



(51) Classification internationale des brevets :

F17C 3/00 (2006.01) *G01K 1/00* (2006.01)
F17C 13/02 (2006.01) *G06F 15/82* (2006.01)
F17C 13/08 (2006.01) *E02D 1/08* (2006.01)
G01N 7/00 (2006.01) *E02D 27/35* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2013/051370

(22) Date de dépôt international :

12 juin 2013 (12.06.2013)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

12 56121 27 juin 2012 (27.06.2012) FR

(71) Déposant : TOTAL SA [FR/FR]; 2 place Jean Millier, La
Défense 6, F-92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeur : COLLET, Pascal; c/o TOTAL SA CSTJF, EB
279 Avenue Larribau, F-64000 Pau (FR).

(74) Mandataires : LOISEL, Bertrand et al.; Cabinet Plasse-
raud, 52 rue de la Victoire, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).

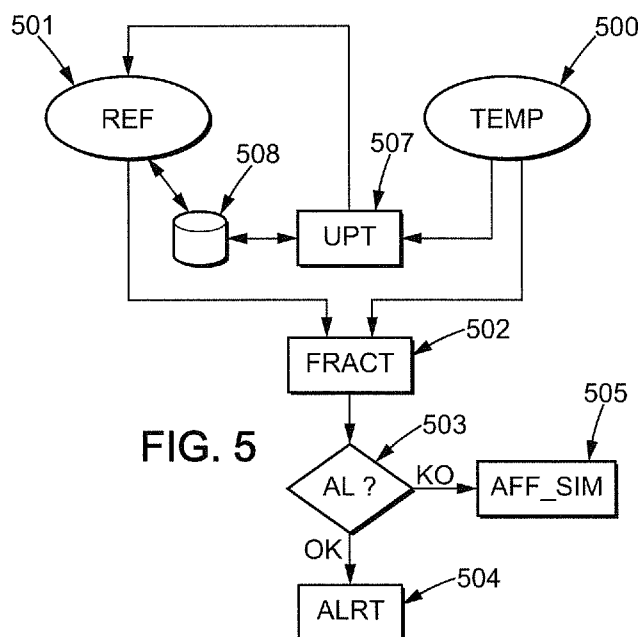
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD AND DEVICE FOR THE MONITORING OF STORAGE PARAMETERS

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA SUPERVISION DE PARAMETRES DE STOCKAGE



(57) Abstract : The invention relates to a method for monitoring a storage structure dug into frozen earth. The method comprises a step of receiving a temperature reference associated with at least one temperature sensor, a step of receiving the measured temperature for the temperature sensor, a step of determining a soil fracturing factor according to the temperature measured by the at least one temperature sensor and the temperature reference associated with the at least one temperature sensor, and a conditional step of raising an alert for the at least one sensor if the fracturing factor exceeds a pre-determined threshold.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de supervision d'un ouvrage de stockage creusé dans un sol gelé. Le procédé comporte une étape pour recevoir une référence de température associée à au moins un capteur de température, une étape pour recevoir la température mesurée pour le capteur de température, une étape de détermination d'un facteur de fracturation du sol en fonction de la température mesurée par le au moins un capteur de température et de la référence de température associée audit au moins un capteur de température; et une étape conditionnelle pour lever une alerte pour le au moins un capteur si le facteur de fracturation dépasse un seuil prédéterminé.



Publiée :

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))*

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR LA SUPERVISION DE PARAMETRES DE STOCKAGE

La présente invention concerne le domaine de la surveillance des ouvrages de stockage, notamment dans le cadre de stockage de gaz liquéfiés dans des ouvrages enterrés ou « en sol ».

Les ouvrages de stockages de gaz liquéfié, comme le GNL (pour « Gaz Naturel Liquéfié » en français) peuvent être réalisés en creusant des cavités dans le pergélisol. Le terme « pergélisol » désigne un sous-sol gelé en permanence, au moins pendant deux ans.

Les parois des ouvrages peuvent alors s'appuyer sur le sol gelé du pergélisol et ainsi profiter de la résistance naturelle du sol pour renforcer la résistance de l'ouvrage. De plus, la présence de glace dans le sol facilite le maintien de température basse dans l'ouvrage, ainsi que le maintien du gaz liquéfié en dessous de sa température de liquéfaction.

Les parois peuvent être notamment constituées de structures bétonnées, de structures métalliques et/ou de structures plastifiées. Dans les ouvrages classiques « hors sol » en béton, il est d'usage de mettre en place des systèmes de supervision afin de vérifier que la solidité et l'étanchéité des parois sont conservées dans le temps.

Cependant, de telles méthodes ne sont pas exemptes de défaut dans le cadre de dispositif de stockage enfoui ou « en sol » comme ceux creusés dans le pergélisol.

En effet, les systèmes de supervision ne sont pas adaptés à fonctionner dans des environnements enterrés : par exemple, si un détecteur de gaz peut être efficace afin de détecter une fuite dans une double paroi d'un réservoir « hors sol », son efficacité sera non prédictible si ce détecteur est enfoui dans le sol pour détecter des fuites dans un réservoir.

Il en va de même pour les autres types de détecteurs.

De plus, le sol gelé peut permettre de renforcer l'étanchéité du dispositif de

stockage. Il peut être ainsi important de s'assurer qu'aucune fracture ou fissure ne soit créée dans le sol. En effet, en cas de présence de fissures et/ou fractures, l'étanchéité du dispositif de stockage peut ne plus être assurée de manière satisfaisante.

- 5 Il y a ainsi un besoin pour la création d'un système de supervision adapté aux ouvrages « enterrés » : il est donc nécessaire de repenser les systèmes de supervisions des ouvrages enterrés afin de les rendre efficaces et fiables.

La présente invention vient améliorer la situation.

- 10 A cet effet, la présente invention propose de superviser de manière efficace les ouvrages enterrés afin d'éviter notamment toute fissuration ou fracturation du sol.

La présente invention vise alors un procédé de supervision d'un ouvrage de stockage creusé dans un sol gelé, au moins un capteur de température étant disposé à proximité de l'ouvrage de stockage.

Une référence de température est associée audit capteur.

- 15 Le procédé comporte les étapes :

- recevoir la référence de température associée audit au moins un capteur de température ;
- recevoir la température mesurée pour le au moins un capteur de température ;
- 20 - déterminer un facteur de fracturation du sol en fonction de la température mesurée par le au moins un capteur de température et de la référence de température associée audit au moins un capteur de température ;
- lever une alerte pour le au moins un capteur si le facteur de fracturation dépasse un seuil prédéterminé.

- 25 On appelle « référence de température » associé à un capteur une valeur de température correspondant par exemple, à une température établie au niveau du capteur. Cette valeur de référence peut être fixée de manière statique par un opérateur ou calculée de manière dynamique en fonction des températures mesurées au niveau du capteur durant un temps donné.

Le capteur de température peut être relié de manière filaire ou sans fil avec un serveur de supervision permettant ainsi la réception de la température mesurée par ce dernier. Le capteur peut envoyer de manière régulière (ou sur demande) la valeur de la température mesurée.

- 5 La réception de la valeur de référence peut être réalisée au moyen d'une interface de réception comme une interface réseau ou une interface USB mais peut être réalisée également au moyen d'une interface d'entrée/sortie sur une mémoire contenant par exemple une base de données.

10 On appelle « facteur de fracturation » un risque ou un facteur associé à un risque de création de fissures ou de fractures dans le sol gelé. En effet, l'apparition de fractures ou de fissures dans le sol peut être problématique notamment concernant l'étanchéité du dispositif de stockage. Le gaz liquéfié peut, par exemple, se glisser dans ces fractures ou fissures et ainsi s'échapper du dispositif de stockage. Par exemple, cette valeur de fracturation peut représenter, une estimation des variations
15 de forces, de contraintes ou de pressions dans le sol ou encore une estimation de variation de masse volumique dans le sol (cette dernière variation étant liée à la variation de pression). En effet, des variations de contraintes dans le sol peuvent entraîner des forces de cisaillement ou d'arrachement et la création dans le sol gelé de fissures/fractures.

- 20 Ainsi, il est possible de superviser de manière dynamique le sol gelé dans une région proche du dispositif de stockage et déterminer les zones dans lesquelles des fissures et donc des fuites peuvent apparaître.

On peut appeler « proximité de l'ouvrage de stockage » une zone correspondant à une zone dont la température est « influencée » par l'ouvrage de stockage.

- 25 Cette zone peut correspondre à l'ensemble des points du sol pour laquelle la différence entre la température au niveau de ce point et la température du sol hors influence de l'ouvrage de stockage (ex. température à 1 km de l'ouvrage de stockage) est supérieure de plus d'une valeur déterminée (ex. 10°C ou 10%).

- 30 La zone de « proximité de l'ouvrage de stockage » peut également correspondre à l'ensemble des points du sol distants d'une distance inférieure à une valeur déterminée de l'ouvrage de stockage (ex. 100m). Cette dernière distance peut être

exprimée en un multiple d'une dimension caractéristique de l'ouvrage de stockage (ex. dix fois le plus grand diamètre de l'ouvrage de stockage).

- 5 En outre, le facteur de fracturation peut être déterminé en fonction de la différence entre la température mesurée par le au moins un capteur de température et la référence de température associée audit au moins un capteur de température.

- 10 Avantageusement, le facteur de fracturation peut être déterminé à l'aide d'un abaque de variation volumique de la glace en fonction de la température ou d'un abaque de variation de pression au sein de la glace en fonction de la température.

Ainsi, des modèles de fracturation (abaques) peuvent être déterminés de manière simple en laboratoire sans prendre en compte dans ces modèles l'interaction de la matière autre que l'eau ou la glace contenue dans le sol.

- 15 Dans un mode de réalisation de l'invention, le facteur de fracturation peut être déterminé à l'aide d'un abaque de variation volumique d'un sol en fonction de la température ou d'un abaque de variation de pression au sein d'un sol en fonction de la température.

- 20 Ainsi, des modèles de fracturation (abaques) peuvent être déterminées de manière simple en laboratoire en prenant en compte un type de sol classique. Cette approche simplifiée peut permettre d'éviter une détermination précise du comportement du sol aux variations de température dans lequel est creusé le dispositif de stockage.

- 25 Dans un autre mode de réalisation, l'abaque peut être déterminé pour le sol dans lequel est creusé l'ouvrage de stockage.

Ainsi, des modèles de fracturation (abaques) peuvent être déterminés de manière fiable sur le terrain en prenant en compte l'ensemble des spécificités du sol dans lequel est creusé l'ouvrage de stockage.

Avantageusement, une pluralité de capteurs de température peut être disposée à proximité de l'ouvrage de stockage afin de mesurer la température du sol.

5 Ainsi, la pluralité de capteurs permet de fournir une image réaliste et précise des différents risques de fracturation/fissuration du sol dans l'environnement immédiat de l'ouvrage de stockage. Par exemple ces capteurs peuvent être disposés dans un rayon de 50, 100, 150 et/ou 200 mètres autour du réservoir de stockage et selon un pas d'angle de 5°, 10°, 15°, 20°, 25° et/ou 30°.

10 Le procédé peut comprendre en outre :

- en cas d'alerte levée, refroidir ou réchauffer le sol dans une zone comprenant le capteur pour laquelle l'alerte a été levée de manière à amener la valeur d'alerte en-dessous du seuil prédéterminé.

15 Le refroidissement du sol ou le réchauffement du sol peut permettre de diminuer le risque de fracturation du sol gelé. En effet, si la température du sol s'écarte trop rapidement de la température de référence, les forces dans le sol peuvent croître et le risque de fracturation peut augmenter. Ainsi, il peut être utile de chercher à ramener la température du sol vers la température de référence afin de diminuer ces forces.

20

Dans un mode de réalisation, la référence de température associée audit au moins un capteur de température peut être fonction du temps.

25 En outre, la référence de température associée audit au moins un capteur de température peut être fonction d'une pluralité de températures mesurées par ledit au moins un capteur pendant une fenêtre de temps glissante.

Ainsi, une moyenne des températures réalisée sur une fenêtre de temps passé, peut permettre de faire évoluer la valeur de référence de manière lissée. Cette moyenne (ou tout autre opération mathématique comme une moyenne pondérée par exemple) peut permettre de rendre compte de l'évolution normale, mais lente de la

température du sol au cours des semaines ou des saisons.

Un dispositif destiné à superviser un ouvrage de stockage peut être avantageux, en lui-même.

5 Ainsi, la présente invention vise également un dispositif de supervision d'un ouvrage de stockage creusé dans un sol gelé, comprenant :

- une interface d'entrée pour la réception d'une référence de température associée à au moins un capteur de température ;
- 10 - une interface d'entrée pour la réception d'une température mesurée par le au moins un capteur de température ;
- un module de détermination d'un facteur de fracturation du sol en fonction de la température mesurée par le au moins un capteur de température et de la référence de température associée audit au moins un capteur de température ;
- 15 - une interface de sortie pour la fourniture d'une alerte pour le au moins un capteur si le facteur de fracturation dépasse un seuil prédéterminé.

Les deux interfaces d'entrée peuvent être distinctes ou confondues

Un dispositif de stockage supervisé peut être avantageux, en lui-même.

20 Ainsi, la présente invention vise également un dispositif de stockage supervisé comprenant :

- un ouvrage de stockage creusé dans un sol gelé,
- au moins un capteur de température disposé à proximité de l'ouvrage de stockage,
- 25 - un dispositif de supervision tel que décrit précédemment et relié audit au moins un capteur.

Un programme informatique, mettant en œuvre tout ou partie du procédé décrit ci-avant, installé sur un équipement préexistant, est en lui-même avantageux, dès lors qu'il permet cette supervision.

5 Ainsi, la présente invention vise également un programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé précédemment décrit, lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation (par exemple, un langage objet ou autre), et être sous la forme d'un code source interprétable, d'un code partiellement compilé ou d'un code totalement compilé.

10 La figure 5 décrite en détails ci-après, peut former l'organigramme de l'algorithme général d'un tel programme informatique.

15 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description qui va suivre. Celle-ci est purement illustrative et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1a illustre une coupe verticale d'un dispositif de stockage de GNL dans une situation particulière de mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 1b illustre une coupe horizontale d'un dispositif de stockage de GNL dans une situation particulière de mise en œuvre de l'invention ;
- 20 - la figure 2 illustre une courbe possible de température le long d'un axe horizontal passant par le centre du dispositif de stockage ;
- la figure 3 illustre une courbe de compression uni-axiale d'un sol typique en fonction de la température ;
- la figure 4 illustre un dispositif informatique permettant de mettre en œuvre
25 un mode de réalisation particulier de l'invention ;
- la figure 5 est un organigramme général d'un procédé particulier dans un mode de réalisation particulier de l'invention.

La figure 1a illustre une coupe verticale d'un dispositif de stockage de GNL dans une situation particulière de mise en œuvre de l'invention. La figure 1b illustre quant à elle une coupe horizontale du même dispositif de stockage de GNL.

5 Ce dispositif de stockage est un dispositif de stockage de GNL enterré type cylindrique. Ce dispositif de stockage comporte un toit de protection permettant de protéger le réservoir 101 de GNL 102. Ce réservoir 102 est creusé dans un sol 103 gelé, tel que le pergélisol ou un sol 103 artificiellement gelé.

Pour geler le sol, il est possible d'injecter un liquide froid dans des cavités creusées dans le sol tout autour du réservoir (par exemple, les cavités 104, 105, 106, 10 107, ou 108). Le liquide froid peut être de l'azote liquide dont la température de vaporisation est de -196°C . De plus, l'azote n'est pas polluant si celui-ci est relâché dans l'atmosphère. Une attention particulière peut être portée au risque d'asphyxie des opérateurs aux abords des fuites potentielles d'azote. En outre, l'azote liquide est peu coûteux à produire.

15 Afin de contrôler la température du sol, des capteurs de températures peuvent être enterrés ou disposés dans le sol. Dans ce mode de réalisation, quatre ensembles de capteurs sont disposés dans le sol selon des cercles concentriques ayant comme centre l'axe de symétrie vertical du dispositif de stockage. Les capteurs 109a à 109h sont disposés sur un cercle de rayon d_1 à une profondeur h_1 . Les 20 capteurs 110a à 110h sont disposés sur un cercle de rayon d_1+d_2 à une profondeur h_1 . Les capteurs 111a à 111h sont disposés sur un cercle de rayon d_1 à une profondeur h_1+h_2 . Les capteurs 112a à 112h sont disposés sur un cercle de rayon d_1+d_2 à une profondeur h_1+h_2 .

25 La répartition de ces capteurs permet d'avoir une bonne finesse dans la détection des variations de températures dans le sol.

Par ailleurs, le dispositif de stockage comprend des parois 113 s'appuyant sur les bords de la cavité creusée dans le sol. Ces parois peuvent être en acier, en béton, en inox, ou toute autre matière permettant d'assurer une étanchéité, une pérennité et une solidité suffisante pour le stockage de GNL.

La figure 2 illustre une courbe possible de température le long d'un axe horizontal passant par le centre du dispositif de stockage.

Dans ce mode de réalisation, il est supposé que le diamètre du dispositif de stockage est de $2D_0$ est que ce dispositif est centré sur l'origine de l'axe $\vec{x}$. De plus,
5 il est supposé que ce dispositif de stockage est rempli de GNL. La température de vaporisation du GNL est d'environ -161°C dans des conditions de pression standard (i.e. 1bar).

Ainsi, pour les valeurs 0 à $+D_0$ sur l'axe $\vec{x}$, la température est de -161°C . En effet, dans cette gamme de valeurs d'abscisse, l'axe $\vec{x}$ se situe dans une zone du dispositif
10 de stockage contenant le GNL. Au delà de l'abscisse $+D_0$, la température croît progressivement à partir de la température T_1 et tend vers la température du sol T_{sol} lorsqu'on s'éloigne du dispositif de stockage. En effet, la température T_1 correspond à la température du sol au contact du dispositif de stockage. La température T_1 peut être inférieure à la température du sol T_{sol} du fait de l'injection dans le sol d'azote
15 liquide de manière régulière afin de geler le sol. La température T_1 peut être également inférieure à la température du sol T_{sol} à cause de la perméabilité thermique des parois du dispositif de stockage.

Des explications similaires peuvent être reproduites pour les valeurs d'abscisse négatives.

20

La figure 3 illustre une courbe de compression uni-axiale d'un sol typique en fonction de la température.

Il peut être constaté que la glace possède une masse volumique plus faible que l'eau à des pressions standard (i.e. 1bar). Ainsi, à des températures inférieures à
25 0°C , la glace a tendance à se dilater. En conséquence, en cas de congélation de matière en forme de cylindre, des forces axiales s'exercent dans la direction du centre. En effet, les couches de matières les plus externes, du fait de la tendance de la glace à la dilation dans cette gamme de température, appuient sur les couches plus internes et ainsi créent une pression radiale dans la matière gelée.

30 Dans un sol gelé, il peut être déterminé expérimentalement la courbe de pressions

radiales mises en jeu dans le sol en fonction de la température de celui-ci. Cette courbe est représentée, dans un cas général, par la figure 3.

Cette courbe montre une augmentation des pressions radiales de manière assez significative de 0°C à la température de $T_{\max}$. Au-delà de la température $T_{\max}$, il est constaté que les pressions radiales diminuent progressivement au sein du sol. Cette diminution reflète la tendance à une augmentation relative de la masse volumique de la glace à partir de cette température.

Par ailleurs, il est constaté que la même variation de température ΔT n'entraîne pas nécessairement la même variation de pression au sein du sol. Par exemple, aux alentours de la température T_1 , une variation de température ΔT entraîne une variation de pression ΔM_1 . En revanche, aux alentours de la température T_2 , une variation de température ΔT entraîne une variation de pression ΔM_2 . Les variations de pression ΔM_1 et ΔM_2 sont ici significativement différentes.

De trop brutales variations de pression (et donc de contraintes) au sein du sol peuvent engendrer des fissures dans le sol gelé.

La figure 4 illustre un dispositif informatique permettant de mettre en œuvre un mode de réalisation particulier de l'invention. Dans ce mode de réalisation, le dispositif informatique comporte un ordinateur 400, comprenant une mémoire 405 pour stocker des instructions permettant la mise en œuvre du procédé, des données reçues, des valeurs de références de température et des données temporaires pour réaliser les différentes étapes du procédé tel que décrit précédemment.

L'ordinateur comporte en outre un circuit de supervision 404. Ce circuit peut être, par exemple :

- un processeur apte à interpréter des instructions sous la forme de programme informatique, ou
- une carte électronique dont les étapes du procédé de l'invention sont décrites dans le silicium, ou encore
- une puce électronique programmable comme une puce FPGA (pour « Field-

Programmable Gate Array » en anglais).

Cet ordinateur comporte une interface d'entrée 403 pour la réception de données de température mesurée par les capteurs, et une interface de sortie 406 permettant de lever une alerte. Enfin, l'ordinateur comporte, pour permettre une interaction aisée
5 avec un utilisateur, un écran 401 et un clavier 402. L'interface de sortie 406 peut être confondue avec une sortie vidéo permettant un affichage sur l'écran 401.

La figure 5 est un organigramme général d'un procédé particulier dans un mode de réalisation particulier de l'invention.

10 Le procédé de supervision décrit par la figure 5 est celui d'un procédé de supervision d'un ouvrage de stockage de GNL comportant un unique capteur de température enfoui dans le sol. Le capteur de température a une référence de température.

Cette température de référence peut être typiquement la température du sol dans
15 lequel est enfoui le capteur en régime établi.

Ce procédé prévoit la réception de la température T mesurée par le capteur (message 500) et la réception de la référence de température T_R de ce même capteur (message 501).

Par exemple, le capteur peut être relié de manière filaire ou sans fil avec un
20 serveur de supervision. Le capteur peut envoyer de manière régulière (ou sur demande) la valeur de la température mesurée.

Par ailleurs ce serveur peut comporter une base de données 508 comportant la valeur de référence de température de ce capteur. Cette valeur de référence peut être une valeur fixée de manière statique dans la base de données par un opérateur
25 ou elle peut être déterminée de manière dynamique en fonction d'un procédé qui est, par exemple, décrit ci-dessous en détail.

Une fois ces deux valeurs reçues, une valeur de fracturation peut être calculée (étape 502). Cette valeur de fracturation représente le risque de création de fissures ou de fractures dans le sol gelé.

Par exemple, cette valeur de fracturation peut représenter, au niveau du capteur de température, une estimation des variations de forces, de contraintes ou de pressions dans le sol ou encore une estimation de variation de masse volumique dans le sol (cette dernière variation étant liée à la variation de pression). En revenant
5 à la figure 3, si la référence de température est $T_1 - \frac{\Delta T}{2}$ et que la température mesurée par le capteur est de $T_1 + \frac{\Delta T}{2}$, la valeur de fracturation peut être fonction de ΔM_1 . En effet, ΔM_1 représentant une variation de pression dans le sol, cette valeur est un bon indicateur du risque de fracturation ou de fissuration du sol.

Typiquement, la valeur de fracturation est calculée à partir d'un abaque comme
10 celui de la figure 3. Cet abaque peut être déterminé en fonction de données de laboratoire (courbe typique d'un sol composé à 60% de silices, 10% d'argile et à 30% d'eau) ou en fonction de données issues d'expérimentations réelles réalisées sur le terrain dans lequel est creusé le dispositif de stockage.

Si cette valeur de fracturation est supérieure à un seuil prédéterminé M_S (i.e $\Delta M_1 >$
15 M_S) (test 503, sortie OK), alors une alerte est levée (étape 504).

Dans le cas contraire (test 503, sortie KO), aucune alerte n'est levée (étape 505). Néanmoins, la valeur de fracturation peut être affichée sur une carte mise à disposition d'un opérateur afin que celui-ci puisse constater l'évolution des valeurs de fracturation pour chacun des différents capteurs. Cet affichage peut par exemple être
20 réalisé sous la forme d'une carte dite « carte de contraintes », représentant chaque valeur de contrainte par un code couleur donné.

Comme indiqué précédemment, la référence de température peut être dynamique. Ainsi, cette référence peut être déterminée en fonction d'un grand nombre de températures mesurées par le capteur pendant une fenêtre de temps glissante.

25 Par exemple, l'ensemble des valeurs de température mesurées par le capteur est transmis à un module de mise à jour de la valeur de référence. Ce module peut être stocké dans le serveur de supervision.

Sur réception de ces valeurs de température, le module peut les stocker dans une base de données 508 pour un usage ultérieur. Ce stockage met en relation dans la

base de données le temps de la mesure et la valeur de la température mesurée.

Par ailleurs, le module calcule (étape 507) une nouvelle valeur de référence en calculant la moyenne des températures mesurées par ce capteur durant une fenêtre de temps donné, par exemple les dernières minutes, les dernières heures, et/ou les
5 derniers jours. La fenêtre de temps est dite glissante, car celle-ci se décale dans le temps à chaque nouvelle moyenne.

Bien entendu, la valeur de référence n'est pas nécessairement calculée en fonction d'une moyenne de valeurs précédentes. Par exemple, une moyenne pondérée peut également être envisagée sans difficulté ou toute autre opération
10 mathématique du même type.

Par ailleurs, le schéma fonctionnel présenté sur la figure 5 est un exemple typique d'un programme dont certaines instructions peuvent être réalisées auprès du dispositif informatique décrit précédemment. A ce titre, la figure 5 peut correspondre
15 à l'organigramme de l'algorithme général d'un programme informatique au sens de l'invention.

Bien entendu, la présente invention ne se limite pas aux formes de réalisation décrites ci-avant à titre d'exemples ; elle s'étend à d'autres variantes.

20 D'autres réalisations sont possibles.

REVENDICATIONS

1. Procédé de supervision d'un ouvrage de stockage creusé dans un sol gelé, au moins un capteur de température étant disposé à proximité de l'ouvrage de stockage, une référence de température étant associée audit capteur de température,

5 le procédé comportant les étapes :

- recevoir la référence de température associée audit au moins un capteur de température ;

- recevoir la température mesurée pour le au moins un capteur de température ;

10 - déterminer un facteur de fracturation du sol en fonction de la température mesurée par le au moins un capteur de température et de la référence de température associée audit au moins un capteur de température ;

- lever une alerte pour le au moins un capteur si le facteur de fracturation dépasse un seuil prédéterminé.

15

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le facteur de fracturation est déterminé en fonction de la différence entre la température mesurée par le au moins un capteur de température et la référence de température associée audit au moins un capteur de température.

20

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le facteur de fracturation est déterminé à l'aide d'un abaque de variation volumique de la glace en fonction de la température ou d'un abaque de variation de pression au sein de la glace en fonction de la température.

25

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le facteur de fracturation est déterminé à l'aide d'un abaque de variation volumique d'un sol en

fonction de la température ou d'un abaque de variation de pression au sein d'un sol en fonction de la température.

5 5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel l'abaque est déterminé pour le sol dans lequel est creusé l'ouvrage de stockage.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel une pluralité de capteurs de température est disposée à proximité de l'ouvrage de stockage afin de mesurer la température du sol.

10

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le procédé comprend en outre :

15 - en cas d'alerte levée, refroidir ou réchauffer le sol dans une zone comprenant le capteur pour laquelle l'alerte a été levée de manière à amener la valeur d'alerte en-dessous du seuil prédéterminé.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la référence de température associée audit au moins un capteur de température est fonction du temps.

20

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la référence de température associée audit au moins un capteur de température est fonction d'une pluralité de températures mesurées par ledit au moins un capteur pendant une fenêtre de temps glissante.

25

10. Dispositif de supervision d'un ouvrage de stockage creusé dans un sol gelé, comprenant :

- une interface d'entrée pour la réception d'une référence de température associée à au moins un capteur de température ;
- une interface d'entrée pour la réception d'une température mesurée par le au moins un capteur de température ;
- 5 - un module de détermination d'un facteur de fracturation du sol en fonction de la température mesurée par le au moins un capteur de température et de la référence de température associée audit au moins un capteur de température ;
- 10 - une interface de sortie pour la fourniture d'une alerte pour le au moins un capteur si le facteur de fracturation dépasse un seuil prédéterminé.

11. Dispositif de stockage supervisé comprenant :

- un ouvrage de stockage creusé dans un sol gelé,
- 15 - au moins un capteur de température disposé à proximité de l'ouvrage de stockage,
- un dispositif de supervision selon la revendication 10 et relié audit au moins un capteur.

12. Produit programme informatique comportant des instructions pour la mise en
- 20 œuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 9, lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

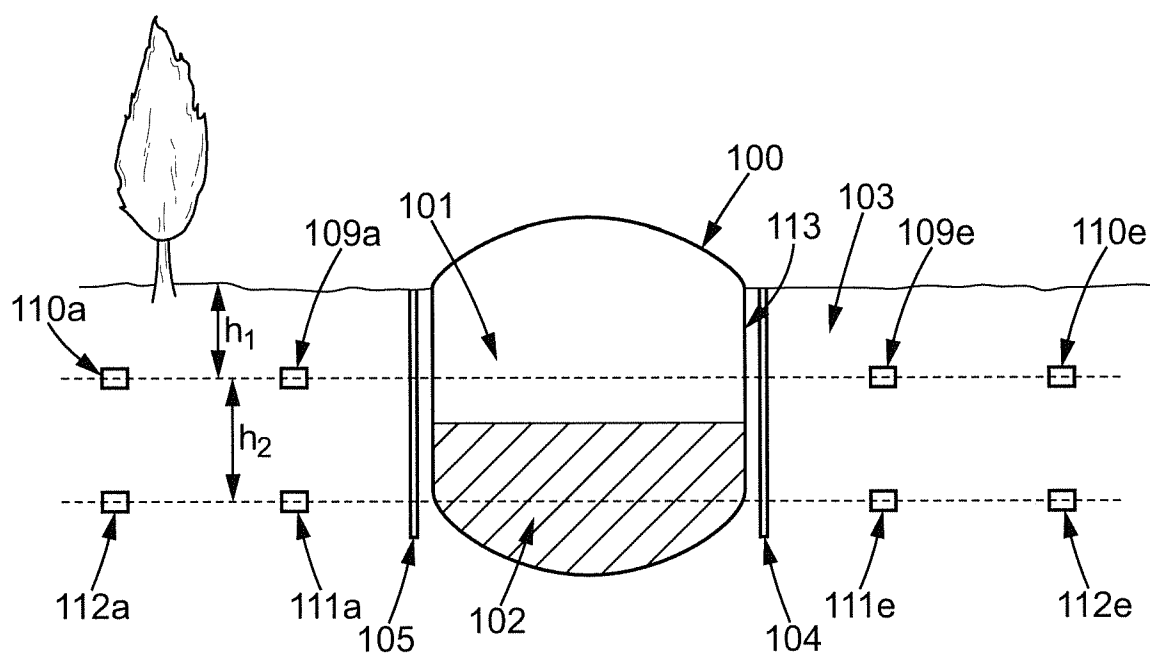


FIG. 1a

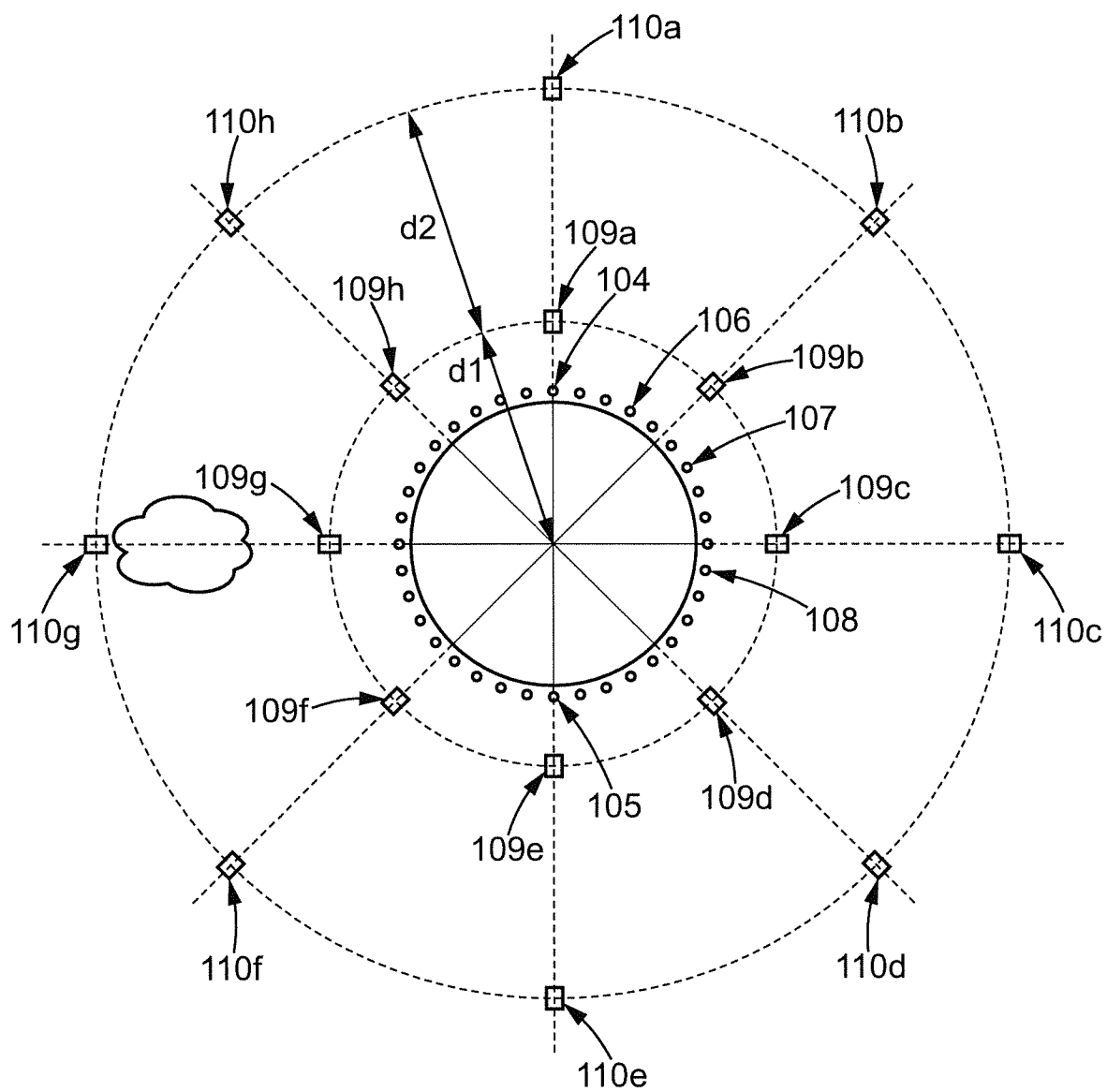


FIG. 1b

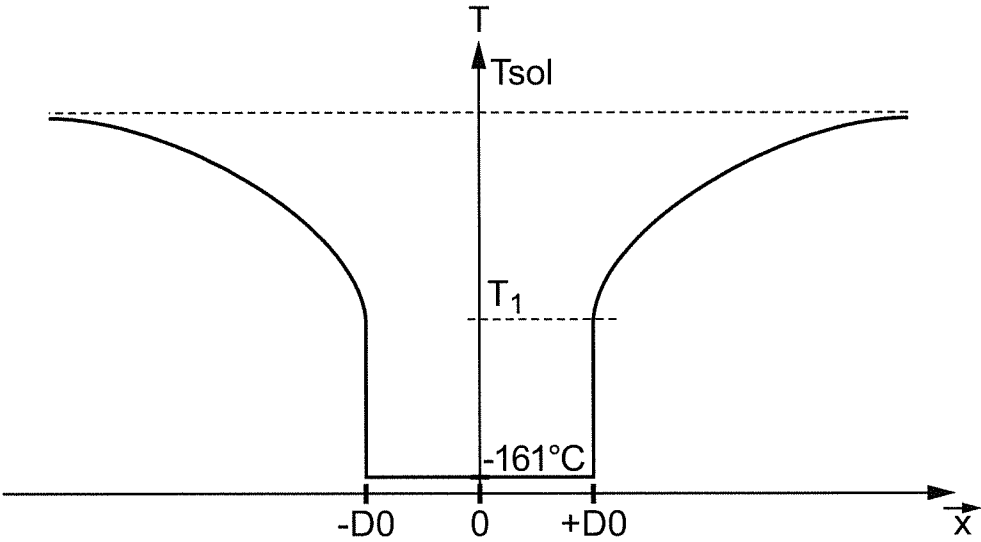


FIG. 2

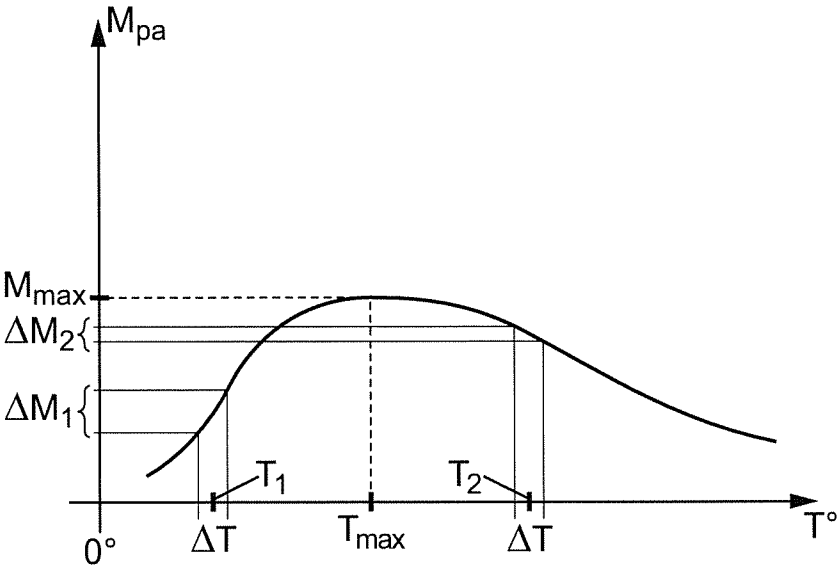


FIG. 3

