

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 496 754**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 80 27201**

(54) Procédé pour récupérer de l'énergie, conformément à un cycle de Rankine en série, par gazéification de gaz naturel liquéfié et utilisation du potentiel de froid.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). F 01 K 25/04; F 02 C 1/05 // F 28 D 5/00.

(22) Date de dépôt..... 22 décembre 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 25 du 25-6-1982.

(71) Déposant : Société dite : CHIYODA CHEMICAL ENGINEERING & CONSTRUCTION CO. LTD,  
résidant au Japon.

(72) Invention de : Osamu Matsumoto et Ichizo Aoki.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Rodhain,  
30, rue de la Boétie, 75008 Paris.

Procédé pour récupérer de l'énergie, conformément à un cycle de Rankine en série, par gazéification de gaz naturel liquéfié et utilisation du potentiel de froid.

La présente invention concerne un procédé pour 5 récupérer de l'énergie, efficace lors d'un échange d'énergie entre un gaz naturel liquéfié et un fluide provenant d'une source de température élevée, en raccordant en série deux types de cycles de Rankine dans le processus de regazéification du gaz naturel liquéfié.

10 Depuis que l'attention a été attirée sur le gaz naturel liquéfié comme étant un gaz non polluant, la quantité de ce gaz employée pour des usages domestiques a augmenté en passant à 10 millions de tonnes par an.

On sait que le gaz naturel liquéfié est stocké en 15 phase liquide et à une température de -160°C. Lorsqu'on utilise le gaz naturel liquéfié comme combustible pour produire de l'électricité ou bien comme gaz de ville, on augmente la pression du gaz naturel liquéfié à un niveau prédéterminé et on le regazifie à la température ambiante en utilisant une 20 certaine méthode. Lors de cette regazéification du gaz naturel liquéfié, il est nécessaire d'utiliser environ 20 millions de kilocalories pour gazifier 100 tonnes de gaz naturel liquéfié. De façon classique, on utilise habituellement une méthode permettant de regazifier le gaz naturel liquéfié 25 dans un vaporisateur du type à châssis ouvert et dont la source de chaleur est l'eau de mer. Dans ce cas, le potentiel de froid du gaz naturel liquéfié n'a pas été utilisé, mais a seulement été gaspillé et perdu dans la mer. C'est pourquoi, du point de vue des économies d'énergie, on a récemment développé des procédés permettant de récupérer de l'énergie efficace à partir du potentiel de froid du gaz naturel liquéfié. 30

35 Ces méthodes sont les suivantes :

1°) - une méthode permettant de récupérer de l'énergie et selon laquelle le gaz naturel liquéfié est gazifié dans un fluide formé d'un seul composant tel que du propane, en mettant en jeu le cycle de Rankine du fluide formé

d'un seul composant en utilisant l'eau de mer comme source de température chaude (demande de brevet japonais publiée sous le n° 126 003);

2°) - un procédé pour récupérer de l'énergie et  
5 selon lequel le gaz naturel liquéfié est gazéifiée dans un fluide formé par un mélange d'azote et d'hydrocarbures légers, mettant en oeuvre le cycle de Rankine du fluide mixte (demande de brevet japonais publiée sous le n° 17 401);

3°) - un procédé pour récupérer de l'énergie et  
10 selon lequel la pression du gaz naturel liquéfié est accrue à une valeur de pression élevée, le gaz naturel liquéfié est gazéifiée au moyen de l'eau de mer ou analogue et sa pression est réduite à une pression déterminée au moyen d'une turbine;

4°) - un procédé pour récupérer de l'énergie selon  
15 le cycle de Brayton et selon lequel l'azote est le fluide chaud et le gaz naturel liquéfié est la source de basse température et selon lequel une partie du gaz naturel liquéfié regazéifiée est brûlée pour fournir la source de température élevée; et

20 5°) - un procédé pour récupérer de l'énergie au moyen de la méthode utilisant une turbine à gaz ouverte et selon lequel l'air est le fluide chaud, le gaz naturel liquéfié est la source à basse température, et selon lequel une partie du gaz naturel liquéfié et regazéifiée est brûlée pour  
25 former la source à température élevée.

Lors de la mise en oeuvre des procédés 4 et 5, l'énergie obtenue à la sortie est importante du point de vue d'un générateur. Cependant, du point de vue des économies d'énergie, ces procédés ne sont pas toujours avantageux étant donné qu'une partie du gaz naturel liquéfié regazéifiée est utilisée en tant que combustible fournissant le gaz de combustion en vue de former la source à température élevée, ce qui entraîne une autoconsommation d'énergie. Au contraire, lors de la mise en oeuvre des procédés 1, 2 et 3, l'eau de mer ou analogue est utilisée en tant que source de température élevée et ainsi aucune autoconsommation d'énergie n'est nécessaire.

Par conséquent, du point de vue global des économies d'énergie, les procédés 1, 2 et 3 sont supérieurs aux procédés 4 et 5. Pour les procédés 1 à 3, il est important de réduire la perte d'énergie efficace accompagnant les échanges thermiques entre le gaz naturel liquéfié et le fluide chaud et entre l'eau de mer et le fluide chaud. Ceci est obtenu grâce à une réduction de la différence de température lors de chaque échange thermique. C'est pourquoi dans le cas du procédé 1, il faut utiliser des procédures à étages multiples pour réduire la différence de température lors de l'échange thermique entre le fluide chaud et le gaz naturel liquéfié, comme représenté sur la Fig. 1 annexée à la présente demande, étant donné que le fluide chaud est formé par un seul composant. Sur cette Fig. 1, la courbe  $C_1$  est la courbe de charge thermique du gaz naturel liquéfié, la courbe  $C_2$  est la courbe de charge thermique d'un fluide chaud mixte, la courbe  $C_3$  est la courbe de charge thermique dans un système à étages multiples ou en série, fournie par un fluide chaud à un composant, et la droite  $C_4$  est l'évolution relative à l'eau de mer. Ainsi, ce procédé est désavantageux en raison de son coût élevé. Dans le cas du procédé 3 à détente directe, le gaz naturel liquéfié doit échanger directement de la chaleur avec l'eau de mer, c'est-à-dire le fluide constituant la source de température élevée, de telle manière que la différence de température est importante et que les pertes de chaleur efficace sont élevées. Par conséquent, ce procédé n'est pas non plus rentable. D'autre part, dans le cas du procédé 2, la différence de température entre le gaz naturel liquéfié et le fluide chaud peut être conservée à une faible valeur, au moyen d'un ajustement de la composition du fluide mixte chaud. Par conséquent, on peut réduire la perte d'énergie efficace. La courbe T-Q correspondant au procédé 2 est représentée sur la Fig. 2, annexée à la présente demande. Une partie non récupérée de l'énergie efficace, représentée par la zone hachurée  $Z$ , existe lors de l'échange thermique entre l'eau de mer (droite d'évolution  $C_5$ ) servant de source de température élevée et le

fluide mixte chaud, dont le cycle est représenté par  $C_6$ , étant donné que l'on prend essentiellement en considération l'échange thermique entre le gaz naturel liquéfié (dont la courbe de charge thermique est  $C_7$ ) et le fluide mixte chaud.

5 La présente invention résout les problèmes mentionnés précédemment et fournit un procédé perfectionné, basé notamment sur le procédé 2. Un second cycle de Rankine d'un second fluide chaud est formé dans la partie hachurée, entre la source de température élevée et le fluide mixte chaud,  
10 comme cela est représenté sur la Fig. 2 (cycle  $C_8$ ). La chaleur est échangée entre le fluide mixte à pression élevée et le second fluide à basse pression, c'est-à-dire que les cycles de Rankine respectifs des fluides respectifs sont raccordés en série, de sorte que la perte d'énergie efficace est réduite  
15 et la récupération en énergie est accrue.

Dans le processus de raccordement en série, le gaz naturel liquéfié ainsi que le premier fluide mixte à haute pression sont chauffés par le premier fluide mixte à basse pression et sont en outre chauffés par le second fluide à  
20 basse pression, dans un échangeur de chaleur à fluides multiples.

La composition du fluide chaud du premier cycle de Rankine varie en fonction de la composition du gaz naturel liquéfié devant être gazéifiée, de sa température de gazéification, de sa pression et de la température de l'eau de mer servant de source extérieure de température élevée. On prend en considération le rendement global de manière à choisir la différence de température entre le gaz naturel liquéfié et le premier fluide chaud dans l'échangeur de chaleur, dans la  
25 plage de températures allant d'environ 3 à 10°C, pour l'ensemble du processus. La composition du fluide chaud du second cycle de Rankine est déterminée en fonction de considérations d'économies de manière à rendre maximum l'énergie produite par la turbine du second cycle de Rankine, en fonction de la  
30 composition du fluide chaud du premier cycle de Rankine déterminée conformément au fluide indiqué ci-dessus, à la pression de vapeur de ce fluide et à la température de la source extérieure de température élevée.

L'un des facteurs intervenant dans la sélection des composants constituant chaque fluide chaud tient au fait que les composants peuvent ou non être préparés et sont ou non aisément disponibles sur le site de l'usine.

5 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui va suivre à titre d'exemples non limitatifs et en regard des dessins annexés, sur lesquels :

- la Fig. 1 représente le diagramme température-charge thermique du gaz naturel liquéfié, qui est gazéifié en utilisant le cycle de Rankine du fluide chaud classique à un seul composant;

- la Fig. 2 est un diagramme température-charge thermique du gaz naturel liquéfié, qui est gazéifié en utilisant le cycle de Rankine d'un fluide chaud classique contenant des composants mélangés;

- la Fig. 3 représente un schéma du système selon la présente invention; et

- la Fig. 4 est un diagramme illustrant la dépendance température-enthalpie du fluide et du gaz naturel de la Fig. 3.

On va décrire en détail, en référence à la Fig. 3, un mode d'exécution de la présente invention, sans toutefois que cette dernière y soit limitée.

25 La Fig. 3 illustre un cas où le débit du gaz naturel regazéifié est de 100 tonnes/heure, la pression est de 8,5 kg/cm<sup>2</sup>G, la température est 10°C et la température de l'eau de mer, en tant que source de température élevée, est de 15°C.

30 Le gaz naturel liquéfié à la température de -160°C est mis sous pression et entraîné par une pompe 2 à partir d'un réservoir de stockage 1. Le gaz naturel liquéfié présent dans le circuit (a) d'un échangeur de chaleur 3 à fluides multiples est chauffé grâce à un échange thermique avec un premier fluide mixte chaud présent dans un circuit (c), et est gazéifié à une température de -20°C. En outre, le gaz naturel

liquéfié est chauffé dans un circuit (a') d'un échangeur de chaleur 4 à fluides multiples, par échange thermique avec un second fluide mixte chaud présent dans un circuit (d), et atteint une température de -6°C. Après que le gaz naturel liquéfié ait été chauffé par l'eau de mer dans un échangeur de chaleur 5, sa température est accrue à une valeur déterminée et le gaz naturel liquéfié est envoyé à l'endroit voulu. Un premier fluide, dans ce cas, se compose d'un mélange de 39,49% en moles de méthane, 37,59% en moles d'éthane, 16,23% en moles de propane et 6,69% en moles de butane.

Le premier fluide situé à une pression de 4,8 kg/cm<sup>2</sup>G, délivré par une première turbine, est envoyé au circuit (c) de l'échangeur de chaleur 3 à fluides multiples. Il est refroidi par échange thermique avec le gaz naturel liquéfié situé dans le circuit (a) et avec le premier fluide à haute pression situé dans un circuit (b). Ainsi le premier fluide est complètement condensé. Le premier fluide à basse pression est amené à une pression de 14 kg/cm<sup>2</sup>G au moyen d'une pompe 7 et constitue alors le premier fluide à haute pression.

En outre, comme on l'a vu lors de l'échauffement du gaz naturel liquéfié, ce dernier est réchauffé dans le circuit (b) de l'échangeur de chaleur 3 à fluides multiples, dans le circuit (b') de l'échangeur de chaleur 4 à fluides multiples et dans un échangeur de chaleur 8 par de l'eau de mer. et atteint une température de 10°C et est complètement gazéifié. Le premier fluide gazéifié à haute pression est introduit dans la première turbine 6 à une pression de 13,2 kg/cm<sup>2</sup>G et sa pression est abaissée à 4,8 kg/cm<sup>2</sup>. On récupère une énergie de l'ordre de 6.310 kW à partir du premier fluide gazéifié à haute pression, qui devient alors le premier fluide à basse pression. Ainsi se trouve achevé un premier cycle de Rankine.

D'autre part, un second fluide est formé de composants possédant un point d'ébullition supérieur à celui du premier fluide. Dans le mode de réalisation particulier de la présente invention, ici décrit, le second fluide est constitué par 5,28% en moles d'éthylène et 94,76% en moles de propane.

Le second fluide à basse pression, délivré par une seconde turbine, est refroidi et condensé par échange thermique entre le circuit (d) et le circuit (a') ainsi que le circuit (b'), dans l'échangeur de chaleur 4 à fluides multiples. Par conséquent

5 le fluide à basse pression est complètement liquéfié. Il est amené à une pression de 6,5 kg/cm<sup>2</sup>G au moyen d'une pompe 10 et devient le second fluide à haute pression, qui est ensuite chauffé et gazéifiée par de l'eau de mer dans un échangeur de chaleur 11. La pression du second fluide à haute pression, com-

10 plètement gazéifiée, est réduite de 5,7 kg/cm<sup>2</sup>G à 3,4 kg/cm<sup>2</sup>G au moyen d'une seconde turbine 9. On récupère une puissance de 480 kW lors de la détente de de fluide. Ainsi se trouve réalisé un second cycle de Rankine.

L'exemple indiqué ci-dessus de cycles de Rankine en

15 série est illustré dans le diagramme température-enthalpie de la Fig. 4. sur laquelle la ligne  $C_9$  est la ligne d'évolution de l'eau de mer, la courbe  $C_{10}$  est la courbe de la diminution de chaleur provoquée par la turbine du second fluide chaud, la courbe  $C_{11}$  est la courbe de condensation du second fluide

20 chaud, la courbe  $C_{12}$  est la courbe d'évaporation du second fluide chaud, la courbe  $C_{13}$  est la courbe d'évaporation du premier fluide chaud, la courbe  $C_{14}$  est la courbe de condensation du premier fluide mixte chaud, la courbe  $C_{15}$  est la courbe d'évaporation composite du gaz naturel liquéfié et du

25 premier fluide mixte chaud, la ligne  $C_{16}$  est la courbe de diminution de chaleur provoquée par le premier fluide chaud, et la courbe  $C_{17}$  est la courbe d'évaporation du gaz naturel liquéfié.

Dans la réalisation indiqué ci-dessus, l'eau de

30 mer, à la température de 15°C, est considérée comme un fluide formant source de température élevée. Cependant, conformément à la présente invention, le fluide constituant la source de température élevée n'est pas limité à l'eau de mer. Par exemple on peut utiliser des sources de chauffage à température

35 plus élevée, comme par exemple de la vapeur perdue. Dans certains cas, le système conforme à l'invention peut fonctionner sans mise en oeuvre des échangeurs de chaleur 5 et 8.

En outre, le gaz naturel liquéfié traversant l'échangeur de chaleur 3 à fluides multiples peut être produit sans passer à travers l'échangeur de chaleur 4 à fluides multiples.

- 5 De façon résumée, le procédé selon l'invention est un procédé permettant de récupérer de l'énergie conformément à un cycle de Rankine en série, selon lequel le gaz naturel liquéfié gazéifiée et son potentiel de froid sont utilisés, et qui est caractérisé par le fait qu'un premier fluide effectue
- 10 un premier cycle de Rankine avec comme source de chaleur à basse température le gaz naturel liquéfié, qu'une première turbine est utilisée pour récupérer de l'énergie lors d'un premier cycle de Rankine, qu'un second fluide, qui possède un point d'ébullition plus élevé que celui du premier fluide, effectue
- 15 un second cycle de Rankine avec une partie du fluide du premier cycle de Rankine en tant que source de basse température, que le premier et le second cycles de Rankine sont raccordés en série, et qu'une seconde turbine est utilisée pour récupérer de l'énergie pendant le second cycle de Rankine.
- 20 Lors du premier cycle de Rankine, la différence de température entre le gaz naturel liquéfié et le premier fluide mixte chaud est réduite de telle manière que la perte d'énergie efficace est réduite au minimum. L'énergie efficace, qui est perdue lors de l'échange thermique entre la source de température
- 25 élevée et le premier fluide mixte chaud avec le premier cycle de Rankine seulement, est minimisée par le second cycle de Rankine. Par conséquent, il est possible de récupérer une énergie maximum en utilisant au maximum l'énergie efficace dans son ensemble, de sorte que ce procédé contribue à effectuer des économies d'énergie.
- 30

L'énergie récupérée sans mise en oeuvre du second cycle de Rankine est de 6.310 kW pour le gaz naturel liquéfié envoyé avec un débit de 100 tonnes/heure. Au contraire, la récupération d'énergie lors de la mise en oeuvre du second cycle de Rankine est de 6.790 kW.

Conformément à la présente invention, la température de sortie du gaz naturel regazéifié et du premier fluide mixte chaud provenant de l'échangeur de chaleur à fluides multiples peut être accrue en étant amenée au voisinage de la 5 température ambiante, par rapport au cas où un tel échangeur de chaleur n'est pas utilisé. Les conditions requises pour l'échangeur de chaleur vis-à-vis d'eau de mer gelée sont réduites, de sorte que l'on peut utiliser un échangeur de chaleur standard du type à enveloppe et à tubes.

REVENDICATIONS

1°) - Procédé pour récupérer de l'énergie conformément à un cycle de Rankine en série, selon lequel le gaz naturel liquéfié est gazéifié et son potentiel de froid est utilisé, caractérisé par le fait qu'un premier fluide 5 effectue un premier cycle de Rankine (6, 7, 3, 4) avec comme source de basse température du gaz naturel liquéfié, que l'énergie ainsi produite est récupérée par une première turbine (6) au cours du premier cycle de Rankine, qu'un second fluide possédant un point d'ébullition supérieur à celui dudit premier 10 fluide et effectue un second cycle de Rankine (9, 4, 10, 11) avec comme source de basse température une partie dudit premier cycle de Rankine, que lesdits premier et second cycles de Rankine sont raccordés en série et qu'une seconde turbine (9) est installée de manière à récupérer de l'énergie au cours du 15 second cycle de Rankine.

2°) - Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le premier fluide est essentiellement un mélange d'hydrocarbures possédant 1-6 atomes de carbone ou un mélange d'hydrocarbures halogénés possédant des points 20 d'ébullition proches de ceux desdits hydrocarbures, que le premier fluide ayant cette composition est tel que la courbe de vapeur de gazéification du gaz naturel liquéfié correspond essentiellement à la courbe de refroidissement à basse pression du premier fluide, que le second fluide est (a) un seul 25 hydrocarbure possédant 1 à 6 atomes de carbone ou un mélange de tels hydrocarbures, (b) un seul hydrocarbure halogéné dont le point d'ébullition est proche de celui dudit hydrocarbure (a), ou un mélange de tels hydrocarbures, ou (c) de l'ammoniaque, dont la courbe de refroidissement à basse pression cor- 30 respond essentiellement à la courbe de vapeur dudit premier fluide à haute pression.

3°) - Procédé selon la revendication 2, caractérisé par le fait que ledit premier fluide est un mélange d'hydrocarbures contenant de l'azote ou de l'hydrogène ou bien est un mélange d'hydrocarbures halogénés contenant de 5 l'azote.

4°) - Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 et 3, caractérisé par le fait que le second fluide est un mélange d'hydrocarbures contenant de l'azote.

10 5°) - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que le gaz naturel liquéfié chauffe dans le premier cycle de Rankine ainsi que le premier fluide à haute pression sont chauffés par le second fluide à basse pression dans un échangeur de chaleur à 15 fluides multiples (4) du fait du branchement en série du premier et du second cycles de Rankine.

20 6°) - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que le gaz naturel liquéfié et le premier fluide à haute pression échangent de la chaleur avec le premier fluide à basse pression dans un échangeur de chaleur à fluides multiples au cours du premier cycle de Rankine.

PL. 1/H

2496754

FIG. 1

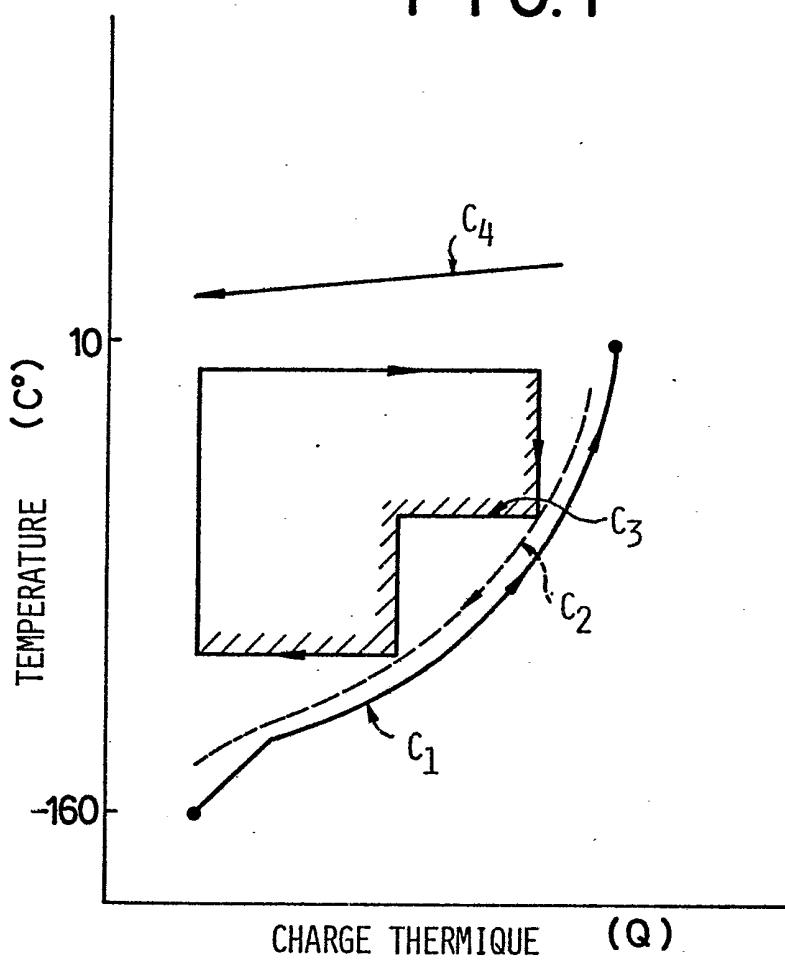
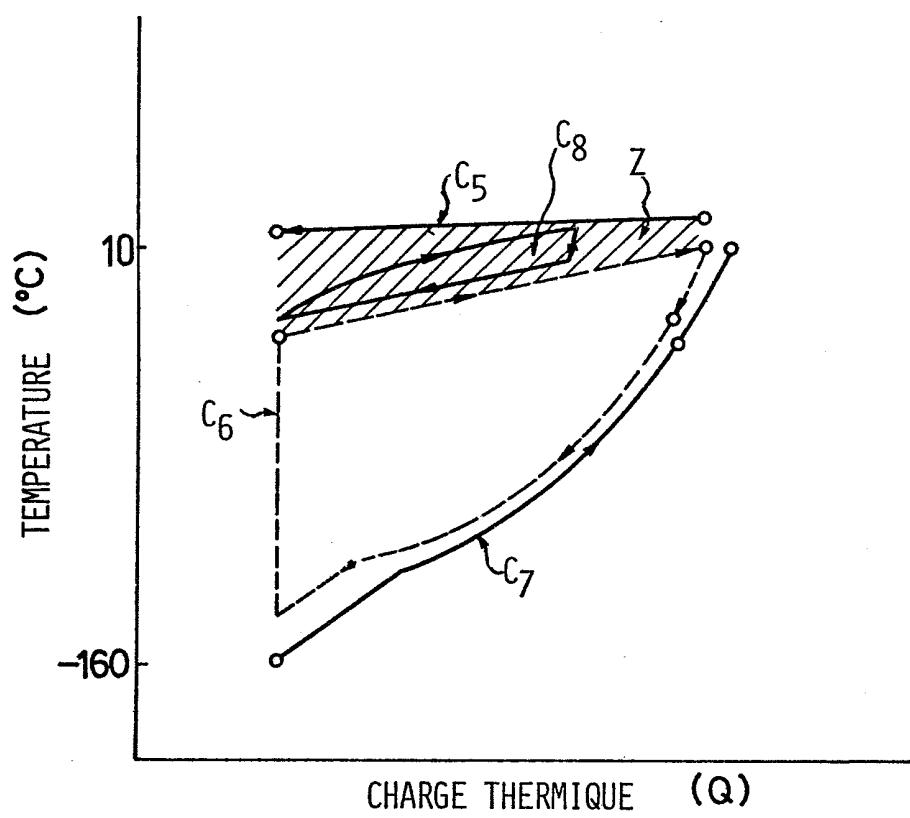


FIG. 2



F I G. 3

