

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.12.17.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.06.19 Bulletin 19/26.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : *TECHNIP FRANCE Société par
actions simplifiée — FR.*

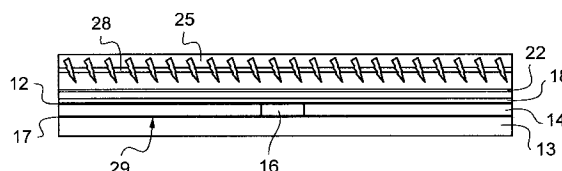
72 Inventeur(s) : PARENTEAU THOMAS.

73 Titulaire(s) : TECHNIP FRANCE Société par actions
simplifiée.

74 Mandataire(s) : CABINET FEDIT LORIOT.

54 PROCÉDE POUR DEBOUCHER UNE CONDUITE DESTINÉE AU TRANSPORT DE FLUIDE
D'HYDROCARBURE OBTURÉE PAR DES HYDRATES.

57 L'invention concerne un procédé de débouchage
d'une conduite (12) de transport de fluide d'hydrocarbure,
dans lequel on détecte la présence d'un bouchon (16) d'hy-
drate de gaz obturant la conduite, à partir de l'exploitation de
valeurs de température mesurées le long de la conduite
(12), on commande des moyens de chauffage (28) de la
conduite de manière à faire fondre le bouchon détecté et,
pendant la dissociation du bouchon, on surveille l'évolution
temporelle locale de la température du fluide transporté à
l'endroit du bouchon, on fournit une estimation de l'évolution
temporelle de la pression interne au niveau du bouchon, à
partir de ladite évolution temporelle locale de température et
d'une courbe pression-température de limite de phase de
l'hydrate entre un état solidifié et un état gazeux, de façon à
réguler la puissance de chauffage en fonction de la pression
interne estimée pendant la dissociation du bouchon.



Procédé pour déboucher une conduite destinée au transport de fluide
d'hydrocarbure obturée par des hydrates

La présente invention se rapporte à un procédé pour déboucher une
5 conduite de transport de fluide d'hydrocarbure obturée au moins partiellement
par un hydrate de gaz susceptible de se solidifier. Elle se rapporte aussi au
dispositif associé. La présente invention concerne notamment les conduites
sous-marines utilisées pour véhiculer des fluides d'hydrocarbure entre une
installation sous-marine et une installation marine de surface.

10 D'une manière classique, le transport de fluides polyphasiques pétroliers
entraîne le risque de formation d'un dépôt ou d'une phase solide à l'intérieur de
la conduite, tel que des hydrates ou des paraffines. En particulier, le pétrole
brut qui sort d'un puits de production contient toujours une petite partie d'eau et
d'hydrocarbures légers (méthane, éthane, propane...) susceptibles de former
15 un hydrate de gaz. Dans le cas des gisements localisés en eau profonde (plus
de 1000 m de profondeur), les conditions de basse température et de haute
pression rencontrées amènent le fluide pétrolier transporté par la conduite à
entrer dans des conditions thermodynamiques de formation d'hydrates.
Typiquement, ces hydrates peuvent se former lorsque la température est
20 inférieure à 10°C et que la pression est supérieure à 50 bars. Par suite, en
offshore profond, les pressions plus élevées et les températures plus basses
sont particulièrement favorables à la formation d'hydrates. Les interruptions de
production durant lesquelles les fluides refroidissent accroissent encore les
risques de formation d'hydrates. Une détection tardive de la présence
25 d'hydrates notamment par méconnaissance des conditions de leur formation
dans les conduites, peut entraîner des problèmes de production coûteux. En
effet, les accumulations d'hydrates ainsi formés perturbent la circulation du
fluide, pouvant aller jusqu'au bouchage partiel ou complet de la conduite, ce qui
engendre des pertes de revenus significatives pour l'exploitant. Une
30 préoccupation majeure des exploitants est donc d'être en capacité d'évaluer ce
risque et de le traiter, de façon à pouvoir garantir un bon écoulement des
fluides en circulation dans la conduite en toutes circonstances.

Jusqu'à aujourd'hui, plusieurs solutions ont été proposées afin de prévenir la formation des hydrates ou pour remédier au bouchage de la conduite lorsqu'un bouchon se forme. Les mesures de prévention les plus communes reposent sur une combinaison de différents types d'approches : isolation
5 thermique des conduites, injection d'additifs, réchauffement de la conduite par des moyens de chauffage associés à la conduite pour élever la température des fluides pétroliers au-dessus de la température de formation des hydrates.

Si malgré les mesures de prévention énoncées ci-dessus, un bouchon d'hydrate vient à se former, il faut procéder à sa dissociation pour déboucher la
10 conduite. Une méthode connue consiste à chauffer localement la conduite à l'endroit où est détecté le bouchon pour le faire fondre.

Le document WO2016/188640 décrit une couverture amovible, destinée à être appliquée en regard d'une surface extérieure d'une conduite sous-marine posée sur le fond de l'eau, équipée d'une part, d'un système de chauffage,
15 comportant des câbles chauffant par effet Joule, pour générer le chauffage nécessaire à la dissociation des bouchons d'hydrate et, d'autre part, d'un système de surveillance de la température le long de la conduite, basé sur des capteurs linéaires à fibres optiques de type capteurs de température distribuée (Distributed Temperature Sensing », en anglais), permettant de détecter les
20 bouchons d'hydrate. Lorsqu'un bouchon est détecté, on utilise les câbles chauffant de la couverture pour réchauffer la conduite et faire fondre le bouchon.

Cependant, on relève que ce document ne fournit aucun détail sur la manière dont la détection des bouchons d'hydrates peut être opérée à partir de
25 l'exploitation des mesures de température effectuées par le système de surveillance de la température. Or, il est primordial que l'information fournie à l'exploitant soit la plus précise et la plus fiable possible pour lui permettre d'engager les mesures préventives ou curatives appropriées avant que la conduite soit rendue inopérante.

30 En outre, l'utilisation d'un tel dispositif comporte certains risques. Le premier risque est lié au volume très important de gaz qui est libéré lors de la dissociation d'un bouchon d'hydrates. Ainsi, par exemple, la dissociation d'1

mètre cube cube d'hydrate à pression atmosphérique génère 160 mètres cube de gaz. Par suite, l'emploi d'un dispositif de dissociation par chauffage actif d'une grande longueur de conduite peut libérer des quantités très importantes de gaz qui risque de ne pas s'évacuer librement jusqu'à la sortie de la conduite, notamment dans le cas où la conduite comporte plusieurs bouchons d'hydrates. En effet, par exemple, le gaz généré par la fusion d'un premier bouchon situé en amont peut être empêché de circuler vers la sortie par un deuxième bouchon plus important situé en aval, ce deuxième bouchon mettant plus de temps à fondre que le premier. Dans cet exemple, la pression au niveau du premier bouchon va donc augmenter jusqu'à ce que le deuxième bouchon ait suffisamment fondu pour autoriser la circulation du gaz. Ainsi, si le dispositif de chauffage n'est pas bien contrôlé, le risque existe que, pendant le chauffage, la pression dans la conduite puisse augmenter très fortement jusqu'à dépasser les capacités mécaniques de la conduite, ce qui pourrait engendrer une rupture de la conduite et une fuite des hydrocarbures dans l'environnement.

Il existe aussi un second risque lié au fait que la création de bouchons entraîne une irrégularité des pressions le long de la conduite. Ainsi, la pression peut être beaucoup plus élevée d'un côté que de l'autre du bouchon. Or, pendant la dissociation, le diamètre du bouchon diminue et ne colle plus à la paroi de la conduite. S'il y a un écart de pression important entre les deux côtés du bouchon dans la conduite, la chauffe locale peut alors engendrer l'expulsion violente du bouchon et l'endommagement de la conduite ou encore d'équipements liés à la conduite.

Pour éviter ces risques on privilégie plutôt une méthode de dissociation du bouchon d'hydrate par dépressurisation, considérée comme plus sûre. En effet, la pression étant une des conditions de formation des hydrates, la dépressurisation de la conduite permet la disparition, au moins partielle, des bouchons. Cependant, la cinétique de la dissociation d'un bouchon d'hydrates par dépressurisation est beaucoup plus lente, comparativement à la cinétique de la dissociation d'un bouchon d'hydrates par méthode thermique (chauffage), de sorte que la durée nécessaire à la dissociation par dépressurisation est beaucoup plus longue.

On relèvera que le document précité enseigne la possibilité de surveiller la pression interne de la conduite à partir de l'exploitation des valeurs de température mesurées le long de la conduite pendant la dissociation du bouchon d'hydrate par chauffage, sans toutefois divulguer une quelconque
5 manière de faire.

Aussi, il serait souhaitable de pouvoir disposer d'une méthode thermique permettant de retirer les bouchons d'hydrates en toute sécurité, combinée avec un outil efficace, simple et peu coûteux d'évaluation en continu des risques de formation d'hydrates et autres dépôts, permettant à l'exploitant d'identifier la
10 présence ou non d'un bouchon et son emplacement afin d'optimiser l'opération de suppression du bouchon.

Dans le but de résoudre ce problème, la présente invention propose un procédé pour déboucher une conduite de transport de fluide d'hydrocarbure obturée au moins partiellement par un hydrate de gaz susceptible de se
15 solidifier, dans lequel on fournit un système de chauffage du fluide transporté par des moyens de chauffage disposés le long de la conduite et un système de mesure de température associé à la conduite, adapté pour fournir à intervalles réguliers des valeurs de température mesurées le long de la conduite, et dans lequel on détecte la présence d'au moins un bouchon d'hydrate dans la
20 conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite, on commande une puissance de chauffage desdits moyens de chauffage associés à la conduite pour élever la température des fluides au dessus de la température de dissociation dudit hydrate de gaz, de manière à faire fondre le bouchon d'hydrate détecté, et on surveille la pression
25 interne de la conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite pendant la dissociation du bouchon d'hydrate,

caractérisé en ce que :

- on estime des valeurs de température du fluide transporté, distribuées le long de la conduite, à partir desdites valeurs de température mesurées le long
30 de la conduite,

- on détermine une valeur de température locale du fluide transporté à l'endroit où est détecté ledit bouchon d'hydrate,

- on fournit dans un diagramme bidimensionnel pression-température au moins une courbe de limite de phase dudit hydrate de gaz entre un état solidifié
5 et un état gazeux,

- on estime la pression interne au niveau dudit bouchon d'hydrate pendant la dissociation dudit bouchon d'hydrate à partir de ladite courbe de limite de phase et de ladite valeur de température locale à l'endroit où est détecté ledit bouchon d'hydrate, et

10 - on régule en boucle fermée et en temps réel la puissance de chauffage desdits moyens de chauffage associés à la conduite en fonction de la pression interne estimée pendant la dissociation dudit bouchon d'hydrate, de façon à éviter un éclatement de la conduite et/ou un déplacement violent dudit bouchon d'hydrate.

15 Dans la présente demande, le terme « fluide transporté » désigne le fluide présent dans la conduite, indépendamment du fait que ce fluide soit apte ou non à circuler le long de la conduite du fait de la présence éventuelle d'un bouchon d'hydrate, et indépendamment de l'état liquide, gazeux ou même solide dudit fluide.

20 Avantageusement, la pression interne estimée est comprise dans une plage bornée par une valeur minimale de pression estimée et une valeur maximale de pression estimée, lesdites valeurs minimale et maximale de pression estimée résultant respectivement de l'exploitation de deux courbes de limite de phases correspondant à un premier type d'hydrate et à un deuxième
25 type d'hydrate.

Selon un premier mode de réalisation, la détection de la présence du bouchon d'hydrate dans la conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite comprend un suivi temporel sensiblement en continu de l'évolution de la température du fluide transporté le
30 long de la conduite, dans lequel :

on évalue, sur au moins une portion de la conduite, une évolution temporelle globale de la température du fluide transporté à partir des valeurs de température du fluide distribuées le long de ladite portion,

on identifie au moins une zone de ladite portion de conduite pour laquelle
 5 une évolution temporelle locale de la température du fluide transporté présente une pente de valeur absolue au moins trois fois inférieure à la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté pour ladite portion, et

on élabore un signal d'alerte de présence d'un bouchon d'hydrate pour
 10 chaque zone identifiée.

La pente, à l'instant considéré, de l'évolution temporelle respectivement globale ou locale, est égale à la dérivée première par rapport au temps, à l'instant considéré, de l'évolution temporelle respectivement globale ou locale.

Selon un deuxième mode de réalisation, la détection de la présence du
 15 bouchon d'hydrate dans la conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite comprend un suivi temporel sensiblement en continu de l'évolution de la température du fluide transporté le long de la conduite, dans lequel :

- on évalue, sur au moins une portion de la conduite, le sens d'une
 20 évolution temporelle globale de la température du fluide transporté à partir des valeurs de température du fluide distribuées le long de ladite portion,

- on identifie au moins une zone de ladite portion de conduite pour laquelle une évolution temporelle locale de la température du fluide transporté présente une rupture de pente de sens opposé au sens de l'évolution
 25 temporelle globale de la température du fluide transporté pour ladite portion, et

- on élabore un signal d'alerte de présence d'un bouchon d'hydrate pour chaque zone identifiée.

Ainsi, la détection repose sur le suivi temporel de la température du fluide transporté par la conduite et dans la combinaison d'une analyse globale et
 30 d'une analyse locale de l'évolution de la température du fluide transporté en fonction du temps, respectivement au niveau d'au moins une portion de conduite et au niveau de zones locales considérées dans cette portion de

conduite, afin de détecter précisément les conditions thermodynamiques de formation des hydrates. En effet, lors du changement d'état d'un hydrate, par exemple lors de sa dissociation ou de sa formation, en raison de la chaleur latente de fusion (ou de solidification) de l'hydrate, sa température reste à peu près constante, tandis qu'à l'amorce de ce changement d'état, il est possible de détecter une inflexion brusque dans la courbe de température résultant du suivi temporel de l'évolution de la température du fluide transporté pour la zone considérée de la portion de conduite surveillée, cette inflexion se traduisant par une rupture de pente de sens opposée au sens de l'évolution temporelle globale de la température environnante du fluide transporté, et/ou par une diminution importante de la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle locale par rapport à la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle globale, de sorte que la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle locale devient alors inférieure au tiers de la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle globale.

En théorie, au niveau d'une zone dans laquelle un bouchon d'hydrates est en train de se dissocier (sous l'action d'un réchauffement global de la portion de conduite) ou de se former (sous l'action d'un refroidissement global de la portion de conduite), la température locale est constante et la pente de l'évolution temporelle locale est donc nulle. Cependant, il a été constaté que les procédés de détection basés uniquement sur la détection des zones dans lesquelles la pente de l'évolution temporelle locale est nulle (ou très faible) ne sont pas fiables, notamment parce que ce phénomène peut se produire en l'absence de bouchon d'hydrate lorsque la température globale est stabilisée. Autrement dit, une analyse locale de l'évolution de la température du fluide transporté en fonction du temps, ne permet pas à elle seule de détecter de façon fiable un bouchon d'hydrates. La combinaison d'une analyse globale et d'une analyse locale de l'évolution de la température du fluide transporté en fonction du temps permet de fiabiliser la détection d'un bouchon d'hydrates en distinguant clairement la présence d'hydrates de la présence de liquide et de gaz.

Par exemple, durant un réchauffement global de la portion de conduite, la température du fluide dans les zones de cette portion de conduite dans

lesquelles le fluide transporté est constitué de liquide ou de gaz, va augmenter de façon sensiblement uniforme et continue, tandis que la température dans les zones de cette portion de conduite comprenant un bouchon d'hydrates va évoluer selon deux modes possibles d'évolution.

5 Selon le premier mode d'évolution, lors d'un réchauffement global de la portion de conduite, la température locale dans la zone comprenant un bouchon d'hydrates reste sensiblement constante jusqu'à la fusion complète du bouchon d'hydrates en formant un palier, ou bien elle augmente faiblement avec une vitesse de montée en température très inférieure à celle des autres
10 zones dépourvues de bouchon d'hydrates, ce qui conduit à la formation d'un pseudo-palier de température de faible pente positive. Le palier ou le pseudo-palier de température sont dus au fait que la réaction de fusion d'hydrates est endothermique. Ce premier mode d'évolution correspond au cas où la fusion se fait sans augmentation sensible de la pression régnant dans la partie centrale
15 du bouchon, le gaz libéré par la fusion pouvant aisément s'écouler vers une zone voisine. Dans ce premier mode d'évolution, la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle locale est inférieure au tiers de la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle globale pendant au moins toute la phase initiale de la fusion du bouchon d'hydrates, ce qui permet de détecter la présence du
20 bouchon d'hydrate dès le début de sa fusion.

 Selon le deuxième mode d'évolution, lors d'un réchauffement global de la portion de conduite, la température locale dans la zone comprenant un bouchon d'hydrates décroît brutalement et rapidement de quelques degrés peu après l'amorce de la fusion du bouchon d'hydrates, en formant un pic
25 endothermique. Ce pic endothermique est ensuite suivi par un pseudo-palier de température similaire à celui du premier mode d'évolution qui se poursuit tant que le bouchon n'est pas complètement dissocié (fondu). Ce mode correspond au cas où pendant la phase initiale de la fusion, le gaz libéré par la fusion de la partie centrale du bouchon d'hydrates est bloqué dans le bouchon
30 et n'arrive pas à s'écouler librement vers une zone voisine. Par suite la pression dans la partie centrale du bouchon augmente sensiblement pendant la phase initiale de la fusion jusqu'à ce que la fusion des parties périphériques du bouchon ait créé un ou plusieurs canaux permettant au gaz présent dans la partie centrale du bouchon de s'écouler vers une zone voisine. Ceci provoque

alors à une chute de pression rapide et brutale dans la partie centrale du bouchon. Ce phénomène de dépressurisation rapide étant endothermique, il conduit à une chute de température et à la formation du pic endothermique. Ce pic endothermique est avantageusement révélé par une rupture de pente, qui
 5 devient négative, dans l'évolution temporelle locale de la température du fluide transporté pour la zone considérée, qui s'oppose à la pente positive de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté dans cette portion de conduite soumise à un réchauffement global, ce qui permet de détecter la présence du bouchon d'hydrate peu après l'amorce de la fusion. Ce
 10 pic endothermique est suivi par un pseudo-palier de température similaire à celui du premier mode d'évolution qui se poursuit tant que le bouchon n'est pas complètement dissocié.

Selon un autre exemple, durant un refroidissement global de la portion de conduite, la température du fluide dans les zones de cette portion de conduite
 15 dans lesquelles le fluide transporté est constitué de liquide ou de gaz, va décroître de façon sensiblement uniforme et continue, tandis que la température dans les zones de cette portion de conduite comprenant un bouchon d'hydrates en cours de formation va aussi évoluer selon deux modes possibles d'évolution.

20 Selon le premier mode d'évolution, lors d'un refroidissement global de la portion de conduite, la température locale dans la zone comprenant un bouchon d'hydrates en cours de formation reste sensiblement constante pendant toute la durée de la formation du bouchon d'hydrate (palier de température de pente nulle), ou bien elle diminue faiblement avec une vitesse
 25 de baisse de température très inférieure à celle des autres zones dépourvues de bouchon d'hydrate (pseudo-palier de température de faible pente négative). Dans ce premier mode d'évolution, la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle locale est inférieure au tiers de la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle globale pendant au moins toute la phase initiale
 30 de la formation du bouchon d'hydrates, ce qui permet de détecter la présence du bouchon d'hydrate dès le début de sa formation.

Selon le deuxième mode d'évolution, lors d'un refroidissement global de la portion de conduite, la température locale dans la zone comprenant un bouchon d'hydrates augmente brutalement et rapidement de quelques degrés

peu après l'amorce de la formation du bouchon d'hydrates, en formant un pic exothermique. Ce pic exothermique est avantageusement révélé par une rupture de pente, qui devient positive, dans l'évolution temporelle locale de la température du fluide transporté pour la zone considérée, qui s'oppose à la

5 pente négative de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté dans cette portion de conduite soumise à un refroidissement global, ce qui permet de détecter la présence du bouchon d'hydrate peu après l'amorce de sa formation. Ce pic exothermique est ensuite suivi par un pseudo-

10 pallier de température similaire à celui du premier mode d'évolution, qui se poursuit tant que le bouchon n'est pas complètement formé.

Autrement dit, la détection d'un pic endothermique local pendant un réchauffement global de la conduite et/ou la détection d'un pic exothermique local pendant un refroidissement global de la conduite, permet d'identifier les zones correspondantes de la conduite dans lesquelles un bouchon d'hydrates

15 est présent, soit qu'il soit en train de se dissocier ou de se former.

De plus, avantageusement, la longueur de ladite portion de conduite est supérieure à 500 mètres, plus avantageusement supérieure à 1000 mètres, préférentiellement supérieure à 2000 mètres. En effet, afin d'améliorer la fiabilité de détection des bouchons d'hydrates, il est avantageux que la

20 longueur de la portion de conduite sur laquelle est faite l'analyse thermique globale soit nettement supérieure à la longueur d'un bouchon d'hydrates qui est typiquement de l'ordre de quelques dizaines de mètres.

En outre, avantageusement, lesdites valeurs de température mesurées sont distribuées le long de ladite conduite avec une périodicité spatiale

25 inférieure à 10 mètres, plus avantageusement inférieure à 5 mètres, encore plus avantageusement inférieure à 2 mètres et préférentiellement inférieure à 1 mètre. Cette caractéristique permet notamment de disposer de plusieurs points de mesure le long d'un éventuel bouchon d'hydrates, ce qui améliore la fiabilité de détection des bouchons d'hydrates.

30 Avantageusement, on calcule une dérivée temporelle globale de la température du fluide transporté sur ladite portion de conduite à partir d'une moyenne des dérivées temporelles locales des valeurs de température du fluide transporté distribuées le long de ladite portion et on utilise le signe de ladite dérivée temporelle globale et la comparaison de la valeur absolue de

ladite dérivée temporelle globale avec un seuil prédéterminé pour évaluer le sens de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté sur ladite portion de conduite.

Lorsque le signe de ladite dérivée temporelle globale est positif et qu'en
 5 outre la valeur absolue de ladite dérivée temporelle globale est supérieure audit seuil prédéterminé, on déduit que le sens de l'évolution temporelle globale est croissant (ou positif), ce qui correspond à une phase de réchauffement global de la portion de conduite.

Lorsque le signe de ladite dérivée temporelle globale est négatif et qu'en
 10 outre la valeur absolue de ladite dérivée temporelle globale est supérieure audit seuil prédéterminé, on déduit que le sens de l'évolution temporelle globale est décroissant (ou négatif), ce qui correspond à une phase de refroidissement global de la portion de conduite.

Lorsque la valeur absolue de ladite dérivée temporelle globale est
 15 inférieure audit seuil prédéterminé, on déduit que le sens de l'évolution temporelle globale est stable (ou neutre) ce qui correspond à une phase pendant laquelle la température moyenne globale de la portion de conduite est sensiblement constante.

En outre, ledit seuil prédéterminé est avantageusement égal à 0,02
 20 °C/heure, préférentiellement égal à 0,05 °C/heure. L'emploi de ce seuil prédéterminé vise à rendre plus robuste l'estimation du sens de l'évolution temporelle globale en fonction de la précision des mesures des températures et/ou du modèle thermique utilisé.

Avantageusement, on calcule une dérivée temporelle locale de la
 25 température du fluide transporté pour chaque zone considérée de ladite portion de conduite, on évalue une vitesse de changement dans le temps de ladite dérivée temporelle locale et on élabore ledit signal d'alerte résultant de la détection d'une rupture de pente de sens opposé au sens de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté pour ladite portion de
 30 conduite lorsqu'on détecte que ladite vitesse de changement dans le temps de ladite dérivée temporelle locale varie dans un intervalle de vitesses prédéterminé.

La dérivée temporelle locale de la température du fluide transporté, exprimée en °C/heure, est égale à la dérivée première par rapport au temps de

la température locale du fluide transporté, et est aussi égale à la pente de l'évolution temporelle locale de la température du fluide transporté. La vitesse de changement dans le temps de la dérivée temporelle locale de la température du fluide transporté, exprimée en $^{\circ}\text{C}/\text{heure}^2$, est égale à la dérivée
 5 seconde par rapport au temps de la température locale du fluide transporté.

De préférence, ledit intervalle de vitesses prédéterminé est compris entre $-1^{\circ}\text{C}/\text{heure}^2$ et $-10^{\circ}\text{C}/\text{heure}^2$ pour la détection d'une rupture de pente négative pendant un réchauffement global de la conduite.

Selon un mode de réalisation, pour estimer les valeurs de température du
 10 fluide transporté, distribuées le long de la conduite, à partir des valeurs de température mesurées le long de la conduite, on établit un modèle thermique de la conduite apte à calculer une valeur de température le long de la conduite en fonction d'une pluralité de données fournies en entrée dudit modèle thermique parmi lesquelles des données d'entrée inconnues comportant au
 15 moins la température du fluide transporté et on teste toutes les combinaisons de données d'entrée possibles jusqu'à déterminer une combinaison de données d'entrée qui fournit en sortie dudit modèle thermique une valeur de température calculée égale à la valeur de température mesurée.

Ainsi, la température du fluide transporté retenue en tant que donnée
 20 d'entrée inconnue du modèle thermique dans ladite combinaison appliquée, qui permet de conduire à une valeur de température calculée par le modèle égale à la valeur de température mesurée pour une zone donnée le long de la conduite, est considérée comme étant la température du fluide transporté à l'intérieur de la conduite pour ladite zone. On peut ainsi aisément estimer la
 25 température du fluide transporté au sein du passage interne de la conduite le long de celle-ci, à partir des valeurs de température mesurées le long de la conduite fournies par le système de mesure.

Selon un mode de réalisation, on fournit un système de chauffage et un système de mesure de température intégrés à la conduite.

30 En variante, on fournit un système de chauffage et un système de mesure de température portés par une couverture amovible propre à s'appliquer en regard d'une surface extérieure de la conduite.

L'invention concerne également un dispositif de traitement de bouchons d'hydrate de gaz dans une conduite de transport de fluide d'hydrocarbure,

comprenant des moyens de chauffage disposés le long de la conduite, un système de mesure de température associé à la conduite, adapté pour fournir à intervalles réguliers des valeurs de température mesurées le long de la conduite et un module de traitement desdites valeurs de température mesurées

5 adapté à exploiter lesdites valeurs de température mesurées pour détecter la présence d'au moins un bouchon d'hydrate dans la conduite, ledit module de traitement étant adapté à commander la puissance de chauffage desdits moyens de chauffage pour élever la température des fluides au dessus de la température de dissociation dudit hydrate de gaz de manière à faire fondre le

10 bouchon d'hydrate détecté, et à surveiller la pression interne de la conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite pendant la dissociation du bouchon d'hydrate, caractérisé en ce que ledit module de traitement est adapté à estimer des valeurs de température du fluide transporté, distribuées le long de la conduite, à partir desdites valeurs de

15 température mesurées le long de la conduite et à déterminer une valeur de température locale du fluide transporté à l'endroit où est détecté ledit bouchon d'hydrate, ledit module de traitement étant adapté à stocker au moins une courbe de limite de phase dudit hydrate de gaz entre un état solidifié et un état gazeux, suivant un diagramme pression-température, à estimer la pression

20 interne au niveau dudit bouchon d'hydrate pendant la dissociation dudit bouchon d'hydrate à partir de ladite courbe de limite de phase et de ladite valeur de température locale à l'endroit où est détecté ledit bouchon d'hydrate, et à réguler en boucle fermée et en temps réel la puissance de chauffage desdits moyens de chauffage associés à la conduite en fonction de la pression

25 interne estimée pendant la dissociation dudit bouchon d'hydrate, de façon à éviter un éclatement de la conduite et/ou un déplacement violent dudit bouchon d'hydrate.

D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après d'un mode de réalisation particulier de

30 l'invention, donné à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un dispositif de détection de la formation d'hydrates dans une conduite sous-marine de transport de fluide, en

combinaison duquel le procédé de débouchage de la conduite selon l'invention peut avantageusement être mis en œuvre ;

- la figure 2 est une deuxième vue schématique du dispositif de détection selon l'invention ;

5 - la figure 3 est un premier chronogramme représentant les courbes d'évolution temporelle globale et locale de la température du fluide transporté au niveau d'une portion de conduite en cours de réchauffement comportant un bouchon d'hydrates, ces courbes étant obtenues à partir des valeurs de température mesurées par le système de mesure de température associée à la
10 conduite, qui sont discrétisées le long de la direction longitudinale de la conduite;

 - la figure 4 est un deuxième chronogramme représentant les courbes d'évolution temporelle globale et locale de la température du fluide transporté au niveau d'une portion de conduite en cours de réchauffement comportant un
15 bouchon d'hydrates ;

- la figure 5 illustre dans un diagramme bidimensionnel pression-température, une courbe locale d'évolution de la pression et de la température du bouchon d'hydrate pendant la dissociation du bouchon.

 Le traitement des bouchons d'hydrate permettant de déboucher la
20 conduite conformément à la présente invention, nécessite, en premier lieu, de détecter la présence d'un tel bouchon dans la conduite.

 Le dispositif de détection 20 est illustré schématiquement sur la figure 1. Il est destiné à être utilisé dans une installation off-shore 10 d'exploitation de fluide d'hydrocarbures comportant au moins une conduite 12 posée sur le fond
25 marin 13 et/ou au moins partiellement enterrée dans le fond marin 13. Il s'agit par exemple d'une conduite de production (« flowline » selon la terminologie anglo-saxonne) raccordant un ensemble de collecte de fluide (non représenté) à une colonne montante (non représentée). La conduite 12 peut par exemple être une conduite rigide formée d'au moins un tube métallique ou peut être une
30 conduite flexible, comprenant au moins une gaine de pression en matériau thermoplastique et des armures de renfort. La conduite 12 délimite un passage interne 14 de circulation de fluide. Le fluide circulant dans la conduite est par

exemple un fluide d'hydrocarbure comprenant au moins un composé susceptible de se solidifier, en particulier sous la forme d'hydrate de gaz ou de paraffine, dans le passage interne 14 sous certaines conditions de température et de pression, notamment en condition de haute pression et de basse température. Ainsi, lors du transport dans la conduite sous-marine au contact avec de l'eau froide, le fluide d'hydrocarbure se refroidit et ce refroidissement progressif peut amener le fluide à entrer dans des conditions thermodynamiques de formation d'hydrate ou de paraffine. Ces composés solidifiés sont susceptibles de s'accumuler sur les parois internes de la conduite et dans certains cas, de former au moins un bouchon 16, représenté schématiquement sur la figure 2, pouvant provoquer un blocage complet de l'écoulement de la conduite.

Le dispositif de détection 20 vise à détecter la présence et/ou la formation de ces bouchons d'hydrates pour traiter ces bouchons et remédier au bouchage de la conduite de manière préventive. Le dispositif de détection 20 comprend un système de chauffage 21 du fluide transporté par des moyens de chauffage 28 (représentés schématiquement à la figure 2) disposés le long de la conduite 12 et un système de mesure 22 de température associé à la conduite 12, adapté pour fournir des valeurs de température mesurées le long de la conduite, en fonction du temps.

Les moyens de chauffage 28 sont destinés à interagir avec la conduite pour la chauffer, par exemple par effet Joule. Ils comportent au moins un élément longitudinal de chauffage de type câble chauffant électriquement conducteur agencé le long de la conduite.

Le système de mesure de température 22 comprend par exemple un ou des capteurs linéaires à fibres optiques de type capteurs de température distribuée (Distributed Temperature Sensing », en anglais) agencés le long de la conduite. Ce type de capteur, fonctionnant selon un principe de réflectométrie Raman ou Brillouin, permet de produire par exemple toutes les 30 secondes un signal 24 représentatif de la température locale mesurée le long de la conduite avec une résolution spatiale par exemple de 1 m. Selon d'autres variantes permettant de mettre en œuvre la présente invention, le

système de mesure comprend par exemple un grand nombre de capteurs à fibre optique de mesure de température du type réseaux de Bragg agencés le long de la conduite, ou encore un grand nombre de capteurs électriques de mesure de température du type thermocouple ou thermistance agencés le long
5 de la conduite.

Les éléments longitudinaux de chauffage de la conduite et les capteurs linéaires à fibre optique pour la mesure de la température le long de la conduite peuvent être incorporés à la conduite ou bien, si cette dernière n'est pas déjà équipée de tels moyens intégrés, peuvent être portés par une couverture
10 chauffante amovible 25 (représentée schématiquement à la figure 2), du type de celle décrite par le document WO2016/188640, destinée à être déployée le long d'au moins une portion de la conduite 12, de façon à la recouvrir.

Le signal représentatif des valeurs de température mesurées par le système de mesure 22 est communiqué à un module de traitement 23, apte à
15 stocker ces valeurs de température mesurées et à les traiter. Le module de traitement 23 analyse les valeurs de température mesurées et estime la température du fluide transporté dans le passage interne de la conduite à partir de ces valeurs mesurées localement le long de la conduite.

En effet, le capteur de mesure de la température, qu'il soit agencé sur la
20 couverture amovible destinée à recouvrir la conduite 12 ou qu'il soit incorporé à la conduite 12, ne fournit pas directement la mesure de la température du fluide transporté dans le passage interne 14, mais une mesure de la température locale à l'extérieur du passage interne 14, le long de la conduite. L'estimation de la température du fluide transporté à partir des valeurs de température
25 mesurées est basée sur un modèle thermique 26 préétabli et stocké dans le module de traitement 23. Ce modèle thermique 26 est conçu pour être un modèle à entrées connues, d'une part et à entrées inconnues et à entrées supposées, d'autre part, représentant le comportement thermique du système de conduite dans son environnement, et ayant comme donnée de sortie la
30 température mesurée localement le long de la conduite, l'ensemble des données d'entrées connues, inconnues et supposées influençant ladite température locale le long de la conduite. Les entrées connues sont des

données qui peuvent être mesurées ou qui sont connues de la conception même de la conduite, telle que par exemple des données se rapportant aux propriétés thermiques du système de chauffage, ainsi qu'aux propriétés thermiques de la conduite (conductivité thermique, capacité calorifique, etc.).

- 5 Les entrées supposées sont des paramètres qui ne sont pas mesurés mais que l'on peut estimer avec un haut niveau de confiance (par exemple, la température de l'eau de mer ambiante, les propriétés thermiques du fond marin). Les entrées inconnues du modèle sont des paramètres qui ne sont pas mesurés et qui doivent être déterminés, parmi lesquels la température du fluide
- 10 transporté. Le modèle thermique permet de convertir les valeurs de température mesurées par le système de mesure le long de la conduite en valeurs de température du fluide transporté.

- Pour ce faire, on définit toutes les combinaisons possibles de données d'entrée connues, inconnues et supposées, on fournit ces combinaisons en
- 15 entrée du modèle thermique 26 et on sélectionne la meilleure combinaison parmi l'ensemble des combinaisons définies, à savoir celle qui permet d'obtenir en sortie du modèle thermique une valeur de température le long de la conduite, dite valeur calculée, égale à la valeur de température mesurée le long de la conduite par le capteur de mesure, dite valeur mesurée. La combinaison
- 20 sélectionnée permet de fournir les données d'entrée inconnues et, en particulier, la température du fluide transporté dans le passage interne 14 de la conduite 12 pour laquelle le modèle fournit en sortie une valeur calculée égale à la valeur mesurée. Autrement dit, on teste toutes les entrées possibles du modèle 26 jusqu'à ce que la sortie du modèle corresponde à la valeur mesurée
- 25 afin d'estimer les valeurs de température du fluide transporté dans le passage interne le long de la conduite.

On se reportera aux figures 2, 3 et 4 afin de décrire l'analyse en fonction du temps de ces valeurs estimées de température du fluide transporté le long de la conduite.

- 30 L'analyse permettant de détecter la présence d'un bouchon d'hydrates et de déterminer son emplacement le long de la conduite repose sur un suivi temporel sensiblement en continu de l'évolution de la température du fluide

transporté le long d'une portion de conduite de grande longueur, et sur une comparaison entre d'une part l'évolution temporelle locale de la température le long d'une zone particulière de la portion de conduite, et d'autre part l'évolution temporelle globale de la température le long de la portion de conduite. Cette

5 comparaison vise à identifier les zones pour lesquelles non seulement l'évolution temporelle locale de la température locale est significativement différente de l'évolution de l'évolution temporelle globale de la température, mais aussi pour lesquelles cette différence répond à des critères spécifiques permettant de déduire la présence d'un bouchon d'hydrate au niveau local.

10 Un premier mode de fonctionnement repose sur la mise en œuvre d'un cycle de détection comprenant un réchauffement de la conduite, par l'intermédiaire des moyens de chauffage 28 associés à la conduite 12. La portion de conduite 29 représentée à la figure 2 est délimitée par deux extrémités de portion de conduite 17,18. La longueur de la portion de conduite

15 29 est avantageusement supérieure à 500m, préférentiellement supérieure à 1000m. Dans l'exemple de la Figure 2, la portion de conduite 29 comporte un bouchon d'hydrates 16 de longueur très inférieure à la longueur de la portion de conduite. En référence aux figures 3 et 4, l'évolution temporelle globale 30, 40 de la température du fluide transporté le long de la portion 29 de conduite

20 est la moyenne le long de la portion 29 de conduite des évolutions temporelles locales déterminées par le module de traitement 23 à partir des mesures distribuées de température effectuées par le système de mesure 22. L'évolution temporelle globale 30, 40 de la température est une fonction continument croissante du fait du réchauffement global de la portion 29 de

25 conduite par les moyens de chauffage 28. L'évolution temporelle locale 39, 49 de la température au niveau du bouchon d'hydrates 16 peut suivre deux modes principaux d'évolution.

Selon un premier mode d'évolution du premier mode de fonctionnement qui est illustrée par la figure 3, l'évolution temporelle locale 39 de la

30 température au niveau du bouchons d'hydrates 16 devient significativement différente de l'évolution temporelle globale 30 dès le début de la fusion 32 du bouchon. Dès le début de la fusion 32 du bouchon d'hydrates, l'évolution temporelle locale 39 se présente sous la forme d'un pseudo pallier 33 de

température qui se maintient jusqu'à la fusion complète 34 du bouchon d'hydrates.

Peu après le début de la fusion 32, juste avant le pseudo-pallier 33, la pente de l'évolution temporelle locale 39 chute rapidement et fortement par rapport à la pente de l'évolution temporelle globale 30. En pratique, il a été constaté que la pente de l'évolution temporelle locale 39 devient inférieure à un tiers de la pente de l'évolution temporelle globale 30 peu après le début de la fusion 32. Ceci permet d'élaborer un signal d'alerte la présence d'un bouchon d'hydrates lorsque l'évolution temporelle locale 39 de la température du fluide transporté présente une pente de valeur absolue au moins trois fois inférieure à la valeur absolue de la pente de l'évolution temporelle globale 30 du fluide transporté pour la portion 29 de conduite.

Une fois le bouchon d'hydrates complètement fondu, l'évolution temporelle locale 39 se présente sous la forme d'une courbe de remontée rapide en température 31 qui rejoint asymptotiquement l'évolution temporelle globale 30. Il a été constaté que dès que la fusion compète 34 du bouchon d'hydrates, la pente de l'évolution temporelle locale 39 augmente rapidement et fortement, de sorte qu'il est possible d'élaborer un signal d'alerte de fusion complète (fin de fusion) à partir de la vitesse de changement dans le temps de cette pente. Par exemple, un signal d'alerte de fusion complète est élaboré lorsque la dérivée seconde par rapport au temps de l'évolution temporelle locale est supérieure à $+ 1^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$, avantageusement supérieure à $+ 2^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$.

Selon un deuxième mode d'évolution du premier mode de fonctionnement qui est illustrée par la figure 4, l'évolution temporelle locale 49 de la température au niveau du bouchons d'hydrates 16 devient significativement différente de l'évolution temporelle globale 40 peu après le début de la fusion 42 du bouchon, l'évolution temporelle locale 49 se présentant alors sous la forme d'un pic endothermique 48 suivi d'un pseudo pallier 43 qui se maintient jusqu'à la fusion complète 44 du bouchon d'hydrates. Il a été découvert que ce pic endothermique 48 est lié à la dépressurisation rapide et brutale de la partie centrale du bouchon peu après le début de la fusion 42. Ce phénomène est dû au fait que le gaz libéré par la fusion de la partie centrale du bouchon d'hydrates 16 est initialement bloqué et ne peut pas s'écouler librement vers

une zone voisine. Dans le cas de la figure 4, cette zone de blocage initial des gaz correspond à la partie de la courbe d'évolution temporelle locale 40 comprise entre les points 42 et 47. A partir du point 47, le gaz commence à s'évacuer vers au moins une zone voisine via au moins un canal généré par la fusion du bouchon d'hydrates. La dépressurisation a ensuite lieu entre les points 47 et 48, ce qui provoque le pic endothermique 48 car la dépressurisation rapide d'un gaz est un phénomène endothermique.

Ce pic endothermique 48 est révélé par une rupture de pente, de sens opposé au sens positif de l'évolution temporelle globale 40 de la température du fluide transporté dans la portion 29 de conduite. Cette variation (diminution) rapide et brutale de la température du fluide transporté pour une zone donnée lors de l'élévation de température de la conduite peut être aisément détectée pour en déduire un signal de présence d'hydrate dans cette zone. Avantageusement, le module de traitement 23 calcule en temps réel la dérivée seconde par rapport au temps de l'évolution temporelle locale 49 et compare cette dérivée seconde avec des seuils prédéfinis afin d'élaborer un signal d'alerte. Avantageusement, lorsque le sens de l'évolution globale 40 est positif (réchauffement global), une alerte de présence d'hydrate est élaborée lorsque la dérivée seconde par rapport au temps de l'évolution temporelle locale 49 est comprise entre -1 °C/heure^2 et -10 °C/heure^2 , ce qui correspond à la détection d'une rupture de pente négative.

Après le pic endothermique 48, l'évolution temporelle locale 49 se présente sous la forme d'un pseudo-pallier 43 qui se maintient jusqu'à la fusion complète 44 du bouchon d'hydrates. Une fois le bouchon d'hydrates complètement fondu, l'évolution temporelle locale 49 se présente sous la forme d'une courbe de remontée rapide en température 41 qui rejoint asymptotiquement l'évolution temporelle globale 40. Il a été constaté que dès que la fusion compète 44 du bouchon d'hydrates, la pente de l'évolution temporelle locale 49 augmente rapidement et fortement, de sorte qu'il est possible d'élaborer un signal d'alerte de fusion complète (fin de fusion) à partir de la vitesse de changement dans le temps de cette pente. Par exemple, un signal d'alerte de fusion complète est élaboré lorsque la dérivée seconde par

rapport au temps de l'évolution temporelle locale est supérieure à $+1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{heure}^2$, avantageusement supérieure à $+2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{heure}^2$.

Un deuxième mode de fonctionnement repose sur la mise en œuvre d'un cycle de détection comprenant un refroidissement global de la conduite. Par
5 refroidissement global, on entend ici que les moyens de chauffage ne sont pas utilisés pour réchauffer la conduite pendant ce cycle de détection. Selon ce deuxième mode de fonctionnement, l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté, estimée à partir de la température mesurée par le capteur le long de la conduite, suit alors une loi selon une fonction
10 continument décroissante, par opposition au premier mode de fonctionnement. La détection de la formation d'un hydrate dans une zone donnée de la conduite repose cette fois sur deux méthodes de traitement appliquées en parallèle à savoir l'observation d'une rupture de pente, de sens opposé au sens négatif de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté dans les
15 autres zones environnantes (détection d'un pic exothermique), et/ou l'observation d'une chute en dessous de un tiers du ratio entre d'une part la valeur absolue de la pente de l'évolution locale de la température et d'autre part la valeur absolue de la pente de l'évolution globale (détection d'un pseudo pallier).

20 La méthode de détection de présence de bouchons d'hydrates basée sur la détection d'un pic exothermique local pendant un refroidissement global présente une grande fiabilité. Pour mettre en œuvre cette méthode, le module de traitement 23 détermine en premier lieu le sens de l'évolution globale de la température du fluide transporté en fonction du temps pour une portion de
25 conduite contrôlée. Pour ce faire, on calcule, par exemple, une dérivée temporelle globale de la température du fluide transporté sur cette portion de conduite en effectuant une moyenne des dérivées temporelles locales des valeurs de température obtenues pour chaque zone considérée le long de cette portion et on compare la dérivée temporelle globale à un seuil prédéterminé
30 pour évaluer le sens de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté sur cette portion de conduite contrôlée.

Si la dérivée temporelle globale de la température du fluide transporté sur la portion de conduite contrôlée est positive, ou à tout le moins est supérieure à un seuil positif prédéterminé, on considère être dans une situation de réchauffement global de la portion de conduite contrôlée. Le module de traitement bascule alors dans le premier mode de fonctionnement correspondant à la mise en œuvre du cycle de détection dans le cadre d'un réchauffement global de la conduite, selon les principes exposés ci-dessus.

Selon un exemple de mise en œuvre, le module de traitement calcule une dérivée temporelle locale de la température du fluide transporté pour chaque zone considérée de la portion de conduite, puis évalue une vitesse de changement dans le temps de la dérivée temporelle locale afin de détecter un pic endothermique local pendant le réchauffement global de la conduite, révélateur de la présence d'un hydrate. Ainsi, lorsque le module de traitement détecte que la vitesse de changement dans le temps de la dérivée temporelle locale de la température varie dans un intervalle de vitesses compris par exemple entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$ et $-10\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$ pendant le réchauffement global de la conduite, le module de traitement élabore un signal d'alerte de présence d'un bouchon d'hydrates, ce signal d'alerte étant associé à une information de localisation du bouchon d'hydrates selon la zone de la portion de conduite où a été détecté le pic exothermique local.

Par contre, si la dérivée temporelle globale de la température du fluide transporté sur la portion de conduite contrôlée est négative, ou à tout le moins est inférieure à un seuil négatif prédéterminé, on considère être cette fois dans une situation de refroidissement global de la portion de conduite contrôlée. Le module de traitement bascule alors dans le deuxième mode de fonctionnement correspondant à la mise en œuvre du cycle de détection dans le cadre d'un refroidissement global de la conduite, selon les principes exposés ci-dessus.

De la même façon que pour l'exemple de mise en œuvre fourni en référence au premier mode de fonctionnement, le module de traitement évalue alors la vitesse de changement dans le temps de la dérivée temporelle locale de la température du fluide transporté pour chaque zone considérée de la portion de conduite afin de détecter cette fois un pic exothermique local

pendant le refroidissement global de la conduite, révélateur de la présence d'un hydrate. Lorsque cette vitesse de changement dans le temps de la dérivée temporelle locale de la température varie dans un intervalle de vitesses compris par exemple entre $+1\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$ et $+10\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$ pendant le refroidissement global de la conduite, le module de traitement élabore un signal d'alerte de présence d'un bouchon d'hydrates, ce signal d'alerte étant associé à une information de localisation du bouchon d'hydrates selon la zone de la portion de conduite où a été détecté le pic exothermique local.

Le signal d'alerte de présence d'un bouchon d'hydrates élaboré par le module de traitement 23 est fourni à une interface de sortie 27 du module de traitement 23.

Ainsi, selon l'exemple de mise en œuvre, on comprend qu'un signal d'alerte de présence d'un bouchon d'hydrates peut être émis suffisamment tôt et de manière fiable, en suivant l'évolution de la vitesse de changement dans le temps de la dérivée temporelle locale de la température du fluide transporté pour chaque zone considérée de la portion de conduite dans le cas d'un réchauffement global ou d'un refroidissement global de cette portion de conduite.

Le signal d'alerte délivré par le module de traitement 23 permet alors de déclencher l'application de mesures destinées à combattre la présence des hydrates dans la conduite.

En particulier, le dispositif de traitement des bouchons selon l'invention est conçu pour utiliser les moyens de chauffage associés à la conduite pour élever la température des fluides au dessus de la température de dissociation de l'hydrate qui a été détecté. Ainsi, le module de traitement est adapté pour commander une puissance de chauffage des moyens de chauffage associés à la conduite, qui soit adaptée à élever la température des fluides au dessus de la température de dissociation de l'hydrate de gaz de manière à faire fondre le bouchon d'hydrate détecté.

Pendant ce réchauffement global de la conduite sous l'effet de l'activation des moyens de chauffage associés à la conduite, on détecte la présence d'un

bouchon d'hydrate selon les principes exposés ci-dessus en référence aux figures 3 et 4, en particulier en détectant un pseudo-pallier 33,43 et/ou un pic endothermique local 48, révélateurs de la présence d'un hydrate. Comme expliqué précédemment, ce pic endothermique 48 est préférentiellement
 5 détecté lorsqu'on détecte une inversion brutale dans la dérivée temporelle locale de la température du fluide transporté pour une zone donnée de la portion de conduite, avec une vitesse de variation de ladite dérivée temporelle locale comprise entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$ et $-10\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$.

Afin d'augmenter la fiabilité et la sécurité du processus de dissociation du
 10 bouchon d'hydrate qui a été détecté, on prévoit, selon l'invention, de surveiller la pression interne dans la conduite au niveau du bouchon d'hydrate, pendant la durée du processus de dissociation du bouchon. Pour ce faire, on va estimer la pression interne au niveau du bouchon en cours de dissociation à partir de la température locale du fluide transporté dans la conduite, telle qu'estimée au
 15 niveau du bouchon détecté à partir des valeurs de température mesurées le long de la conduite. Selon les principes déjà exposés précédemment, cette température est calculée par inversion du modèle thermique 26 préétabli et stocké dans le module de traitement 23.

En effet, au cours du réchauffement de la conduite, pendant le processus
 20 de dissociation du bouchon d'hydrate, la pression et/ou la température de l'hydrate de gaz concerné changent, et le point représentant l'état de pression et de température de l'hydrate de gaz pendant le processus de dissociation se déplace comme illustré sur le diagramme de la figure 5, suivant le tracé A à B, B à C et C à D, correspondant aux différentes étapes de chauffage. En
 25 particulier, l'hydrate commence à se dissocier lorsque le point représentatif de l'état de pression et de température atteint la courbe 50 de limite de phase, correspondant au point B sur la figure 5. Puis, l'état de pression et de température de l'hydrate reste sur la courbe 50 de limite de phase jusqu'à ce que tout l'hydrate soit dissocié, correspondant au tracé B à C sur la figure 5.
 30 Quand la dissociation se termine au point C, il n'y a plus d'augmentation de pression. Ce déplacement est donc le reflet de l'évolution thermodynamique de l'hydrate au cours du chauffage pendant le processus de dissociation de l'hydrate.

Ainsi, tant que la dissociation du bouchon est en cours et que le bouchon n'est pas totalement fondu, on se trouve sur la courbe 50 entre les points B et C. Par suite, connaissant la température, la pression interne peut être estimée à partir de la courbe 50 de limite de phase de l'hydrate en question, qui fournit l'état de température et de pression de l'hydrate au cours de son processus de dissociation, de son amorce jusqu'à sa dissociation complète. Par exemple, dans l'exemple représenté à la figure 5, la courbe de limite de phase 50 fournit une valeur de pression de 100 bars (10 MPa) pour une température de 13°C environ (286 K).

Le module de traitement 23 est donc conçu pour stocker la courbe 50 de limite de phase de l'hydrate et pour estimer la pression interne dans la conduite au niveau d'un bouchon préalablement détecté, pendant la dissociation du bouchon, à partir de cette courbe stockée et de la température locale du fluide au niveau de ce bouchon, telle qu'estimée par le module de traitement à partir des valeurs de température mesurées le long de la conduite fournies par le système de mesure.

En pratique, une fois qu'une alerte de présence d'un bouchon d'hydrate a été élaborée selon l'une au moins des approches exposées ci-dessus, et tant que la fin de fusion (fusion complète) du bouchon correspondant n'a pas été détectée, le module de traitement 23 utilise la courbe 50 de limite de phase pour déterminer la pression dans le bouchon à partir de la température dans le bouchon. En référence aux figures 3 et 4, la fusion complète (fin de fusion) du bouchon 34, 44 est détectée en comparant la dérivée seconde par rapport au temps de l'évolution temporelle locale 39, 49 de la température du fluide transporté au niveau du bouchon avec un seuil prédéfini. Par exemple, lorsque cette dérivée seconde devient supérieure à $+ 1\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$, et avantageusement supérieure à $+ 2\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$, une alerte de fusion complète du bouchon est élaborée par le système de traitement 23.

Autrement dit, pendant la dissociation de l'hydrate, l'évolution temporelle locale de la température du fluide transporté à l'endroit où est détecté l'hydrate permet de fournir une estimation de l'évolution temporelle de la pression interne au niveau du bouchon, à partir de la courbe de limite de phase de l'hydrate.

On notera qu'on peut distinguer différents types de structure d'hydrates, notamment des structures dites SI et SII ou type 1 et type 2. Ces deux types de structure présentent des comportements thermodynamique différents, en particulier au cours de la phase de dissociation, se traduisant par des courbes de limite de phase en température et en pression différentes. Le type d'hydrate
5 présent dans la conduite n'est pas nécessairement connu. Aussi, on pourra utiliser une première courbe de limite de phase, correspondant à un premier type d'hydrate, par exemple SI et une deuxième courbe de limite de phase, correspondant à un deuxième type d'hydrate, par exemple SII, fournissant
10 chacune une estimation de la pression interne en fonction de la température, respectivement une estimation basse et une estimation haute. On obtient ainsi une estimation de la pression interne à partir de l'évolution temporelle locale de la température, comprise dans une plage bornée par une valeur minimale de pression estimée et une valeur maximale de pression estimée. Ce mode de
15 réalisation permet de traiter la pression estimée en tenant compte de l'incertitude liée au type d'hydrate dans la conduite.

L'estimation de l'évolution temporelle de la pression interne réalisée pendant la dissociation du bouchon d'hydrate est utilisée par le module de traitement pour réguler en boucle fermée et en temps réel la puissance de
20 chauffage des moyens de chauffage associés à la conduite, de façon à éviter un éclatement de la conduite et/ou un déplacement violent du bouchon d'hydrate. Ainsi, l'invention met en œuvre un système de régulation en boucle fermée qui est capable d'ajuster "on-line" la puissance de chauffage pendant le processus de dissociation du bouchon d'hydrate, de manière telle que la
25 pression interne soit maintenue à l'intérieur d'une marge de sécurité déterminée en fonction du risque d'éclatement de la conduite et/ou du risque d'expulsion violente du bouchon.

En particulier, la puissance de chauffage peut être ajustée pendant la dissociation du bouchon, pour s'assurer que la pression interne ne dépasse
30 pas la pression maximale admissible de la conduite et reste compatible avec l'intégrité de cette dernière. Egalement, le système de régulation pourra prévoir de désactiver les moyens de chauffage associés à la conduite pour interrompre le chauffage de la conduite en cas d'augmentation trop rapide de la pression.

REVENDECATIONS

1. Procédé pour déboucher une conduite (12) de transport de fluide d'hydrocarbure obturée au moins partiellement par un hydrate de gaz susceptible de se solidifier, dans lequel on fournit un système de chauffage (21) du fluide transporté par des moyens de chauffage (28) disposés le long de la conduite et un système de mesure de température (22) associé à la conduite, adapté pour fournir à intervalles réguliers des valeurs de température mesurées le long de la conduite, et dans lequel on détecte la présence d'au moins un bouchon d'hydrate (16) dans la conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite, on commande la puissance de chauffage desdits moyens de chauffage (28) associés à la conduite pour élever la température des fluides au dessus de la température de dissociation dudit hydrate de gaz de manière à faire fondre le bouchon d'hydrate détecté, et on surveille la pression interne de la conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite pendant la dissociation du bouchon d'hydrate,
caractérisé en ce que :
on estime des valeurs de température du fluide transporté, distribuées le long de la conduite, à partir desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite,
on détermine une valeur de température locale du fluide transporté à l'endroit où est détecté ledit bouchon d'hydrate (16),
on fournit dans un diagramme bidimensionnel pression-température au moins une courbe (50) de limite de phase dudit hydrate de gaz entre un état solidifié et un état gazeux,
on estime la pression interne au niveau dudit bouchon d'hydrate (16) pendant la dissociation dudit bouchon d'hydrate à partir de ladite courbe (50) de limite de phase et de ladite valeur de température locale à l'endroit où est détecté ledit bouchon d'hydrate,
on régule en boucle fermée et en temps réel la puissance de chauffage desdits moyens de chauffage (28) associés à la conduite en fonction de la pression interne estimée pendant la dissociation dudit bouchon d'hydrate, de

façon à éviter un éclatement de la conduite et/ou un déplacement violent dudit bouchon d'hydrate.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la pression interne estimée est comprise dans une plage bornée par une valeur minimale de pression estimée et une valeur maximale de pression estimée, lesdites
5 valeurs minimale et maximale de pression estimée résultant respectivement de l'exploitation de deux courbes de limite de phases correspondant à un premier type d'hydrate et à un deuxième type d'hydrate.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la
10 détection de la présence du bouchon d'hydrate dans la conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite comprend un suivi temporel sensiblement en continu de l'évolution de la température du fluide transporté le long de la conduite, dans lequel :

on évalue, sur au moins une portion (29) de la conduite, une évolution
15 temporelle globale (30, 40) de la température du fluide transporté à partir des valeurs de température du fluide distribuées le long de ladite portion,

on identifie au moins une zone de ladite portion de conduite pour laquelle une évolution temporelle locale (39, 19) de la température du fluide transporté présente une pente de valeur absolue au moins trois fois inférieure à la valeur
20 absolue de la pente de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté pour ladite portion (29), et

on élabore un signal d'alerte de présence d'un bouchon d'hydrate pour chaque zone identifiée.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendication 1 à 3, caractérisé
25 en ce que la détection de la présence du bouchon d'hydrate dans la conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite comprend un suivi temporel sensiblement en continu de l'évolution de la température du fluide transporté le long de la conduite, dans lequel :

on évalue, sur au moins une portion (29) de la conduite, le sens d'une
30 évolution temporelle globale (30, 40) de la température du fluide transporté à partir des valeurs de température du fluide distribuées le long de ladite portion,

on identifie au moins une zone de ladite portion de conduite pour laquelle une évolution temporelle locale (39, 49) de la température du fluide transporté

présente une rupture de pente de sens opposé au sens de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté pour ladite portion, et on élabore un signal d'alerte de présence d'un bouchon d'hydrate pour chaque zone identifiée.

5 5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'on calcule une dérivée temporelle globale de la température du fluide transporté sur ladite portion de conduite à partir d'une moyenne des dérivées temporelles locales des valeurs de température du fluide transporté distribuées le long de ladite portion et on utilise le signe de ladite dérivée temporelle globale et la
10 comparaison de la valeur absolue de ladite dérivée temporelle globale avec un seuil prédéterminé pour évaluer le sens de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté sur ladite portion de conduite.

6. Procédé selon la revendication 4 ou 5, caractérisé en ce qu'on calcule une dérivée temporelle locale de la température du fluide transporté
15 pour chaque zone considérée de ladite portion de conduite, on évalue une vitesse de changement dans le temps de ladite dérivée temporelle locale et on élabore ledit signal d'alerte résultant de la détection d'une rupture de pente de sens opposé au sens de l'évolution temporelle globale de la température du fluide transporté pour ladite portion de conduite lorsqu'on détecte que ladite
20 vitesse de changement dans le temps de ladite dérivée temporelle locale varie dans un intervalle de vitesses prédéterminé.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit intervalle de vitesses prédéterminé est compris entre $-1^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$ et $-10^{\circ}\text{C} / \text{heure}^2$ pour la détection d'une rupture de pente négative pendant un
25 réchauffement global de la conduite.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que, pour estimer les valeurs de température du fluide transporté, distribuées le long de la conduite, à partir des valeurs de température mesurées le long de la conduite, on établit un modèle thermique
30 (26) de la conduite apte à calculer une valeur de température le long de la conduite en fonction d'une pluralité de données fournies en entrée dudit modèle thermique parmi lesquelles des données d'entrée inconnues comportant au moins la température du fluide transporté et on teste toutes les combinaisons de données d'entrée possibles jusqu'à déterminer une

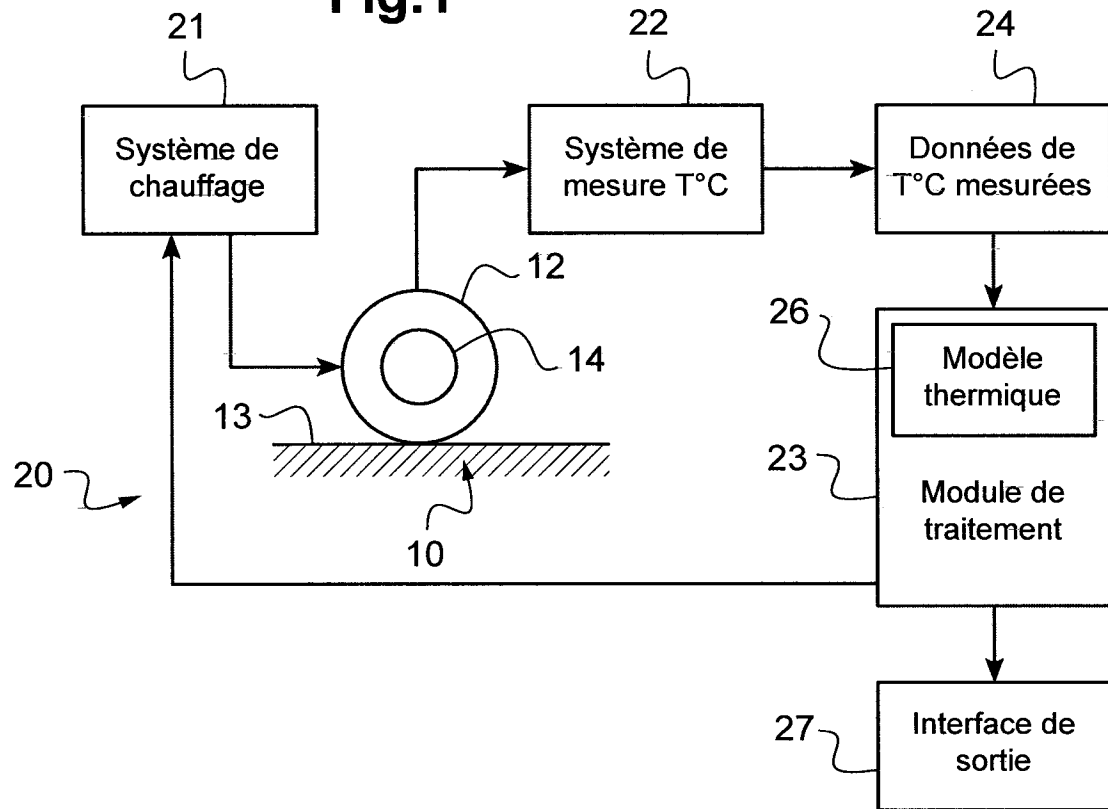
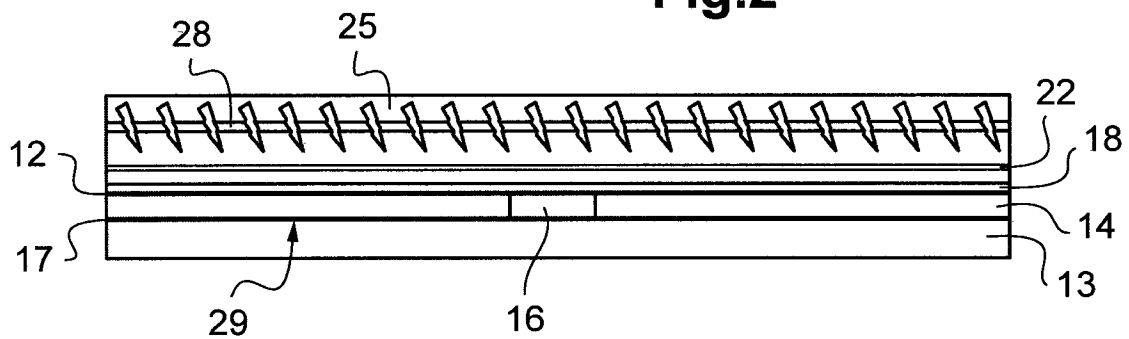
combinaison de données d'entrée qui fournit en sortie dudit modèle thermique une valeur de température calculée égale à la valeur de température mesurée.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on fournit un système de chauffage (21) et un système de mesure de température (22) intégrés à la conduite.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on fournit un système de chauffage (21) et un système de mesure de température (22) portés par une couverture amovible (25) propre à s'appliquer en regard d'une surface extérieure de la conduite.

11. Dispositif de traitement de bouchons d'hydrate de gaz dans une conduite (12) de transport de fluide d'hydrocarbure, comprenant des moyens de chauffage (28) disposés le long de la conduite, un système de mesure de température (22) associé à la conduite, adapté pour fournir à intervalles réguliers des valeurs de température mesurées le long de la conduite (12) et un module de traitement (23) desdites valeurs de température mesurées adapté à exploiter lesdites valeurs de température mesurées pour détecter la présence d'au moins un bouchon d'hydrate (16) dans la conduite, ledit module de traitement (23) étant adapté à commander la puissance de chauffage desdits moyens de chauffage (28) pour élever la température des fluides au dessus de la température de dissociation dudit hydrate de gaz de manière à faire fondre le bouchon d'hydrate détecté, et à surveiller la pression interne de la conduite à partir de l'exploitation desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite pendant la dissociation du bouchon d'hydrate, caractérisé en ce que ledit module de traitement (23) est adapté à estimer des valeurs de température du fluide transporté, distribuées le long de la conduite, à partir desdites valeurs de température mesurées le long de la conduite et à déterminer une valeur de température locale du fluide transporté à l'endroit où est détecté ledit bouchon d'hydrate, ledit module de traitement (23) étant adapté à stocker au moins une courbe (50) de limite de phase dudit hydrate de gaz entre un état solidifié et un état gazeux, suivant un diagramme pression-température, à estimer la pression interne au niveau dudit bouchon d'hydrate (16) pendant la dissociation dudit bouchon d'hydrate à partir de ladite courbe (50) de limite de phase et de ladite valeur de température locale à l'endroit où est détecté ledit bouchon d'hydrate, et à réguler en boucle fermée et en temps

réel la puissance de chauffage desdits moyens de chauffage (28) associés à la conduite en fonction de la pression interne estimée pendant la dissociation dudit bouchon d'hydrate, de façon à éviter un éclatement de la conduite et/ou un déplacement violent dudit bouchon d'hydrate.

Fig.1**Fig.2**

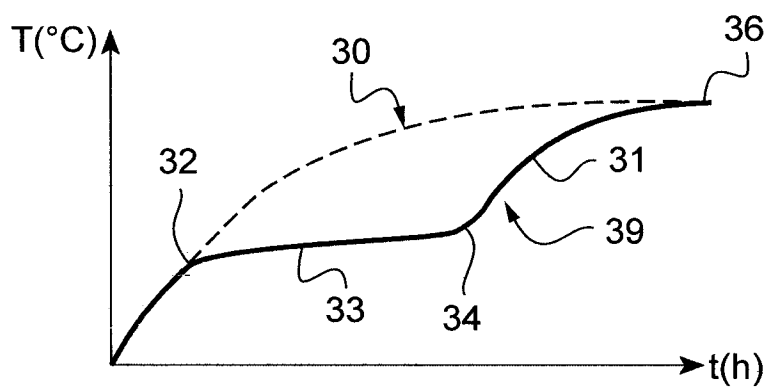


Fig.3

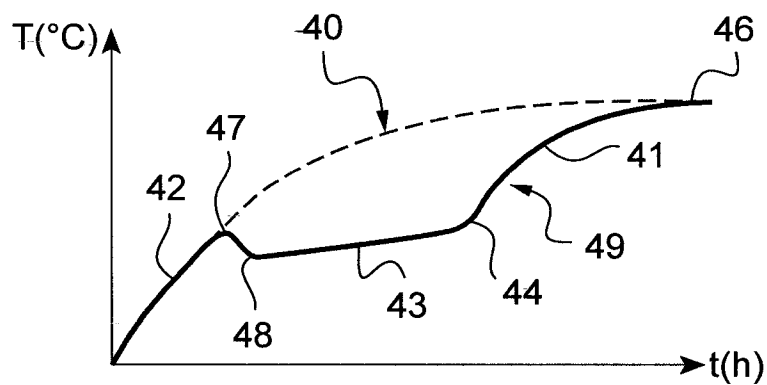
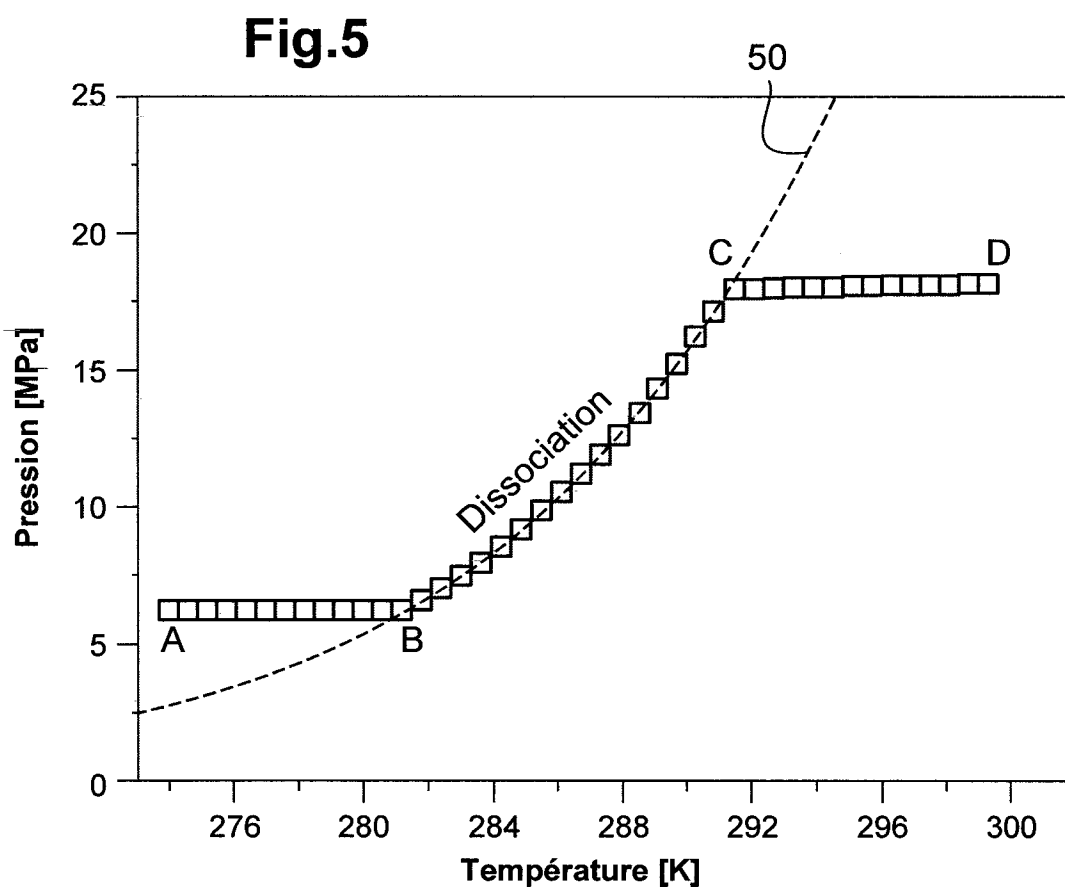


Fig.4



**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1762926 FA 853186**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **06-11-2018**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2016188640 A1		01-12-2016	AU 2016266510 A1	14-12-2017
			BR 112017025217 A2	07-08-2018
			EP 3303895 A1	11-04-2018
			FR 3036634 A1	02-12-2016
			US 2018202579 A1	19-07-2018
			WO 2016188640 A1	01-12-2016

WO 9964781 A1		16-12-1999	AU 4279199 A	30-12-1999
			BR 9910976 A	13-02-2001
			EP 1086336 A1	28-03-2001
			NO 20006301 A	12-02-2001
			US 6644848 B1	11-11-2003
			WO 9964781 A1	16-12-1999

US 2004059505 A1		25-03-2004	AU 2003263810 A1	23-02-2004
			BR 0313018 A	12-07-2005
			CA 2494376 A1	12-02-2004
			EP 1540237 A2	15-06-2005
			US 2004059505 A1	25-03-2004
			WO 2004013597 A2	12-02-2004

EPO FORM P0485

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82