

DESCRIPTION**Titre : INSERT PRECISEMENT INTEGRE DANS UN CORPS BRUT REALISE PAR FABRICATION ADDITIVE.**

5 L'invention concerne les composants ou conduits en acier dans le domaine pétrole et le gaz, l'énergie ou le stockage, pour une utilisation tel que l'exploitation de puits ou le transport d'hydrocarbures, la géothermie ou la capture de carbone.

On entend ici par "composant" tout élément, accessoire ou conduit, utilisé pour forer ou exploiter un puits et comprenant au moins une connexion ou connecteur ou encore extrémité
10 fileté, et destiné à être assemblé par un filetage à un autre composant pour constituer avec cet autre composant un joint fileté. Le composant peut être par exemple un tube ou un élément tubulaire de relativement grande longueur (notamment d'environ une dizaine de mètres de longueur), par exemple un tube, ou bien un manchon tubulaire de quelques dizaines de centimètres de longueur, ou encore un accessoire de ces éléments tubulaires
15 (dispositif de suspension ou « hanger », pièce de changement de section ou « cross-over », vanne de sécurité, connecteur pour tige de forage ou « tool joint », « sub », et analogues).

Les composants ou conduits sont dotés d'extrémités filetées. Ces extrémités filetées sont complémentaires permettant le raccordement de deux éléments tubulaires mâle (« Pin ») et femelle (« Box ») entre eux. Il y a donc une extrémité fileté mâle et une extrémité fileté
20 femelle. Les extrémités filetées dites premium ou semi-premium comportent généralement au moins une surface de butée. Une première butée peut être formée par deux surfaces de deux extrémités filetées, orientées de façon sensiblement radiale, configurées de façon à être en contact l'une avec l'autre à l'issue du vissage des extrémités filetées entre elles ou lors de sollicitations de compression. Les butées ont généralement des angles négatifs par rapport à
25 l'axe principal des connexions. On connaît également des butées intermédiaires sur des joints comportant au moins deux étages de filetage.

Il peut être nécessaire qu'un conduit ait un corps métallique avec une forme non tubulaire ou non rectiligne. En effet, un conduit peut comprendre une portion non droite, par exemple une forme en courbure ou en "S", ou encore des changements de diamètres intérieurs ou

extérieurs. Cependant les moyens actuels pour y parvenir sont extrêmement limités et non fonctionnels.

De manière générale, pour des raisons techniques et d'usinage, les différentes parties d'un même composant, qu'il s'agisse du corps de l'élément tubulaire ou encore des extrémités
5 filetées, sont conçues selon un seul et même type de matériau (alliage ou non).

Les tubes sont généralement rectilignes, d'axe rectiligne, les deux extrémités d'un tube étant alignées et ayant donc des axes d'extrémité substantiellement colinéaires. Il existe cependant un besoin dans l'industrie des hydrocarbures, la géothermie ou la capture de carbone d'un tube ou d'un conduit présentant des caractéristiques de géométries différentes notamment
10 par la présence d'une déviation d'angle dans ledit tube entre l'axe d'une première extrémité et l'axe d'une deuxième extrémité. Ce type de géométrie est très utile pour prévoir des embranchements, coudes, contours et autres raccordements en fonction de la géologie lors des forages ou pour agencer plus facilement un transport de flux. Par ailleurs cela permet d'économiser le nombre de tubes exploités et la quantité de ressources nécessaires. Les
15 solutions actuelles sont coûteuses à réaliser et/ou présentent des caractéristiques mécaniques non satisfaisantes.

Pour atteindre ce type de géométrie avec les moyens de l'état de l'art, une première solution consiste à partir d'une pièce métallique massive que l'on usine pour obtenir une déviation d'angle ou des extrémités terminales non co-axiales.

20 Cependant une telle solution présente de nombreux inconvénients majeurs ; notamment lors de la réalisation de ces pièces par tournage. On retrouve par exemple un balourd lors de la phase de réalisation, c'est-à-dire une masse non parfaitement répartie sur un volume de révolution entraînant un déséquilibre, au niveau de la partie déviée ou déformée du tube. Mais également des vibrations et de l'usure au moment de l'usinage qui fragilisent fortement
25 le tube le rendant moins fiable. On retrouve également des défauts de géométrie, des tolérances non respectés et des pertes de charge lors des écoulements hydrauliques.

Une seconde solution consiste à concevoir et réaliser un tube (non usiné) directement avec la géométrie souhaitée, par exemple un tube admettant dans son corps un coude ou un décalage d'angle entre l'axe d'une première extrémité et celui d'une seconde extrémité. Cependant les inconvénients vont se répercuter au moment de l'usinage du filetage qui sera très compliqué
5 à réaliser. En effet, une telle géométrie nécessitera de concevoir une méthode et des appareils spécifiquement adaptés. Cela implique donc des coûts importants ainsi qu'une très faible vitesse de production lié à un usinage complexe et non envisageable industriellement.

Le document CN108278088 A décrit une tige de forage en matériau composite à gradient d'acier et d'aluminium et son procédé de préparation afin de développer une tige de forage
10 légère, haute résistance, haute résistance aux températures, résistance à l'usure et résistance 10 à la corrosion.

Le document FR 2818 728 concerne les joints filetés tubulaires composés d'un élément fileté mâle disposé en extrémité d'un premier composant tubulaire et assemblé par vissage à un élément fileté femelle disposé en extrémité d'un second composant tubulaire.

15 Le document WO2019/016254 divulgue un procédé de fabrication d'une pièce de 15 raccordement destinée à être raccordée sur au moins un composant tubulaire.

Les moyens actuels de l'état de l'art sont donc limités et ne permettent pas de conférer plus de flexibilité géométrique à la réalisation d'un tube sans engendrer des contraintes et des effets indésirables. Ils permettent encore moins de réaliser un tube en acier pour l'exploitation
20 de puits ou le transport d'hydrocarbures, la géothermie ou la capture de carbone avec au moins 3 extrémités terminales.

La présente invention a pour but de résoudre les problèmes de l'état de l'art cité, en réalisant entièrement le corps métallique d'un conduit par fabrication additive sur au moins un insert.

L'invention consiste donc en un conduit (1) en acier pour le forage, l'exploitation des puits
25 hydrocarbures, le transport de pétrole et de gaz, la captation carbone ou la géothermie, comprenant au moins un insert mâle (2) ou femelle (3) et un corps métallique (4), ledit insert (2, 3) comprenant au moins un premier axe de filetage, au moins une surface d'étanchéité

(21, 22) torique ou frusto-conique, une partie filetée (5) et une partie non filetée (6) reliée au corps métallique (4), caractérisé en ce que le corps métallique (4) est entièrement réalisé par fabrication additive.

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que l'épaisseur minimale et radiale d'un insert est déterminée selon l'équation :

[Math 1]

$$\min thickness = R_{ext} - (K * E_{pg} + R_i)$$

Où :

Min thickness Valeur minimale de l'épaisseur d'un insert en mm

10	R_{ext}	Valeur du rayon extérieur
	E_{pg}	Valeur de l'épaisseur d'un fond de gorge d'une dent de filetage
	R_i	Valeur du rayon intérieur
	K	Valeur du ratio d'épaisseur minimal comprise entre 0,25 et 0,7.

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que le ratio d'épaisseur K est égal à 0,510.

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce qu'un insert mâle (2) ou femelle (3) comprend une épaisseur minimale et radiale déterminée entre 4 mm et 20 mm.

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce qu'un insert mâle (2) ou femelle (3) comprend une épaisseur minimale et radiale déterminée entre 4 et 18 mm.

20 Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce qu'un insert mâle (2) ou femelle (3) comprend une épaisseur minimale et radiale déterminée entre 4,5 et 16 mm.

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que chacun des inserts mâle (2) ou femelle (3) présente un diamètre externe (OD) compris entre 100mm et 480mm.

25 Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que le corps métallique (4) est réalisé par dépôt par fabrication additive arc-fil.

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que le corps métallique (4) s'adhère autour de l'insert mâle (2) ou femelle (3) sur sa partie non filetée.

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que le corps métallique (4) réalisé par fabrication additive comprend un matériau de type métallique choisi parmi les
5 aciers alliés, fortement alliés, alliages cupro-nickel, alliages de titane, céramiques, vitrocéramiques, ou cuivre, stellite, fero 55.

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que le corps métallique (4) réalisé par fabrication additive comprend un matériau de module de Young entre 110 GPa et 210 GPa, de préférence entre 160 GPa et 210 GPa.

10 Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce qu'un insert (2, 3) comprend un profil d'ancrage (7) agencé pour adhérer la matière additivée du corps métallique (4).

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que le profil d'ancrage (7) comprend une ou plusieurs surfaces de cisaillement (11) et/ou au moins une extension d'arrimage (12).

15 Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce qu'il comprend au moins 2 inserts mâle (2) et/ou femelle (3).

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que chacun desdits insert mâle (2) et/ou femelle (3) présente respectivement un premier et un second axe de filetage A1 et A2, et en ce que lesdits premier et second axes A1 et A2 sont non colinéaires.

20 Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce que l'axe de filetage d'un premier insert mâle (2) ou femelle (3) présente par rapport à l'axe d'un second insert mâle (2) ou femelle (3) d'un même conduit (1) un angle d'inclinaison compris entre 0 et 75 degrés.

Selon un mode de réalisation, le conduit (1) est caractérisé en ce qu'il comprend au moins trois inserts mâle ou femelle (62, 63, 64), les inserts (62, 63, 64) comprenant respectivement
25 au moins un premier axe de filetage, un deuxième axe de filetage, un troisième axe de filetage, les inserts étant reliés par un corps (4) entièrement réalisé par fabrication additive, lesdits

premier, second et troisième axes de chacun des inserts mâle ou femelle (62, 63, 64) étant non colinéaires.

L'invention comprends également un procédé de réalisation d'un conduit (1) comprenant :

- 5 - Une étape de maintien d'un ou plusieurs inserts mâle (2) ou femelle (3) selon une position déterminée.
- Une étape de réalisation du corps métallique (4) par fabrication additive par arc fil comprenant un dépôt de matière à partir d'une portion non filetée de l'insert (2, 3).
- 10 - Une étape de traitement thermique pour modifier les caractéristiques mécaniques du corps et libérer les contraintes mécaniques issues de la fabrication additive.
- Une étape d'usinage dans le corps métallique (4).

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaitront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés.

15 [Fig. 1] représente de façon schématique, dans une vue de coupe longitudinale, un joint fileté tubulaire selon l'état de l'art.

[Fig. 2a] représente de façon schématique, dans une vue de coupe longitudinale, une portion de conduit en acier mâle selon un premier mode de réalisation dans lequel le corps métallique est entièrement réalisé par fabrication additive autour d'un insert.

20 [Fig. 2b] représente de façon schématique, dans une vue de coupe longitudinale, une portion de conduit en acier femelle selon un second mode de réalisation dans lequel le corps métallique est entièrement réalisé par fabrication additive autour d'un insert.

[Fig. 3] représente de façon schématique, dans une vue hybride en perspective, un conduit en acier comprenant un insert femelle ainsi qu'une portion de corps métallique entièrement réalisé par fabrication additive.

25 [Fig. 4a] représente un diagramme de concentration de contraintes d'une dent de filetage selon l'invention et selon une échelle de nuance.

[Fig. 4b] représente un schéma d'une portion d'un insert selon l'invention.

[Fig. 4c] représente un schéma d'une portion d'une connexion reprenant les paramètres de la figure 4b.

[Fig. 5] représente selon une vue hybride en perspective un conduit selon une variante de
5 l'invention comprenant deux inserts non co-axiaux.

[Fig. 6] représente selon une vue hybride en perspective un conduit selon une variante de l'invention comprenant trois inserts non co-axiaux.

Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant. Ils ne sont pas limitatifs quant à la portée de
10 l'invention.

La figure 1 représente de façon schématique, dans une vue en coupe longitudinale, un joint fileté tubulaire de l'art antérieur. Le joint fileté tubulaire comprend un élément mâle (22) et un élément femelle (24) dans un état assemblé ou connecté. Chaque élément comprend une partie filetée (5) et une partie non filetée (6). Le joint fileté tubulaire comprend une étanchéité
15 (20) formée par contact interférant de deux surfaces d'étanchéité de type torique ou frusto-conique de part et d'autre de chacun desdits éléments mâle et femelle à l'état assemblé. Chacune des portions d'un élément sont réalisées selon un seul et même type de matériau, c'est-à-dire notamment la partie filetée, la partie non filetée et la surface d'étanchéité. Il n'y a donc pas deux types de matériaux différents pour deux parties différentes du tube. Chacun
20 des éléments mâle (22) ou femelle (24) est rectiligne et possède un axe de révolution commun à la fois à son extrémité mâle, son corps tubulaire principale et son autre extrémité (non représenté).

Pour pouvoir obtenir un conduit avec une géométrie plus complexe qu'une simple forme tubulaire droite, c'est-à-dire pour obtenir un composant présentant par exemple des
25 extrémités terminales non co-axiales et/ou non coplanaires, il existe deux propositions de solutions à ce jour qui nécessitent dans les deux cas un type d'intervention directe sur une pièce ou sur le tube.

La figure 2a représente un conduit (1) en acier comprenant un insert mâle (2) et un corps métallique (4), ledit insert (2) comprenant au moins un premier axe de filetage (représenté par l'axe X), au moins une surface d'étanchéité (21) pouvant être torique ou frusto-conique, une partie filetée (5) et une partie non filetée (6) reliée au corps métallique (4). Le corps
5 métallique (4) est entièrement réalisé par fabrication additive. L'insert (2) peut comprendre avantageusement un profil d'ancrage (7) agencé pour adhérer la matière additivée du corps métallique (4).

Selon un aspect de l'invention, une partie non filetée (6) comprends une surface radiale (6R) qui peut être perpendiculaire à l'axe de filetage. Cette surface peut s'étendre radialement.
10 Une partie non filetée (6) peut comprendre également une surface axiale (6A) opposé à la partie filetée (5). Cette surface (6A) peut être parallèle à l'axe de filetage. Cette surface axiale (6A) peut s'étendre axialement.

Selon un mode de réalisation, la partie non filetée (6) désigne la surface opposée à la partie filetée, parallèle à l'axe de filetage. Elle désigne également la surface radiale de l'insert
15 (perpendiculaire à l'axe de filetage).

Selon un mode de réalisation, le corps métallique (4) est réalisé par dépôt par fabrication additive arc-fil. Avantageusement, la fabrication additive arc-fil confère une bonne intégrité structurelle et une faible distorsion au matériau additivé. Elle ne nécessite pas d'outillage complexe et optimise au mieux les pertes de matières faisant ainsi baisser les coûts de
20 production.

Avantageusement le corps (4) métallique réalisé entièrement par fabrication additive permet une facilité de configuration géométrique. De cette manière il est possible d'obtenir un conduit configuré selon la difficulté géométrique ou géologique rencontrée lors de l'exploitation de puits ou le transport d'hydrocarbures, la géothermie ou la capture de
25 carbone.

Avantageusement, un conduit selon l'invention présente un écoulement hydraulique beaucoup plus lisse et d'obtention facilitée par rapport aux solutions de l'état de l'art, notamment par l'absence de balourd à l'usinage.

Avantageusement, le matériau du corps (4) métallique peut être différent de celui de l'insert.

- 5 On peut donc, lorsque cela est possible, faire un choix de matériau moins cher par rapport à celui de l'insert réduisant ainsi les coûts. On peut également choisir des matériaux ayant des propriétés différentes par rapport à l'insert en fonction de l'exploitation souhaitée.

- Avantageusement le corps métallique (4) réalisé par fabrication additive comprend un matériau de type métallique choisi parmi les aciers alliés, fortement alliés, alliages cupro-
10 nickel, alliages de titane, céramiques, vitrocéramiques, ou cuivre, stellite, fero 55.

Avantageusement le temps de production et d'usinage est significativement réduit et compatible des exigences industrielles.

- Avantageusement le corps (4) métallique peut être réalisé par fabrication additive selon un matériau de module de Young entre 110 Gpa et 210 Gpa. De préférence le corps peut être
15 réalisé par un matériau de module Young de 160 à 210 Gpa afin de se rapprocher de celui de l'insert mâle. En effet, à contrainte égale, un matériau ayant un module d'élasticité élevé subira une déformation plus faible qu'un matériau ayant un module d'élasticité petit.

- Par exemple, les limites élastiques des matériaux pouvant être compris entre 300 Mpa et 950 Mpa un insert peut comprendre un matériau en acier, en acier alliés, inconel, une base nickel
20 ou un acier selon les standards 13cr ou super 13Cr.

- L'insert doit être une pièce maîtrisée dont les dimensions doivent respecter des tolérances. L'insert (2) peut être usiné par les procédés classiques avec une grande précision. L'insert peut être obtenu séparément du corps (4). Avantageusement, l'obtention de l'insert (2) s'affranchit des contraintes imposées par la géométrie d'un conduit de forme complexe. Par tolérance, on
25 entend la différence entre deux côtes limites considérées comme conforme aux dimensions nominales fixées au préalable sur un plan.

En outre, le corps (4) est obtenu par construction de fabrication additive sur l'insert (2). Ainsi, avec un insert déjà maîtrisé, il est beaucoup plus aisé de conférer une forme géométrique complexe au conduit (1) en évitant tous les problèmes d'usinages liés à un filetage. Une forme géométrique complexe peut-être à la fois une forme rectiligne et/ou non rectiligne sur toute la longueur du conduit.

Selon un mode de réalisation, le profil d'ancrage (7) peut comprendre une surface de cisaillement (11) et/ou une extension d'arrimage (12). Le profil d'ancrage (7) peut également comprendre des ondulations annulaires, ou encore des nervures annulaires.

Avantageusement le profil d'ancrage (7) permet d'augmenter et d'assurer l'adhérence de la matière du corps additivé sur l'insert.

Avantageusement un profil d'ancrage (7) comprenant une ou plusieurs surfaces de cisaillement (11) permet une meilleure interpénétration entre l'insert et la matière réalisée par fabrication additive du corps.

Avantageusement, un profil d'ancrage (7) comprenant une ou plusieurs extensions d'arrimages (12) permet une meilleure accroche de la matière ajoutée par fabrication additive.

La demanderesse a déterminé des conditions additionnelles liant l'insert et la partie ajoutée par fabrication additive pour assurer l'intégrité du conduit. Une zone de transition entre un matériau de l'insert et celui du corps métallique est déterminée selon l'équation :

[Math 2]

$$\sigma_{zz} \geq 85\% Y_s$$

Où :

σ_{zz} Valeur de la contrainte générée

Y_s Valeur de la limite élastique d'un insert

25

La zone de transition entre un insert (2) métallique et le corps (4) métallique est conditionnée par un seuil minimal de sécurité de 85% Y_s . Y_s étant la limite élastique du matériau de l'insert

et σ_{zz} correspondant à la contrainte générée. La zone de transition est comprise dans l'insert. On peut donc faire une transition entre la matière métallique de l'insert à une matière additivée, lorsque l'on atteint au moins 85% Y_s , sans risque d'ajouter de contraintes additionnelles. La zone de transition est comprise dans l'insert et correspond à l'épaisseur minimale et radiale de paroi de l'insert mesurée radialement.

En effet, à partir de 85% de Y_s , on peut chercher des matériaux pour la matière additivée avec des limites élastiques jusqu'à 15% inférieur par rapport au matériau de l'insert. De manière surprenante, avec un choix de matériau pour la matière additivée ayant des limites élastiques jusqu'à 15% inférieur, on a moins de contraintes de cisaillement, une meilleure tenue du matériau et une meilleure adhérence.

Par exemple, un insert présentant une résistance de 125 KSI (≈ 862 MPA) pourra admettre un ajout de matière additivée, c'est-à-dire la matière réalisée par fabrication additive, de 106 Ksi (≈ 862 MPA). Ainsi, on peut faire un choix de matériau bien moins coûteux tout en restant dans des limites acceptables.

Ainsi, l'épaisseur minimale et radiale d'un insert est déterminée par l'équation :

[Math 3]

$$\min thickness = R_{ext} - (K * E_{pg} + R_i)$$

Où :

	<i>Min thickness</i>	Valeur minimale de l'épaisseur d'un insert
20	R_{ext}	Valeur du rayon extérieur
	E_{pg}	Valeur de l'épaisseur d'un fond de gorge d'une dent de filetage
	R_i	Valeur du rayon intérieur
	K	Valeur du ratio d'épaisseur minimal

K correspond à un ratio d'épaisseur minimum nécessaire pour atteindre la zone de transition minimale de 85% de la limite élastique Y_s . La zone de transition est comprise dans l'insert et correspond à l'épaisseur minimale de paroi de l'insert mesurée radialement. Les inventeurs

ont déterminé à la suite de plusieurs simulations de type FEA que K pouvait être compris entre 0,25 et 0,70 et de préférence à 0,510.

Lors de la simulation plusieurs paramètres ont été pris en compte figurant notamment dans la figure 4b, à savoir le rayon extérieur Rext, le rayon intérieur Ri, l'épaisseur de fond de gorge du filetage Epg, la profondeur du filet Th, et enfin le principal moteur du facteur de concentration de stress Tr.

On entend par le rayon extérieur Rext le rayon moyen de la surface extérieure de la surface de filetage (T) de la connexion.

On entend par le rayon intérieur Ri le rayon intérieur de la connexion

10 On entend par l'épaisseur de fond de gorge du filetage Epg l'épaisseur entre le fond du filet et le rayon intérieur.

On entend par la profondeur du filet Th la hauteur d'un filet.

On entend par le principal moteur du facteur de concentration de stress Tr le rayon qui relie le flanc d'un filet au fond de filet.

15 On entend par le coefficient K un ratio d'épaisseur minimum de Epg nécessaire pour atteindre la zone de transition avec 85% de la limite élastique Ys. K est un réel sans dimension compris entre deux valeurs bien définies 0,25 et 0,70. La demanderesse a déterminé que K dépend des paramètres Ri, Rext, Tw, Tr, Th.

L'ensemble de ces paramètres sont applicables pour la figure 4b et 4c. La figure 4c permet d'illustrer sur une connexion avec plusieurs filets l'application des paramètres.

Par exemple, les inventeurs ont réalisé un test avec une valeur choisie parmi les plus faibles des gammes et lignes de produits OCTG avec :

[Math 4]

25 Rext = 89 mm, Ri = 79 mm, Epg = 8,5 mm, Th = 1,5 mm, Tr = 0,1 mm.

Le résultat suivant est obtenu :

[Math 5]

$$\left(\frac{\text{min thickness} - Ri}{Epg} \right) = 0.510$$

- 5 L'épaisseur minimale et radiale d'un insert est donc déterminée par l'équation :

[Math 6]

$$\text{min thickness} = R_{\text{ext}} - (0,510 * Epg + Ri)$$

- 10 K correspondant donc à 0.510 pour cette simulation.

Cette équation permet donc de déterminer une épaisseur minimale d'un insert tout en s'assurant de respecter l'équation précédente de $\sigma_{zz} \geq 85\% Y_s$.

- 15 La demanderesse expose ci-après un ensemble de dimensions et de valeurs d'épaisseurs d'inserts en fonction du diamètre externe (dit « Outside Diameter » ou « OD », voir fig. 3) du rayon extérieur R_{ext} , du rayon intérieur R_i , de l'épaisseur de fond de gorge du filetage Epg , de la profondeur du filetage Th et de l'épaisseur du filetage Tw . La valeur du rayon de raccordement Tr (en mm) qui est un facteur de concentration de stress ne varie pas. Une représentation schématique de l'ensemble de ces paramètres sont présents fig. 4.b.

Certaines de ces dimensions sont consignées dans le tableau suivant :

20

[Table 1]

OD (pouces)	OD (mm)	Tw (mm)	Th (mm)	Rext (mm)	Ri (mm)	Epg (mm)	Insert Thickness minimal (mm)
4,5	114,3	8	1,2	57,2	49,15	6,8	4,532
4,5	114,3	10	1,2	57,2	47,15	8,8	5,512
7	177,8	9	1,4	88,9	79,9	7,6	5,124
7	177,8	12	1,4	88,9	76,9	10,6	6,594
9,625	244,5	9	1,58	122	113,2	7,425	5,21325
9,625	244,5	13	1,58	122	109,2	11,425	7,17325
13,625	346,1	9	1,9	173	164	7,1	5,379
13,625	346,1	25	1,9	173	148	23,1	13,219
16	406,4	14	1,9	203	189,2	12,1	7,829
16	406,4	30	1,9	203	173,2	28,1	15,669
18,625	473,1	15	1,9	237	221,5	13,1	8,319
18,625	473,1	37	1,9	237	199,5	35,1	19,099

Par conséquent, un conduit selon l'invention peut comprendre un insert ayant un diamètre externe (OD) compris entre 4 et 18,625 pouces soit environ entre 100 mm et 480 mm.

Un conduit selon l'invention peut donc comprendre un insert mâle (2) comprenant une épaisseur minimale et radiale déterminée entre 4 mm et 20 mm. La longueur de l'insert mâle (2) est comprise entre 50 mm et 300 mm.

Avantageusement, l'invention confère la possibilité de fabriquer un conduit par récupération des inserts usagés et de réaliser le corps métallique (4) entièrement réalisé par fabrication additive autour desdits inserts. Ceci permet également d'utiliser l'invention sur des portions de tubes récupérées destinées à être réhabilitées, par exemple des portions de tubes dont les extrémités sont encore fonctionnelles.

La figure 2b représente un conduit (1) en acier comprenant un insert femelle (3) et un corps métallique (4), ledit insert (3) comprenant au moins un premier axe de filetage (représenté par l'axe X), au moins une surface d'étanchéité (21) pouvant être torique ou frusto-conique, une partie filetée (5) et une partie non filetée (6) reliée au corps métallique (4). Le corps métallique (4) est entièrement réalisé par fabrication additive. L'insert (3) peut comprendre

avantageusement un profil d'ancrage (7) agencé pour adhérer la matière additivée du corps métallique (4).

Selon un aspect de l'invention, une partie non filetée (6) comprends une surface radiale (6R) qui peut être perpendiculaire à l'axe de filetage. Cette surface peut s'étendre radialement.

- 5 Une partie non filetée (6) peut comprendre également une surface axiale (6A) opposé à la partie filetée (5). Cette surface (6A) peut être parallèle à l'axe de filetage. Cette surface axiale (6A) peut s'étendre axialement.

- Selon un mode de réalisation, la partie non filetée (6) désigne la surface opposée à la partie filetée, parallèle à l'axe de filetage. Elle désigne également la surface radiale de l'insert
10 (perpendiculaire à l'axe de filetage).

- Selon un mode de réalisation, le corps métallique (4) est réalisé par dépôt par fabrication additive arc-fil. Avantageusement, la fabrication additive arc-fil confère une bonne intégrité structurelle et une faible distorsion au matériau additivé. Elle ne nécessite pas d'outillage complexe et optimise au mieux les pertes de matières faisant ainsi baisser les coûts de
15 production.

Avantageusement, le matériau du corps (4) métallique peut être différent de celui de l'insert. On peut donc, lorsque cela est possible, faire un choix de matériau moins cher par rapport à celui de l'insert réduisant ainsi les coûts. On peut également choisir des matériaux ayant des propriétés différentes par rapport à l'insert en fonction de l'exploitation souhaitée.

- 20 Avantageusement, le corps métallique (4) réalisé par fabrication additive comprend un matériau de type métal choisi parmi les aciers alliés, fortement alliés, alliages cupro-nickel, alliages de titane, céramiques, vitrocéramiques, ou cuivre, stellite, fero 55.

Avantageusement, le temps de production et d'usinage est significativement réduit permettant une production beaucoup plus envisageable industriellement.

- 25 Avantageusement le corps (4) métallique est réalisé par fabrication additive selon un matériau de module de Young entre 110 Gpa et 210 Gpa. De préférence le corps est réalisé par un

matériau de module Young de 160 à 210 Gpa afin de se rapprocher de celui de l'insert femelle. En effet, à contrainte égale, un matériau ayant un module d'élasticité élevé subira une déformation plus faible qu'un matériau ayant un module d'élasticité petit.

Avantageusement l'insert est une pièce maîtrisée au niveau de ses tolérances et de son usinage. Par tolérance, on entend la différence entre deux côtes limites considérées comme
5 conforme aux dimensions nominales fixées au préalable sur un plan. Ainsi, avec un insert déjà maîtrisé, il est beaucoup plus aisé de conférer une forme géométrique souhaitée au conduit (1) en évitant tous les problèmes d'usinages liés au filetage.

Selon un mode de réalisation, le profil d'ancrage (7) peut comprendre une surface de
10 cisaillement (11) et/ou une extension d'arrimage (12).

Avantageusement le profil d'ancrage (7) permet d'augmenter et d'assurer l'adhérence de la matière du corps additif sur l'insert.

Avantageusement un profil d'ancrage (7) comprenant une ou plusieurs surfaces de cisaillement (11) permet une meilleure interpénétration entre l'insert et la matière réalisée
15 par fabrication du corps.

Avantageusement, un profil d'ancrage (7) comprenant une ou plusieurs extensions d'arrimages (12) permet une meilleure accroche de la matière additif.

L'insert femelle (3) comprend également une épaisseur minimale et radiale liée à une zone de transition entre l'insert et le corps métallique. Les développements liés à l'insert mâle (2) de
20 la figure 2a s'appliquent de manière analogue à l'insert femelle (3).

Par conséquent, un conduit selon l'invention peut comprendre un insert ayant un diamètre externe (OD) compris entre 4 et 18,625 pouces soit entre 100 mm et 480 mm.

Un conduit selon l'invention peut donc comprendre un insert femelle (3) comprenant une épaisseur minimale et radiale déterminée entre 4 mm et 20 mm. La longueur de l'insert
25 femelle (3) est comprise entre 50 mm et 300 mm.

Avantageusement, l'invention confère la possibilité de remodeliser un très grand nombre de fois un conduit par récupération des inserts et de refaire le corps métallique (4) entièrement réalisé par fabrication additive. Ceci permet également d'utiliser l'invention sur des portions de tubes récupérés destinés à être réhabilités, par exemple des portions de tubes dont les
5 extrémités sont encore fonctionnelles.

La figure 3 représente de façon schématique, dans une vue en perspective, un conduit en acier comprenant un insert femelle (3) ainsi qu'une portion de corps métallique (4) entièrement réalisé par fabrication additive.

L'insert femelle (3) comprenant au moins un premier axe de filetage (représenté par l'axe X),
10 au moins une surface d'étanchéité (21) pouvant être torique ou frusto-conique (non représenté), une partie filetée (5) et une partie non filetée (6) reliée au corps métallique (4). Le corps métallique (4) est entièrement réalisé par fabrication additive. L'insert (3) peut comprendre avantageusement un profil d'ancrage (7) agencé pour adhérer la matière additivée du corps métallique (4).

15 L'insert femelle (3) comprend notamment un diamètre externe OD compris entre 4 et 18,625 pouces soit entre 100 mm et 480 mm.

La figure 3 a été réalisée à titre de représentation et respecte pas systématiquement une échelle réelle.

La figure 4a représente un diagramme de concentration de contraintes qui s'applique au
20 niveau d'un fond de filet selon l'invention et selon une échelle de nuance. La figure 4b représente un schéma d'une dent de filetage selon l'invention un diagramme de concentration de contraintes.

On observe dans la figure 4a que les concentrations de contraintes sont beaucoup plus fortes au niveau du fond de gorge d'une dent de filetage (partie la plus foncée du diagramme). Au
25 fur et à mesure que l'on s'éloigne du fond de filetage les contraintes sont moins ressenties dans l'insert. Inversement, la valeur de la contrainte générée augmente (zones plus claires à

zones plus foncées) depuis le rayon intérieur R_i jusqu'à la distance Rayon intérieur + Epaisseur du fond de gorge ($R_i + E_{pg}$).

Un matériau additivé doit conférer entre autres des propriétés de résistances à la déformation élastique proches de ceux du matériau de l'insert. En effet, un matériau ayant
 5 un module d'élasticité élevé subira une déformation plus faible qu'un matériau ayant un module d'élasticité petit.

Avantageusement déterminer l'épaisseur minimale et radiale de l'insert selon l'équation $\min thickness = R_{ext} - (K * E_{pg} + R_i)$ nous permet de connaître le seuil à partir duquel la transition entre le matériau de l'insert et celui de la matière additivé se fait en
 10 sécurité sans générer de contraintes additionnelles. C'est-à-dire à partir de 85% de limite élastique Y_s du matériau de l'insert.

Les contraintes additionnelles peuvent correspondre à des contraintes de cisaillement, à des contraintes engendrées par la matière additivé par action direct sur l'insert, ou encore aux contraintes équivalentes de Von Mises, c'est-à-dire un paramètre qui combine l'ensemble des
 15 contraintes appliqués et que l'on peut comparer directement à la limite élastique.

Où :

	<i>Min thickness</i>	Valeur minimale de l'épaisseur d'un insert
	R_{ext}	Valeur du rayon extérieur
	E_{pg}	Valeur de l'épaisseur d'un fond de gorge d'une dent de filetage
20	R_i	Valeur du rayon intérieur
	K	Valeur du ratio d'épaisseur minimal.

La figure 4b a été réalisé à titre de représentation et respecte pas systématiquement une échelle réelle.

La figure 5 représente, selon une vue hybride en coupe et en perspective, un conduit selon
 25 une variante de l'invention comprenant deux inserts non co-axiaux.

Un conduit selon cette variante comprend donc deux inserts qui peuvent être mâles (2) et/ou femelles (3).

De manière générale, un insert (2, 3) de conduit comprend un espace intérieur (31, 32).

Un corps métallique (4) entièrement réalisé par fabrication additive relie les inserts (2, 3) et
5 comprend un espace intérieur de corps (33) communiquant avec les espaces intérieurs (31, 32) des inserts (2, 3).

Dans le cas de la figure 5 sont représentés deux inserts (3) femelles.

Chacun des inserts mâle (2) ou femelle (3) peuvent comprendre une épaisseur minimale et radiale liée à une zone de transition entre l'insert et le corps métallique. Les développements
10 liés à l'insert mâle (2) de la figure 2a ainsi que les développements liés à l'insert femelle (3) de la figure 2b s'appliquent de manière analogue à chacun desdits inserts mâle (2) ou femelle (3) de la figure 5.

Un premier insert (2, 3) comprend un premier axe de filetage A1. Un second insert (2, 3) comprend également un second axe de filetage A2.

15 Les premier et second axes A1 et A2 peuvent être colinéaires.

Les premier et second axes A1 et A2 peuvent être parallèles l'un à l'autre et non sécants n'admettant aucun point en commun.

Les premier et second axes A1 et A2 peuvent être non parallèles l'un à l'autre et sécants admettant un point en commun.

20 Les premier et second axes A1 et A2 peuvent être non parallèles l'un à l'autre et non sécants n'admettant pas de point en commun.

Les trois dernières configurations admettent par conséquent un décalage dans l'espace des inserts (2, 3) Le conduit (1) comprend alors un espace intérieur réunissant les espaces intérieurs d'inserts et de corps et cet espace intérieur de conduit est non rectiligne.

L'axe de filetage d'un premier insert mâle (2) ou femelle (3) est incliné par rapport à l'axe d'un second insert mâle (2) ou femelle (3) d'un même conduit (1). Cet angle d'inclinaison est compris entre 0 et 75 degrés.

Aussi, un conduit (1) peut admettre des inserts mâles (2) ou femelle (3) avec des dimensions différentes. Par exemple une épaisseur minimale et radiale comprise entre 4 mm et 20 mm
5 différente pour chacun des inserts ou alors un diamètre externe OD compris entre 4 et 18,625
pouces soit environ entre 100 mm et 480 mm différent pour chacun des inserts. Le conduit
représenté en figure 5 comprend un premier insert avec un diamètre externe plus grand que
le diamètre externe du second insert. Le premier insert a une épaisseur plus grande que
10 l'épaisseur du second insert.

Avantageusement le corps (4) métallique réalisé entièrement par fabrication additive permet
une facilité de configuration géométrique. De cette manière il est possible d'obtenir un
conduit configuré selon la difficulté géométrique ou géologique rencontrée lors de
l'exploitation de puits ou le transport d'hydrocarbures, la géothermie ou la capture de
15 carbone.

Avantageusement, un conduit selon l'invention présente un espace intérieur agencé pour un
écoulement hydraulique avec des turbulences réduites grâce à des variations de sections
lissées et d'obtention facilitée par rapport aux solutions de l'état de l'art, notamment par
l'absence de balourd à l'usinage.

20 La figure 6 représente selon une vue hybride en coupe et en perspective un conduit selon une
autre variante de l'invention comprenant trois inserts non co-axiaux.

Selon un aspect de cette variante, un conduit comprend trois inserts qui peuvent être mâles
et/ou femelles (62, 63, 64). Un corps métallique (65) entièrement réalisé par fabrication
additive est relié à chacun des inserts (62, 63, 64). De cette manière, les inserts mâles et/ou
25 femelles appartiennent donc au même conduit (1).

Les inserts (62, 63, 64) comprennent des espaces intérieurs d'insert. Le corps métallique (65) comprend un espace intérieur de corps communiquant avec les espaces intérieurs d'insert de façon à que tous les espaces intérieurs soient en communication.

Dans le cas de la figure 6, sont représentés trois inserts femelles.

- 5 Chacun des inserts mâle ou femelle peut comprendre une épaisseur minimale liée à une zone de transition entre l'insert et le corps métallique. Ainsi, les développements liés à l'insert mâle (2) de la figure 2a ainsi que les développements liés à l'insert femelle (3) de la figure 2b s'appliquent de manière analogue à chacun desdits inserts non coaxiaux mâle (2) ou femelle (3) de la figure 6. Par exemple les dimensions des inserts (3) de la figure 6 ne sont pas
10 systématiquement égaux.

Un premier insert (2, 3) comprend un premier axe de filetage A1. Un second insert (2, 3) comprend également un second axe de filetage A2. Un troisième insert comprend un troisième axe de filetage A3.

- Les premier, second et troisième axes A1, A2 et A3 peuvent être non parallèles l'un à l'autre
15 et sécants admettant au moins un point en commun.

Les premier, second et troisième axes A1, A2 et A3 peuvent être non parallèles l'un à l'autre et non sécants n'admettant pas de point en commun.

- Les premier, second et troisième axes A1, A2 et A3 peuvent être non tous parallèles l'un à l'autre mais deux des trois axes peuvent être colinéaires. Le troisième axe étant donc non
20 colinéaire avec les deux autres axes.

- Avantageusement le corps (4) métallique réalisé entièrement par fabrication additive permet une facilité de configuration géométrique. De cette manière il est possible d'obtenir un conduit configuré selon la difficulté géométrique ou géologique rencontrée lors de l'exploitation de puits ou le transport d'hydrocarbures, la géothermie ou la capture de
25 carbone.

Avantageusement un conduit (1) selon cette variante de l'invention permet de créer un réseau de distribution, sur mesure, avec par exemple plusieurs points de sorties et plusieurs points d'entrées.

Avantageusement un conduit (1) selon cette variante de l'invention permet de réduire le
5 nombre de conduits ou tubes nécessaires lors d'une opération dans le domaine du pétrole, du gaz, de la capture carbone ou de la géothermie.

Avantageusement, un conduit selon l'invention présente un espace intérieur à variations de dimensions lissées, facilitant l'écoulement hydraulique et d'obtention facilitée par rapport aux solutions de l'état de l'art, notamment par l'absence de balourd à l'usinage.

10 La demanderesse s'est aperçue que ce type de conduit n'existe pas sur le marché des équipements parapétroliers notamment par la difficulté d'obtention avec les moyens existants.

Avantageusement, l'invention confère la possibilité de fabriquer un conduit par récupération des inserts usagés et de réaliser le corps métallique (4) entièrement réalisé par fabrication
15 additive autour desdits inserts. Ceci permet également d'utiliser l'invention sur des portions de tubes récupérées destinées à être réhabilitées, par exemple des portions de tubes dont les extrémités sont encore fonctionnelles.

De manière analogue, les développements apportés à la figure 5 et 6 sont applicables pour des conduits comprenant plus de 3 inserts mâles (2) ou femelles (3).