Procédé de liquéfaction de gaz naturel avec changement de phase

La présente invention est relative à un procédé de liquéfaction de gaz naturel pour produire du GNL, ou Gaz Naturel Liquéfié, appelé aussi LNG en anglais. Plus particulièrement encore, la présente invention est relative à la liquéfaction de gaz naturel comportant majoritairement du méthane, de préférence au moins 85% de méthane, les autres principaux constituants étant choisis parmi l'azote et des alcanes en C-2 à C-4 à savoir de l'éthane, du propane, du butane.

La présente invention concerne aussi une installation de liquéfaction disposée sur un navire ou un support flottant en mer, soit en mer ouverte, soit en zone protégée, telle un port, ou encore une installation à terre dans le cas de moyennes ou de grandes unités de liquéfaction de gaz naturel.

Le gaz naturel à base de méthane est soit un sous-produit des champs pétroliers, produit en quantité faible ou moyenne, en général associé à du pétrole brut, soit un produit majeur dans le cas des champs de gaz, où il est alors en combinaison avec d'autres gaz, principalement des alcanes en C-2 à C-4, du CO2, de l'azote.

Lorsque le gaz naturel est associé en faible quantité à du pétrole brut, il est en général traité et séparé, puis utilisé sur place comme carburant dans des turbines ou des moteurs à piston pour produire de l'énergie électrique et des calories utilisées dans les processus de séparation ou de production.

Lorsque les quantités de gaz naturel sont importantes, voire considérables, on cherche à le transporter de manière à pouvoir les utiliser dans des régions éloignées, en général sur d'autres continents et, pour ce faire, la méthode préférée est de le transporter à l'état de liquide cryogénique (-165°C) sensiblement à la pression atmosphérique ambiante. Des navires de transport spécialisés appelés « méthaniers » possèdent des cuves de très grandes dimensions et présentant une isolation extrême de manière à limiter l'évaporation pendant le voyage.

La liquéfaction du gaz en vue de son transport s'effectue en général à proximité du site de production, en général à terre, et nécessite des installations considérables pour atteindre des capacités de plusieurs millions de tonnes par an, les plus grosses unités existantes regroupent trois ou quatre unités de liquéfaction de 3-4 Mt par an de capacité unitaire.

Ce procédé de liquéfaction nécessite des quantités d'énergie mécanique considérables, l'énergie mécanique étant en général produite sur place en prélevant une partie du gaz pour produire l'énergie nécessaire au procédé de liquéfaction. Une partie du gaz est alors utilisé comme carburant dans des turbines à gaz, des chaudières à vapeur ou des moteurs thermiques à pistons.

De multiples cycles thermodynamiques ont été développés en vue d'optimiser le rendement énergétique global. Il existe deux types principaux de cycles. Un premier type basé sur la compression et la détente de fluide réfrigérant, avec changement de phase, et un second type basé sur la compression et la détente de gaz réfrigérant sans changement de phase. On appelle « fluide réfrigérant », ou « gaz réfrigérant », un gaz ou mélange de gaz, circulant en circuit fermé et subissant des phases de compression, le cas échéant de liquéfaction, puis des échanges de chaleur avec le milieu extérieur, puis ensuite des phases de détente, le cas échéant d'évaporation, et enfin des échanges de chaleur avec le gaz naturel à liquéfier comprenant du méthane, qui peu à peu se refroidit pour atteindre sa température de liquéfaction à pression atmosphérique, c'est à dire environ -165°C dans le cas du GNL.

Ledit premier type de cycle, avec changement de phase, est en général utilisé sur des installations de grande capacité de production nécessitant une plus grande quantité d'équipements. De plus, les fluides réfrigérants, en général sous forme de mélanges, sont constitués de butane, de propane, d'éthane et de méthane, ces gaz étant dangereux car ils risquent, en cas de fuite, de provoquer des explosions ou des incendies considérables. Par contre, malgré la complexité des équipements requis, ils demeurent les plus efficaces et nécessitent une énergie de l'ordre de 0.3kWh par kg de GNL produit.

De nombreuses variantes de ce premier type de procédé avec changement de phase du fluide réfrigérant ont été développées et chaque fournisseur de technologie ou d'équipements, possède sa formulation de mélanges, associée à des équipements spécifiques, tant pour les procédés dits « en cascade » dans lesquels les différents fluides réfrigérants mis en œuvre sont mono-composants et circulent dans des boucles de circuits fermés différents, que pour les procédés dits en « cycle mixte » avec des boucles de fluides réfrigérants multi-composants. La complexité des installations provient du fait que dans les phases où le fluide réfrigérant se trouve à l'état liquide, et plus particulièrement au niveau des séparateurs et des conduites de raccordement, il convient d'installer des collecteurs gravitaires encore appelés ci-après « réservoirs séparateurs » pour rassembler la phase liquide et la diriger au cœur des échangeurs thermiques où elle se vaporisera alors au contact du méthane à refroidir et à liquéfier, pour obtenir du GNL.

Le second type de procédé de liquéfaction, procédé sans changement de phase du gaz réfrigérant, est un cycle de Brayton inversé, ou cycle de Claude utilisant un gaz tel l'azote. Ce second type de procédé présente un avantage en termes de sécurité, car le gaz réfrigérant du cycle, en général l'azote, est inerte, donc incombustible, ce qui est très intéressant lorsque les installations sont concentrées sur un espace réduit, par exemple sur le pont d'un support flottant installé en mer ouverte, lesdits équipements étant souvent installés sur plusieurs niveaux, les uns au-dessus des autres sur une surface réduite au strict minimum. Ainsi, en cas de fuite du gaz réfrigérant, il n'y a aucun danger d'explosion et il suffit alors de réinjecter dans le circuit la fraction de gaz réfrigérant perdue. En revanche, l'efficacité de ce second type est moindre, car il nécessite en général une énergie de l'ordre de 0.5 kWh/kg de GNL produit, soit environ 20.84 kW x jour/t.

Malgré le rendement énergétique inférieur du procédé de liquéfaction sans changement de phase du gaz réfrigérant, ce dernier est préféré au procédé avec changement de phase car le procédé à changement de phase est plus sensible aux variations de composition du

gaz à liquéfier, à savoir un gaz naturel constitué d'un mélange où prédomine du méthane. En effet, dans le cas du cycle à changement de phase du fluide réfrigérant, pour que les rendements restent optimal, le fluide réfrigérant doit être adapté à la nature et composition du gaz à liquéfier et la composition du fluide réfrigérant doit le cas échéant être modifiée au cours du temps, en fonction de la composition du mélange de gaz naturel à liquéfier produit par le champ pétrolier. Pour ces procédés à changement de phase, on utilise des fluides réfrigérants constitués d'un mélange de composés.

Plus particulièrement, le but de la présente invention est de fournir un procédé amélioré de liquéfaction de gaz naturel avec changement de phase.

Plus particulièrement, la présente invention concerne un procédé de liquéfaction d'un gaz naturel comprenant majoritairement du méthane, dans lequel on liquéfie ledit gaz naturel à liquéfier par circulation d'un flux dudit gaz naturel dans au moins 1 échangeur de chaleur cryogénique par circulation en contact indirect avec au moins un premier flux de premier fluide réfrigérant comprenant un premier mélange de composés circulant dans au moins une première boucle en circuit fermé avec changement de phase, ledit premier flux de premier fluide réfrigérant entrant à une température sensiblement égale à la température T0 d'entrée du gaz naturel dans ledit premier échangeur et à une pression P1, le traversant à co-courant dudit flux de gaz naturel et en sortant à l'état liquide, ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide étant détendu dans un premier détendeur au niveau de l'extrémité froide dudit premier échangeur à l'état gazeux à une pression P'1 inférieure à P1 et à une température T1 inférieure à T0, puis en sortant à son extrémité chaude à l'état gazeux et sensiblement à une température T0, ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux étant ensuite au moins partiellement reliquéfié et acheminé vers l'entrée chaude dudit premier échangeur pour constituer l'alimentation en dit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide circulant ainsi en circuit fermé, la liquéfaction dudit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux comprenant au moins une compression dans

un compresseur, puis au moins une condensation dans un condenseur avant d'être acheminée à sensiblement la pression P1, vers l'entrée de l'extrémité chaude dudit premier échangeur dudit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide.

Un problème du procédé à changement de phase définit ci-dessus tient en ce que la composition du mélange réfrigérant se modifie en cours de cycle du fait qu'une partie des composés les plus légers du fluide réfrigérant tend à disparaître et/ou doit être rejetée comme il sera explicité dans la description détaillée en référence aux figure 1A et 1B ci-après.

Plus précisément, dans ces procédés on a observé que la condensation de la phase gazeuse en aval du deuxième condenseur n'est pas totale. Et, le fluide sortant du deuxième condenseur, destiné à être recyclé à l'extrémité chaude du premier échangeur, peut se trouver à l'état diphasique avec une faible teneur de phase gazeuse contenant les gaz constitués des composés les plus légers du mélange réfrigérant, la phase liquide étant donc plus concentrée en composés les plus lourds. Cette faible teneur en gaz ne peut pas être séparée ni recyclée simplement et doit donc être éliminée. Ceci a pour conséquence de modifier la composition du fluide réfrigérant liquide recyclé et conduit alors à une augmentation de la température minimale T1 atteinte lors de la vaporisation du liquide réfrigérant au sein de l'enceinte de l'échangeur EC1. Or, ladite vaporisation constitue l'échange thermo-dynamique principal intervenant au cours du cycle. Afin de surmonter cet effet indésirable et de conserver ladite température minimale T1, le niveau de pression doit être augmenté, ce qui entraine une consommation accrue d'énergie, et par conséquent une baisse du rendement global de l'installation, c'est-à-dire une augmentation en termes de kWh consommés par kg de gaz liquéfié produit.

Dans US 4 339 253, on décrit un procédé à changement de phase dans lequel le fluide réfrigérant recyclé vers l'extrémité chaude d'un échangeur est recyclé à l'état diphasique.

Dans EP 1 132 698, on cherche à reliquéfier du gaz évaporé d'un réservoir de gaz liquide 4. Pour ce faire, on propose de mélanger ledit gaz évaporé avec une partie de gaz liquide au sein de désurchauffeurs 32-38 et 44-46 pour obtenir une remise en solution du gaz. Dans EP 1 132 698, il n'y a pas de condenseur en sortie des désurchauffeurs.

Le but de la présente invention est donc de fournir un procédé de liquéfaction de gaz naturel avec changement de phase tel que défini ci-dessus amélioré, permettant notamment de résoudre le problème ci-dessus.

Pour ce faire, la présente invention fournit un procédé de liquéfaction d'un gaz naturel comprenant majoritairement du méthane, de préférence, au moins 85% de méthane, les autres composants comprenant essentiellement de l'azote et des alcanes en C-2 à C-4, dans lequel on liquéfie ledit gaz naturel à liquéfier par circulation d'un flux dudit gaz naturel à une pression P0 supérieure ou égale à la pression atmosphérique, de préférence P0 étant supérieure à la pression atmosphérique, dans au moins 1 échangeur de chaleur cryogénique par circulation en contact indirect avec au moins un premier flux de premier fluide réfrigérant comprenant un premier mélange de composés circulant dans au moins une première boucle en circuit fermé avec changement de phase, ledit premier flux de premier fluide réfrigérant entrant dans ledit premier échangeur à une première entrée d'une extrémité dénommée « extrémité chaude » à une température sensiblement égale à la température T0 d'entrée du gaz naturel dans ledit premier échangeur et à une pression P1, le traversant à co-courant dudit flux de gaz naturel et en sortant à une extrémité dénommée « extrémité froide » à l'état liquide, ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide étant détendu par un premier détendeur au niveau de l'extrémité froide dudit premier échangeur pour se retrouver à l'état gazeux à une pression P'1 inférieure à P1 et à une température T1 inférieure à T0 à l'intérieur dudit premier échangeur du côté de son extrémité froide, puis ressortant du premier échangeur à un orifice de sortie de son extrémité chaude à l'état gazeux et sensiblement à une température T0, ledit

premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux étant ensuite au moins partiellement reliquéfié et acheminé vers la première entrée de l'extrémité chaude dudit premier échangeur pour constituer l'alimentation en dit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide circulant ainsi en circuit fermé, la liquéfaction dudit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux comprenant une première compression dans un premier compresseur puis une première condensation partielle dans un premier condenseur et une séparation de phase dans un premier réservoir séparateur séparant une première phase liquide de premier fluide réfrigérant et une première phase gazeuse de premier fluide réfrigérant, ladite première phase liquide de premier fluide réfrigérant en sortie basse dudit premier séparateur étant acheminée par une pompe à sensiblement la pression P1, au moins en partie vers ladite première entrée de l'extrémité chaude dudit premier échangeur pour constituer ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide, ladite première phase gazeuse dudit premier fluide réfrigérant en sortie haute dudit premier séparateur étant comprimée à sensiblement la pression P1 par un deuxième compresseur puis condensée au moins partiellement dans un deuxième condenseur, de préférence après mélange avec au moins une partie de ladite première phase liquide de premier fluide réfrigérant.

Selon la présente invention, ladite première phase gazeuse de dit premier fluide réfrigérant en sortie dudit deuxième compresseur est refroidie dans un désurchauffeur par contact avec une partie de ladite première phase liquide de premier fluide réfrigérant en sortie dudit premier séparateur, ladite partie de première phase liquide de premier fluide réfrigérant étant micronisée et vaporisée, de préférence entièrement vaporisée, au sein dudit désurchauffeur, avant ladite condensation dans ledit deuxième condenseur.

De préférence, ladite partie de première phase liquide de premier fluide réfrigérant représente moins de 10% en débit massique, de préférence encore de 2 à 5% du débit de ladite première phase liquide totale de premier fluide réfrigérant, de manière à ce qu'elle soit entièrement vaporisée au sein dudit désurchauffeur et que le premier

fluide réfrigérant en sortie dudit désurchauffeur soit entièrement en phase gazeuse avant sa condensation au moins partielle dans ledit deuxième condenseur, le débit de ladite partie de première phase liquide de premier fluide réfrigérant étant ajusté à l'aide d'au moins une vanne de contrôle.

La vaporisation des premier et deuxième flux de premier fluide réfrigérant par lesdits premier et deuxième détendeurs constitue l'essentiel de l'échange thermique au sein dudit premier échangeur cryogénique en refroidissant les dit premier et deuxième flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux au sein dudit premier échangeur et provocant une absorption des calories et le refroidissement dudit flux de gaz naturel à température T1 inférieure à T0 et donc le refroidissement des dits premier et deuxième flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide.

La micronisation (encore connue sous la dénomination de «brumisation») de ladite première phase liquide de premier flux réfrigérant augmente la surface de contact entre les particules de liquide et le gaz dans lequel ladite phase liquide est vaporisée, ce qui favorise son évaporation et favorise l'absorption des calories et le refroidissement de ladite première phase gazeuse de premier flux réfrigérant. La micronisation d'une quantité contrôlée constituant une faible partie de ladite première phase liquide de premier fluide réfrigérant permet que celle-ci soit entièrement portée à l'état gazeux et refroidisse ladite première phase gazeuse de premier fluide réfrigérant, celle-ci restant entièrement à l'état gazeux. Le pré-refroidissement de ladite phase gazeuse de premier fluide réfrigérant par mélange avec une partie de la phase liquide micronisée au sein du désurchauffeur est avantageuse en ce qu'il permet une condensation d'une plus grande part de la phase gazeuse dans ledit deuxième condenseur, voire une condensation intégrale.

En outre, ladite première phase gazeuse de dit premier fluide réfrigérant en sortie dudit premier réservoir séparateur est plus facilement condensée dans ledit deuxième condenseur après mélange avec au moins une partie de ladite première phase liquide de premier

fluide réfrigérant après micronisation et vaporisation, car ladite phase gazeuse résultante est alors condensable à une température supérieure et une pression inférieure à celles requises dans l'art antérieur, et donc en mettant en œuvre une puissance moindre au niveau dudit deuxième compresseur.

Dans une première variante de réalisation, plus complètement décrite ci-après en référence à la figure 3, ladite phase gazeuse de premier fluide réfrigérant refroidie en sortie dudit désurchauffeur est partiellement condensée dans ledit deuxième condenseur, puis une deuxième séparation de phase est réalisée dans une deuxième réservoir séparateur séparant une deuxième phase liquide de premier fluide réfrigérant et une deuxième phase gazeuse de premier fluide réfrigérant, ladite deuxième phase liquide de premier fluide réfrigérant en sortie basse dudit deuxième réservoir séparateur étant mélangée avec le reliquat de ladite première phase liquide de premier fluide réfrigérant et acheminée vers ladite première entrée de l'extrémité chaude dudit premier échangeur pour former ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide sensiblement à la température T0 et sensiblement à la pression P1, et, ladite deuxième phase gazeuse en sortie haute du deuxième réservoir séparateur étant acheminée à ladite pression sensiblement P1 et dite température sensiblement T0 vers une deuxième entrée à l'extrémité chaude dudit premier échangeur pour former un deuxième flux de premier fluide réfrigérant traversant à l'état gazeux ledit premier échangeur à co-courant dudit flux de gaz naturel et en sortant à l'état gazeux et étant détendu par un deuxième détendeur au niveau de l'extrémité froide dudit premier échangeur pour se retrouver à l'état gazeux à une pression P'1 inférieure à P1 et à une température T1 inférieure à T0 à l'intérieur dudit premier échangeur du côté de son extrémité froide, puis en ressortant audit orifice de sortie à son extrémité chaude à l'état gazeux et sensiblement à une température T0 pour être ensuite acheminée vers ledit premier compresseur avec ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux en sortie de l'extrémité chaude dudit premier échangeur.

Le mode de réalisation ci-dessus (fig. 3) est préféré car il permet

le mélange desdites phases liquides de premier fluide réfrigérant pour former ledit premier flux dans de bonnes conditions de stabilité d'une part et, d'autre part, il ne nécessite pas la mise en œuvre d'un condenseur total.

Selon une deuxième variante de réalisation plus complètement décrite ci-après en référence à la figure 2, ladite phase gazeuse de premier fluide réfrigérant refroidie dans ledit désurchauffeur est totalement condensée dans ledit deuxième condenseur, puis est acheminée à l'état liquide sensiblement à ladite pression P1 et dite température T0 vers l'extrémité chaude dudit premier échangeur pour traverser ledit premier échangeur à co-courant dudit flux de gaz naturel en mélange avec ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide ou de préférence pour former un deuxième flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide traversant ledit premier échangeur à co-courant dudit flux de gaz naturel et en sortant à l'état liquide et étant détendu par un deuxième détendeur au niveau de l'extrémité froide dudit premier échangeur pour se retrouver à l'état gazeux à une pression P'1 inférieure à P1 et à une température T1 inférieure à T0 à l'intérieur dudit premier échangeur du côté de son extrémité froide, puis en ressortant à son orifice de sortie de l'extrémité chaude à l'état gazeux et sensiblement à une température T0 pour être acheminée vers ledit premier compresseur avec ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux en sortie de l'extrémité chaude dudit premier échangeur.

Plus particulièrement encore, ledit gaz naturel sortant de l'extrémité froide dudit premier échangeur à une température sensiblement égale à T1, est refroidi et au moins partiellement liquéfié dans au moins un deuxième échangeur cryogénique, dans lequel on liquéfie ledit gaz naturel à liquéfier par circulation du flux dudit gaz naturel en contact indirect avec au moins un premier flux de deuxième fluide réfrigérant comprenant un deuxième mélange de composés circulant dans au moins une deuxième boucle en circuit fermé avec changement de phase, ledit deuxième flux de fluide réfrigérant entrant dans ledit deuxième échangeur à une première entrée de l'extrémité

dénommée « extrémité chaude » dudit deuxième échangeur à une température sensiblement égale à T1 et à une pression P2, traversant ledit deuxième échangeur à co-courant dudit flux de gaz naturel et en sortant à une température à l'état liquide à une extrémité dénommée « extrémité froide » dudit deuxième échangeur, ledit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide étant détendu par un troisième détendeur au niveau de l'extrémité froide dudit deuxième échangeur pour se retrouver à l'état gazeux à une pression P'2 inférieure à P2 et à une température T2 inférieure à T1 à l'intérieur dudit deuxième échangeur du côté de son extrémité froide, puis ressortant à un orifice de sortie à l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur à l'état gazeux sensiblement à une température T1, ledit premier flux de deuxième fluide à l'état gazeux étant ensuite partiellement reliquéfié et acheminé vers l'entrée à l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur pour constituer l'alimentation en dit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide circulant ainsi en circuit fermé, la liquéfaction dudit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux comprenant une compression à une pression P2 par un troisième compresseur puis un refroidissement à sensiblement T0 dans un échangeur de chaleur refroidisseur, puis ledit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux étant acheminé vers une entrée à l'extrémité chaude dudit premier échangeur qu'il traverse pour en ressortir à son extrémité froide à l'état partiellement liquéfié sensiblement à la température T1, puis subit une séparation de phase dans un troisième réservoir séparateur séparant une phase liquide de deuxième fluide réfrigérant et une phase gazeuse de deuxième fluide réfrigérant, la phase liquide de deuxième fluide réfrigérant en sortie basse dudit troisième séparateur étant acheminée à sensiblement la température T1 et la pression P2, vers ladite première entrée à l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur pour former ledit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide, ladite phase gazeuse de dit deuxième fluide réfrigérant en sortie haute dudit troisième séparateur étant envoyée vers une deuxième entrée à l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur à sensiblement la température T1 et la pression P2 pour former un deuxième flux de deuxième fluide réfrigérant

traversant ledit deuxième échangeur à l'état gazeux sortant à l'extrémité froide dudit deuxième échangeur, avant de ressortir à un orifice de sortie du côté de l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur pour être acheminé vers ledit troisième compresseur avec ledit premier flux de deuxième fluide à l'état gazeux, de préférence en mélange avec celui-ci.

Dans un mode préféré de réalisation, ledit gaz naturel sortant de l'extrémité froide dudit deuxième échangeur à une température sensiblement égale à T2 partiellement liquéfié, est refroidi et entièrement liquéfié à une température T3 inférieure à T2 dans au moins un troisième échangeur cryogénique, dans lequel ledit gaz naturel circule en contact indirect à co-courant avec au moins un troisième flux de deuxième fluide réfrigérant alimenté par ledit deuxième flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux sortant de l'extrémité froide dudit deuxième échangeur sensiblement à la température T2 et à la pression P2, ledit troisième flux de deuxième fluide réfrigérant traversant à l'état gazeux ledit troisième échangeur à co-courant dudit flux de gaz naturel liquéfié et en sortant sensiblement à l'état gazeux et étant détendu par un quatrième détendeur au niveau de l'extrémité froide dudit troisième échangeur pour se retrouver à l'état gazeux à une pression P2' inférieure à P2 et à une température T3 inférieure à T2 à l'intérieur dudit troisième échangeur du côté de son extrémité froide, puis en ressortant à un orifice à son extrémité chaude à l'état gazeux et sensiblement à une température T2 pour être ensuite acheminée vers un orifice à l'extrémité froide dudit deuxième échangeur pour en ressortir à un orifice à l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur pour être acheminé vers ledit troisième compresseur avec ledit premier flux de deuxième fluide à l'état gazeux, de préférence en mélange avec celui-ci.

Selon une autre caractéristique plus particulière, lesdits détendeurs comprennent des vannes dont le pourcentage d'ouverture est apte à être contrôlé en temps réel.

Plus particulièrement encore, les composés du gaz naturel et des fluides réfrigérants sont choisis parmi le méthane, azote, éthane, éthylène, propane, butane, et pentane.

Plus particulièrement encore, la composition du gaz naturel à liquéfier est comprise dans les fourchettes suivantes pour un total de 100% des composés suivants :

- Méthane de 80 à 100%,
- azote de 0 à 20 %,
- éthane de 0 à 20 %,
- propane de 0 à 20 %, et
- butane de 0 à 20 %.

Plus particulièrement encore, la composition des fluides réfrigérants est comprise dans les fourchettes suivantes pour un total de 100% des composés suivants :

- Méthane de 2 à 50%,
- azote de 0 à 10 %,
- éthane et/ou éthylène de 20 à 75 %,
- propane de 5 à 20 %, et
- butane de 0 à 30 %, et
- pentane de 0 à 10%.

Plus particulièrement encore, les températures ont les valeurs suivantes :

- T0 est sont de 10 à 60°C, et
- T1 est de -30 à -70°C, et
- T2 est de -100 à - 140°C, et
- T3 est de -160 à -170°C.

Plus particulièrement encore, les pressions ont les valeurs :

- P0 est de 0.5 à 10 MPa (sensiblement 5 à 100 bar), et
- P1 est de 1.5 à 10 MPa (sensiblement 15 à 100 bar), et
- P2 est de 2.5 à 10 MPa (sensiblement 25 à 100 bar).

Avantageusement, un procédé selon l'invention est mis en œuvre

à bord d'un support flottant.

La présente invention fournit également une installation embarquée sur un support flottant pour mettre en œuvre un procédé selon la présente invention, caractérisé en ce qu'elle comprend :

- au moins un dit premier échangeur comprenant au moins :
  - un premier conduit de circulation traversant ledit premier échangeur apte à faire circuler un premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide
  - un deuxième conduit de circulation traversant ledit premier échangeur apte à faire circuler un dit deuxième flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux ou liquide, et
  - un troisième conduit traversant ledit premier échangeur apte à faire circuler ledit gaz naturel à liquéfier, et
- un premier détendeur entre la sortie froide dudit premier conduit et une première entrée à l'extrémité froide de l'enceinte dudit premier échangeur, et
- un deuxième détendeur entre la sortie froide dudit deuxième conduit et une deuxième entrée à l'extrémité froide de l'enceinte dudit premier échangeur, et
- un premier compresseur avec une conduite de liaison entre une sortie à l'extrémité chaude de l'enceinte dudit premier échangeur et l'entrée dudit premier compresseur, et
- un premier condenseur avec une conduite de liaison entre la sortie dudit premier compresseur et l'entrée dudit premier condenseur, et
- un premier réservoir séparateur avec une conduite de liaison entre la sortie dudit premier condenseur et ledit premier réservoir séparateur, et
- un deuxième compresseur avec une conduite de liaison entre une sortie supérieure dudit premier réservoir séparateur et l'entrée dudit deuxième compresseur, et
- un désurchauffeur avec une conduite de liaison entre la sortie

dudit deuxième compresseur et une entrée de gaz dans ledit désurchauffeur, et

- un deuxième condenseur avec une conduite de liaison entre la sortie dudit désurchauffeur et ledit deuxième condenseur, et
- une pompe avec une conduite de liaison entre la sortie inférieure dudit premier réservoir séparateur et ladite pompe, et une conduite de liaison équipée d'une première vanne entre la sortie de ladite pompe et une entrée de liquide dans ledit surchauffeur, et
- une conduite de liaison entre la sortie de ladite pompe et l'entrée dudit premier conduit de premier fluide réfrigérant, et
- une conduite de liaison entre la sortie dudit deuxième condenseur et l'entrée dudit deuxième conduit de premier fluide réfrigérant.

Plus particulièrement, une installation selon la présente invention comprend en outre :

- un deuxième réservoir séparateur avec une conduite de liaison entre la sortie dudit deuxième condenseur et ledit deuxième réservoir séparateur, et
- une conduite de liaison entre la sortie supérieure dudit deuxième réservoir séparateur et l'entrée dudit deuxième conduit de premier fluide réfrigérant, et
- une conduite de liaison entre la sortie inférieure dudit deuxième réservoir séparateur et l'entrée dudit premier conduit de premier fluide réfrigérant, et
- une conduite de liaison équipée d'une deuxième vanne entre d'une part la sortie de ladite pompe en amont de ladite première vanne, et d'autre part une jonction avec ladite conduite de liaison entre la sortie inférieure dudit deuxième réservoir séparateur et l'entrée dudit premier conduit de premier fluide réfrigérant.

Plus particulièrement, une installation selon la présente invention comprend en outre :

- un quatrième conduit traversant ledit premier échangeur apte à

faire circuler un dit deuxième flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux ou liquide, et

- un deuxième échangeur cryogénique comprenant :

  - un premier conduit de circulation traversant ledit deuxième échangeur apte à faire circuler un premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide

  - un deuxième conduit de circulation traversant ledit deuxième échangeur apte à faire circuler un dit deuxième flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux en continuité, et

  - un troisième conduit traversant ledit deuxième échangeur apte à faire circuler ledit gaz naturel à liquéfier en continuité dudit troisième conduit traversant ledit premier échangeur, et

- un troisième échangeur comprenant :

  - un premier conduit de circulation traversant ledit troisième échangeur apte à faire circuler un dit deuxième flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux en continuité dudit deuxième conduit de circulation traversant ledit deuxième échangeur, et

  - un deuxième conduit traversant ledit troisième échangeur apte à faire circuler ledit gaz naturel à liquéfier en continuité dudit troisième conduit traversant ledit deuxième échangeur, et

- un troisième réservoir séparateur, et

- une conduite de liaison entre l'extrémité froide dudit quatrième conduit dudit premier échangeur et ledit troisième réservoir séparateur, et

- une conduite de liaison entre une sortie inférieure dudit troisième réservoir séparateur et un orifice de sortie à l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur, et

- une conduite de liaison entre une sortie supérieure dudit troisième réservoir séparateur et l'extrémité chaude dudit deuxième conduit dudit deuxième échangeur, et

- un troisième détendeur entre la sortie froide dudit premier

conduit dudit deuxième échangeur et une première entrée à l'extrémité froide de l'enceinte dudit deuxième échangeur, et

- un troisième compresseur avec une conduite de liaison entre une sortie à l'extrémité chaude de l'enceinte dudit deuxième échangeur et l'entrée dudit deuxième compresseur, et
- un échangeur refroidisseur de gaz avec une conduite de liaison entre la sortie dudit deuxième compresseur et l'entrée dudit échangeur refroidisseur de gaz, et
- une conduite de liaison entre la sortie dudit échangeur refroidisseur de gaz et l'entrée à l'extrémité chaude dudit quatrième conduit dudit premier échangeur, et
- un quatrième détendeur entre la sortie froide dudit premier conduit dudit troisième échangeur et une entrée à l'extrémité froide de l'enceinte dudit troisième échangeur, et
- une conduite de liaison entre une sortie à l'extrémité chaude de l'enceinte dudit troisième échangeur et une deuxième entrée à l'extrémité froide de l'enceinte dudit deuxième échangeur.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lumière de la description détaillée de différents modes de réalisation qui va suivre, en référence aux figures suivantes.

- la figure 1A représente le diagramme d'un procédé standard de liquéfaction à double boucle avec changement de phase, mettant en œuvre des échangeurs cryogéniques bobinés,

- la figure 1B est une variante de la figure 1A dans laquelle les deuxième et troisième échangeurs cryogéniques C2 et C3 sont en continuité et du type dit « aluminium brasé » (en anglais « cold box »),

- la figure 2 représente le diagramme d'un procédé de liquéfaction selon l'invention, comportant au niveau de la boucle primaire de réfrigération, un circuit de recyclage d'une partie du fluide réfrigérant à l'état liquide vers la partie du fluide réfrigérant à l'état gazeux, au niveau d'un désurchauffeur (en anglais « desuperheater »), situé en amont d'un condenseur du fluide réfrigérant,

- la figure 2A détaille en vue de côté en arraché, le désurchauffeur de la figure 2,

- la figure 3 représente le diagramme d'un procédé de liquéfaction selon une version préférée de l'invention, comportant au niveau de la boucle primaire de réfrigération, un réservoir séparateur de phase liquide et gazeuse en aval du condenseur de la figure 2 situé en aval d'un désurchauffeur,

Sur la figure 1A, on a représenté le PFD *(Process Flow Diagram),* c'est à dire le diagramme des flux d'un procédé standard de liquéfaction à changement de phase à double boucle appelé « DMR » (en anglais Dual Mixed Refrigerant) utilisant comme gaz réfrigérant des mélanges de gaz spécifiques à chacune desdites deux boucles dénommés premier fluide réfrigérant et respectivement deuxième fluide réfrigérant, chacune des deux boucles étant totalement indépendante l'une de l'autre.

Le gaz naturel circule dans des conduits en forme de serpentins Sg traversant successivement trois échangeurs cryogéniques en série EC1, EC2 et EC3. Le gaz naturel entre en AA dans le premier échangeur cryogénique EC1 à une température T0, supérieure ou sensiblement égale à la température ambiante, et une pression P0 de 20 à 50 bars (2 à 5 MPa). Le gaz naturel en sort en BB à T1=-50°C environ. Dans cet échangeur EC1, le gaz naturel se refroidit, mais reste à l'état de gaz. Puis, il passe en CC dans un deuxième échangeur cryogénique EC2 dont la température est comprise entre T1=-50°C environ à son extrémité chaude CC et T2=-120°C environ à son extrémité froide DD. Dans ce deuxième échangeur EC2, la totalité du gaz naturel se liquéfie en GNL à une température de T2=-120°C environ. Puis, le GNL passe en EE dans un troisième échangeur cryogénique EC3. Dans ce troisième échangeur EC3, le GNL est refroidi jusqu'à la température de T3=-165°C ce qui permet d'évacuer le GNL en partie basse en FF, puis de le dépressuriser en GG pour enfin le stocker liquide à la pression atmosphérique ambiante, c'est à dire à une pression absolue de 1 bar environ (soit environ 0.1 MPa). Tout au long de ce parcours du gaz naturel dans le circuit Sg dans les divers échangeurs, le gaz naturel se refroidit en cédant des calories aux fluides réfrigérants, lesquelles se réchauffent en

se vaporisant comme décrit ci-après et doivent subir de manière permanente des cycles thermodynamiques complets avec changement de phase pour pouvoir extraire de manière continue des calories au gaz naturel entrant en AA.

Ainsi, le parcours du gaz naturel est représenté sur la gauche du PFD, où ledit gaz circule du haut vers le bas dans le circuit Sg, la température étant décroissante du haut vers le bas, depuis une température T0 sensiblement ambiante en haut en AA, jusqu'à une température T3 d'environ -165°C en bas en FF ; la pression étant sensiblement P0 jusqu'au niveau FF de la sortie froide de l'échangeur cryogénique EC3.

Dans les figures 1 à 3, pour la clarté des explications les extrémités froides des échangeurs seront physiquement plutôt à une extrémité inférieure desdits échangeurs et vice versa les extrémités chaudes des échangeurs seront à leurs extrémités supérieures. De même, pour la clarté des explications, on a représenté les différentes phases des fluides réfrigérants comme suit :

- les phases liquides sont représentées en trait gras,
- les phases gazeuses sont représentées en pointillé,
- les phases diphasiques sont représentées en trait normal.

Sur la partie droite du PFD, on a représenté les cycles thermodynamiques des fluides réfrigérants des deux boucles comme décrit ci-après.

Les échangeurs cryogénique EC1, EC2 et EC3 sont constitués, de manière connue, d'au moins deux circuits de fluides juxtaposés mais ne communiquant pas entre eux au niveau desdits fluides, les fluides circulant dans lesdits circuits échangeant de la chaleur tout au long du parcours au sein dudit échangeur thermique. De nombreux types d'échangeurs thermiques ont été développés pour les diverses industries et dans le cadre des échangeurs cryogéniques deux types prédominent de manière connue : - d'une part les échangeurs bobinés, d'autre part

les échangeurs à plaque aluminium dites « brasées » appelés en anglais « cold box ».

La description de l'invention en référence aux figures 1A, 2 et 3, fait référence à des échangeurs EC1, EC2 et EC3 de type bobiné. Des échangeurs bobinés de ce type sont connus de l'homme de l'Art et commercialisés par les sociétés LINDE (Allemagne) ou FIVE Cryogénie (France). Ces échangeurs comprennent une enceinte 6 étanche et calorifugée, et le gaz naturel ainsi que les fluides réfrigérants y circulent dans des conduites en forme de serpentins Sg, S1 et S2, lesdits serpentins étant disposés dans ladite enceinte étanche et calorifugée vis-à-vis de l'extérieur de telle manière que les échanges de calories se fassent entre le volume interne de l'enceinte et les différents serpentins, avec un minimum de pertes thermiques vers l'extérieur, c'est-à-dire le milieu ambiant. En outre, des gaz et liquides peuvent y être respectivement détendus ou vaporisés directement dans l'enceinte et non pas dans un conduit au sein de l'enceinte comme décrit ci-après.

Sur la figure 1B on a représenté une variante de la figure 1A dans laquelle les échangeurs cryogéniques sont du type échangeurs à plaques : tous les circuits sont en contact thermique les uns avec les autres pour échanger des calories, mais l'enceinte étanche et calorifugée 6 vise simplement à isoler thermiquement les différents conduits qu'elle renferme, aucun fluide ne pouvant y être introduit directement, tous les fluides qui y circulent ne peuvent donc pas se mélanger. Des échangeurs de ce type à plaques dits « cold box » sont connus de l'homme de l'Art et commercialisés par la société CHART (USA).

Le procédé comporte une première boucle dite boucle primaire ou en anglais « PMR » (Primary Mixed Refrigerant) constituée comme suit. Un débit d1 d'un premier flux de premier fluide réfrigérant entre en AA1 à l'extrémité chaude AA du premier échangeur cryogénique EC1 à une température sensiblement égale à T0 et une pression P1, par exemple P1 étant de 1.5 à 10 MPa. Ledit premier fluide réfrigérant traverse à l'état liquide le premier échangeur EC1 dans une première conduite en forme de serpentin S1. Le premier flux de fluide réfrigérant sort de l'échangeur EC1 en BB aux alentours de T1 = -50°C avant d'être dirigé vers un

premier détendeur D1, constitué d'une vanne asservie, ladite vanne étant en communication en BB1 avec l'intérieur de l'enceinte 6 du premier échangeur EC1 du côté de l'extrémité froide de l'échangeur EC1. Du fait de sa détente à une pression P'1 inférieure à P1, notamment P'1 étant égale à 2 à 5 MPa, le liquide du premier fluide réfrigérant se vaporise en absorbant les calories du circuit Sg de gaz naturel ainsi que les calories des autres circuits de la première boucle au sein du premier échangeur décrit ci-après ainsi que, le cas échéant, les calories des conduits faisant partie de la deuxième boucle décrite ci-après, voire d'autre boucles dans le cas de circuits à boucles multiples, appelé « MMR ».

Le premier fluide réfrigérant à l'état gazeux en BB1 traverse à contre-courant l'enceinte et ressort de l'enceinte du premier échangeur EC1 en AA3 du côté chaud AA toujours à l'état gazeux et sensiblement à une température T0. Ledit premier flux de fluide réfrigérant à l'état gazeux va ensuite être reliquéfié et acheminé vers l'entrée chaude AA1 dudit premier échangeur EC1 pour constituer l'alimentation d'un dit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide à l'intérieure du conduit S1, circulant ainsi en circuit fermé.

Pour ce faire, le flux de premier fluide réfrigérant sortant à l'état gazeux de l'extrémité froide de l'enceinte du premier échangeur EC1 en AA3 est tout d'abord comprimé de P'1 à P''1, P''1 étant compris entre P'1 et P1, dans un premier compresseur C1, puis condensé partiellement dans un premier condenseur H0. Le mélange biphasique de premier fluide réfrigérant sortant du premier condenseur H0 subit une séparation de phase dans un premier réservoir séparateur R1. Une première phase liquide du premier fluide réfrigérant est extraite en partie basse du premier réservoir séparateur R1 et re-acheminée à un débit d1a et une pression sensiblement P1 par une pompe PP vers l'entrée d'un deuxième condenseur H1. Une phase gazeuse de premier fluide réfrigérant est extraite depuis le côté supérieur du réservoir séparateur R1 et comprimée à sensiblement la pression P1 et un débit d1b par un deuxième compresseur C1A, la température en sortie dudit compresseur étant de l'ordre de 80-90°C. Pour faciliter la condensation

de cette phase gazeuse d1b, celle-ci est mélangée à la phase liquide d1a avant d'introduire le mélange biphasique d1 obtenu dans le deuxième condenseur H1.

Dans ce mode de réalisation de la technique antérieure selon les figures 1A et 1B, la condensation de la phase gazeuse en sortie du deuxième condenseur H1 n'est pas totale et le fluide en sortant peut encore être diphasique. Les gaz qu'il contient provoquent la montée en pression du fluide réfrigérant. Mais les conduites étant conçues pour fonctionner à une pression maximale donnée, on insère en générale une soupape de sûreté tarée à une pression légèrement inférieure à la pression limite tolérable par les conduites, ladite soupape (non représentée) étant reliée à une torchère 5, dans laquelle on élimine par combustion les gaz rejetés, car les quantités sont faibles comparées à la masse de fluide réfrigérant de la boucle. Il en résulte un problème dans le fait que la portion de gaz envoyée à la torchère est plus riche en composés les plus légers du mélange de premier fluide réfrigérant, ce qui a pour conséquence de modifier la composition du mélange réfrigérant et ainsi de modifier la température minimale atteinte T1 lors de la vaporisation du fluide réfrigérant liquide par ledit premier détendeur D1 au sein de l'enceinte du premier échangeur EC1.

Dans cette boucle primaire, la composition du mélange réfrigérant est déterminée en général en composés alcanes en C1, C2, C3 et C4 décrite ci-après pour atteindre une température minimale T1 de l'ordre de -50°C. Mais, dès lors qu'une partie des composés les plus légers est éliminée, la composition du mélange change et la température minimale T1 devient alors -40 ou -45°C, voire -35°C. Il en résulte une baisse du rendement de la boucle primaire et donc une baisse du rendement global du procédé de liquéfaction.

Dans une variante améliorée des figures 1A et 1B, on introduit un réservoir accumulateur supplémentaire R'1 non représentée en aval du condenseur H1 dont la fonction est de recevoir une phase liquide, et le cas échéant une phase polyphasique de telle sorte que le gaz contenu dans la phase polyphasique se rassemble en partie haute dudit réservoir accumulateur et s'y trouve piégé, la phase liquide contenue dans R'1

étant prélevée en partie basse dudit réservoir accumulateur et étant acheminée vers EC1. Si la quantité de gaz dans R'1 augmente, la pression au sein de R'1 augmente et ledit gaz se condense et se mélange à la phase liquide avant d'être évacué vers l'échangeur cryogénique EC1. Lorsque la pression du gaz atteint une valeur limite une soupape s'ouvre et libère une partie du gaz vers la torchère 5 de manière à ce que la pression redescend alors à un niveau acceptable, évitant au gaz d'atteindre le point bas d'évacuation de la phase liquide dudit réservoir accumulateur, et donc de créer avec la phase liquide, un mélange diphasique dont la détente au niveau du détendeur D1 présente un problème redouté. Mais, dans tous les cas, la phase liquide en sortie de R'1 et recyclé dans S1 présente une composition avec une teneur en composés les plus légers soit égale, soit diminuée.

Les adaptations de la boucle primaire selon la présente invention tels que décrits en liaison avec les figures 2 et 3 ci-après permettent de surmonter le problème d'instabilité, de dégradation du rendement global du procédé de liquéfaction décrit ci-dessus qui en résulte.

Les modes de réalisation des figures 1 à 3 comprennent une deuxième boucle de deuxième fluide réfrigérant, coopérant avec les trois échangeurs cryogéniques EC1, EC2 et EC3 comme décrit ci-après.

En sortie froide BB de l'échangeur cryogénique EC1, le gaz naturel à température T1 est partiellement liquéfié et passe alors dans le deuxième échangeur cryogénique EC2, d'où il sort à la température T2 partiellement liquéfié avant d'être refroidi entièrement liquéfié à une température T3 dans le troisième échangeur cryogénique EC3. Un deuxième mélange de fluide réfrigérant circule dans une deuxième boucle en circuit fermé avec changement de phase comme suit. Le deuxième fluide réfrigérant arrive à l'extrémité chaude CC de EC2 en CC1 à l'état liquide à la température T1 et à la pression P2, P2 étant par exemple de 2.5 à 10 MPa. Le deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide traverse le deuxième échangeur EC2 dans un conduit en forme de serpentin S2 à co-courant du fluide de gaz naturel dans Sg. Ce premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide de débit d2a est ensuite détendu dans un détendeur D2 au niveau de l'extrémité froide

DD du deuxième échangeur EC2 en DD1 à une pression P'2 inférieure à P2 et à une température T2 inférieure à T1 à l'intérieur de l'enceinte du deuxième échangeur EC2. Puis, ce premier flux de deuxième fluide réfrigérant ressort de la deuxième enceinte à un orifice CC3 au niveau de l'extrémité chaude du deuxième échangeur EC2, à l'état gazeux et sensiblement à une pression P'2 et une température T1. Ce flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux est ensuite comprimé de P'2 à P2 dans un compresseur C2 dont il sort à une température d'environ 80-100°C, avant d'être refroidi dans un échangeur refroidisseur de température H2 dont il ressort toujours à l'état gazeux à une température sensiblement égale à T0 (20-30°C). Ce gaz de deuxième fluide réfrigérant est alors envoyé en AA4 vers le côté chaud AA du premier échangeur cryogénique EC1 pour se refroidir en le traversant dans une conduite en forme de serpentin S1B, d'où il ressort en BB3 à l'extrémité froide BB du premier échangeur EC1 à une température d'environ T1 = -50°C dans un état polyphasique, c'est-à-dire partiellement liquéfié, à un débit d2 pour être séparé dans un deuxième réservoir séparateur R2, dans lequel il se sépare dans une phase liquide et une phase vapeur. La phase liquide est envoyée à un débit d2a en CC3 vers le côté chaud CC du deuxième échangeur EC2 pour constituer l'alimentation dudit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide au sein du serpentin S2 pour effectuer un nouveau cycle comme décrit ci-dessus. Le débit d2b de phase vapeur sortant du deuxième réservoir séparateur R2 est également dirigé vers le côté chaud CC du deuxième échangeur EC2 à sensiblement T1 et sensiblement P2 pour alimenter en CC2 un autre conduit en forme de serpentin S2A au sein du deuxième échangeur EC2. Le flux gazeux d2b de deuxième fluide réfrigérant ressort en DD3 à l'état vapeur à une pression sensiblement P2 et une température d'environ T2 = -120°C pour être dirigé vers le côté chaud EE du troisième échangeur cryogénique EC3, toujours à environ T2 = -120°C au sein duquel il se refroidi dans un conduit en forme de serpentin S3. Le fluide réfrigérant ressort du conduit S3 en FF toujours à l'état gazeux à la pression sensiblement P2 et une température d'environ T3 = -165°C avant d'être détendu à P'2 inférieur à P2 dans un détendeur D3 directement dans l'enceinte EC3 au niveau

d'une extrémité froide en FF1 pour en ressortir à son extrémité chaude en EE1 à environ une pression P2 et une température T2 = -120°C et être redirigé vers la deuxième enceinte EC2 à son extrémité froide en DD2. Ce deuxième flux d2b de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux se trouve alors en mélange avec le premier flux d2a de deuxième fluide réfrigérant vaporisé à l'état gazeux lors de la détente dans le détendeur D2 en DD1, le mélange des deux gaz sortant à un débit d2 = d2a + d2b en CC3 du deuxième échangeur EC2 pour effectuer un nouveau cycle à travers le compresseur C2 et le refroidisseur E2 comme décrit ci-dessus.

Sur la figure 1B, les échangeurs cryogéniques sont des échangeurs à plaques tels que décrits ci-dessus et les gaz des fluides vaporisés par les détendeurs D1, D2 et D3 sont canalisés dans des conduits en forme de serpentin S1C, S2B et S2C au sein des respectivement premier échangeur EC1, deuxième échangeur EC2, troisième échangeur EC3 pour ressortir aux extrémités chaudes du premier échangeur EC1 en AA3 et respectivement du deuxième échangeur EC2 en CC3.

Sur la figure 1B, les deuxième et troisième échangeurs EC2 et EC3 ainsi que lesdites conduites S2A et S3 sont en continuité depuis l'extrémité chaude CC du deuxième échangeur EC2 vers l'extrémité froide FF du troisième échangeur EC3. Le retour de la phase gazeuse depuis le détendeur D3 en FF1 à l'extrémité froide du troisième échangeur vers la sortie CC3 à l'extrémité chaude du deuxième échangeur EC2 se fait dans un conduit en forme de serpentin S2C. De même, le retour de la phase gazeuse depuis le détendeur D2 en DD1 à l'extrémité froide du deuxième échangeur en DD1 jusqu'en CC3 à l'extrémité chaude du deuxième échangeur se fait dans une conduite en forme de serpentin S2B.

Sur les figures 2 et 3, on a représenté deux variantes de réalisation du procédé selon l'invention. Les modifications par rapport au procédé de la technique antérieur des figues 1A et 1B se situent au niveau de la première boucle du premier fluide réfrigérant.

Sur la figure 2, la phase liquide de premier fluide réfrigérant à la pression P1 à un débit d1a en sortie du premier réservoir séparateur R1 est dédoublée en deux flux de débit d1c et d1d = d'1, seule la deuxième partie liquide de débit d'1 étant envoyée directement vers l'extrémité chaude AA du premier échangeur EC1 pour constituer l'alimentation de premier flux de premier fluide réfrigérant liquide dans le conduit S1. Une partie de débit d1c représentant un rapport de débit massique de 2-5% par rapport au débit initial d1a est envoyé dans un désurchauffeur DS, la phase gazeuse d1b en sortie du deuxième compresseur C1A rejoignant également l'entrée du désurchauffeur DS dont le fonctionnement sera explicité ci-après. La fraction de liquide de débit d1c envoyée vers le désurchauffeur DS est ajustée grâce à l'action conjuguée de la vanne asservie V1 et du premier détendeur D1 décrit ci-après. Cette fraction d1c représente 2-10%, de préférence 3-5%, du débit d1a de la pompe PP.

Sur la figure 2A, on a représenté en vue de côté et en arraché le désurchauffeur DS qui a pour fonction de refroidir la phase gazeuse d1b avant son entrée dans le condenseur H1. Le désurchauffeur DS est constitué de façon connue d'une conduite d'entrée de gaz 1 reliée à une rampe interne 3 en forme de tube perforé présentant une pluralité d'orifices 4 de faible section répartis le longs et sur la périphérie de ladite rampe. Une conduite d'amené de liquide 2 en provenance de la pompe PP dont le débit d1c est contrôlé par la vanne asservie V1 permet d'alimenter la rampe 3 en liquide de manière à créer un brouillard de gouttelettes liquides fines sortant des orifices 4 du fait de la pression de pulvérisation du liquide à travers ladite rampe 3. Les fines gouttelettes de liquide présentent alors une grande surface spécifique d'échange avec la phase gazeuse arrivant par la conduite d'amenée 1. Et, la chaleur latente d'évaporation de la phase liquide a pour effet de refroidir la phase gazeuse entrante. Ladite phase gazeuse présente en effet une température à l'entrée du désurchauffeur DS d'environ 80-90°C, et, sa température en sortie du désurchauffeur n'est plus que de 55-65°C du fait des calories absorbées par la vaporisation du fluide liquide d1c. La quantité de liquide d1c injectée dans le désurchauffeur DS est ajustée avec précision de manière à ce que l'intégralité du flux

sortant du désurchauffeur DS soit à l'état gazeux et présente donc une composition homogène gazeuse.

Un désurchauffeur DS de ce type est commercialisé par la Société FISHER-EMERSON (France).

Sur la figure 2, le premier fluide réfrigérant sortant du désurchauffeur DS est ainsi intégralement à l'état gazeux à une température d'environ +55-65° avant d'être entièrement condensé dans un dit deuxième condenseur H1 qui est ici un condenseur total. En sortie du deuxième condenseur H1, le premier fluide réfrigérant est intégralement à l'état liquide et représente un débit d1' acheminé à la température T0 et à la pression sensiblement P1 vers l'entrée chaude AA2 du premier échangeur EC1 qu'il traverse au sein d'un conduit en forme de serpentin S1A à co-courant des fluides traversant les conduites en forme de serpentin Sg et S1 et S1B avant d'être dirigé vers un deuxième détendeur D1A constitué également d'une vanne asservie, le deuxième détendeur D1A étant en communication avec l'intérieur de l'échangeur EC1 au niveau de son extrémité froide en BB2. A ce niveau, le deuxième flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide se vaporise en absorbant les calories du conduit Sg de gaz naturel ainsi que les calories du flux du conduit S1, du conduit S1A et du conduit S1B.

Sur la figure 2, le premier flux de débit d1' et le deuxième flux de débit d1'' de premier fluide réfrigérant vaporisés en BB1 et BB2 par le premier détendeur D1 et respectivement le deuxième détendeur D1A à l'extrémité froide et à l'intérieur de la première enceinte EC1 se mélangent à l'intérieur de ladite enceinte de l'échangeur EC1. Ce mélange ressort à son extrémité chaude en AA3 pour former le flux de débit d1 = d1' + d1'' de gaz de premier fluide réfrigérant ensuite comprimé dans le premier compresseur C1 de P'1 à P''1 pour subir un nouveau cycle comme décrit précédemment.

Ce mode de réalisation de la figure 2 est avantageux, car lors du pré-refroidissement du premier flux gazeux dans le désurchauffeur DS, le gaz léger en provenance du réservoir R1 est alors mélangé avec une vapeur issue d'une phase liquide lourde d1c, et le mélange résultant est

alors plus lourd que la seule phase gazeuse entrante, ce qui facilite alors sa condensation dans H1 et en permet une condensation totale et plus efficace.

Le fait que les deux premier flux de débit d1' et deuxième flux de débit d1'' de premier fluide réfrigérant à l'état liquide sortant respectivement du deuxième condenseur H1 et de la pompe PP comme décrit ci-dessus ne soient pas mélangés avant de traverser le premier échangeur EC1 mais traversent le premier échangeur EC1 dans deux conduits séparés S1 et S1A est également avantageux, car les deux flux présentent des compositions de premier fluide réfrigérant différentes, et de plus ils sont à des pressions différentes. Donc, leur mélange conduirait à des instabilités plus problématiques que celles de l'art antérieur. Il serait cependant possible de contrôler le mélange desdits deux flux liquides à l'aide de systèmes de régulation appropriés, par exemple des vannes de contrôle, mais ceci irait à l'encontre de la simplicité et de la fiabilité recherchée dans ce type d'installation.

Sur la figure 3, on a représenté une variante préférée de réalisation de l'invention, dans laquelle le deuxième condenseur H1 n'est pas un condenseur total, une partie seulement du flux gazeux sortant du désurchauffeur DS est condensée dans le deuxième condenseur H1. Le fluide biphasique sortant à un débit d1e du deuxième condenseur H1 subit une séparation de phase dans un deuxième réservoir séparateur R1A au sein duquel une deuxième phase liquide et une deuxième phase gazeuse de premier fluide réfrigérant sont séparées.

Sur la figure 3, la deuxième phase liquide de fluide réfrigérant en sortie basse de R1A est acheminée vers le conduit S1 et représente un débit d1f. Le débit d1a en sortie de pompe PP est séparé en deux débits, respectivement d1c vers le désurchauffeur DS, débit ajusté par la première vanne de contrôle V1, le reliquat d1d étant ajusté par une deuxième vanne V1A de contrôle, les deux dites vannes étant contrôlées en combinaison étroite l'une avec l'autre ; ledit reliquat d1d étant ensuite mélangé avec le débit liquide d1f, puis acheminé vers le conduit S1 à l'extrémité chaude de l'échangeur cryogénique EC1, sensiblement à la pression P1.

Sur la figure 3, la deuxième phase gazeuse du premier fluide réfrigérant en sortie haute du deuxième réservoir séparateur R1A représente un débit d1''. Elle est acheminée à la température T0 et à la pression sensiblement P1 vers l'entrée AA2 de l'extrémité chaude AA du premier échangeur EC1 pour le traverser dans le conduit S1A à l'état gazeux et non pas à l'état liquide comme dans le mode de réalisation de la figure 2. A l'extrémité froide du conduit S1A, le deuxième détendeur D1A détend à une pression P'1 inférieure à P1 en BB2 le gaz de la deuxième phase gazeuse du premier fluide réfrigérant. Cette détente du gaz en BB2 de S1A par D1A absorbe alors les calories de Sg, S1, S1A et S1B en favorisant leur refroidissement, et, le cas échéant, absorbe les calories d'autres boucles dans le cas de circuits à boucles multiples, appelées MMR comme mentionné précédemment. Le fluide à l'état gazeux sortant en BB2 du deuxième détendeur D1A se mélange à la première partie de premier fluide réfrigérant vaporisé en BB1 pour ressortir en AA3 à un débit d1 et être comprimé de P'1 à P''1, P''1 étant compris entre P'1 et P1 par le premier compresseur C1. Puis, il sort du premier compresseur C1 sous forme de mélange biphasique, dont la phase liquide de débit d1a est comprimée à sensiblement P1 par la pompe PP et la phase gazeuse de débit d1b est comprimée à P1 par le deuxième compresseur C1A, puis refroidie au sein du désurchauffeur DS, puis condensée partiellement ou totalement au sein du condenseur H1, et enfin à nouveau séparée au sein du séparateur R1A, comme décrit ci-dessus, pour un nouveau cycle comme décrit précédemment.

Dans la variante de réalisation de la figure 3, le détendeur D1 est un détendeur liquide vers gaz, tandis que le détendeur D1A est un détendeur gaz vers gaz.

Le mode de réalisation de la figure 3 est préféré car la vanne de contrôle V1A associée à la vanne de contrôle V1 et au détendeur D1 autorise le mélange des deux phases liquides et leur vaporisation dans de bonnes conditions de stabilité d'une part, et d'autre part, il ne nécessite pas la mise en œuvre d'un condenseur total, ce qui augmente la stabilité globale du processus et donc sa fiabilité industrielle. Dans cette variante préférée, le flux liquide d1' représente environ 95% du

flux massique de premier gaz réfrigérant, le flux gazeux d1'' représentant le complément, c'est-à-dire environ 5%.

Les condenseurs H0 et H1 et refroidisseur H2 peuvent être constitués d'échangeurs à eau, par exemple un échangeur à eau de mer ou de rivière, ou à air froid du type aéro-réfrigérant connu de l'homme de l'art.

Les compositions des premier et second fluides réfrigérants sont liées aux technologies retenues en termes d'échangeurs cryogéniques et de condenseurs et chaque constructeur ou fournisseur préconise ses compositions propres. Mais, ces compositions sont aussi étroitement liées à la composition du gaz naturel à liquéfier, et les composants des fluides réfrigérants sont avantageusement ajustés au cours du temps dès lors que des caractéristiques du gaz naturel changent de manière significative.

A titre d'exemple, le premier fluide réfrigérant opérant en boucle dans l'échangeur EC1, donc de la température ordinaire T0 (20-30°C), jusqu'à une température minimale T1 de -50°C environ, est constitué du mélange suivant :

- C1 (méthane) = ~ 2.5%
- C2 (éthane/éthylène) = ~ 60%
- C3 (propane) = ~ 15%
- C4 (butane) = ~ 20%
- C5 (pentane) = ~ 2.5%

De même, le second fluide réfrigérant opérant en boucle dans les échangeurs EC1, EC2 et EC31, donc de T1 = -50°C environ, jusqu'à une température minimale de T3 = -165°C environ, est constitué du mélange suivant :

- N2 (azote) = ~ 5%
- C1 (méthane) = ~ 45%
- C2 (éthane/éthylène) = ~ 37%
- C3 (propane) = ~ 13%

Les puissances mécaniques mises en jeu pour une production annuelle de 2.5 MT/an dans l'ensemble de l'installation sont de l'ordre de 85MW :

- 50MW étant injectés au niveau du, compresseur C2, en général au moyen d'une première turbine à gaz non représentée
- 35MW étant injectés au niveau des compresseurs C1 et C1A, en général au moyen d'une seconde turbine à gaz, C1 absorbant sensiblement les 2/3 de cette puissance et C1A le tiers restant.

Ces puissances mises en jeu dans les procédés selon l'invention sont du même ordre et avec sensiblement la même répartition que celles de l'art antérieur. En revanche, lesdits procédés selon l'invention sont beaucoup plus stables et fiables et constituent de ce fait un optimum technique industriel.

L'invention a été décrite ci-dessus dans le cadre de procédés à deux boucles, une première boucle dite « chaude » correspondant aux circuits S1-S1A-S1B opérant au niveau de l'échangeur EC1 (-50°C), et une seconde boucle dite « froide » correspondant aux circuits S2-S2A-S3 opérant au niveau des échangeurs EC2 (-50°C => -120°C) & EC3 (-120°C => -165°C). Mais, il existe des procédés similaires dans lesquels la boucle « chaude » est identique, mais la boucle « froide » est remplacée par deux boucles indépendantes comportant chacune un fluide réfrigérant propre, en général une deuxième boucle opérant au niveau de l'échangeur EC2, c'est-à-dire entre -50°C et -120°C, la troisième boucle opérant au niveau de l'échangeur EC3, c'est-à-dire entre -120°C et -165°C. Dans tous ces procédés, et quelque soit le type d'échangeur cryogénique, la boucle dite « chaude » correspondant à l'échangeur EC1 reste sensiblement la même que celle décrite en référence à la figure 1A. Ainsi, l'invention s'applique à la quasi-totalité des procédés de liquéfaction de gaz naturel à boucles indépendantes multiples et à changement de phase.

REVENDICATIONS

1. Procédé de liquéfaction d'un gaz naturel comprenant majoritairement du méthane, de préférence, au moins 85% de méthane, les autres composants comprenant essentiellement de l'azote et des alcanes en C-2 à C-4, dans lequel on liquéfie ledit gaz naturel à liquéfier par circulation d'un flux (Sg) dudit gaz naturel à une pression P0 supérieure ou égale à la pression atmosphérique (Patm), de préférence P0 étant supérieure à la pression atmosphérique, dans au moins 1 échangeur de chaleur cryogénique (EC1) par circulation en contact indirect avec au moins un premier flux (S1) de premier fluide réfrigérant comprenant un premier mélange de composés circulant dans au moins une première boucle en circuit fermé avec changement de phase, ledit premier flux de premier fluide réfrigérant entrant dans ledit premier échangeur à une première entrée (AA1) d'une extrémité dénommée « extrémité chaude » (AA) à une température sensiblement égale à la température T0 d'entrée du gaz naturel dans ledit premier échangeur (EC1) et à une pression P1 supérieure à P0, le traversant à co-courant dudit flux de gaz naturel (Sg) et en sortant à une extrémité dénommée « extrémité froide » (BB) à l'état liquide, ledit premier flux de premier fluide réfrigérant (S1) à l'état liquide étant détendu par un premier détendeur (D1) au niveau de l'extrémité froide (BB) dudit premier échangeur (EC1) pour se retrouver à l'état gazeux à une pression P'1 inférieure à P1 et à une température T1 inférieure à T0 à l'intérieur dudit premier échangeur du côté (BB1) de son extrémité froide, puis ~~en~~ ressortant du premier échangeur (EC1) à un orifice de sortie (AA3) de son extrémité chaude (AA) à l'état gazeux et sensiblement à une température T0, ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux étant ensuite au moins partiellement reliquéfié et acheminé vers la première entrée (AA1) de l'extrémité chaude dudit premier échangeur pour constituer l'alimentation en dit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide (S1) circulant ainsi en circuit fermé, la liquéfaction dudit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux comprenant une première compression dans un premier compresseur (C1) puis une première condensation partielle dans un premier condenseur (H0) et une séparation de phase dans un premier

réservoir séparateur (R1) séparant une première phase liquide de premier fluide réfrigérant et une première phase gazeuse de premier fluide réfrigérant, ladite première phase liquide (d1a) de premier fluide réfrigérant en sortie basse dudit premier séparateur (R1) étant acheminée par une pompe (PP) à sensiblement la pression P1, au moins en partie vers ladite première entrée (AA1) de l'extrémité chaude (AA) dudit premier échangeur pour constituer ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide, ladite première phase gazeuse (d1b) dudit premier fluide réfrigérant en sortie haute dudit premier séparateur (R1) étant comprimée à sensiblement la pression P1 par un deuxième compresseur (C1A) puis condensée au moins partiellement dans un deuxième condenseur (H1), de préférence après mélange avec au moins une partie de ladite première phase liquide (d1a) de premier fluide réfrigérant,

caractérisé en ce que ladite première phase gazeuse (d1b) de dit premier fluide réfrigérant en sortie dudit deuxième compresseur (C1A) est refroidie dans un désurchauffeur (DS) par contact avec une partie (d1c) de ladite première phase liquide (d1a) de premier fluide réfrigérant en sortie dudit premier séparateur, ladite partie (d1c) de première phase liquide de premier fluide réfrigérant étant micronisée et vaporisée, de préférence entièrement vaporisée, au sein dudit désurchauffeur, avant ladite condensation dans ledit deuxième condenseur (H1).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite partie de première phase liquide de premier fluide réfrigérant (d1c) représente moins de 10% en débit massique, de préférence encore de 2 à 5% du débit de ladite première phase liquide totale de premier fluide réfrigérant (d1a), de manière à ce qu'elle soit entièrement vaporisée au sein dudit désurchauffeur (DS) et que le premier fluide réfrigérant en sortie dudit désurchauffeur soit entièrement en phase gazeuse (d1e) avant sa condensation au moins partielle dans ledit deuxième condenseur, le débit (d1c) de ladite partie de première phase liquide de premier fluide réfrigérant étant ajusté à l'aide d'au moins une vanne de contrôle (V1, V1A).

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ladite phase gazeuse (d1e) de premier fluide réfrigérant refroidie en sortie dudit désurchauffeur est partiellement condensée dans ledit deuxième condenseur (H1), puis une deuxième séparation de phase est réalisée dans une deuxième réservoir séparateur (R1A) séparant une deuxième phase liquide de premier fluide réfrigérant (d1f) et une deuxième phase gazeuse (d1'') de premier fluide réfrigérant, ladite deuxième phase liquide (d1f) de premier fluide réfrigérant en sortie basse (d1f) dudit deuxième réservoir séparateur (R1A) étant mélangée avec le reliquat (d1d) de ladite première phase liquide (d1a) de premier fluide réfrigérant et acheminée vers ladite première entrée (AA1) de l'extrémité chaude (AA) dudit premier échangeur (EC1) pour former ledit premier flux (d1') de premier fluide réfrigérant à l'état liquide sensiblement à la température T0 et sensiblement à la pression P1, et, ladite deuxième phase gazeuse en sortie haute (d2b) du deuxième réservoir séparateur (R1A) étant acheminée à ladite pression P1 et dite température sensiblement T0 vers une deuxième entrée (AA2) à l'extrémité chaude (AA) dudit premier échangeur (EC1) pour former un deuxième flux de premier fluide réfrigérant (S1A) traversant à l'état gazeux ledit premier échangeur à co-courant dudit flux de gaz naturel (Sg) et en sortant (BB) à l'état gazeux et étant détendu par un deuxième détendeur (D1A) au niveau de l'extrémité froide (BB~~2~~) dudit premier échangeur (EC1) pour se retrouver à l'état gazeux à une pression P'1 inférieure à P1 et à une température T1 inférieure à T0 à l'intérieur dudit premier échangeur du côté (BB2) de son extrémité froide, puis en ressortant audit orifice de sortie (AA3) à son extrémité chaude à l'état gazeux et sensiblement à une température T0 pour être ensuite acheminée vers ledit premier compresseur (C1) avec ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux en sortie de l'extrémité chaude (AA) dudit premier échangeur (EC1).

4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ladite phase gazeuse (d1e) de premier fluide réfrigérant refroidie dans ledit désurchauffeur (DS) est totalement condensée dans ledit deuxième condenseur (H1), puis est acheminée à l'état liquide sensiblement à ladite pression P1 et dite température T0 vers l'extrémité chaude (AA)

dudit premier échangeur (EC1) pour traverser ledit premier échangeur à co-courant dudit flux de gaz naturel (Sg) en mélange avec ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état liquide ou de préférence pour former un deuxième flux (S1A) de premier fluide réfrigérant à l'état liquide traversant ledit premier échangeur à co-courant dudit flux de gaz naturel (Sg) et en sortant (BB) à l'état liquide et étant détendu par un deuxième détendeur (D1A) au niveau de l'extrémité froide (BB) dudit premier échangeur (EC1) pour se retrouver à l'état gazeux à une pression P'1 inférieure à P1 et à une température T1 inférieure à T0 à l'intérieur dudit premier échangeur du côté (BB2) de son extrémité froide, puis en ressortant à son orifice de sortie (AA3) de l'extrémité chaude (AA) à l'état gazeux et sensiblement à une température T0 pour être acheminée vers ledit premier compresseur (C1) avec ledit premier flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux en sortie de l'extrémité chaude (AA) dudit premier échangeur.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit gaz naturel sortant de l'extrémité froide dudit premier échangeur (EC1) à une température sensiblement égale à T1, est refroidi et au moins partiellement liquéfié dans au moins un deuxième échangeur cryogénique (EC2), dans lequel on liquéfie ledit gaz naturel à liquéfier par circulation du flux (Sg) dudit gaz naturel en contact indirect avec au moins un premier flux (S2) de deuxième fluide réfrigérant comprenant un deuxième mélange de composés circulant dans au moins une deuxième boucle en circuit fermé avec changement de phase, ledit deuxième flux de fluide réfrigérant entrant dans ledit deuxième échangeur (EC2) à une première entrée (CC1) de l'extrémité dénommée « extrémité chaude » (CC) dudit deuxième échangeur à une température sensiblement égale à T1 et à une pression P2, traversant ledit deuxième échangeur à co-courant dudit flux de gaz naturel (Sg) et en sortant (DD) à une température à l'état liquide à une extrémité dénommée « extrémité froide » (DD) dudit deuxième échangeur, ledit premier flux de deuxième fluide réfrigérant (S2) à l'état liquide étant détendu par un troisième détendeur (D2) au niveau de l'extrémité froide (DD1) dudit deuxième échangeur (EC2) pour se retrouver à l'état gazeux à une pression P'2 inférieure à P2 et à une température T2 inférieure à T1 à

l'intérieur dudit deuxième échangeur du côté (DD1) de son extrémité froide, puis ressortant à un orifice de sortie (CC3) à l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur (EC2) à l'état gazeux sensiblement à une température T1, ledit premier flux de deuxième fluide à l'état gazeux étant ensuite partiellement reliquéfié et acheminé vers l'entrée (CC1) à l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur pour constituer l'alimentation en dit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide (S2) circulant ainsi en circuit fermé, la liquéfaction dudit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux (S2) comprenant une compression à une pression P2 par un troisième compresseur (C2) puis un refroidissement à sensiblement T0 dans un échangeur de chaleur refroidisseur (H2), puis ledit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux étant acheminé vers une entrée (AA4) à l'extrémité chaude (AA) dudit premier échangeur (EC1) qu'il traverse (S1B) pour en ressortir (BB3) à son extrémité froide (BB) à l'état partiellement liquéfié sensiblement à la température T1, puis subit une séparation de phase dans un troisième réservoir séparateur (R2) séparant une phase liquide de deuxième fluide réfrigérant et une phase gazeuse de deuxième fluide réfrigérant, la phase liquide (d2a) de deuxième fluide réfrigérant en sortie basse dudit troisième séparateur (R2) étant acheminée à sensiblement la température T1 et la pression P2, vers ladite première entrée (CC1) à l'extrémité chaude (CC) dudit deuxième échangeur pour former ledit premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide (S2), ladite phase gazeuse (d2b) de dit deuxième fluide réfrigérant en sortie haute dudit troisième séparateur (R2) étant envoyée vers une deuxième entrée (CC2) à l'extrémité chaude (CC) dudit deuxième échangeur (EC2) à sensiblement la température T1 et la pression P2 pour former un deuxième flux (S2A) de deuxième fluide réfrigérant traversant ledit deuxième échangeur (EC2) à l'état gazeux sortant (DD3) à l'extrémité froide dudit deuxième échangeur (EC2), avant de ressortir à un orifice de sortie (CC3) du côté de l'extrémité chaude (CC) dudit deuxième échangeur pour être acheminé vers ledit troisième compresseur (C2) avec ledit premier flux de deuxième fluide à l'état gazeux, de préférence en mélange avec celui-ci.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit

gaz naturel sortant de l'extrémité froide (DD) dudit deuxième échangeur (EC2) à une température sensiblement égale à T2 partiellement liquéfié, est refroidi et entièrement liquéfié à une température T3 inférieure à T2 dans au moins un troisième échangeur cryogénique (EC3), dans lequel ledit gaz naturel circule (Sg) en contact indirect à co-courant avec au moins un troisième flux de deuxième fluide réfrigérant (S3) alimenté par ledit deuxième flux (S2A) de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux sortant (DD3) de l'extrémité froide dudit deuxième échangeur (EC2) sensiblement à la température T2 et à la pression P2, ledit troisième flux de deuxième fluide réfrigérant (S3) traversant à l'état gazeux ledit troisième échangeur (EC3) à co-courant dudit flux de gaz naturel liquéfié (Sg) et en sortant (FF) sensiblement à l'état gazeux et étant détendu par un quatrième détendeur (D3) au niveau de l'extrémité froide (FF) dudit troisième échangeur (EC1) pour se retrouver (FF1) à l'état gazeux à une pression P2' inférieure à P2 et à une température T3 inférieure à T2 à l'intérieur dudit troisième échangeur du côté (FF1) de son extrémité froide, puis en ressortant à un orifice (EE1) à son extrémité chaude (EE) à l'état gazeux et sensiblement à une température T2 pour être ensuite acheminée vers un orifice (DD2) à l'extrémité froide (DD) dudit deuxième échangeur (EC2) pour en ressortir à un orifice (CC3) à l'extrémité chaude (CC) dudit deuxième échangeur (EC2) pour être acheminé vers ledit troisième compresseur (C2) avec ledit premier flux de deuxième fluide à l'état gazeux, de préférence en mélange avec celui-ci.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lesdits détendeurs (D1, D1A, D2, D3) comprennent des vannes dont le pourcentage d'ouverture est apte à être contrôlé (R) en temps réel.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les composés du gaz naturel et des fluides réfrigérants sont choisis parmi le méthane, azote, éthane, éthylène, propane, butane, et pentane.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la composition du gaz naturel à liquéfier est comprise dans les fourchettes suivantes pour un total de 100% des composés suivants :

- Méthane de 80 à 100%,
- azote de 0 à 20 %,
- éthane de 0 à 20 %,
- propane de 0 à 20 %, et
- butane de 0 à 20 %.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la composition des fluides réfrigérants est comprise dans les fourchettes suivantes pour un total de 100% des composés suivants :

- Méthane de 2 à 50%,
- azote de 0 à 10 %,
- éthane et/ou éthylène de 20 à 75 %,
- propane de 5 à 20 %, et
- butane de 0 à 30 %, et
- pentane de 0 à 10%.

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les températures ont les valeurs suivantes :

- T0 est sont de 10 à 60°C, et
- T1 est de -30 à -70°C, et
- T2 est de -100 à - 140°C, et
- T3 est de -160 à -170°C.

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que les pressions ont les valeurs :

- P0 est de 0.5 à 10 MPa (sensiblement 5 à 100 bar), et
- P1 est de 1.5 à 10 MPa (sensiblement 15 à 100 bar), et
- P2 est de 2.5 à 10 MPa (sensiblement 25 à 100 bar).

13. Installation embarquée sur un support flottant pour mettre en œuvre un procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisée en ce qu'elle comprend :

• au moins un dit premier échangeur (EC1) comprenant au moins :

- un premier conduit de circulation (S1) traversant ledit premier échangeur (EC1) apte à faire circuler un premier flux (S1)

de premier fluide réfrigérant à l'état liquide

- un deuxième conduit (S1A) de circulation traversant ledit premier échangeur (EC1) apte à faire circuler un dit deuxième flux de premier fluide réfrigérant à l'état gazeux ou liquide, et
- un troisième conduit (Sg) traversant ledit premier échangeur (EC1) apte à faire circuler ledit gaz naturel à liquéfier, et

• un premier détendeur (D1) entre la sortie froide dudit premier conduit (S1) et une première entrée à l'extrémité froide (BB1) de l'enceinte dudit premier échangeur, et

• un deuxième détendeur (D1A) entre la sortie froide dudit deuxième conduit (S1A) et une deuxième entrée à l'extrémité froide (BB2) de l'enceinte dudit premier échangeur, et

• un premier compresseur (C1) avec une conduite de liaison entre une sortie (AA3) à l'extrémité chaude de l'enceinte dudit premier échangeur (EC1) et l'entrée dudit premier compresseur (C1), et

• un premier condenseur (H0) avec une conduite de liaison entre la sortie dudit premier compresseur (C1) et l'entrée dudit premier condenseur, et

• un premier réservoir séparateur (R1) avec une conduite de liaison entre la sortie dudit premier condenseur et ledit premier réservoir séparateur, et

• un deuxième compresseur (C1A) avec une conduite de liaison entre une sortie supérieure dudit premier réservoir séparateur et l'entrée dudit deuxième compresseur, et

• un désurchauffeur (DS) avec une conduite de liaison entre la sortie dudit deuxième compresseur et une entrée de gaz (1) dans ledit désurchauffeur, et

• un deuxième condenseur (H1) avec une conduite de liaison entre la sortie dudit désurchauffeur et ledit deuxième condenseur, et

• une pompe (PP) avec une conduite de liaison entre la sortie inférieure dudit premier réservoir séparateur (R1) et ladite pompe, et une conduite de liaison équipée d'une première vanne (V1) entre la

sortie de ladite pompe (PP) et une entrée de liquide (2) dans ledit surchauffeur (DS), et

- une conduite de liaison entre la sortie de ladite pompe (PP) et l'entrée dudit premier conduit de premier fluide réfrigérant (S1), et
- une conduite de liaison entre la sortie dudit deuxième condenseur (H1) et l'entrée dudit deuxième conduit de premier fluide réfrigérant (S1A).

14. Installation selon la revendication 13, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre :

- un deuxième réservoir séparateur (R1A) avec une conduite de liaison entre la sortie dudit deuxième condenseur (H1) et ledit deuxième réservoir séparateur (R1A), et
- une conduite de liaison entre la sortie supérieure dudit deuxième réservoir séparateur (R1A) et l'entrée dudit deuxième conduit de premier fluide réfrigérant (S1A), et
- une conduite de liaison entre la sortie inférieure dudit deuxième réservoir séparateur (R1A) et l'entrée dudit premier conduit de premier fluide réfrigérant (S1), et
- une conduite de liaison équipée d'une deuxième vanne (V1A) entre d'une part la sortie de ladite pompe (PP) en amont de ladite première vanne (V1), et d'autre part une jonction avec ladite conduite de liaison entre la sortie inférieure dudit deuxième réservoir séparateur (R1A) et l'entrée dudit premier conduit de premier fluide réfrigérant (S1).

15. Installation selon l'une des revendications 13 ou 14, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre :

- un quatrième conduit (S1B) traversant ledit premier échangeur (EC1) apte à faire circuler un dit deuxième flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux ou liquide, et
- un deuxième échangeur cryogénique (EC2) comprenant :
  - un premier conduit de circulation (S2) traversant ledit

deuxième échangeur (EC2) apte à faire circuler un premier flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état liquide

- un deuxième conduit (S2A) de circulation traversant ledit deuxième échangeur (EC2) apte à faire circuler un dit deuxième flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux en continuité, et

- un troisième conduit (Sg) traversant ledit deuxième échangeur (EC2) apte à faire circuler ledit gaz naturel à liquéfier en continuité dudit troisième conduit (Sg) traversant ledit premier échangeur (EC1), et

• un troisième échangeur (EC3) comprenant :

- un premier conduit de circulation (S3) traversant ledit troisième échangeur (EC3) apte à faire circuler undit deuxième flux de deuxième fluide réfrigérant à l'état gazeux en continuité dudit deuxième conduit (S2A) de circulation traversant ledit deuxième échangeur (EC2), et

- un deuxième conduit (Sg) traversant ledit troisième échangeur (EC3) apte à faire circuler ledit gaz naturel à liquéfier en continuité dudit troisième conduit (Sg) traversant ledit deuxième échangeur (EC2), et

• un troisième réservoir séparateur (R2), et

• une conduite de liaison entre l'extrémité froide dudit quatrième conduit (S1B) dudit premier échangeur et ledit troisième réservoir séparateur (R2), et

• une conduite de liaison entre une sortie inférieure dudit troisième réservoir séparateur et un orifice de sortie (CC3) à l'extrémité chaude dudit deuxième échangeur (EC2), et

• une conduite de liaison entre une sortie supérieure dudit troisième réservoir séparateur et l'extrémité chaude dudit deuxième conduit (S2A) dudit deuxième échangeur, et

• un troisième détendeur (D2) entre la sortie froide dudit premier conduit (S2) dudit deuxième échangeur (EC2) et une première entrée à l'extrémité froide (DD1) de l'enceinte dudit deuxième échangeur

(EC2), et

- un troisième compresseur (C2) avec une conduite de liaison entre une sortie (CC3) à l'extrémité chaude de l'enceinte dudit deuxième échangeur (EC2) et l'entrée dudit deuxième compresseur (C2), et
- un échangeur refroidisseur de gaz (H2) avec une conduite de liaison entre la sortie dudit deuxième compresseur (C2) et l'entrée dudit échangeur refroidisseur de gaz (H2), et
- une conduite de liaison entre la sortie dudit échangeur refroidisseur de gaz (H2) et l'entrée à l'extrémité chaude dudit quatrième conduit (S1B) dudit premier échangeur (EC1), et
- un quatrième détendeur (D3) entre la sortie froide dudit premier conduit (S3) dudit troisième échangeur (EC3) et une entrée à l'extrémité froide (FF1) de l'enceinte dudit troisième échangeur (EC3), et
- une conduite de liaison entre une sortie (EE1) à l'extrémité chaude de l'enceinte dudit troisième échangeur (EC3) et une deuxième entrée (DD2) à l'extrémité froide de l'enceinte dudit deuxième échangeur (EC2).