

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 081 908

②1 N° d'enregistrement national : 18 54882

⑤1 Int Cl⁸ : E 21 B 36/00 (2018.01), F 28 D 7/06

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 05.06.18.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 06.12.19 Bulletin 19/49.

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) : SAIPEM S.A. Société anonyme — FR.

⑦2 Inventeur(s) : ROUYER BRUNO et BACATI
FABRICE.

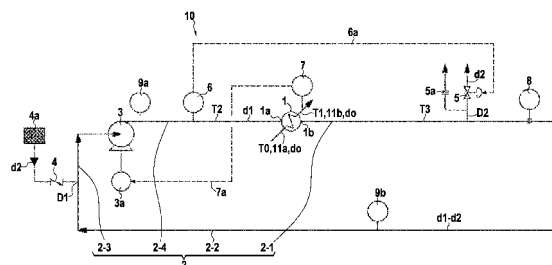
⑦3 Titulaire(s) : SAIPEM S.A. Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

⑤4 INSTALLATION SOUS-MARINE ET PROCÉDE DE REFROIDISSEMENT D'UN FLUIDE DANS UN ECHANGEUR
DE CHALEUR PAR CIRCULATION D'EAU DE MER.

⑤7 La présente invention concerne un procédé et une installation sous-marine de refroidissement (10) de fluide de production comprenant la mise en œuvre d'un échangeur de chaleur (1) au fond de la mer (12), relié à des conduites de transfert du dit fluide de production (11a, 11b) comprenant un circuit externe de refroidissement (2) apte à faire circuler de l'eau de mer de refroidissement, à l'aide d'une pompe de circulation (3), comprenant :

- des dispositifs d'alimentation (4, 4a) et des dispositifs d'évacuation (5, 5a) de l'eau de mer dudit circuit externe de refroidissement (2) et des dispositifs de contrôle et commande (3a, 6-6a, 7-7a) de la variation d'un débit identique (d2) de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer.



FR 3 081 908 - A1



Installation sous-marine et procédé de refroidissement d'un fluide dans un échangeur de chaleur par circulation d'eau de mer.

Domaine et arrière-plan de l'invention

5

La présente invention concerne un procédé et une installation sous-marine de refroidissement d'un fluide dans un échangeur de chaleur sous-marin, notamment reposant à grande profondeur au fond de la mer, par circulation d'un liquide de refroidissement consistant en de l'eau de mer.

10

La présente invention se rapporte plus particulièrement au domaine général du refroidissement des fluides d'hydrocarbures dans des conduites sous-marines de transport d'hydrocarbures, notamment du gaz ou du pétrole brut contenant majoritairement une phase huileuse d'hydrocarbures, de l'eau et du gaz, issus de puits de production sous-marins, ci-après dénommé fluide de production. Elle se rapporte plus particulièrement à une conduite sous-marine de liaison fond-surface reliant le fond de la mer à des supports flottant en surface mais également à une liaison entièrement sous-marine reliant des têtes de puits de productions à des têtes de puits d'injection et les équipements associés pour le refroidissement du fluide de production.

20

Cette invention s'applique en effet plus particulièrement aux développements de gisements de gaz ou pétrole en mer profonde, c'est à dire des installations pétrolières installées en pleine mer, dans lesquelles les équipements de surface sont en général situés sur des structures flottantes, les têtes de puits étant au fond de la mer. Les conduites concernées par la présente invention comprennent plus particulièrement les conduites reposant au fond de la mer reliant les têtes de puits à des risers appelés conduites de liaison fond-surface remontant vers la surface mais également à des conduites entièrement sous-marines reliant des têtes de puits de productions à des têtes de puits d'injection.

25

30

L'application principale de l'invention concerne donc les conduites ou canalisations immergées, sous-marines ou subaquatiques, et plus particulièrement à grande profondeur, au-delà de 300 m, jusqu'à 4000 m, et véhiculant des fluides de productions très divers et les équipements associés pour le refroidissement du fluide de production.

35

Le fluide de production pourra aller d'un gaz contenant plus de 95% mole de méthane et quelques pourcents d'éthane, propane et butane, à un gaz contenant des proportions très variables de gaz inertes comme le dioxyde de

carbone et l'azote, dans une proportion pouvant aller de moins de 1% mole à plus de 80% mole, en passant par un gaz riche contenant moins de 70% mole de méthane, plus de 15% mole d'éthane, plus de 7% mole de propane, plus de 4% de butane et quelques pourcents d'hydrocarbures plus lourds contenant
 5 plus de 5 atomes de carbone.

Le fluide de production pourra également être un effluent liquide ou multiphasique d'un gisement de pétrole contenant, outre les hydrocarbures légers mentionnés ci-dessus allant du méthane au butane, une proportion importante, jusqu'à plus de 40% mole, de composés hydrocarbures plus lourds
 10 constitués de 5 à plus de 30 atomes de carbone.

Ces fluides de production pourront également contenir une proportion variable d'eau de production, à savoir une eau incluant jusqu'à plus d'une centaine de gramme par litre de sels, allant de 0% poids d'eau de production en début de traitement d'un gisement à plus de 80% poids d'eau en fin de
 15 traitement.

La température de tels fluides de production sera dépendante des conditions du gisement amont et des étapes de traitement précédentes, elle est typiquement par exemple de l'ordre de 50°C jusqu'à plus de 150°C. De même, la pression de tels fluides de production à refroidir pourra également varier
 20 dans une large plage, en fonction des cas de traitement et de la variation de la pression du gisement amont au cours de son exploitation, par exemple de plus de 250 bars à une pression résiduelle de quelques bars seulement.

Ces produits pétroliers gazeux, liquides ou multiphasiques initialement produits chauds notamment de 50°C à 200°C requièrent dans
 25 certains cas un refroidissement avant transfert dans une dite conduite sous-marine de transfert afin d'obtenir des propriétés physiques acceptables pour le reste de l'unité de transfert, notamment pour garantir une densité minimum à l'aspiration d'une pompe de transfert dans le cas de fluide gazeux notamment une densité d'au moins 400 kg/m³, notamment de 400 kg/m³ à 800 kg/m³, ou
 30 être dans des conditions propices à la mise en œuvre de matériels ou conduites en matériaux particuliers sensibles à la température et ceci pour toutes les durées pluriannuelles d'opération malgré les changements de compositions et de débits du fluide de production à refroidir.

Dans les grandes profondeurs sous-marines, la température de l'eau
 35 de mer est relativement basse (typiquement 4°C) et permet de refroidir par échange thermique le fluide de production à l'aide d'échangeurs de chaleur disposés au fond de la mer. Les échangeurs de chaleur sous-marins installés à

ce jour sont dit passifs c'est-à-dire qu'ils utilisent la convection naturelle de l'eau de mer qui remonte par effet cheminée le long de tubes transportant le fluide à refroidir lesquels tubes ne sont pas confinés dans une enceinte fermée.

Des échangeurs de chaleur sous-marins dits actifs c'est-à-dire à convection forcée sont en cours de développement en utilisant le principe dans lequel l'eau de mer est mise en circulation dans l'échangeur de chaleur par une pompe de circulation qui assure son passage au travers l'enceinte de l'échangeur de chaleur pour la mettre en contact et refroidir des tubes contenus dans l'enceinte fermée de l'échangeur, tubes dans lesquels circule le fluide de production à refroidir. L'eau de mer est directement aspirée du milieu marin ambiant pour être mise en circulation dans ladite enceinte avant d'être évacuée dans le milieu marin ambiant à l'état réchauffé suite au transfert de charge thermique entre le fluide de production et l'eau de mer de refroidissement circulant dans l'enceinte. Il s'agit d'un circuit ouvert de circulation du fluide refroidissement.

On connaît des modules sous-marins d'échangeurs thermiques du type dénommé « échangeurs à tubes et calandre » avec une enceinte fermée renfermant des tubes en parallèles destinés à véhiculer le liquide de refroidissement et le fluide de production et notamment avec un réseau des couches superposées de tubes parallèles reliés. On connaît en particulier des échangeurs dits en épingle plus compacts et facile à installer puisque l'ensemble des connexions sont du même côté, comprenant une calandre et un réseau de tubes en deux parties rectilignes parallèles reliées entre elles d'un côté longitudinal par une partie 1c formant une boucle d'un U (épingle à cheveux) l'ensemble des connexions se faisant sur le côté libre opposé 1a, 1b tel que représenté sur la figure 1A. De tels échangeurs sont en particulier commercialisés par AIT-STEIN GROUP (FRANCE).

On connaît des procédés et installations sous-marines de refroidissement à l'aide d'échangeur de chaleur dans WO2013/004277 et US 9, 719,698 en utilisant l'eau de mer en convection forcée dans lesquels les tubes renfermant le fluide à refroidir ne sont pas isolés thermiquement du milieu marin ambiant et la circulation de l'eau de mer de refroidissement travaille en circuit ouvert comme décrit ci-dessus.

Les procédés et installations sous-marines de refroidissement à l'aide d'échangeur de chaleur connus ne permettent pas de contrôler la température du liquide de refroidissement ou du fluide de production pour éviter les inconvénients suivants.

Les procédés et installations de WO2013/004277 et US 9,719,698 ont pour objectif de pouvoir réguler la quantité de chaleur échangée. Mais le contrôle de la quantité de chaleur échangée y est limité et le contrôle de la température de peau des tubes (température au niveau du contact entre le tube et le fluide de production ou le liquide de refroidissement) des échangeurs est pratiquement impossible. Les températures opératoires obtenues dans les échangeurs sont subies et résultent de leur géométrie, des conditions du procédé et des conditions du milieu ambiant.

Ces procédés et installations de WO2013/004277 et US 9,719,698 ne permettent pas de contrôler la température de peau des tubes afin de maintenir leur température de peau au-dessus d'une certaine valeur plancher afin d'éviter les dépôts solides de paraffine ou hydrates indésirables notamment sous forme de bouchons pour le fluide de production comme décrit ci-après ainsi que des dépôts de calcaire et/ou sels du côté de l'eau de mer de refroidissement.

Ces dépôts de calcaire et/ou sels marins sont nuisibles au bon fonctionnement de l'échangeur dans le temps et peuvent se produire à des températures de peau supérieures à 45°C de sorte qu'il est souhaitable de maintenir la température du liquide de refroidissement évacué après échange thermique à pas plus de 45°C voire pas plus de 40°C.

En outre, de nombreux problèmes se posent au niveau du fluide de production à base d'hydrocarbures notamment en cas d'arrêt de production lorsque la température des produits pétroliers diminue très rapidement, conduisant à la formation d'hydrate et/ou de dépôt solides de paraffines sous forme de bouchons comme explicité ci-après. Dans ce type d'applications, lorsque la température des produits pétroliers diminue d'une valeur significative importante par rapport à leur température de production, si les produits pétroliers se refroidissent par exemple en dessous de 30°C à 60°C pour une température initiale de 70°C à 80°C alors que la température de l'eau environnante surtout à grande profondeur peut être largement inférieure à 10°C et atteindre 4°C, on observe en général :

- une forte augmentation de la viscosité qui diminue alors le débit de la conduite,
- une précipitation de paraffine dissoute qui augmente alors la viscosité du produit et dont le dépôt peut diminuer le diamètre intérieur utile de la conduite,
- la floculation des asphaltènes induisant les mêmes problèmes,

- la formation soudaine, compacte et massive d'hydrates de gaz qui se forment à forte pression et faible température, obstruant ainsi brusquement la conduite en formant des bouchons solides.

Paraffines et asphaltènes restent accrochés à la paroi et nécessitent alors un nettoyage par raclage de l'intérieur de la conduite ; en revanche, les hydrates sont encore plus difficiles, voire parfois impossibles à résorber.

Ces dépôts solides de paraffines et/ou de formation d'hydrates pouvant créer des bouchons sont préjudiciables au bon fonctionnement de l'unité de refroidissement par échangeur de chaleur.

En pratique, les températures de formation des phases solides d'hydrates ou de dépôt de paraffine sont fonction de la composition du fluide de procédé et de sa pression. Ces températures sont en général de 20°C à 50°C. Plus particulièrement, la formation d'hydrate pourra intervenir pour des températures inférieures à environ 25°C à 30°C. Le dépôt de paraffine pourra être plus ou moins significatif dans une plage de température assez large, allant peu fréquemment de plus de 45°C à des valeurs plus usuellement de l'ordre de 30°C ou moins.

Objet et résumé de l'invention

Le but de la présente invention est donc de remédier à ces inconvénients dans les installations sous-marines d'échangeurs thermiques utilisant le principe de convection forcée d'eau de mer comme liquide de refroidissement.

Plus particulièrement, un but de la présente invention est de disposer d'un temps suffisant, en cas d'arrêt de la production, avant que la température du fluide de production ne passe sous le seuil où apparaissent les hydrates et des dépôts significatifs de paraffines pouvant provoquer des bouchons et son arrêt pour une période longue. Ce temps pourra être utilisé par l'opérateur pour redémarrer son unité ou la mettre en sécurité en inhibant le fluide de production avec des produits inhibiteurs tels que du méthanol, glycol ou mono éthylène glycol (MEG en abrégé) ou/et en le déplaçant vers des zones sans risque de bouchage, à l'aide de produits chimiques et/ou produits inertes de substitution, par exemple du diesel ou du pétrole brut dégazé (« dead crude oil »). La production pourra donc ensuite être redémarrée suivant une procédure usuelle sans avoir au préalable à utiliser des opérations spécifiques

exceptionnelles pour effectuer un nettoyage de l'installation afin d'en éliminer les points de bouchage.

L'invention vise à être utilisée pour refroidir tous les types de fluides de production nécessitant un contrôle de la température de refroidissement et son maintien au-dessus d'un seuil déterminé pendant un temps minimum défini après l'arrêt de la production.

Pour ce faire, la présente invention fournit une installation sous-marine d'échange de chaleur entre un fluide de production et de l'eau de mer du milieu ambiant, à l'aide d'un échangeur de chaleur sous-marin du type dénommé « échangeur à tubes et calandre » ou de type dit en épingle utilisant un principe de convection forcée, combiné à un circuit en boucle semi-ouvert permettant de moduler la charge thermique requise pour cet échange de chaleur.

Plus précisément la présente invention fournit une installation sous-marine de refroidissement de fluide de production comprenant au moins un échangeur de chaleur apte à être exploité et reposer au fond de la mer, relié à des conduites de transfert du dit fluide de production respectivement en amont et en aval dudit échangeur de chaleur, caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins un circuit externe de refroidissement apte à faire circuler en boucle dans au moins une conduite externe de refroidissement une partie au moins de l'eau de mer de refroidissement sortant du dit échangeur entre une sortie et une entrée d'un circuit interne de liquide de refroidissement de l'échangeur, à l'aide d'une pompe de circulation, de préférence une pompe reposant au fond de la mer, le dit circuit externe de refroidissement comprenant :

- des dispositifs d'alimentation aptes à alimenter avec de l'eau de mer ambiant, ledit circuit externe de refroidissement en amont de ladite pompe de circulation au niveau d'une dérivation d'alimentation, et

- des dispositifs d'évacuation aptes à évacuer une partie de l'eau de mer dudit circuit externe de refroidissement au niveau d'une dérivation d'évacuation, en aval de l'échangeur de chaleur et en amont de ladite dérivation d'alimentation, et

- des dispositifs de contrôle et commande de la variation d'un débit identique de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer par les dits dispositifs d'alimentation et respectivement dispositifs d'évacuation aptes à commander la variation du dit débit identique de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer par les dits dispositifs d'alimentation et

respectivement dispositifs d'évacuation en fonction d'une première valeur de consigne de la température du fluide de production dans la conduite aval de transfert en sortie de l'échangeur et/ou d'une deuxième valeur de consigne de la température de l'eau de mer de refroidissement en aval de la pompe et en
5 amont du dit échangeur de chaleur.

L'installation sous-marine de refroidissement selon l'invention permet ainsi le contrôle des températures du fluide de production en sortie de l'échangeur et de l'eau de mer de refroidissement en amont et en aval de l'échangeur, et ainsi permet d'adapter le refroidissement à la puissance
10 thermique aussi dénommée charge thermique échangée par l'installation selon l'invention entre le fluide de refroidissement et le fluide de production laquelle charge thermique peut évoluer au cours du temps si le débit et/ou la température du fluide de production varie comme il sera explicité plus loin.

Dans un mode préféré de réalisation, les dits dispositifs de contrôle et
15 commande du dit débit identique de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer, sont aptes à commander la variation du dit débit identique de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer par les dits dispositifs d'alimentation et respectivement dispositifs d'évacuation en fonction de la variation du débit du fluide de production et/ou de la température du fluide de production au niveau
20 de la conduite amont de transfert de fluide de production alimentant ledit échangeur de chaleur.

Plus particulièrement, l'installation selon la présente invention permet de maintenir la température de l'eau de refroidissement au-dessus d'une valeur plancher, notamment pour maintenir leur température de peau au-
25 dessus d'une certaine valeur plancher pendant un certain temps en cas d'arrêt de l'installation, en imposant une température minimale en opération de l'eau de mer de refroidissement.

Plus particulièrement, la dite pompe est équipée d'un variateur de vitesse et les dits dispositifs de contrôle et commande du dit débit identique de
30 l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer, comprennent :

- un premier dispositif de mesure de la température apte à mesurer la température de l'eau de mer de refroidissement en aval de la pompe et en amont du dit échangeur de chaleur connecté au dit dispositifs d'évacuation de l'eau de mer de manière à commander automatiquement le dit débit de l'eau de
35 mer évacuée dudit circuit externe de refroidissement en aval de l'échangeur de chaleur et en amont de ladite première dérivation en fonction de la température

de l'eau de mer de refroidissement en aval de la pompe et en amont du dit échangeur de chaleur, et

- un deuxième dispositif de mesure de la température apte à mesurer la température du fluide de production dans la conduite aval de transfert en sortie de l'échangeur connecté à un dispositif de variation de la vitesse de la dite pompe de manière à commander automatiquement le débit de l'eau de refroidissement en sortie de la dite pompe en fonction de la température du fluide de production dans la conduite aval de transfert en sortie de l'échangeur.

La circulation de l'eau de mer dans le circuit de refroidissement est assurée par une pompe de circulation. La pompe est équipée d'un variateur de vitesse qui permet de réguler la température de refroidissement du fluide de production en adaptant le débit de circulation d'eau de refroidissement à la charge thermique de refroidissement requise par les conditions de fonctionnement du procédé ou vice versa de réguler la quantité de chaleur échangée en modulant le débit de circulation de l'eau de refroidissement.

Plus particulièrement encore, les dits dispositifs d'alimentation en eau de mer ambiant et le dit circuit de refroidissement sont aptes à aspirer automatiquement un débit d'eau de mer ambiant dans ledit circuit externe de refroidissement au niveau d'une dite dérivation d'alimentation, en fonction de la vitesse de la pompe de circulation pour compléter le débit d'eau de refroidissement dans le dit circuit de refroidissement en aval de la dite dérivation d'alimentation et en amont de la dite pompe, identique au débit d'eau de mer évacué par les dits dispositifs d'évacuation au niveau d'une dérivation d'évacuation.

Plus particulièrement encore, la présente invention permet d'adapter le refroidissement à la charge thermique au cours du temps en mettant en œuvre un circuit en boucle semi-ouvert ou semi-fermé du liquide de refroidissement de circulation à l'intérieur de la calandre de l'échangeur de chaleur selon les caractéristiques suivantes :

- une mise en température initiale de l'eau de refroidissement au-dessus d'une valeur plancher et un circuit d'eau de mer de refroidissement en boucle à l'extérieur de l'échangeur de chaleur semi ouvert avec une isolation thermique du circuit en boucle de refroidissement par rapport au milieu ambiant plus froid ;

- l'évacuation d'une partie de l'eau de mer de refroidissement en sortie de l'échangeur et une entrée équivalente d'eau froide en amont de l'échangeur ainsi que

- le contrôle de la température de l'eau de refroidissement à l'entrée de l'échangeur, et le contrôle de la vitesse de la pompe et du débit d'eau du circuit de refroidissement.

Ainsi, en opération, on peut en baisser la température de l'eau de refroidissement (plus chaude) en sortie de l'échangeur en expulsant une partie de celle-ci à la mer au travers d'une vanne d'évacuation, et en réalisant une entrée équivalente d'eau froide au travers d'une crépine d'aspiration ouverte sur le milieu marin ambiant en amont de l'entrée de l'échangeur de chaleur pour conserver le volume d'eau du circuit de refroidissement d'une part et la température de l'eau à l'entrée de l'échangeur d'autre part.

La mise en température initiale de l'eau de refroidissement au-dessus de ladite valeur plancher peut se faire :

- par circulation du liquide de refroidissement (eau de mer) dans le dit circuit en boucle en circuit fermé avec la pompe de circulation avant la mise en service de la production de fluide de production par accumulation progressive de l'énergie de frottement que la pompe dissipe dans le volume d'eau de mer contenu dans le circuit de refroidissement ; et/ou

- par chauffage électrique, en particulier il est connu de chauffer les conduites sur tout ou partie de leur longueur grâce à une pluralité de câbles électriques qui sont enroulés autour de la surface externe des conduites pour la chauffer par effet Joule. Cette solution de chauffage, qui est appelée « chauffage tracé » (ou « heat tracing » en anglais), permet de maintenir les fluides d'hydrocarbures transportés dans les conduites sous-marines à une température supérieure à un seuil critique sur tout leur trajet.

L'ensemble du circuit de refroidissement est isolé thermiquement du milieu ambiant par un calorifugeage adapté. Ceci garantit le maintien en température pendant un certain temps lors d'un arrêt de l'unité et garantit également un temps réduit de mise en température initiale du système de refroidissement lors de son démarrage. De préférence, les dites conduites externes de refroidissement sont isolées thermiquement, l'isolation de la section de conduite externe de refroidissement entre la dite pompe et l'entrée dudit échangeur de chaleur étant plus importante que celle des autres sections de conduites du dit circuit externe de refroidissement.

Plus particulièrement encore, selon d'autres caractéristiques de l'installation selon l'invention :

- les dits dispositifs d'alimentation du circuit externe de refroidissement en eau de mer ambiant au niveau de la dite dérivation

d'alimentation comprennent une crépine coopérant de préférence avec un clapet anti retour et un filtre apte à empêcher l'aspiration d'objets solides, et

- les dits dispositifs d'évacuation de l'eau de mer dudit circuit externe de refroidissement au niveau d'une dérivation d'évacuation comprennent une vanne d'évacuation à débit réglable, et un dispositif complémentaire en amont de la dite vanne d'évacuation apte à permettre une fuite permanente de l'eau de mer de refroidissement à débit réduit pour réduire la pression lorsque la dilatation de l'eau de mer de refroidissement en sortie de l'échangeur causée par son réchauffement crée une surpression. Ce dispositif de fuite permanent de l'eau de refroidissement vers l'océan se fait notamment via un orifice ou dispositif connu équivalent. La régulation de la température de l'eau de mer du circuit de refroidissement se fait par l'appoint d'eau de mer froide du milieu ambiant via une ligne d'entrée et la décharge d'eau de mer chaude du circuit de refroidissement à l'océan au travers d'une dite vanne de régulation.

Plus particulièrement encore, le circuit de refroidissement comprend en outre au moins l'un des dispositifs complémentaires suivants :

- un dispositif de calibration du débit pour que le débit d'eau de mer de refroidissement dans le circuit de refroidissement en aval de l'échangeur de chaleur et/ou de la dite dérivation d'évacuation ne dépasse une valeur limite déterminée, et

- un premier capteur de pression en aval de la dite pompe et en amont du dit échangeur de chaleur et un deuxième capteur de pression en amont de la dite dérivation d'alimentation et en aval de la dite dérivation d'évacuation.

L'eau de refroidissement circule dans la calandre d'un ou de plusieurs échangeurs de chaleur de type à calandre et tube («shell & tube») ou de préférence en épingle («hairpin») en série ou en parallèle pour refroidir le fluide de production circulant dans les tubes de l'échangeur. Le type d'échangeur de chaleur en épingle « hairpin » est plus particulièrement adapté au service et pourra être fourni par des vendeurs usuellement utilisés dans l'industrie tel que AIT STEIN GROUP par exemple.

De préférence donc, le dit échangeur de chaleur est un échangeur de chaleur en épingle. On entend ici par « échangeur de chaleur en épingle », de façon connue de l'homme de l'art, un échangeur comprenant une calandre en forme de U renfermant des tubes en forme de U de sorte que les entrées et sorties d'un fluide à refroidir et du fluide de refroidissement se fassent toutes

d'un même coté longitudinal du dit échangeur aux extrémités non reliées entre elles des branches des U.

La présente invention fournit également un procédé de refroidissement d'un fluide de production à l'aide d'une installation sous-marine de refroidissement selon l'invention, dans lequel on dispose la dite installation
5 au fond de la mer, le dit échangeur de chaleur étant relié à des conduites de transfert de fluide de production en amont et en aval et à des conduites d'un dit circuit de refroidissement et on réalise les étapes suivantes dans lesquelles :

- on envoie un fluide de production chaud à une température dans la
10 dite conduite amont de transfert pour le refroidir par échange thermique dans le dit échangeur de chaleur à une température de dite première valeur de consigne déterminée dans la dite conduite aval de transfert,

- en faisant circuler dans le dit circuit externe de refroidissement et dans le dit échangeur de chaleur, un débit d'eau de mer, à l'aide de la dite
15 pompe de circulation, la dite eau de mer entrant dans le dit échangeur de chaleur à une température d'entrée de dite deuxième valeur de consigne déterminée.

Plus particulièrement, on réalise une mise en température initiale de l'eau de refroidissement avant circulation du fluide de production pour atteindre
20 une dite température d'entrée de dite deuxième valeur de consigne déterminée de l'eau de refroidissement dans le circuit de refroidissement en aval de la dite pompe de circulation et en amont du dit échangeur de chaleur, après alimentation et remplissage du dit circuit de refroidissement en eau de mer ambiante puis circulation de l'eau de refroidissement dans le dit circuit de
25 refroidissement en circuit fermé, les dispositifs d'évacuation étant fermés la montée en température se faisant par accumulation progressive de l'énergie de frottement que la pompe dissipe dans le volume d'eau de mer contenu dans le circuit de refroidissement et/ou par chauffage électrique d'une partie au moins des conduites du dit circuit de refroidissement, sur tout ou partie de leur
30 longueur de préférence à l'aide d'une pluralité de câbles électriques enroulés autour des conduites pour la chauffer par effet Joule.

Plus particulièrement encore, en opération, lorsque le dit fluide de production est en circulation dans les dites conduites de transfert et dans le dit échangeur de chaleur, pour maintenir une dite température d'entrée de dite
35 deuxième valeur de consigne déterminée de l'eau de refroidissement dans le circuit de refroidissement en aval de la dite pompe de circulation et en amont du dit échangeur de chaleur, et/ou pour maintenir une température de dite

première valeur consigne déterminée dans la dite conduite aval de transfert, on réalise les étapes dans lesquelles :

5 - on évacue dudit circuit de refroidissement un débit d'eau de mer de refroidissement à l'aide de dits dispositifs d'évacuation au niveau d'une dérivation d'évacuation, et

- on aspire concomitamment, un débit identique d'eau de mer du milieu ambiant dans le circuit de refroidissement à l'aide des dits dispositifs d'alimentation au niveau d'une dérivation d'alimentation.

10 Plus particulièrement, on contrôle et commande la variation de débits dans ledit circuit de liquide de refroidissement et le dit échangeur à l'aide des dits des dispositifs de contrôle et commande en fonction d'une première valeur de consigne de la température du fluide de production dans la conduite aval de transfert en sortie de l'échangeur et/ou d'une dite deuxième valeur de consigne de la température de l'eau de mer de refroidissement en aval de la pompe et en
15 amont du dit échangeur de chaleur.

Plus particulièrement encore, on commande la variation du dit débit identique de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer par les dits dispositifs d'alimentation et respectivement dispositifs d'évacuation en fonction de la variation du débit du fluide de production et/ou de la température du
20 fluide de production au niveau de la conduite amont de transfert de fluide de production alimentant le dit échangeur de chaleur.

Plus particulièrement encore, on commande automatiquement la variation des dits débits dans ledit circuit de liquide de refroidissement et le dit échangeur à l'aide des dits dispositifs de contrôle et commande et les étapes
25 comprenant :

- la mesure de la température de l'eau de mer de refroidissement en aval de la pompe et en amont du dit échangeur de chaleur avec un premier dispositif de mesure de la température connecté aux dits dispositifs d'évacuation de l'eau de mer, de manière à commander automatiquement ledit
30 débit de l'eau de mer évacuée dudit circuit externe de refroidissement en aval de l'échangeur de chaleur et en amont de ladite première dérivation en fonction de la température de l'eau de mer de refroidissement en aval de la pompe et en amont du dit échangeur de chaleur, et

- la mesure de la température du fluide de production dans la
35 conduite aval de transfert en sortie de l'échangeur avec un deuxième dispositif de mesure connecté à un dispositif de variation de la vitesse de la dite pompe de manière à commander automatiquement le débit de l'eau de refroidissement

en sortie de la dite pompe en fonction de la température du fluide de production dans la conduite aval de transfert en sortie de l'échangeur.

Plus particulièrement encore, le dit fluide de production est un fluide d'hydrocarbures comprenant du gaz et/ou du pétrole brut issu de puits de production sous-marins, la dite conduite de transfert du fluide de production étant de préférence reliée à une conduite sous-marine de liaison fond-surface reliant le fond de la mer à un support flottant en surface et/ou à une conduite sous-marine de liaison avec des puits sous-marins d'injection.

Plus particulièrement encore, le dit fluide de production est constitué d'hydrocarbures dont le méthane, l'éthane, le propane et le butane et des composés hydrocarbures plus lourds constitués de 5 à plus de 30 atomes de carbone, et du gaz inerte comme le dioxyde de carbone et/ou l'azote, ainsi qu'une proportion variable d'eau de production, à savoir une eau incluant jusqu'à plus d'une centaine de gramme par litre de sels, pouvant aller de 0% poids d'eau de production en début de traitement d'un gisement à plus de 80% poids d'eau en fin de traitement, la température du dit fluide de production étant comprise entre 50°C et 200°C.

Plus particulièrement encore, le dit fluide de production présente une température étant de 50°C à 150°C.; la température de l'eau de mer du milieu marin ambiant est de 4°C à 20°C, la dite première valeur de consigne de la température du fluide de production (T1) dans la conduite aval de transfert en sortie de l'échangeur étant comprise entre 30°C et 60°C et la dite deuxième valeur de consigne de la température de l'eau de mer de refroidissement T2 en aval de la pompe et en amont du dit échangeur de chaleur étant comprise entre 25°C et 35°C. La température d'admission d'eau de mer est fonction de la profondeur d'eau à laquelle est installée la boucle de refroidissement et peut donc être comprise dans une plage de 4°C pour une grande profondeur d'eau à des températures plus élevées, par exemple 20°C pour de plus faibles profondeurs d'eau.

Plus particulièrement encore, la température de l'eau de refroidissement (T3) après échange thermique en sortie dudit échangeur de chaleur est entre 30°C et 50°C de préférence inférieure à 45°C.

Les températures des première et deuxième valeurs de consignes (T1) et (T2) ci-dessus sont compatibles avec cette valeur de la température de l'eau de refroidissement après échange thermique en sortie dudit échangeur (T3) et permettent d'éviter :

- des dépôts de calcaire et sels marins nuisibles au bon fonctionnement de l'échangeur dans le temps lesquels dépôts de calcaire peuvent se produire à des températures de peau supérieures à 45°C, et/ou

- la formation d'hydrate et/ou dépôt solides de paraffines sous forme de bouchons dans les dites conduites de transfert notamment en cas d'arrêt de production comme explicité ci-avant.

La température d'admission d'eau de mer est fonction de la profondeur d'eau à laquelle est installée la boucle de refroidissement et peut donc être comprise dans une plage de 4°C pour une grande profondeur d'eau à des températures plus élevées, par exemple 20°C pour de plus faibles profondeurs d'eau. La température de l'eau de la boucle de refroidissement sera choisie pour satisfaire à la fois la température de refroidissement visée pour le fluide de production en sortie de l'échangeur, par exemple entre 30°C et 40°C pour un fluide de production entrant dans l'échangeur à 60-80°C, afin d'avoir une certaine marge en regard des possibles dépôt de phase solide comme décrit plus haut, et en même temps éviter une température d'eau de refroidissement trop élevée, ce qui pourrait conduire à des risques de dépôt calcaire, notamment sur les tubes internes des échangeurs de chaleur.

Les conditions opératoires de température de la boucle d'eau de refroidissement doivent en outre résulter du meilleur compromis entre le débit de circulation d'eau de refroidissement dans la boucle, la taille nécessaire pour les échangeurs de chaleur et l'inertie thermique disponible en cas d'arrêt du système. Le réglage de ces températures pourra ensuite être ajusté par le choix final des consignes des régulateurs de températures de la boucle du circuit d'eau de refroidissement. Par exemple, la température d'eau de refroidissement froide à l'entrée des échangeurs de chaleur pourra être comprise entre 25°C et 35°C, et la température d'eau de refroidissement chaude en sortie des échangeurs de chaleur être comprise entre 30°C et 50°C.

Plus particulièrement encore, la puissance thermique (ou charge thermique) de l'installation de refroidissement est comprise entre 1 mégawatt et 10 mégawatts. Des charges thermiques plus importantes pouvant être envisagées en utilisant le nombre requis d'échangeurs de chaleur et/ou en utilisant plusieurs boucles de refroidissement fonctionnant en parallèle.

Plus particulièrement encore, le débit de circulation de l'eau de refroidissement dans le circuit de refroidissement en sortie de pompe et dans l'échangeur de chaleur en opération est compris entre 100 m³/hr à 1000 m³/hr,

de préférence de 300 à 600 m³/hr et le volume global d'eau de refroidissement contenu dans la dite installation de refroidissement est de 3 à 10 m³.

Le débit de circulation et le volume de l'eau de refroidissement dans la boucle du circuit de refroidissement dépendront de la charge thermique à évacuer et les conditions opératoires de température sélectionnées pour le dimensionnement du système.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront mieux à la lecture de la description qui va suivre, faite de manière illustrative et non limitative, en référence à

- 10 - la figure 1A montrant un échangeur de chaleur en épingle du commerce, et
- la figure 1 représentant un schéma d'une installation sous-marine selon l'invention.

A) Exemple d'installation selon l'invention.

L'installation sous-marine de refroidissement 10 représentée sur la figure 1 comprend un échangeur de chaleur 1 du type en épingle de la société AIT-STEIN GROUP (France) dont la capacité volumique de la calandre est de 2 m³ de liquide de refroidissement montré sur la figure 1A.

L'installation sous-marine de refroidissement selon l'invention comprend un circuit externe de refroidissement 2 permettant la circulation d'eau de mer de refroidissement en boucle entre la sortie 1b et l'entrée 1a de l'échangeur 1 à l'aide d'une pompe de circulation 3 avec en série:

- une première section 2-1 de conduite de circulation de l'eau de mer de refroidissement à un débit d1 entre la sortie 1b de l'échangeur 1 et une dérivation d'évacuation D2 vers une vanne 5 d'évacuation de l'eau de mer de refroidissement du circuit 2 dans le milieu marin ambiant, et

- une deuxième section 2-2 de conduite de circulation de l'eau de refroidissement à un débit d1-d2 entre (a) la dite dérivation d'évacuation D2 vers la vanne d'évacuation 5 et (b) une dérivation d'alimentation D1 vers un dispositif d'alimentation 4 en eau froide à environ 4°C du milieu marin, la dite dérivation d'alimentation D1 étant en amont de l'entrée de la pompe 3, et

- une troisième section 2-3 de conduite de circulation de l'eau de refroidissement à un débit d1 entre (a) la dite dérivation d'alimentation D1 vers le dit dispositif d'alimentation 4 et (b) l'entrée de la pompe 3, et

- une quatrième section 2-4 de conduite de circulation de l'eau de mer de refroidissement à un débit d1 entre la sortie de la pompe 3 et l'entrée 1a de l'échangeur 1.

La conduite 2 de circulation de l'eau de mer de refroidissement comprend au niveau de la dite dérivation d'alimentation D1 entre la dite deuxième section de conduite 2-2 et la dite troisième section de conduite 2-3, un dispositif d'alimentation 4 constitué d'une crépine et clapet anti-retour aptes à aspirer automatiquement l'eau froide à environ 4°C aspirée du milieu marin après filtration dans un filtre 4a empêchant l'aspiration d'objets solides divers dans le circuit 2. Cette aspiration se produit de par le débit de circulation commandée par la vitesse de la pompe et pour combler la quantité d'eau de refroidissement d2 évacuée en sortie de l'échangeur de chaleur 1.

La dite dérivation d'évacuation D2 de la première section de conduite 2-1 vers la vanne d'évacuation 5 comprend en amont de ladite vanne d'évacuation 5 un dispositif complémentaire de fuite 5a permettant une fuite permanente de l'eau de refroidissement vers l'océan via un orifice ou équivalent afin d'éviter toute surpression causée par la dilatation de l'eau de mer de refroidissement lors de son chauffage dans l'échangeur par échange thermique avec le fluide de production.

La vanne d'évacuation 5 de l'eau de mer de refroidissement réchauffée en sortie de l'échangeur 1 est reliée par un premier câble de connexion 6a à un premier dispositif de mesure de température 6 apte à mesurer la température de l'eau de refroidissement au niveau de la dite quatrième section de conduite 2-4 entre la sortie de la pompe 3 et l'entrée de l'échangeur 1. Ainsi, il est possible de piloter automatiquement la quantité d'eau de mer refroidie d2 à évacuer par la dite vanne d'évacuation 5 en fonction de la température de l'eau de mer de refroidissement T2 au niveau de la dite quatrième section de conduite 2-4 en aval de la pompe 3 et en amont de l'échangeur 1.

Un deuxième dispositif de mesure de température 7 est apte à mesurer la température du fluide de production refroidi en sortie de l'échangeur 1. Ce deuxième dispositif de mesure de température 7 est relié par un deuxième câble de connexion 7a à un variateur de vitesse 3a du moteur de la pompe 3 permettant de piloter automatiquement le débit de circulation de l'eau de mer de refroidissement dans le circuit en boucle 2 en fonction de la température du fluide de production refroidi T1 en sortie de l'échangeur 1.

Les dites sections de conduite du circuit de refroidissement sont isolées thermiquement avec un revêtement isolant de 130 mm sur la conduite pour la dite quatrième section de conduite 2-4 entre la sortie de la pompe 3 et l'entrée de l'échangeur 1 et un revêtement isolant de 50mm sur la conduite

pour les autres sections de conduite 2-1,2-2 et 2-3. L'isolation est plus importante dans cette section 2-4 car c'est la section de conduite dans laquelle la température de l'eau est la plus basse donc la plus proche de la limite inférieure au-dessous de laquelle elle ne doit pas descendre. Cette isolation renforcée permet de diminuer la vitesse de baisse de la température lors de
5 longs arrêts et/ou pour des opérations de maintenance et ainsi éviter la formation d'hydrates dans le fluide de production.

Pour l'isolation thermique du circuit de refroidissement, tous les types de systèmes et matériaux de calorifugeage thermique peuvent être utilisés
10 suivant les contraintes de maintien en température à respecter, depuis une isolation de type passif conventionnel jusqu'à l'utilisation de matériaux plus élaborés comme ceux à changement de phases par exemple.

Le circuit de refroidissement 2 peut être équipé d'un dispositif de calibration du débit 8 pour que celui-ci ne dépasse une valeur limite déterminée
15 en aval de l'échangeur 1 et de la dérivation d'évacuation D2 avant la dite dérivation D1.

Le circuit de refroidissement 2 peut être équipé d'un capteur de pression 9a entre la pompe 3 et l'échangeur 1 et un autre capteur de pression 9b en aval de la dérivation d'évacuation D2 pour détecter par exemple un
20 différentiel de pression signalant un encrassement de l'échangeur 1 et/ou une déficience du dispositif de fuite 5a et/ou du limiteur de débit 8.

Les conduites de transfert de fluide de production 11a,11b et/ou le circuit de refroidissement 2 peuvent être équipés de dispositifs d'injection de divers produits chimiques de substitution ou inhibiteurs de formation d'hydrates
25 (solvant, MEG, etc.) pouvant être utilisés pour les opérations de mises en sécurité de l'installation lors de longs arrêts et/ou pour des opérations de maintenance.

B) Exemple de procédé de mise en œuvre de l'installation de l'exemple A
30 L'installation sous-marine de refroidissement 10 représentée sur la figure 1 est mise en œuvre au fond de la mer à 2100 m de profondeur afin de refroidir un fluide multiphasique de production d'un gisement sous-marin consistant en un fluide multiphasique d'hydrocarbures riche en CO₂ et en eau de production les dits hydrocarbures contenant moins de 40% mole de
35 méthane, plus de 3% mole d'éthane, plus de 2% mole de propane, plus de 1% de butane et 1 à 5% d'hydrocarbures plus lourds contenant plus de 5 atomes de carbone.

Ce fluide multiphasique de production est produit à une température T_0 d'environ 85°C et alimente une unité de séparation sous-marine à une pression d'environ 200 bars et à une densité de la fraction gazeuse d'environ 300 kg/m^3 .

5 Afin de faciliter l'acheminement en surface depuis le fond de la mer de la fraction liquide dans une conduite de transfert fond-surface, et la réinjection sous-marine de la fraction gazeuse, l'installation de refroidissement de la fraction gazeuse selon la présente invention est configurée pour refroidir le gaz à une température T_1 d'environ 40°C en sortie d'échangeurs (2
10 échangeurs en série sont installées dans ce cas) ce qui permet d'augmenter sa densité à environ 400 kg/m^3 tout en évitant la formation d'hydrates ou paraffines dans la conduite sous-marine.

La température d'eau de refroidissement réchauffée T_3 en sortie des échangeurs de chaleur doit être limitée à environ 45°C pour éviter des risques
15 de dépôt calcaire, notamment sur les tubes internes des échangeurs de chaleur.

Avec une capacité en volume d'eau de refroidissement d'environ 3m^3 des échangeurs de chaleur, les conditions opératoires de température maximale limite d'eau de refroidissement T_3 en sortie des échangeurs et la température
minimale T_1 du gaz de production refroidi de 40°C , peuvent être satisfaites
20 avec :

- une température d'eau de refroidissement en sortie de la pompe 3 et avant l'entrée dans le premier échangeur T_1 portée à 30°C ,
- un volume de conduite de circuit de refroidissement 2 d'environ 2m^3 portant le volume global d'eau de refroidissement contenu dans la boucle
25 de refroidissement à environ 5 m^3 soit pour des conduites de $8.625''$ d'une longueur totale d'environ 60 m,
- un débit d_1 de circulation de l'eau de refroidissement en sortie de pompe 3 et dans l'échangeur 1 d'environ $500\text{m}^3/\text{hr}$ en opération, et
- un débit d_2 d'évacuation de l'eau de refroidissement en sortie du
30 deuxième changeur et d'alimentation en eau froide concomitante en aval de la pompe 3 d'environ $150\text{m}^3/\text{hr}$.

Cette configuration correspond à une puissance ou charge thermique au niveau des échangeurs de chaleur d'environ 5 mégawatts correspondant à la quantité de chaleur (ou transfert thermique) échangée par l'installation selon
35 l'invention par unité de temps que l'on retrouve en opération par différence entre l'énergie thermique de l'eau de refroidissement évacuée au niveau de la vanne d'évacuation 5 et l'énergie thermique de l'eau ambiante d'alimentation 4.

En production, au cours du temps, si le débit d_0 et/ou la température T_0 du gaz de production varie, notamment en pratique diminue, la puissance thermique requise pour le refroidir va varier d'autant, notamment diminuer aussi, ce qui requiert une variation, notamment diminution du débit de l'eau de refroidissement d_1 en sortie de pompe et dans l'échangeur 1 et du débit d_2 d'évacuation de l'eau de refroidissement au niveau de la vanne d'évacuation 5.

En pratique si le débit d_0 du gaz de production envoyé dans l'échangeur diminue (à température T_0 inchangée) tant que le débit d'évacuation de l'eau de refroidissement d_2 n'a pas été diminué, on va constater une diminution de la température du gaz de production en sortie de l'échangeur. Cette diminution est détectée par le deuxième capteur de température 7 qui commande une diminution de la vitesse de la pompe 3 et donc du débit d'eau de refroidissement d_1 en sortie de pompe 3 et dans l'échangeur 1. Ainsi si le débit d_0 du gaz est divisé par n , la puissance thermique requise et le débit d'eau de refroidissement en circulation en sortie de pompe et dans l'échangeur d_1 seront divisés par n . Accessoirement, il faudra aussi adapter le débit d'évacuation de l'eau de refroidissement d_2 en sortie de l'échangeur en même proportion.

Si c'est la température T_0 du gaz de production qui varie en cours du temps (à débit de gaz inchangé); cela va se traduire par une variation de la température de l'eau de refroidissement dans le circuit de refroidissement détectée au niveau du premier capteur de température 6 qui commandera une variation du débit d'évacuation de l'eau de refroidissement d_2 au niveau de la vanne d'évacuation 5. Accessoirement, on détectera une variation de la température du gaz de production T_1 en sortie de l'échangeur au niveau du deuxième capteur 7 qui commandera une variation de la vitesse du moteur pour faire varier le débit d'eau de refroidissement d_1 en sortie de pompe dans l'échangeur 1 afin de rétablir une température de sortie adéquate du gaz de production en sortie de l'échangeur.

La mise en température initiale T_2 de l'eau de mer du circuit de refroidissement peut se faire par un chauffage électrique installé sur le circuit de refroidissement ou de préférence par circulation de l'eau de refroidissement en circuit fermé avec la pompe de circulation et accumulation progressive de l'énergie de frottement qu'elle dissipe dans le volume d'eau de mer contenu dans le circuit de refroidissement 2.

REVENDEICATIONS

1. Installation sous-marine de refroidissement (10) de fluide de
 5 production comprenant au moins un échangeur de chaleur (1) apte à être
 exploité et reposer au fond de la mer, relié à des conduites de transfert du dit
 fluide de production (11a, 11b) respectivement en amont (11a) et en aval (11b)
 dudit échangeur de chaleur (1), caractérisé en ce qu'il comprend en outre au
 10 moins un circuit externe de refroidissement (2) apte à faire circuler en boucle
 dans au moins une conduite externe de refroidissement (2-1, 2-2, 2-3, 2-4) une
 partie au moins de l'eau de mer de refroidissement sortant du dit échangeur
 entre une sortie (1b) et une entrée (1a) d'un circuit interne de liquide de
 refroidissement de l'échangeur, à l'aide d'une pompe de circulation (3), de
 15 préférence une pompe reposant au fond de la mer, le dit circuit externe de
 refroidissement (2) comprenant :

- des dispositifs d'alimentation (4,4a) aptes à alimenter avec de l'eau
 de mer ambiant, ledit circuit externe de refroidissement (2) en amont de ladite
 pompe de circulation (3) au niveau d'une dérivation d'alimentation (D1), et
- des dispositifs d'évacuation (5,5a) aptes à évacuer une partie de
 20 l'eau de mer dudit circuit externe de refroidissement (2) au niveau d'une
 dérivation d'évacuation (D2), en aval de l'échangeur de chaleur (1) et en amont
 de ladite dérivation d'alimentation (D1), et
- des dispositifs de contrôle et commande (3a, 6-6a, 7-7a) de la
 variation d'un débit identique (d2) de l'évacuation et de l'alimentation en eau de
 25 mer par les dits dispositifs d'alimentation (4, 4a) et respectivement dispositifs
 d'évacuation (5, 5a) aptes à commander la variation du dit débit identique (d2)
 de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer par les dits dispositifs
 d'alimentation (4, 4a) et respectivement dispositifs d'évacuation (5, 5a) en
 fonction d'une première valeur de consigne de la température du fluide de
 30 production (T1) dans la conduite aval de transfert (11b) en sortie de
 l'échangeur (1) et/ou d'une deuxième valeur de consigne de la température de
 l'eau de mer de refroidissement (T2) en aval de la pompe (3) et en amont du
 dit échangeur de chaleur (1).

35 2. Installation sous-marine de refroidissement (10) selon la
 revendication 1, caractérisée en ce que les dits dispositifs de contrôle et
 commande (3a, 6-6a, 7-7a) du dit débit identique (d2) de l'évacuation et de

l'alimentation en eau de mer, sont aptes à commander la variation du dit débit identique (d2) de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer par les dits dispositifs d'alimentation (4, 4a) et respectivement dispositifs d'évacuation (5, 5a) en fonction de la variation du débit (d0) du fluide de production et/ou de la température (T0) du fluide de production au niveau de la conduite amont de transfert de fluide de production (11a) alimentant le dit échangeur de chaleur (1).

3. Installation sous-marine de refroidissement (10) selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que la dite pompe (3) est équipée d'un variateur de vitesse (3a) et les dits dispositifs de contrôle et commande (3a, 6-6a, 7-7a) du dit débit identique (d2) de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer, comprennent :

- un premier dispositif de mesure de la température (6) apte à mesurer la température de l'eau de mer de refroidissement (T2) en aval de la pompe (3) et en amont du dit échangeur de chaleur (1) connecté (6a) aux dits dispositifs d'évacuation de l'eau de mer (5, 5a) de manière à commander automatiquement le dit débit (d2) de l'eau de mer évacuée dudit circuit externe de refroidissement (2) en aval de l'échangeur de chaleur (1) et en amont de ladite première dérivation (D1) en fonction de la température de l'eau de mer de refroidissement (T2) en aval de la pompe (3) et en amont du dit échangeur de chaleur (1), et

- un deuxième dispositif de mesure de la température (7) apte à mesurer la température du fluide de production (T1) dans la conduite aval de transfert (11b) en sortie de l'échangeur (1) connecté (7a) à un dispositif de variation (3a) de la vitesse de la dite pompe de manière à commander automatiquement le débit (d1) de l'eau de refroidissement en sortie de la dite pompe en fonction de la température du fluide de production (T1) dans la conduite aval de transfert (11b) en sortie de l'échangeur (1).

30

4. Installation sous-marine de refroidissement (10) selon la revendication 3, caractérisée en ce que les dits dispositifs d'alimentation (4, 4a) en eau de mer ambiant du dit circuit de refroidissement sont aptes à aspirer automatiquement un débit (d2) d'eau de mer ambiant dans ledit circuit externe de refroidissement (2) au niveau d'une dite dérivation d'alimentation (D1), en fonction de la vitesse de la pompe de circulation pour compléter le débit (d1) d'eau de refroidissement dans le dit circuit de refroidissement en aval de la dite

35

dérivation d'alimentation (D1) et en amont de la dite pompe (3), identique au débit d'eau de mer (d2) évacué par les dits dispositifs d'évacuation (5,5a) au niveau d'une dérivation d'évacuation (D2).

5 5. Installation sous-marine de refroidissement (10) selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que les dites conduites externes de refroidissement (2-1, 2-2, 2-3, 2-4) sont isolées thermiquement, l'isolation de la section de conduite externe de refroidissement (2-4) entre la dite pompe (3) et l'entrée dudit échangeur de chaleur (1) étant plus importante que celle des
10 autres sections de conduites (2-2, 2-3, 2-4) du dit circuit externe de refroidissement (2).

6. Installation sous-marine de refroidissement (10) selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que :

15 - les dits dispositifs d'alimentation (4, 4a) du circuit externe de refroidissement (2) en eau de mer ambiant au niveau de la dite dérivation d'alimentation (D1) comprennent une crépine coopérant de préférence avec un clapet anti retour (4) et un filtre (4a) apte à empêcher l'aspiration d'objets solides, et

20 - les dits dispositifs d'évacuation (5, 5a) de l'eau de mer dudit circuit externe de refroidissement (2) au niveau d'une dérivation d'évacuation (D2) comprennent une vanne d'évacuation à débit réglable (5), et un dispositif complémentaire en amont de la dite vanne d'évacuation apte à permettre une fuite permanente de l'eau de mer de refroidissement à débit réduit pour réduire
25 la pression lorsque la dilatation de l'eau de mer de refroidissement en sortie de l'échangeur causée par son réchauffement crée une surpression.

7. Installation sous-marine de refroidissement (10) selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que le circuit de refroidissement (2)
30 comprend en outre au moins l'un des dispositifs complémentaires suivants :

 - un dispositif de calibration du débit (8) pour que le débit d'eau de mer de refroidissement dans le circuit de refroidissement en aval de l'échangeur (1) et/ou de la dite dérivation d'évacuation (D2) ne dépasse une valeur limite (d1) déterminée, et

35 - un premier capteur de pression (9a) en aval de la dite pompe (3) et en amont du dit échangeur de chaleur (1) et un deuxième capteur de pression

(9b) en amont de la dite dérivation d'alimentation (D1) et en aval de la dite dérivation d'évacuation (D2).

5 8. Installation sous-marine de refroidissement (10) selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisée en ce que le dit échangeur de chaleur est un échangeur de chaleur en épingle.

10 9. Procédé de refroidissement d'un fluide de production à l'aide d'une installation sous-marine de refroidissement (10) selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel on dispose la dite installation (10) au fond de la mer (12), le dit échangeur de chaleur (1) étant relié à des conduites de transfert de fluide de production en amont (11a) et en aval (11b) et à des conduites d'un dit circuit externe de refroidissement et on réalise les étapes suivantes dans lesquelles :

15 - on envoie un fluide de production chaud à une température T0 dans la dite conduite amont de transfert (11a) pour le refroidir par échange thermique dans le dit échangeur de chaleur (1) à une température de première valeur de consigne déterminée (T1) dans la dite conduite avale de transfert (11b),

20 - en faisant circuler dans le dit circuit externe de refroidissement (2) et dans le dit échangeur de chaleur (1), un débit (d1) d'eau de mer, à l'aide de la dite pompe de circulation (3), la dite eau de mer entrant dans le dit échangeur de chaleur à une température d'entrée de consigne déterminée (T2).

25 10. Procédé de refroidissement selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'on réalise une mise en température initiale de l'eau de refroidissement avant circulation du fluide de production pour atteindre une dite température d'entrée de deuxième valeur de consigne déterminée (T2) de l'eau de refroidissement dans le circuit de refroidissement en aval de la dite pompe de circulation (3) et en amont du dit échangeur de chaleur (1), après alimentation et remplissage du dit circuit de refroidissement (2) en eau de mer ambiante puis circulation de l'eau de refroidissement dans le dit circuit de refroidissement en circuit fermé les dispositifs d'évacuation (5, 5a) étant fermés, la montée en température se faisant par accumulation progressive de l'énergie de frottement
30 que la pompe dissipe dans le volume d'eau de mer contenu dans le circuit de refroidissement et/ou par chauffage électrique d'une partie au moins des conduites (2-1 à 2-4) du dit circuit de refroidissement, sur tout ou partie de leur

longueur de préférence à l'aide d'une pluralité de câbles électriques enroulés autour des conduites pour la chauffer par effet Joule.

11. Procédé de refroidissement selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce qu'en opération, lorsque le dit fluide de production est en circulation dans les dites conduites de transfert (11a, 11b) et dans le dit échangeur de chaleur (1), pour maintenir une dite température d'entrée de deuxième valeur de consigne déterminée (T2) de l'eau de refroidissement dans le circuit de refroidissement en aval de la dite pompe de circulation (3) et en amont du dit échangeur de chaleur (1), et/ou pour maintenir une température de dite première valeur de consigne déterminée (T1) dans la dite conduite aval de transfert (11b), on réalise les étapes dans lesquelles :

15 - on évacue dudit circuit de refroidissement (2) un débit (d2) d'eau de mer de refroidissement à l'aide de dits dispositifs d'évacuation (5, 5a) au niveau d'une dérivation d'évacuation (D2), et

- on aspire concomitamment, un débit identique (d2) d'eau de mer du milieu ambiant dans le circuit de refroidissement (2) à l'aide des dits dispositifs d'alimentation (4, 4a) au niveau d'une dérivation d'alimentation (D1).

12. Procédé de refroidissement selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'on contrôle et commande la variation de débits dans ledit circuit de liquide de refroidissement et le dit échangeur (d1, d2) à l'aide des dits dispositifs de contrôle et commande (3a, 6-6a, 7-7a) en fonction d'une première valeur de consigne de la température du fluide de production (T1) dans la conduite aval de transfert (11b) en sortie de l'échangeur (1) et/ou d'une deuxième valeur de consigne de la température de l'eau de mer de refroidissement (T2) en aval de la pompe (3) et en amont du dit échangeur de chaleur (1).

13. Procédé de refroidissement selon l'une des revendications 11 ou 12, caractérisé en ce qu'on commande la variation du dit débit identique (d2) de l'évacuation et de l'alimentation en eau de mer par les dits dispositifs d'alimentation (4, 4a) et respectivement dispositifs d'évacuation (5, 5a) en fonction de la variation de la température (T0) du fluide de production au niveau de la conduite amont de transfert de fluide de production (11a) alimentant le dit échangeur de chaleur (1).

14. Procédé de refroidissement selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'on commande automatiquement la variation de débits dans ledit circuit de liquide de refroidissement et le dit échangeur à l'aide des dits dispositifs de contrôle et commande (3a, 6-6a, 7-7a) et les étapes comprenant :

- 5 - la mesure de la température de l'eau de mer de refroidissement (T2) en aval de la pompe (3) et en amont du dit échangeur de chaleur (1) avec un premier dispositif de mesure de la température (6) connecté (6a) aux dits dispositifs d'évacuation de l'eau de mer (5, 5a), de manière à commander automatiquement ledit débit (d2) de l'eau de mer évacuée dudit circuit externe
- 10 de refroidissement (2) en aval de l'échangeur de chaleur (1) et en amont de ladite première dérivation (D1) en fonction de la température de l'eau de mer de refroidissement (T2) en aval de la pompe (3) et en amont du dit échangeur de chaleur (1), et
- la mesure de la température du fluide de production (T1) dans la
- 15 conduite aval de transfert (11b) en sortie de l'échangeur (1) avec un deuxième dispositif de mesure connecté (7a) à un dispositif de variation (3a) de la vitesse de la dite pompe de manière à commander automatiquement le débit (d1) de l'eau de refroidissement en sortie de la dite pompe en fonction de la température du fluide de production (T1) dans la conduite aval de transfert
- 20 (11b) en sortie de l'échangeur (1).

15. Procédé de refroidissement selon l'une des revendications 9 à 14, caractérisé en ce que le dit fluide de production est un fluide d'hydrocarbures comprenant du gaz et/ou du pétrole brut issu de puits de production sous-

25 marins, la dite conduite de transfert du fluide de production étant de préférence reliée à une conduite sous-marine de liaison fond-surface reliant le fond de la mer à un support flottant en surface et/ou à des conduites entièrement sous-marines reliant des têtes de puits de production à des têtes de puits d'injection.

30 16. Procédé de refroidissement selon l'une des revendications 9 à 15, caractérisé en ce que le dit fluide de production est constitué d'hydrocarbures dont le méthane, l'éthane, le propane et le butane et des composés hydrocarbures plus lourds constitués de 5 à plus de 30 atomes de carbone, et du gaz inerte comme le dioxyde de carbone et/ou l'azote, ainsi qu'une

35 proportion variable d'eau de production, à savoir une eau incluant jusqu'à plus d'une centaine de gramme par litre de sels, pouvant aller de 0% poids d'eau de production en début de traitement d'un gisement à plus de 80% poids d'eau en

fin de traitement, la température du dit gaz de production étant comprise entre 50°C et 200°C.

17. Procédé de refroidissement selon la revendication 16, caractérisé
5 en ce que ledit fluide de production présente une température étant de 50°C à 200°C ; la température de l'eau de mer du milieu marin ambiant est de 4°C à 20°C, la dite première valeur de consigne de la température du fluide de production (T1) dans la conduite aval de transfert (11b) en sortie de l'échangeur (1) étant comprise entre 30°C et 60°C et la dite deuxième valeur
10 de consigne de la température de l'eau de mer de refroidissement (T2) en aval de la pompe (3) et en amont du dit échangeur de chaleur (1) étant comprise entre 25°C et 35°C.

18. Procédé de refroidissement selon la revendication 17, caractérisé
15 en ce que la température de l'eau de refroidissement (T3) après échange thermique en sortie dudit échangeur de chaleur est entre 30°C et 50°C de préférence inférieure à 45°C.

19. Procédé de refroidissement selon l'une des revendications 9 à 18,
20 caractérisé en ce que la puissance thermique (ou charge thermique) de l'installation de refroidissement (10) est comprise entre 1 mégawatt et 10 mégawatts.

20. Procédé de refroidissement selon l'une des revendications 9 à 19,
25 caractérisé en ce que le débit de circulation de l'eau de refroidissement dans le circuit de refroidissement en opération est compris entre 100 m³/hr à 1000 m³/hr, de préférence de 300 à 600 m³/hr et le volume global d'eau de refroidissement contenu dans la dite installation de refroidissement (10) est de 3 à 10 m³.

30

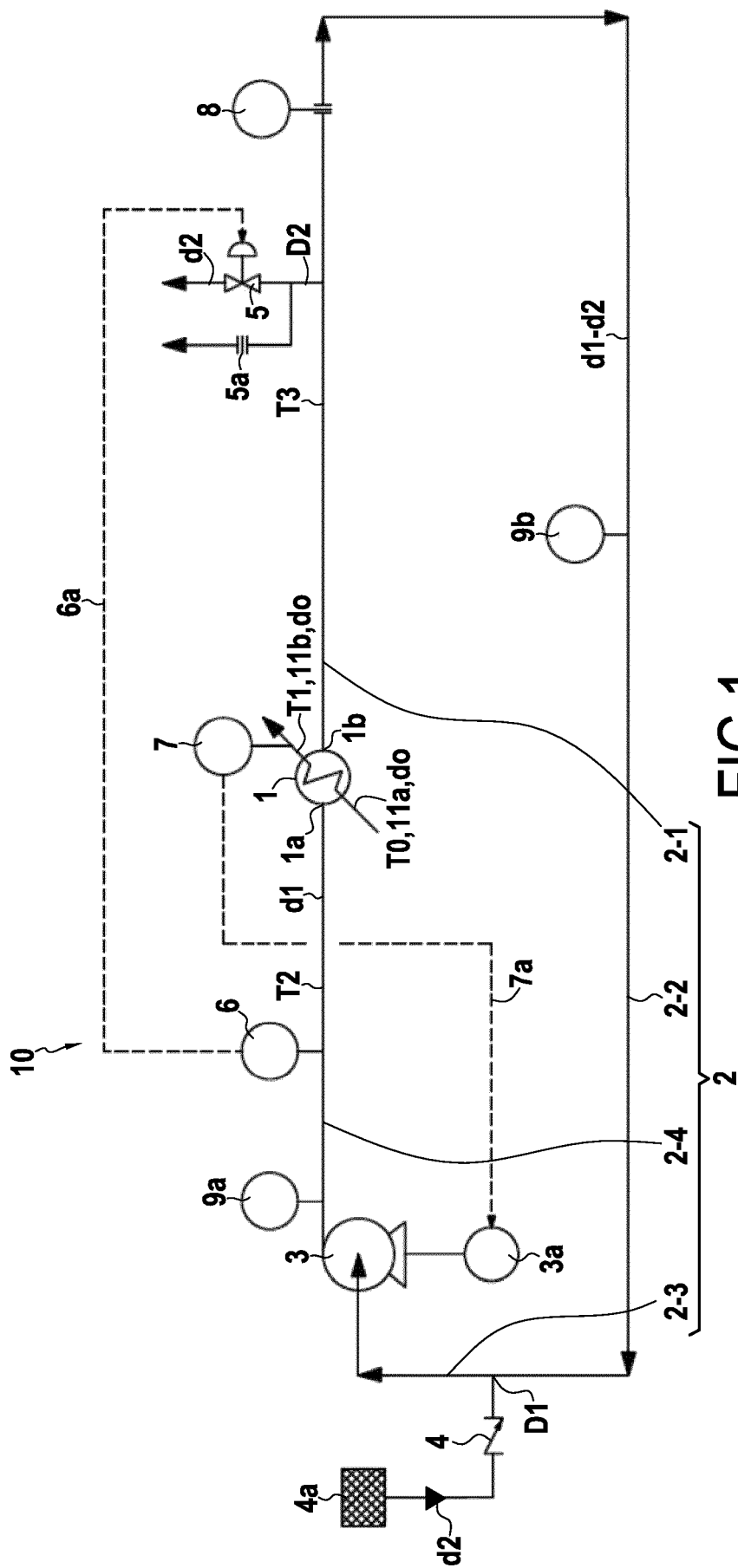


FIG. 1

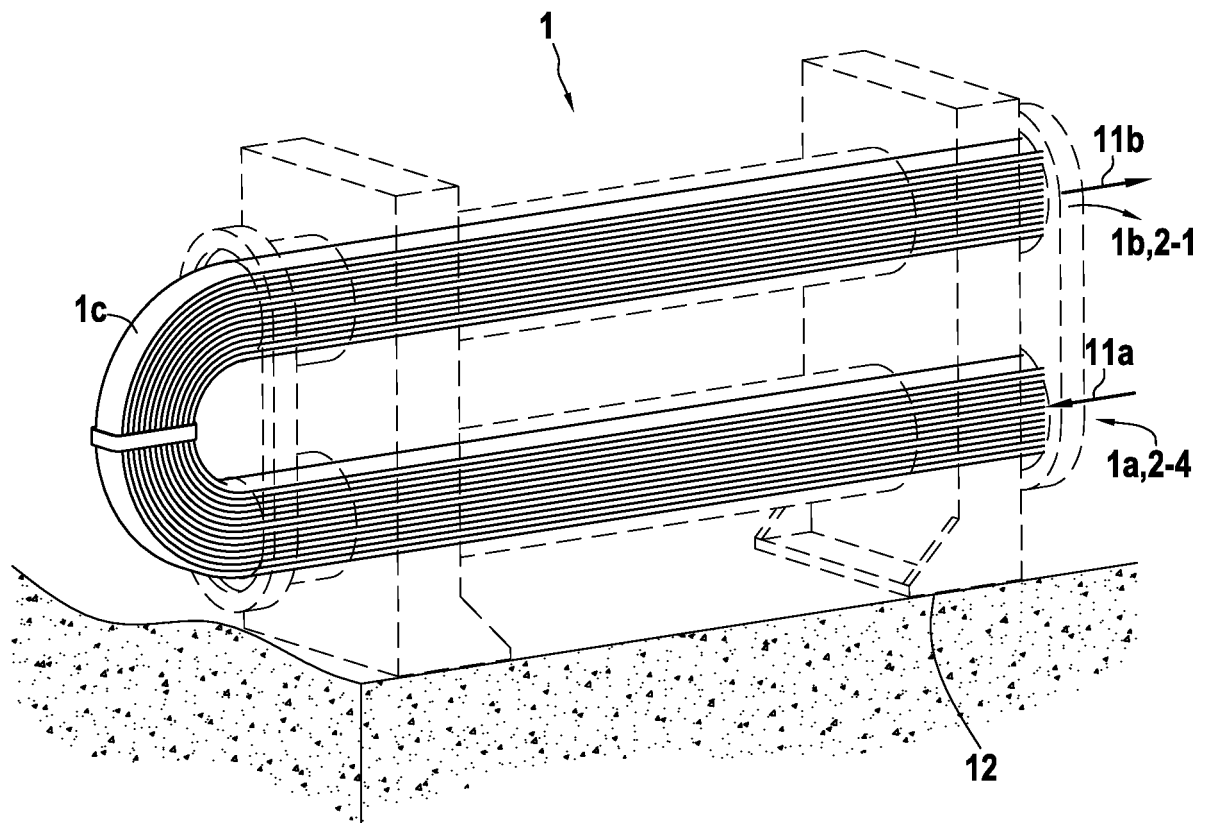


FIG.1A

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 852953
FR 1854882

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	WO 2015/144693 A1 (VETCO GRAY SCANDINAVIA AS [NO]) 1 octobre 2015 (2015-10-01)	1,2,5, 7-9, 11-13, 15-20	E21B36/00 F28D7/06
A	* pages 1-6; figures 1-3 *	3,4,6, 10,14	
Y	WO 2008/147219 A2 (FMC KONGSBERG SUBSEA AS [NO]; STEN-HALVORSEN VIDAR [NO]; BAGGERUD ERIK) 4 décembre 2008 (2008-12-04)	1,2,5, 7-9, 11-13, 15-20	
A	* page 4, ligne 35 - page 5, ligne 6; figure 1 *	3,4,6, 10,14	
A	WO 2010/002272 A1 (AKER SUBSEA AS [NO]; VAN DER REST BASTIAEN [NO]) 7 janvier 2010 (2010-01-07) * page 5, lignes 1-4; revendication 6; figures 1,2 *	1,9	
A	WO 2013/002644 A1 (AKER SUBSEA AS [NO]; STINESSEN KJELL OLAV [NO]; NOGUEIRA BIANCA MARIA) 3 janvier 2013 (2013-01-03) * page 14, lignes 17-19; figures 1,2; tableau 1 *	1,9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) E21B F28F F28D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
14 février 2019		Maukonen, Kalle	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1854882 FA 852953

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 **14-02-2019**

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 2015144693	A1	01-10-2015	AUCUN		

WO 2008147219	A2	04-12-2008	AU	2008257714 A1	04-12-2008
			EP	2156014 A2	24-02-2010
			NO	330761 B1	04-07-2011
			US	2010252227 A1	07-10-2010
			WO	2008147219 A2	04-12-2008

WO 2010002272	A1	07-01-2010	AU	2009266499 A1	07-01-2010
			CA	2729416 A1	07-01-2010
			GB	2473563 A	16-03-2011
			NO	330105 B1	21-02-2011
			RU	2011102019 A	10-08-2012
			US	2011100589 A1	05-05-2011
			WO	2010002272 A1	07-01-2010

WO 2013002644	A1	03-01-2013	AU	2012276386 A1	28-11-2013
			BR	112013033635 A2	04-07-2017
			MY	164751 A	30-01-2018
			NO	335450 B1	15-12-2014
			WO	2013002644 A1	03-01-2013
