation d'une conduite selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 pour le transport d'hydrocarbures.

1/1

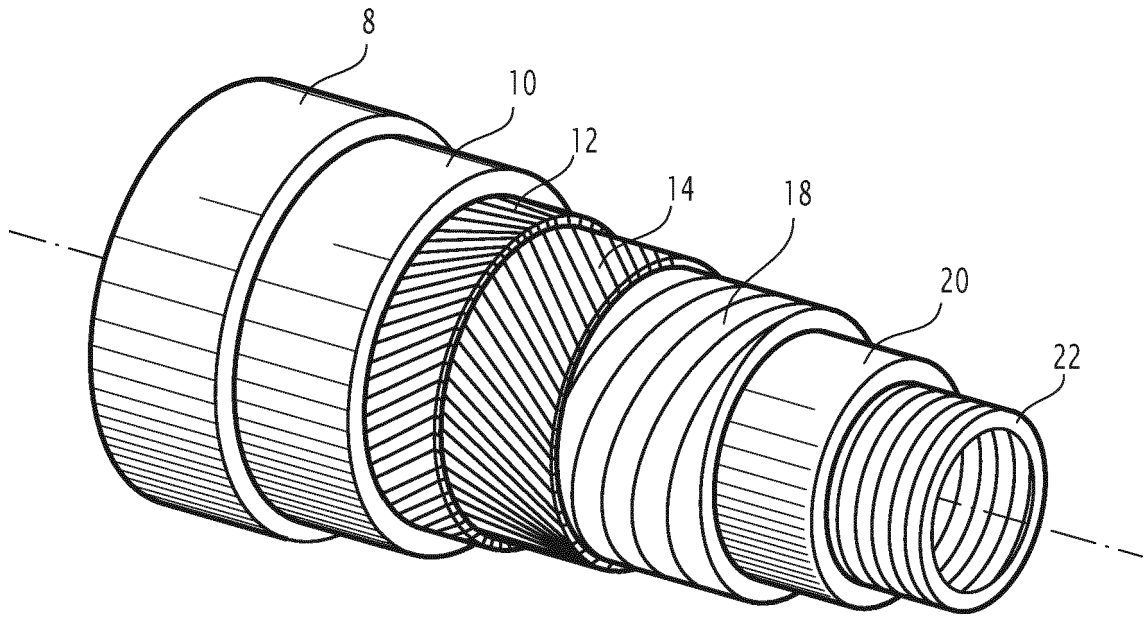


FIG. 1

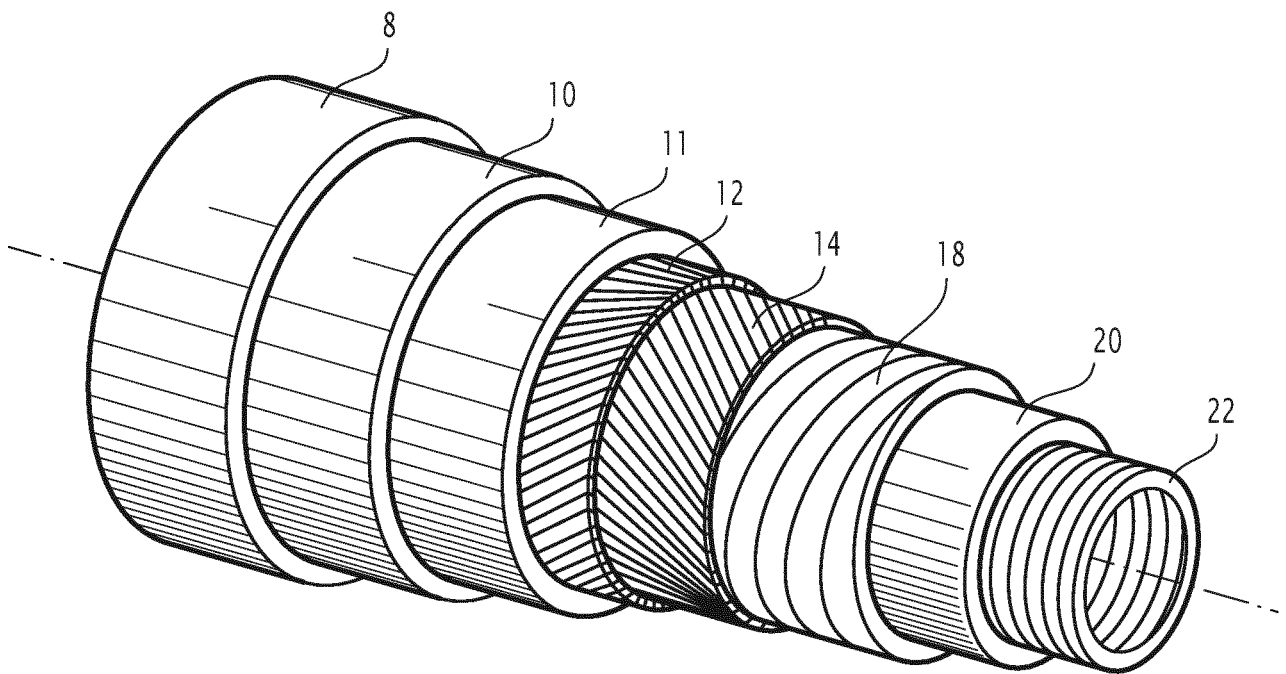


FIG. 2

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

US 2010/101675 A1 (DO ANH TUAN [FR] ET AL) 29 avril 2010 (2010-04-29)

US 2005/115623 A1 (COUTAREL ALAIN [FR] ET AL) 2 juin 2005 (2005-06-02)

WO 2008/017866 A1 (BHP BILLITON PERTROLEUM PTY LT [AU]; WITZ JOEL AARON [GB]) 14
février 2008 (2008-02-14)

EP 0 147 288 A2 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 3 juillet 1985 (1985-07-03)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT