

⑫

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

⑲ Numéro de dépôt: 85401053.5

⑤① Int. Cl.⁴: E 02 D 3/115

⑳ Date de dépôt: 29.05.85

③① Priorité: 01.06.84 FR 8408646

④③ Date de publication de la demande:
04.12.85 Bulletin 85/49

⑧④ Etats contractants désignés:
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE

⑦① Demandeur: **L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE**
75, Quai d'Orsay
F-75321 Paris Cedex 07(FR)

⑦② Inventeur: **Karinthi, Pierre**
66, rue Anatole France
F-78350 Jouy-En-Josas(FR)

⑦② Inventeur: **Gardent, Maurice**
Chemin Champ Rond Le Villard
F-38320 Herbeys(FR)

⑦② Inventeur: **Regnier, Colette**
12, allée François Villon
F-38130 Echirolles(FR)

⑦② Inventeur: **Tuccella, Jean**
2, boulevard Georges Clémenceau
F-38000 Grenoble(FR)

⑦④ Mandataire: **Jacobson, Claude et al,**
L'AIR LIQUIDE, SOCIETE ANONYME POUR L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCEDES GEORGES CLAUDE
75, quai d'Orsay
F-75321 Paris Cedex 07(FR)

⑤④ Procédé et installation de congélation de sol.

⑤⑦ Les sondes de congélation (S1, S2, ...) sont parcourues par un liquide réfrigérant. La température du liquide envoyé dans chaque sonde est réglée en fonction de la vitesse de congélation du sol autour des différentes sondes et/ou est augmentée progressivement au fur et à mesure de la progression de la congélation.

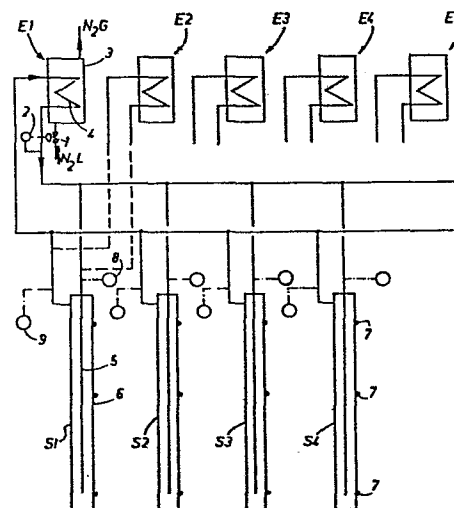


FIG.3

" PROCÉDE ET INSTALLATION DE CONGÉLATION DE SOL "

La présente invention est relative à la technique de congélation des sols. Elle concerne en premier lieu un procédé de congélation de sol du type dans lequel on refroidit un liquide réfrigérant par échange de chaleur avec un fluide cryogénique, puis on fait circuler ce liquide dans une série de sondes enfoncées dans le sol.

On sait que la consolidation des sols par congélation permet l'ouverture de chantiers de travaux publics dans des sols humides et instables. Elle est pratiquée par injection d'un fluide réfrigérant dans des sondes introduites de place en place dans le sol. Ce refroidissement congèle le sol de proche en proche jusqu'à former un mur continu quand les zones de congélation de chaque sonde ont rejoint leurs voisines.

Il est connu d'injecter dans les sondes soit un liquide refroidi, soit un liquide cryogénique tel que l'azote liquide.

L'injection directe d'azote liquide présente plusieurs inconvénients, notamment la difficulté de maîtriser les coefficients d'échange thermique avec le sol : en cédant du froid, l'azote se vaporise et les coefficients d'échange entre la sonde et l'azote liquide pur d'abord, puis les mélanges de liquide et de gaz en proportion variable, puis le gaz froid seul, sont très différents. Il en résulte une forte hétérogénéité de l'épaisseur de sol congelé autour de la sonde et une perte de temps et d'énergie pour que les zones les moins congelées se rejoignent pour former le mur consolidé, tandis que les zones les plus congelées sont inutilement sous-refroidies et sur-dimensionnées.

L'injection d'un liquide refroidi ne présente pas ces inconvénients, mais son efficacité dépend de la méthode de refroidissement.

Le refroidissement d'un liquide circulant par un groupe frigorifique permet d'injecter le liquide à -40°C dans le meilleur des cas, plus généralement à -20°C ou -30°C . Ces conditions de congélation conduisent à une durée de formation du mur congelé prohibitive, de l'ordre de plusieurs semaines pour un mur de 1 m d'épaisseur. Cette durée est généralement incompatible avec la durée des chantiers dans les villes.

Pour permettre de faire circuler dans les sondes un liquide à beaucoup plus basse température, par exemple -80°C ou même -120°C , on a également proposé des procédés de congélation du type indiqué plus haut. Un tel procédé permet de résoudre les inconvénients précités mais reste

actuellement coûteux pour les raisons suivantes : d'une part, pour accélérer la congélation, on est amené à refroidir le sol plus que ce qui est strictement nécessaire pour sa consolidation. D'autre part, le sol est toujours hétérogène, et la consolidation du mur congelé est gouvernée par le point le plus faible, c'est-à-dire où la congélation avance le moins vite. On est alors obligé d'étendre, parfois dans des proportions considérables, les zones congelées le plus rapidement.

L'invention a pour but de permettre de réduire considérablement l'excès de froid et, par suite, de rendre le procédé beaucoup plus économique, sans pour cela augmenter sensiblement la durée de la congélation.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de congélation de sol du type précité, caractérisé en ce qu'on fait varier la température du liquide réfrigérant, au cours de la phase de congélation du sol, en fonction de la progression de la congélation.

Dans un premier mode de mise en oeuvre, on augmente progressivement, de préférence par paliers successifs, la température du liquide circulant dans l'une au moins des sondes.

Dans un second mode de mise en oeuvre de l'invention, qui peut se combiner avec le premier, on adapte la température du liquide circulant dans chaque sonde à la vitesse de congélation du sol autour de cette sonde, cette température étant réglée sur une valeur d'autant plus élevée que la vitesse de congélation est plus grande.

L'invention a également pour objet une installation de congélation de sol destinée à la mise en oeuvre d'un tel procédé. Cette installation, du type comprenant un échangeur de chaleur alimenté d'une part en fluide cryogénique, d'autre part en un liquide réfrigérant, une série de sondes de congélation, et des moyens pour faire circuler le liquide dans chaque sonde, est caractérisée par le fait qu'elle comprend des moyens pour faire varier la température de consigne de l'échangeur de chaleur, et/ou par le fait qu'elle comprend au moins deux échangeurs de chaleur indépendants ayant des températures de consigne différentes.

Quelques exemples de mise en oeuvre de l'invention vont maintenant être décrits en regard des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est un diagramme qui illustre un premier mode de mise en oeuvre de l'invention ;

- la figure 2 est un diagramme qui illustre l'avantage apporté par le procédé illustré à la figure 1 ;

- la figure 3 est un schéma d'une installation correspondant à un second mode de mise en oeuvre de l'invention ; et

5 - la figure 4 illustre schématiquement une variante.

Dans chacun des exemples ci-dessous, l'invention se rapporte à la formation dans un sol sableux et humide d'un mur congelé à l'abri duquel certains travaux doivent être effectués. Pour cela, on enfonce dans le sol une série de sondes de congélation S1, S2, ..., illustrées
10 schématiquement à la figure 3, et l'on fait circuler dans chacune de celles-ci un liquide réfrigérant ayant une température d'entrée déterminée. Le liquide choisi doit avoir un point de congélation suffisamment bas, et le méthanol est un liquide approprié, auquel on se référera dans la suite.

15 Comme représenté à la figure 3, ce liquide circule en circuit fermé entre la sonde et un échangeur de chaleur E1, E2, ..., dit "centrale froide", qui comporte d'une part des passages pour ce liquide et d'autre part des passages pour un fluide cryogénique, notamment de l'azote liquide. Le débit d'admission d'azote liquide dans ces derniers
20 passages est commandé par une vanne 1 pilotée par un capteur de température 2 qui capte la température du liquide réfrigérant sortant de l'échangeur. Les passages à azote peuvent par exemple, comme illustré à la figure 3, être constitués par une calandre 3 traversée par un serpentín 4 de circulation du liquide réfrigérant à contre-courant de
25 l'azote. Ces éléments n'ont été représentés à la figure 3 que pour l'échangeur E1, dans un but de clarté du dessin, mais il est entendu que si l'installation comporte plusieurs échangeurs, comme celle de la figure 3, tous ces échangeurs ont une constitution analogue.

30 Du liquide réfrigérant, sortant à une température froide de consigne d'un échangeur, est injecté au fond de chaque sonde connectée à ce dernier par un tube central 5 de celle-ci et remonte entre ce tube et l'enveloppe cylindrique 6 de la sonde pour retourner à l'échangeur. Entre l'entrée et la sortie de la sonde, le liquide échange de la chaleur avec le sol environnant, à travers l'enveloppe 6.

35 Suivant le mode de mise en oeuvre illustré à la figure 1, on module dans le temps la température du liquide réfrigérant injecté dans les sondes de congélation, en augmentant progressivement cette

0163579

température d'une température minimale de début de congélation à une température finale de maintien en froid du mur déjà congelé. Dans l'exemple illustré, cette augmentation a lieu par paliers successifs.

5 A titre d'exemple numérique (exemple I), on supposera que l'on désire consolider par congélation en 100 heures un mur de 1 m d'épaisseur dans un sol sableux humide, sur une profondeur de 20 m et une longueur de 50 m. Pour cela, on enfonce dans le sol cinquante sondes S1, S2, ..., S50 espacées de 1 m les unes des autres. On fait circuler du méthanol entre les sondes montées en parallèle et un échangeur de chaleur unique
10 refroidi à l'azote liquide tel que l'échangeur E1 décrit ci-dessus. Le capteur de température 2 est équipé d'un dispositif de réglage qui permet de réguler à volonté la température du méthanol entre -80°C (limite inférieure tolérable pour ce corps) et -10°C .

On commence la congélation en faisant circuler le méthanol avec
15 une température de consigne en sortie d'échangeur (et donc à l'injection dans les sondes) de -80°C . On maintient cette température de consigne pendant 50 heures. La température du sol au voisinage des sondes s'établit alors à -70°C et le rayon congelé autour des sondes est de 38 cm (soit un diamètre de 76 cm).

20 A ce moment, on règle la température de consigne du méthanol à -65°C . On maintient cette température pendant 20 heures. La température du sol au voisinage des sondes s'établit à -57°C . Pendant cette période de temps, la progression du front de congélation du mur n'est pratiquement pas ralentie, car elle est gouvernée par le gradient de température
25 au voisinage de l'isotherme de congélation (0°C) et non pas par la température de la sonde. On obtient ainsi au bout de 70 heures de congélation un diamètre congelé de 84 cm.

Après 70 heures de congélation, on fixe la température de consigne du méthanol à -50°C . On maintient cette température de consigne
30 pendant 15 heures. La température du sol au voisinage des sondes s'établit à -44°C . Au bout de 85 heures, le diamètre congelé autour des sondes est de 88 cm.

On fixe alors la température de consigne du méthanol à -40°C . On la maintient pendant 10 heures. La température du sol au voisinage des
35 sondes s'établit à -35°C . Au bout de 95 heures de congélation, le diamètre de sol congelé autour des sondes est de 90 cm.

0163579

On établit alors la température de consigne du méthanol à -35°C . On conservera cette température de consigne pendant toute la période de maintien du mur congelé. La température du sol autour des sondes s'équilibrera à -30°C . La congélation d'un diamètre de 100 cm sera obtenue au bout de 100 heures environ.

Il est à noter que les indications ci-dessus correspondent à un sol homogène et à une sonde isolée ; en fait, chaque sonde de congélation réagit avec ses voisines, ce qui, pour un espacement de 1 m entre sondes, conduit à un mur congelé d'épaisseur variable : 1 m au droit des sondes, 80 cm environ à mi-distance entre les sondes.

On comprend par ailleurs, que, en variante, les différentes températures de consigne du méthanol peuvent être obtenues non plus au moyen d'un échangeur unique à température de consigne réglable, mais au moyen de plusieurs échangeurs de chaleur ayant des températures de consigne différentes mais fixes, ces échangeurs pouvant être sélectivement connectés aux sondes par un jeu de vannes approprié. De plus, si les échangeurs dont on dispose ne permettent pas de fournir individuellement la puissance frigorifique (proportionnelle au produit du débit de méthanol par l'écart de température entre l'entrée et la sortie de l'échangeur) nécessaire, on peut utiliser pour chaque température de consigne plusieurs échangeurs en parallèle réglés sur la même température.

La figure 2 illustre l'avantage du procédé décrit ci-dessus. Elle représente la variation de la température T du sol en fonction du rayon R , compté à partir de la paroi extérieure d'une sonde supposée isolée, ceci à la fin de la congélation, c'est-à-dire lorsque le rayon congelé R_c devient voisin de la demi-distance séparant les sondes (environ 0,5 m dans l'exemple ci-dessus).

La courbe inférieure A_1 correspond au cas où l'on aurait alimenté en permanence la sonde avec du méthanol à -80°C , suivant la technique antérieure. Cette courbe monte de -70°C pour $R = 0$ à 0°C pour $R = R_c$, puis de 0°C à la température ambiante T_a . La courbe supérieure A_2 correspond au procédé suivant l'invention décrit ci-dessus ; elle monte de -30°C pour $R = 0$ à 0°C pour $R = R_c$, puis continue à croître de 0°C .

jusqu'à T_a en restant au-dessus de la courbe A_1 . L'aire hachurée comprise entre les deux courbes A_1 et A_2 est une représentation de l'économie de frigories réalisée.

Suivant la mode de mise en oeuvre représenté à la figure 3, on régule la température du méthanol non plus dans le temps mais dans

l'espace, en adaptant cette température, pour chaque sonde, à la vitesse de congélation du sol autour de cette sonde, afin d'éviter de sous-refroidir à l'excès les parties du sol qui congèlent le plus vite. En effet, dans la réalité, si un sol est généralement relativement homogène dans le rayon de 50 à 60 cm qui entoure une sonde, il n'en est pas de même d'une sonde à l'autre.

Pour cela, on utilise plusieurs échangeurs de chaleur E1, E2, ..., au nombre de cinq dans l'exemple illustré, ayant des températures de consigne indépendamment réglables et pouvant chacun se raccorder à toutes les sondes. On mesure la vitesse de refroidissement du sol en début de congélation, et on envoie dans chaque sonde du méthanol à une température d'autant moins froide que le sol concerné par cette sonde se refroidit plus vite.

La détermination de la vitesse de congélation, qui permettra de fixer une température de consigne pour chaque sonde et chaque échangeur de chaleur peut se faire par exemple comme suit.

On peut tout d'abord effectuer des mesures globales de refroidissement pour chaque sonde :

(a) - La mesure de la différence de température entre l'entrée et sa sortie du méthanol dans chaque sonde est une mesure caractéristique du flux de chaleur absorbé par le sol, pour un débit donné. Si cette différence est plus élevée pour une sonde particulière, il faut élever la température d'injection du méthanol dans cette sonde, car le sol absorbe beaucoup de froid.

(b) - On peut également disposer parallèlement à la ligne des sondes une ligne de capteurs de température C1, C2, ..., par exemple comme représenté à la figure 4, où un capteur de température est disposé dans le sol, près de la surface, entre les paires de sondes successives, à égale distance des deux sondes de chaque paire. De la même façon que précédemment, on fixe alors la température d'injection du méthanol dans les sondes les plus voisines de ces capteurs en fonction de la vitesse de refroidissement du sol qu'ils montreront.

Toutefois, en pratique, il arrive fréquemment que, sur la longueur du mur à congeler, le sol soit hétérogène non seulement horizontalement, mais également verticalement, au moins dans certaines zones. Il peut donc exister, sur la hauteur de certaines sondes, des régions qui congèlent rapidement et d'autres qui congèlent lentement. Par

0163579

5 suite, les moyens de mesure globale ci-dessus risquent de conduire à ralentir excessivement le refroidissement d'une sonde qui congèlerait globalement vite (ce qui apparaîtrait par exemple à partir d'une grande différence de température entre le méthanol entrant et le méthanol sortant) mais, en fait, très rapidement sur une portion de sa longueur et très lentement sur une autre.

10 Pour éviter ce risque, on peut affiner la mesure en disposant plusieurs capteurs de température 7 sur la longueur des sondes, sur leur paroi extérieure, ces capteurs étant adaptés pour mesurer la température du sol au voisinage immédiat des sondes. On peut alors procéder de deux manières :

(c) en début de refroidissement, mesurer la vitesse de refroidissement en chacun de ces points ; ou

15 (d) un certain temps après le début de la congélation, injecter temporairement, par exemple pendant 10 à 30 minutes, du méthanol plus chaud que le sol, et mesurer la vitesse de remontée de la température aux différents points de mesure. En effet, cette vitesse de remontée varie dans le même sens que la vitesse de congélation du sol.

20 Si cette procédure permet de déceler une hétérogénéité verticale du sol, on se basera sur la variation de température la plus faible pour déterminer la température d'injection du méthanol dans la ou les sondes correspondantes.

25 L'exemple II suivant illustre la mise en oeuvre de l'invention à partir des méthodes (a) et (d) ci-dessus. Les données de base sont les mêmes que précédemment : il s'agit de congeler en 100 heures un mur de 1 m d'épaisseur dans un sol sableux humide, sur une profondeur de 20 m et une longueur de 50 m. On dispose cinquante sondes S1, S2, ..., S50 espacées de 1 m, et on y fait circuler du méthanol refroidi. On utilise cinq échangeurs de chaleur E1 à E5 indépendants alimentés en azote liquide suivant le schéma de la figure 3. Par un jeu de tuyauteries et de vannes approprié (non représenté), on peut alimenter n'importe quelle sonde à partir de n'importe quel échangeur. Chaque sonde est munie de capteurs de température 8 et 9 mesurant la température du méthanol à son entrée et sa sortie, respectivement. Contre la paroi externe de chaque sonde, on a disposé des thermocouples 7 pour mesurer la température à 2
35 m, 10 m et 18 m de profondeur.

0163579

Après démarrage de l'injection dans toutes les sondes du méthanol à -80°C , on attend 5 heures que les effets transitoires initiaux soient passés. On constate à ce moment-là sur les sondes la différence de température ΔT suivante entre l'entrée et la sortie du méthanol.

sondes n°	1 à 4	5 à 12	13,14	15 à 25	26 à 40	41 à 50
T°C	10	4	6	4	6	8

La température de la surface externe des sondes est peu variable à ce moment-là, entre -70°C et -72°C pour toutes les sondes.

Par changement de la température de consigne des échangeurs E1 à E5, on injecte dans les sondes du méthanol à -50°C pendant 20 mn. On mesure la vitesse de remontée des températures externes des sondes. On constate à 18 m de profondeur, sur les sondes S46 à S50, une remontée trois fois plus lente de la température que sur les mêmes sondes à 10 m et à 2 m de profondeur ; aucune hétérogénéité n'est constatée sur les autres sondes.

On rétablit alors l'injection de méthanol froid en fixant les températures de consigne de la façon suivante.

sondes n°	1 à 4	5 à 12	13,14	15 à 25	26 à 40	41 à 45	46 à 50
température (°C)	-55	-80	-70	-80	-70	-55	-80
Echangeurs	E1	E2 & E3	E4 & E5	E2 & E3	E4 & E5	E1	E2 et E3

Comme on le voit, malgré les résultats de la mesure globale, les sondes S46 à S50 ont été traitées comme des sondes à congélation lente pour tenir compte de la lenteur de la congélation observée dans leur partie la plus profonde

Par ailleurs, on alimente certains groupes de sondes avec deux échangeurs connectés en parallèle. Ceci permet de fournir un débit de méthanol du même ordre à toutes les sondes. On remarque également que, pour ne pas trop compliquer l'installation, on alimente les groupes de

0163579

sondes S1 à S4 et S 41 à S45 à la même température bien que, en toute rigueur, les sondes de ces deux groupes absorbent des flux de chaleur différents.

Il résulte de ce qui précède que l'on fournit à chaque sonde une puissance frigorifique d'autant plus faible que le sol entourant cette sonde se congèle plus vite.

L'exemple III ci-dessous illustre la procédure (b) indiquée plus haut.

A partir des mêmes données de base que dans les exemples précédents, on dispose à 40 cm de la ligne des sondes de congélation une ligne de vingt-cinq capteurs de température C1, C2, ..., C25 au droit d'un intervalle de sondes de congélation sur deux, comme indiqué sur la figure 4, chaque capteur se trouvant à égale distance de deux sondes. Le capteur de température C1 est voisin des sondes de congélation S1 et S2, le capteur de température C2 est voisin des sondes de congélation S3 et S4, etc...

On commence par injecter du méthanol à -80°C dans toutes les sondes de congélation pendant 24 heures. Au bout de 24 heures, on constate les températures suivantes sur les capteurs de température.

Capteurs n°	1, 2	3 à 6	7	8 à 12	13 à 20	21 à 23	24, 25
Température (°C)	0	+ 7	+ 4	+ 7	+ 4	+ 2	+ 6
sondes associées n°	1 à 4	5 à 12	13,14	15 à 24	25 à 40	41 à 46	47 à 50

A partir de ce moment, on alimente les sondes à des températures différentes, de la manière suivante :

sondes n°	1 à 4	5 à 12	13, 14	15 à 24	25 à 40	41 à 46	47 à 50
5 Température du méthanol (°C)	-55	-80	-70	-80	-70	-55	-80
10 Echangeurs utilisés	E1	E2 & E3	E4 & E5	E2 & E3	E4 & E5	E1	E2 & E3

Les remarques faites plus haut au sujet de l'utilisation des échangeurs, seuls ou en parallèle, restent valables dans cet exemple.

15 Il est à noter qu'il est tout-à-fait possible de combiner les divers procédés de régulation décrits ci-dessus, et en particulier de faire varier la température d'injection du méthanol à la fois dans le temps et dans l'espace. Dans ce cas, après avoir fixé les différentes températures d'injection du méthanol dans les différents groupes de sondes, on définit pour chaque groupe une série de paliers de plus en plus chauds, répartis sur la durée totale de la congélation de façon à
20 alimenter en fin de congélation toutes les sondes à la température de consigne unique qui sera conservée pendant la période de maintien du mur congelé.

25 L'exemple IV ci-dessous combine ainsi les enseignements des exemples I et III précédents et décrit sous forme de tableau la procédure de congélation pendant les 100 heures imparties pour obtenir un mur de 1 m d'épaisseur.

0163579

	N° des sondes	temps (h)					
		0	20	40	60	80	100
5	5 à 12	-80°C sur toutes les sondes par les	-80°C	-65°C	-50°C	-40°C sur toutes les sondes par E1 à E5	-35°C sur toutes les sondes par E1 à E5
	15 à 24		par E2	par E2	par E2		
47 à 50	& E3		& E3	E3			
10	13 & 14	échangeurs E1 à E5	-70°C	-60°C	E4	à E5	E5
	25 à 40		par E4 et E5	par E4 et E5	et E5		
1 à 4			-55°C	-50°C	-40°C		
15	41 à 46		par E1	par E1	par E1		

REVENDEICATIONS

1. Procédé de congélation de sol, du type dans lequel on refroidit un liquide réfrigérant par échange de chaleur avec un fluide cryogénique, puis on fait circuler ce liquide dans une série de sondes (S1, S2, ...) enfoncées dans le sol, caractérisé en ce qu'on fait varier la température du liquide, au cours de la phase de congélation du sol, en fonction de la progression de la congélation.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'on augmente progressivement, de préférence par paliers successifs, la température du liquide circulant dans l'une au moins des sondes (S1, S2, ...).

3. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'on adapte la température du liquide circulant dans chaque sonde (S1, S2, ...) à la vitesse de congélation du sol autour de cette sonde, cette température étant réglée sur une valeur d'autant plus élevée que la vitesse de congélation est plus grande.

4. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé en ce que, pour déterminer la vitesse de congélation autour de chaque sonde (S1, S2, ...), on mesure la différence de température entre le liquide entrant dans la sonde et le liquide qui en sort.

5. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé en ce que, en début de refroidissement, on mesure la vitesse de refroidissement du sol à plusieurs niveaux de chaque sonde (S1, S2, ...), et on retient la plus lente de ces vitesses.

6. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé en ce que, pour déterminer la vitesse de congélation autour de chaque sonde (S1, S2, ...), on injecte temporairement dans chaque sonde, quelque temps après le début de la congélation, du liquide plus chaud que le sol au voisinage de la sonde, on mesure la vitesse de remontée de la température à différents niveaux de la sonde, et on retient la plus lente de ces vitesses.

7. Procédé suivant la revendication 6, caractérisé en ce que, pour déterminer la vitesse de congélation autour de chaque sonde (S1, S2, ...), on mesure la température du sol à une distance prédéterminée de toutes les sondes.

0163579

8. Procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'on envoie dans chaque sonde (S1, S2, ...) un débit de liquide réfrigérant du même ordre de grandeur.

5 9. Installation pour la mise en oeuvre d'un procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, du type comprenant un échangeur de chaleur (E1 à E5) alimenté d'une part en fluide cryogénique, d'autre part en un liquide réfrigérant, une série de sondes de congélation (S1, S2,...), et des moyens (5) pour faire circuler le liquide dans chaque sonde, caractérisée en ce qu'elle comprend des moyens pour faire varier la température de consigne de l'échangeur de chaleur.

10 10. Installation pour la mise en oeuvre d'un procédé suivant l'une quelconque des revendications 1 à 8, du type comprenant un échangeur de chaleur (E1 à E5) alimenté d'une part en fluide cryogénique, d'autre part en un liquide réfrigérant, une série de sondes de congélation (S1, S2,...), et des moyens (5) pour faire circuler le
15 liquide dans chaque sonde, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins deux échangeurs de chaleur indépendants ayant des températures de consigne différentes.

20 11. Installation suivant la revendication 10, caractérisée en ce que chaque échangeur de chaleur (E1 à E5) comporte des moyens pour faire varier sa température de consigne.

12. Installation suivant l'une quelconque des revendications 9 à 11, caractérisée en ce que chaque sonde (S1, S2,...) comprend des moyens (7) de mesure de la température à différents niveaux de sa paroi extérieure.

25 13. Installation suivant l'une quelconque des revendications 9 à 12, caractérisée en ce qu'elle comprend une série de capteurs de température (C1, C2,...) disposée parallèlement à la série de sondes (S1, S2,...), chaque capteur de température se trouvant à égale distance de deux sondes de congélation.

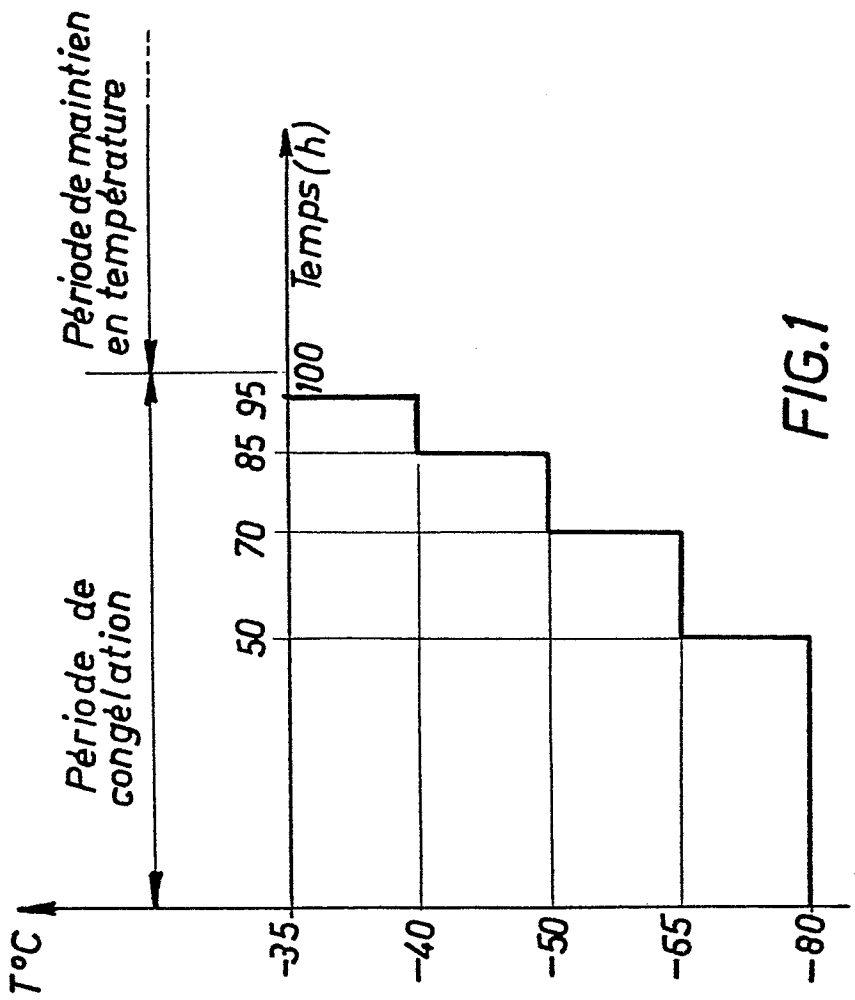


FIG. 1

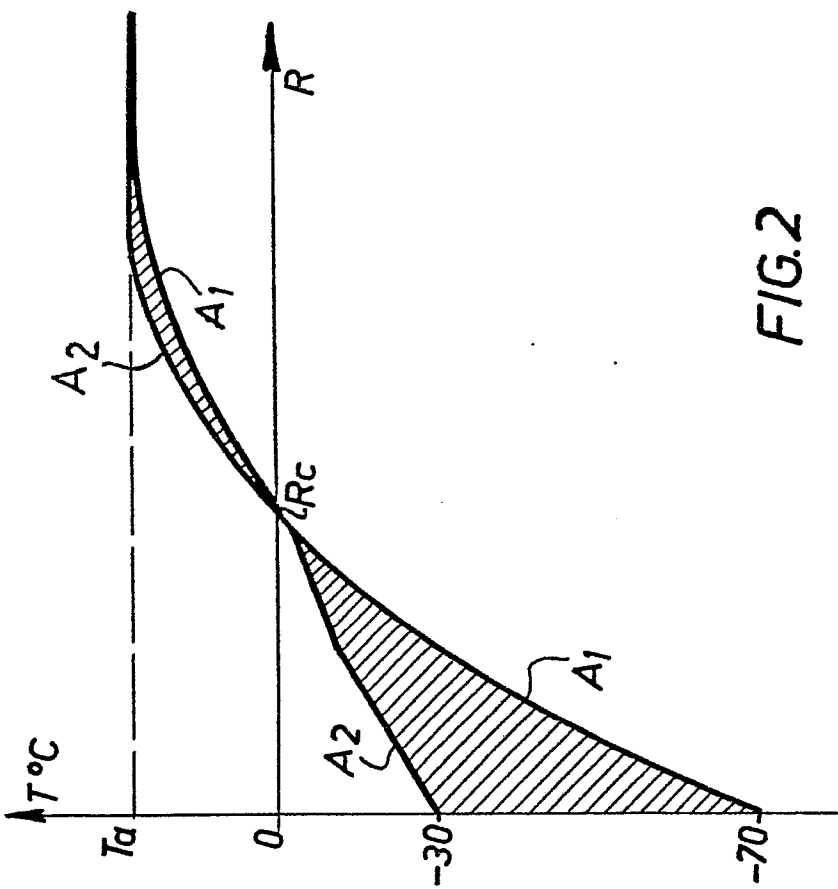


FIG. 2

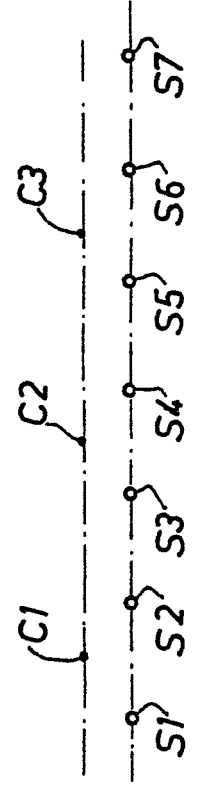


FIG. 4

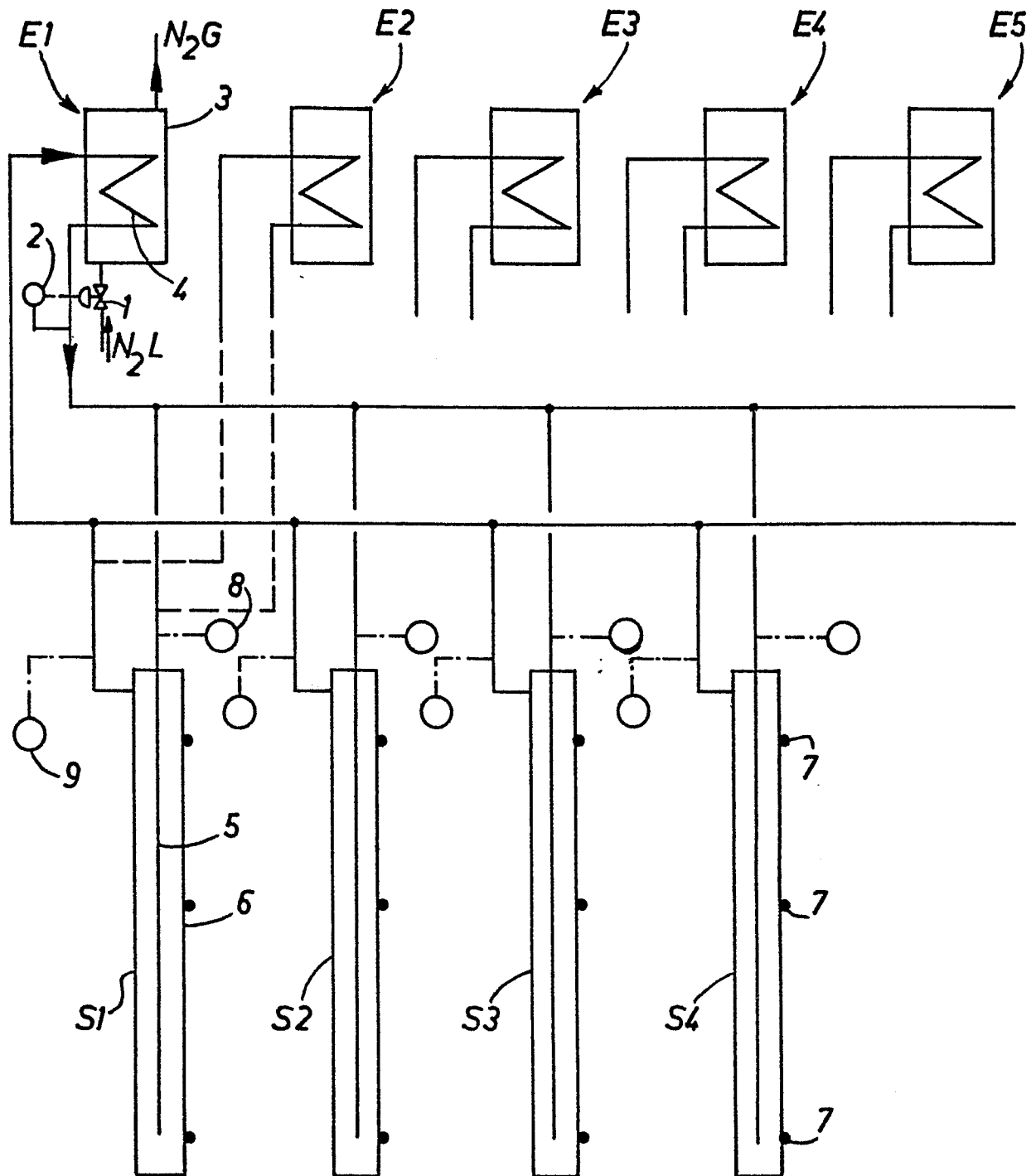


FIG. 3



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
A	DE-A-2 614 221 (HOLZMANN) * Page 5, paragraphes 2,3; page 6, paragraph 1; page 7, paragraph 1; page 9, paragraph 2; figure *	1	E 02 D 3/115
A	FR-A-2 452 550 (LINDE)		
A	FR-A-2 113 980 (UNION CARBIDE)		
A	FR-A-1 327 179 (FRADET)		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
			E 02 D E 21 D
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 29-07-1985	Examineur RUYMBEKE L.G.M.
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons</p> <p>& : membre de la même famille, document correspondant</p>			