

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2024/192516 A1**

(43) Date de la publication internationale  
26 septembre 2024 (26.09.2024)

(51) Classification internationale des brevets :

G01K 1/143 (2021.01) G01N 25/56 (2006.01)  
G01K 1/024 (2021.01) H05K 1/14 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/CA2024/050329

(22) Date de dépôt international :

19 mars 2024 (19.03.2024)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

3193351 20 mars 2023 (20.03.2023) CA

(71) Déposant : HYDRO-QUÉBEC [CA/CA] ; 75 Boul René-Lévesque O., Montréal, Québec H2Z 1A4 (CA).

(72) Inventeurs : RIENDEAU, Sylvain ; 1605 Ch de la Côte-d'en-Haut, Varennes, Québec J3X 0C2 (CA). LACERTE, Dave ; 275 Av De Dieppe, Saint-Hyacinthe, Québec J2S 6Z7 (CA). BÉLANGER, François ; 69 Montée Robert, Saint-Basile-le-Grand, Québec J3N 1L7 (CA). DUPONT, Louis ; 1161 Boul N.-P.-Lapierre, Sainte-Julie, Québec J3E 1W3 (CA). GINGRAS, Pierre ; 1740 Rue Benoit, Saint-Bruno, Québec J3V 6N5 (CA).

(74) Mandataire : ROBIC AGENCE PI S.E.C. / ROBIC IP AGENCY LP ; 630 boul. René-Lévesque O., 20e étage, Montréal, Québec H3B 1S6 (CA).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

(54) Title: TEMPERATURE MEASUREMENT OF CABLES OF AN ELECTRICAL LINE IN AN UNDERGROUND CONDUIT

(54) Titre : MESURE DE TEMPÉRATURE DE CÂBLES D'UNE LIGNE ÉLECTRIQUE DANS UN CONDUIT SOUTERRAIN

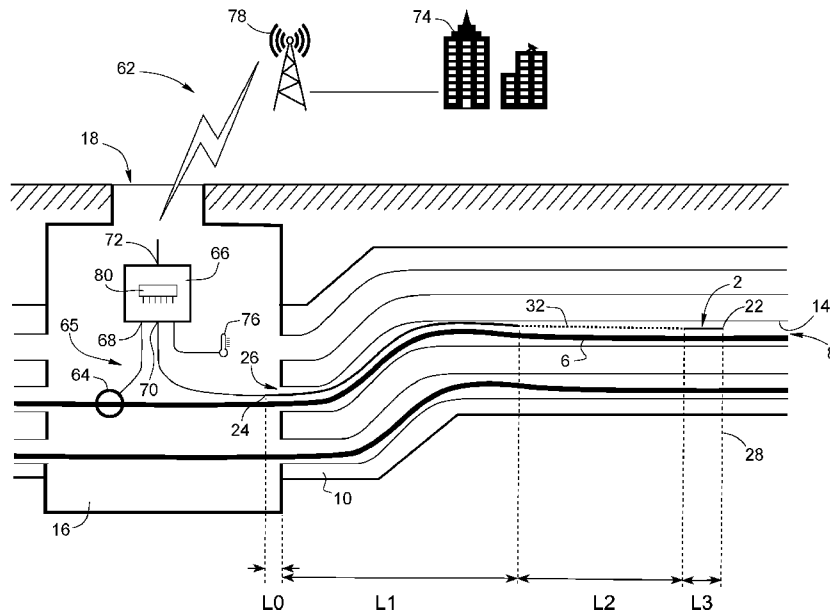


FIG. 1

(57) Abstract: A temperature probe with digital sensors distributed in a flexible tube is disclosed. The probe is provided with a tapered tip at one end of the tube so as to facilitate its insertion into an underground conduit in order to measure a temperature of a cable twist of an electrical line in operation in the conduit, leaving only a restricted space between the cable twist and an inner surface of the conduit. A number and distribution of the sensors are based on a linear pitch between two longitudinal peaks of the cable twist. A telemetry system and a temperature measurement method using the probe are also disclosed.

(57) Abrégé : Une sonde de température à capteurs numériques répartis dans un tube flexible est divulguée. La sonde est dotée d'un embout fuselé à une extrémité du tube de manière à faciliter son insertion dans un conduit souterrain afin de mesurer une température d'une



WO 2024/192516 A1

HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

**(84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, 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, ME, 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).

**Déclarations en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17(iv))*

**Publiée:**

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*  
— *en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.*

---

torsade de câbles d'une ligne électrique en opération dans le conduit ne laissant qu'un espace restreint entre la torsade de câbles et une surface interne du conduit. Un nombre et une répartition des capteurs sont en fonction d'un pas linéaire entre deux crêtes longitudinales de la torsade de câbles. Un système de télémessure et une méthode de mesure de température utilisant la sonde sont également divulgués.

## MESURE DE TEMPÉRATURE DE CÂBLES D'UNE LIGNE ÉLECTRIQUE DANS UN CONDUIT SOUTERRAIN

### DOMAINE DE L'INVENTION

5

L'invention porte en général sur des lignes électriques dans des conduits souterrains, et plus particulièrement sur une sonde de température pour mesurer une température d'une torsade de câbles d'une ligne électrique dans un conduit souterrain ne laissant qu'un espace restreint entre la torsade de câbles et une surface interne du conduit.

10

L'invention porte également sur un système de télémessure et une méthode de mesure de température utilisant la sonde de température.

### CONTEXTE

15

La température maximale d'opération des câbles souterrains MT ("Moyenne Tension") et BT ("Basse Tension") est un facteur principal qui limite la capacité de transit d'une ou plusieurs lignes électriques souterraines. Un endroit où une température maximale des câbles peut être atteinte se trouve dans des conduits de massif souterrain. Des logiciels de simulation peuvent être utilisés par un projeteur

20

(spécialiste en matière de transport et de distribution d'énergie électrique) pour estimer une température des câbles d'une ligne selon divers arrangements de câbles et leur position dans un massif, en tenant compte des charges historiques moyenne et maximale sur la ligne. Cependant, les simulations sont fondées sur une estimation imprécise de facteurs qui influencent grandement les résultats, par exemple une

25

conductivité thermique du sol, un niveau de nappe phréatique, etc. Les simulations incluent généralement une marge de sécurité et sont donc conservatrices. Les résultats des simulations peuvent être ambigus, à savoir si des lignes chargées peuvent transporter plus de courant ou non. Une augmentation de charge à transiter et une impossibilité d'ajouter une nouvelle ligne dans un massif existant sont des

30

éléments déclencheurs pour construire de nouveaux massifs. Or, cela implique

généralement des coûts de plusieurs millions de dollars et des délais importants en termes d'années avant leur mise en service et exploitation.

Certaines techniques et certains dispositifs ont été proposés par le passé pour mesurer la température d'une ligne de transport d'électricité souterraine ou la température dans un conduit contenant un câble quelconque. Les demandes de brevets JP2001165781A (Hitachi Cable Ltd), JP2004251672A Hitachi Cable Ltd), JP2004264090A (Chugoku Electric Power Co Inc, Furukawa Electric Co Ltd), JP2007003516A (Tokyo Electric Power Co Inc), JP2010002281A (Kansai Electric Power Co Inc, J-Power Systems Corp), JPH03107735A, (Tokyo Electric Power Co Inc, Hitachi Cable Ltd, WO2020052984A1 (ABB Schweiz Ag), et les brevets US6811307 (Draka Comteq BV), US6890095 (MAMAC Systems Inc), US8130101 (Lockheed Martin Corp), et US8775151 (SensorTran Inc) fournissent des exemples de techniques et dispositifs dans le domaine, même si en général peu de détails sur leur mise en oeuvre, conception ou réalisation pratique sont donnés.

Les techniques et dispositifs connus présentent plusieurs lacunes. Par exemple, l'utilisation souvent proposée d'une fibre optique comme capteur de température pour mesurer la température d'une ligne électrique implique des coûts élevés d'installation et d'équipement de mesure. De plus, une mesure de température et son emplacement le long de la fibre optique sont imprécis. Généralement, la méthode utilisée consiste à provoquer des collisions de photons qui créent une onde de choc acoustique qui fait vibrer la fibre. La fréquence de résonance est fonction de la température et de la charge mécanique sur la fibre. Lors du positionnement de la fibre, une charge mécanique sur la fibre ne pourra être évitée. Ceci induira une erreur plus ou moins importante sur la mesure. Pour ce qui est de la précision sur la position, elle dépend de la précision sur la mesure du temps. Plus la mesure du temps est précise, plus l'équipement est sensible et dispendieux. Dans le cas d'un capteur analogique basé par exemple sur une thermistance ou un thermocouple, les champs magnétiques et électriques produits par une ligne électrique en opération

sont hautement susceptibles d'altérer la mesure de température du capteur ou la transmission d'un signal de mesure produit par le capteur. Une sonde munie d'un seul capteur de température déplacé à différentes profondeurs d'un conduit près d'une ligne électrique ne permet qu'une seule mesure à un moment donné, nécessite  
5 une manipulation sur place qui peut s'avérer impossible à faire dans une structure inondable et en présence de contaminants ou détritiques, et une précision de la mesure de température fournie par le capteur n'est aucunement assurée, car la distance entre le câble et le capteur est inconnue. La fabrication d'un câble ou la construction  
10 d'un conduit intégrant un ou des capteurs de température, avant installation ou exploitation, implique également des coûts importants et entraînent des contraintes d'installation et de maintenance, qui en plus peuvent compliquer les méthodes de travail des intervenants. Les méthodes nécessitant une prise de mesure dans un conduit vide adjacent à celui d'une ligne électrique ne sont pas utiles lorsqu'aucun  
15 conduit vide n'est disponible, et sont généralement moins précises en raison des paramètres variables supplémentaires dans le calcul de la température de la ligne contre celle dans le conduit vide. Enfin, les dispositifs connus ne sont pas adaptés pour être facilement insérés à une profondeur de plusieurs mètres dans un conduit souterrain logeant une ligne électrique qui n'est pas longitudinalement lisse, par  
20 exemple une ligne formée d'une torsade de câbles comme c'est généralement le cas pour des lignes MT et BT souterraines, en plus d'assurer un contact thermique avec l'isolant d'au moins un des câbles afin d'obtenir des mesures de température précises.

## SOMMAIRE

25

Un objet de la présente invention est de proposer une sonde de température d'une torsade de câbles d'une ligne électrique en opération dans un conduit souterrain ne laissant qu'un espace restreint entre la torsade de câbles et une surface interne du conduit, qui est facile à insérer sur plusieurs mètres dans le conduit alors que les  
30 câbles sont sous tension (alimentés) et sous charge (transitent des courants), qui

permet de mesurer la température en tout temps et simultanément à plusieurs profondeurs dans le conduit, qui est peu sensible à un champ magnétique ou électrique produit par les câbles, et qui permet de déterminer avec précision un profil de température des câbles et de leur âme dans le conduit.

5

Un objet subsidiaire de l'invention est de proposer une sonde de mesure de température qui permet de connaître une température précise en temps réel des câbles les plus sollicités de lignes électriques dans des conduits souterrains afin d'optimiser l'exploitation du réseau électrique souterrain à la limite d'une capacité thermique des câbles, et d'éviter ou pouvoir reporter à plus tard la construction de nouvelles lignes et structures conséquentes souterraines.

10

Un autre objet subsidiaire de l'invention est de proposer une sonde de température qui est robuste et qui peut être étanche afin d'être submersible en continu ou à l'occasion.

15

Selon un mode de réalisation de la présente invention, il est proposé une sonde de température pour mesurer une température d'une torsade de câbles d'une ligne électrique en opération dans un conduit souterrain ne laissant qu'un espace restreint entre la torsade de câbles et une surface interne du conduit, la sonde de température comprenant:

20

un tube flexible électriquement isolant, le tube flexible ayant des première et deuxième extrémités opposées et un diamètre extérieur inférieur audit espace restreint, la première extrémité étant destinée à être insérée dans le conduit depuis une ouverture du conduit jusqu'à une profondeur dans le conduit, la deuxième extrémité étant destinée à rester accessible près de l'ouverture du conduit lorsque la première extrémité est à ladite profondeur dans le conduit;

25

un embout fuselé électriquement isolant fixé de manière étanche à la première extrémité du tube flexible et configuré pour faciliter une insertion du tube flexible dans l'espace restreint en longeant la torsade de câbles dans le conduit;

30

un arrangement de capteurs numériques de température logés et répartis longitudinalement dans le tube flexible, un nombre et une répartition des capteurs numériques étant en fonction d'un pas linéaire entre deux crêtes longitudinales de la torsade de câbles; et

5 un arrangement de connexion reliant les capteurs numériques, l'arrangement de connexion ayant un circuit d'alimentation électrique pour alimenter les capteurs numériques, et un circuit de communication sortant de la deuxième extrémité du tube flexible pour transmettre extérieurement des signaux numériques indicatifs des températures mesurées par les capteurs numériques.

10

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, il est proposé un système de télémessure de température d'une section accessible d'une ligne électrique en opération dans un conduit souterrain, le système de télémessure comprenant:

15 une sonde de température à capteurs numériques répartis dans un tube flexible longeant une longueur de la section de la ligne électrique dans le conduit souterrain;

un arrangement d'alimentation connecté à une source d'alimentation électrique; et

20 une unité d'acquisition ayant une entrée connectée à l'arrangement d'alimentation pour recevoir l'alimentation électrique, un port de connexion connecté à la sonde de température pour alimenter électriquement les capteurs numériques et recevoir des signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques, et un dispositif de télécommunication configuré pour transmettre à un site distant du conduit souterrain des signaux de mesures de températures découlant  
25 des signaux numériques de températures reçus par l'unité d'acquisition.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, il est proposé une méthode pour mesurer une température d'une section accessible d'une ligne électrique en opération dans un conduit souterrain, la méthode comprenant les étapes de:

insérer une sonde de température à capteurs numériques répartis dans un tube flexible de sorte que le tube flexible longe une longueur de la section de la ligne électrique dans le conduit souterrain;

5 fournir un arrangement d'alimentation connecté à une source d'alimentation électrique;

alimenter électriquement les capteurs numériques de la sonde de température par une unité d'acquisition recevant l'alimentation électrique de l'arrangement d'alimentation;

10 recevoir, par l'unité d'acquisition, des signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques;

transmettre, par un dispositif de télécommunication, des signaux de mesures de températures découlant des signaux numériques de température reçus par l'unité d'acquisition;

15 recevoir, à un site distant du conduit souterrain, les signaux de mesures de températures; et

traiter, au site distant, les signaux numériques de températures de manière à déterminer une température de la ligne électrique basée sur au moins une des températures mesurées par les capteurs numériques incluant la température mesurée qui est la plus élevée.

20

## **DESCRIPTION BRÈVE DES DESSINS**

Une description détaillée des réalisations préférées de l'invention sera donnée ci-après en référence avec les dessins suivants:

25

Fig. 1 est une vue de coupe schématique d'un massif souterrain montrant une sonde de température insérée dans un conduit d'une ligne électrique, une unité d'acquisition connectée à la sonde, et un système de télécommunication de données produites par l'unité d'acquisition, selon une réalisation de l'invention.

30

Fig. 2 est une vue schématique d'une sonde de mesure de température selon une réalisation de l'invention.

5 Fig. 3 est une vue de coupe schématique d'une sonde de mesure de température selon une réalisation de l'invention.

Fig. 4 est une vue schématique partielle d'un arrangement de connexion d'un capteur numérique de température dans la sonde de température selon une réalisation de l'invention.

10

Fig. 5 est une vue de coupe schématique d'une sonde de température selon une autre réalisation de l'invention.

15 Fig. 6A, 6B et 6C sont des vues schématiques en perspective et de côté d'un embout fuselé d'une sonde de température selon une réalisation de l'invention.

Fig. 6D est une vue schématique illustrant une forme d'un embout fuselé d'une sonde de température selon une réalisation de l'invention.

20 Fig. 7 est une coupe schématique longitudinale d'une sonde de température longeant une ligne MT dans un conduit selon une réalisation de l'invention.

Fig. 8 est une coupe schématique transversale d'une sonde de température d'une ligne MT dans un conduit selon une réalisation de l'invention.

25

Fig. 9 est un graphique illustrant un profil de mesures de température prises par une sonde de température selon l'invention.

## DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES RÉALISATIONS PRÉFÉRÉES

Dans la présente divulgation, à moins d'indications contraires ou que le contexte implique une interprétation différente, l'expression "correspondant à" ou "correspondant au" doit être comprise de manière qu'une correspondance substantielle, avec un certain jeu, est possible. De même, le déterminant "un/une" ne doit pas être interprété de manière limitative si le contexte le permet, de façon à pouvoir signifier "au moins un/une" ou "un/une ou plus".

10 En référence à la Figure 1, une sonde de température 2 en position opérationnelle selon l'invention est illustrée. La sonde de température 2 est conçue pour mesurer une température d'une torsade 4 de câbles 5 (illustrée e.g. à la Figure 7) d'une ligne électrique 6 en opération dans un conduit 8 souterrain ne laissant qu'un espace restreint 12 (illustré e.g. à la Figure 8) entre la torsade 4 de câbles 5 et une surface interne 14 du conduit 8. Le conduit 8 peut être un conduit de massif souterrain 10 qui est généralement en béton et est raccordé à une chambre 16 avec puits d'accès 18 en surface ou accessible autrement, permettant d'accéder à la ligne 6 ou plus généralement un ensemble de lignes électriques souterraines, en particulier des lignes d'un réseau de distribution souterrain MT ou BT (et d'autres équipements qui peuvent se trouver dans la chambre 16). Une telle chambre 16 est notamment utilisée pour faire des raccordements (joints ou embranchements) entre plusieurs sections de câbles souterrains. La température dans un conduit souterrain 8 d'un massif 10 est habituellement stable au-delà de 3 à 4 m de profondeur dans le conduit 8 et n'est plus affectée par la température de la structure souterraine formant la chambre 16. La configuration et les propriétés thermiques du sol sont généralement homogènes sur la longueur du massif 10.

En référence à la Figure 2, la sonde de température 2 comporte un tube flexible 20 électriquement isolant. Le tube flexible 20 a des première et deuxième extrémités 22,

24 opposées et un diamètre extérieur inférieur à l'espace restreint 12 (illustré e.g. à la Figure 8).

5 En référence à nouveau à la Figure 1, la première extrémité 22 est destinée à être insérée dans le conduit 8 depuis une ouverture 26 du conduit 8 jusqu'à une profondeur 28 dans le conduit 8. La deuxième extrémité 24 est destinée à rester accessible près de l'ouverture 26 du conduit 8 lorsque la première extrémité 22 est à la profondeur 28 dans le conduit 8.

10 En référence à nouveau à la Figure 2, la sonde de température 2 comporte un embout fuselé 30 électriquement isolant fixé de manière étanche à la première extrémité 22 du tube flexible 20 et configuré pour faciliter une insertion du tube flexible 20 dans l'espace restreint 12 en longeant la torsade 4 de câbles 5 dans le conduit 8, comme illustrés e.g. à la Figure 7.

15

Selon un mode de réalisation, le tube flexible 20 et l'embout fuselé 30 sont faits de matériaux supportant une température d'au moins 125°C sans altérations de forme et de propriétés physiques. Des matériaux appropriés sont du PVDF (polyfluorure de vinylidène) ou du PTFE (polytétrafluoroéthylène) qui permettent de répondre à des propriétés d'isolation électrique, de rigidité suffisante à basse et haute température, et de coefficient de frottement minime pour faciliter l'insertion de la sonde de température 2 dans le conduit 8 de massif 10 (illustrés e.g. à la Figure 1). De tels matériaux présentent une faible inertie thermique qui permet de suivre rapidement la température locale lors d'une variation rapide du milieu immédiat, et une résistance à des produits chimiques et ne se dégradent donc pas au contact d'huiles ou de sel de déglçage pouvant être présent dans la chambre 16 ou le conduit 8 (illustrés e.g. à la Figure 1). D'autres matériaux peuvent convenir, notamment s'ils sont électriquement isolants et présentent des caractéristiques de flexibilité et/ou semi-rigidité permettant au tube flexible 20 de se faufiler dans l'espace restreint 12 tout en évitant qu'il se bourre lors de sa mise en place dans le conduit 8 (illustré e.g. à la Figure 1). Un

20

25

30

adhésif à base de silicone peut être utilisé entre le tube flexible 20 et l'embout fuselé 30 pour assurer l'étanchéité. Un tube en PVDF semi-transparent convient particulièrement pour former le tube flexible 20.

5 En référence aux Figures 6A, 6B et 6C, selon un mode de réalisation, l'embout fuselé 30 a une base 42 ayant un diamètre correspondant au diamètre extérieur du tube flexible 20 (illustré e.g. à la Figure 3) de sorte que la base 42 de l'embout fuselé et la première extrémité 22 (illustrée e.g. à la Figure 3) du tube flexible 20 présentent une interface externe lisse lorsque l'embout fuselé 30 est en position de fixation étanche  
10 avec la première extrémité 22 du tube flexible 20. Selon un mode de réalisation, l'embout fuselé 30 a une pointe arrondie 52 sur un côté opposé à la base 42, et un pourtour 54 parabolique s'étendant entre la pointe arrondie 52 et la base 42. L'embout fuselé 30 peut présenter un élément de fixation 46 se projetant de la base 42 et s'insérant dans un trou axial 48 à la première extrémité 22 du tube flexible 20  
15 (illustrés e.g. à la Figure 3) pour fixer l'embout fuselé 30 de manière étanche au tube flexible 20. L'élément de fixation 46 et le trou axial 48 peuvent avantageusement comporter des filets complémentaires de sorte que l'embout fuselé 30 se visse à la première extrémité 22 du tube flexible 20. Les filets complémentaires peuvent être définis selon la norme américaine NPT ("National Pipe Thread") pour assurer  
20 l'étanchéité de la fixation. D'autres arrangements de fixation peuvent être utilisés pour fixer l'embout fuselé 30 à la première extrémité 22 du tube flexible 20, de façon que l'embout fuselé 30 soit détachable ou non du tube flexible 20.

En référence à la Figure 6D, la forme de l'embout fuselé 30 peut être caractérisée par  
25 une longueur  $L$ , un diamètre  $D$ , dont sa surface extérieure 54 est engendrée par révolution autour d'un axe central 94 de l'embout fuselé 30. La surface extérieure 54 passe par un sommet 96 de l'embout situé sur l'axe central 94 à une distance  $L$  d'un centre 98 de la base 42 de l'embout fuselé 30, et dont chaque point 100, 102 en  $x$  104 sur la surface extérieure 54 s'éloignant du sommet 96 vers la base 42 sur une  
30 circonférence de la base 42 de l'embout fuselé 30 présente une pente (dérivée de la

5 courbe de la surface 54) de plus en plus négative, partant d'une pente nulle au sommet 96 vers une pente qui tend idéalement vers l'infini négatif à la base 42 de l'embout fuselé 30 pour une continuité de forme avec le tube flexible 20 (illustré e.g. à la Figure 2) préférablement également de diamètre D. Des dimensions typiques, mais non limitatives de l'embout fuselé 30 sont une longueur L de 30 mm et un diamètre D de 15.88 mm, sous un profil de courbe de la surface 54 pouvant être considérée comme parabolique.

10 En référence à la Figure 3, la sonde de température 2 comporte un arrangement de capteurs numériques de température 50 logés et répartis longitudinalement dans le tube flexible 20. Un nombre et une répartition des capteurs numériques de température 50 sont en fonction d'un pas linéaire 33 entre deux crêtes 34 longitudinales de la torsade 4 de câbles 5 comme illustrés à la Figure 7. Un modèle de capteur numérique convenant particulièrement à la sonde de température 2 est le capteur TMP107 fabriqué par la compagnie Texas Instruments. Une chaîne  
15 comprenant jusqu'à 32 capteurs raccordés en cascade, adressables individuellement, pouvant communiquer sur une distance de 300 m, peut être formée avec un tel modèle de capteur. De plus, ce modèle de capteur a une faible consommation de puissance et peut être alimenté seulement lors d'une lecture de température. Une  
20 communication sur un lien série de type 1-Wire allant de 4,8 kbauds à 115,4 kbauds permet d'interfacer ce type de capteur à l'aide d'un contrôleur UART ("Universal Asynchronous Receiver Transmitter") et d'une sortie en collecteur ouvert avec 3 fils seulement. L'utilisation de capteurs numériques 50 permet une lecture et conversion numérique des données aux points de lecture, ce qui évite de transmettre des  
25 signaux analogiques sur plusieurs mètres dans un environnement électromagnétique bruyant. D'autres modèles de capteurs peuvent aussi convenir, comme le capteur LMT01-LR également fabriqué par Texas Instruments. Des capteurs numériques comme le TMP107 et le LMT01-LR sont peu affectés par de forts courants générant des champs magnétiques ou électriques et peuvent donc être installés à portée de

câbles MT qui peuvent transporter des centaines voire des milliers d'ampères sans être perturbés par le champ magnétique de ceux-ci.

En référence à la Figure 4, un arrangement de connexion 36 est connecté aux  
5 capteurs numériques 50. L'arrangement de connexion 36 a un circuit d'alimentation électrique 38 pour alimenter les capteurs numériques 50, et un circuit de communication 40 sortant de la deuxième extrémité 24 du tube flexible 20 (illustrés e.g. à la Figure 3) pour transmettre extérieurement des signaux numériques indicatifs des températures mesurées par les capteurs numériques 50. Les circuits  
10 d'alimentation électrique 38 et de communication 40 de l'arrangement de connexion 36 peuvent être avantageusement réalisés par des conducteurs torsadés avec blindage entre les capteurs numériques 50 pour une immunité à des champs magnétique et électrique. Selon la marque et le modèle, les capteurs numériques 50 peuvent être opérationnellement connectés en cascade les uns aux autres par  
15 l'arrangement de connexion 36.

En référence à nouveau à la Figure 3, selon un mode de réalisation, l'arrangement de capteurs numériques 50 comporte des cartes de circuit imprimé 54 sur lesquelles les capteurs numériques 50 sont respectivement montés et sont opérationnellement  
20 connectés. Les cartes de circuit imprimé 54 ont des dimensions laissant un jeu par rapport à un diamètre interne du tube flexible 20 tout en supportant les capteurs numériques 50 à ou près d'un centre axial du tube flexible 20 par contact avec une surface interne du tube flexible 20 comme illustré à la Figure 8. Des filtres d'alimentation et de conditionnement de signal 94 formés e.g. par des condensateurs  
25 et résistances peuvent être montés sur les cartes de circuit imprimé 54. Un alignement des condensateurs et résistances le long des cartes de circuit imprimé 54 peut être avantageux pour diminuer un stress physique appliqué sur ces composantes. Un dépassement du cuivre du masque de soudure des empreintes des composantes peut permettre d'assurer que le cuivre ne décolle pas d'une couche  
30 isolante intérieure des cartes de circuit imprimé 54 (habituellement en polyimide).

En référence à la Figure 5, selon un mode de réalisation, les cartes de circuit imprimé 54 peuvent avantageusement être des cartes flexibles disposées bout à bout en étant par exemple soudées les unes aux autres de manière à former une bande continue de circuits imprimés 56 s'étendant sur une longueur excédant une distance entre un premier et un dernier des capteurs numériques 50, simplifiant un positionnement précis des capteurs numériques 50 dans le tube flexible 20 le long de la sonde de température 2 (illustrés e.g. à la Figure 3). Les circuits d'alimentation électrique 38 et de communication 40 de l'arrangement de connexion 36 peuvent alors être réalisés par des circuits 58 formés sur (e.g. sous) et interconnectés entre les cartes de circuit imprimé 54 par des contacts d'extrémité de carte ("fingers") (non illustrés). Les conducteurs de masse des circuits d'alimentation 38 et de communication 40 peuvent avoir une forme torsadée entre les capteurs numériques 50 pour diminuer une influence d'un champ magnétique tout en évitant autant que possible qu'une surface de cuivre n'affecte une flexibilité de la bande de circuit imprimé 56 entre les capteurs numériques 50 ou agisse comme pont thermique. Les cartes de circuit imprimé peuvent également être formées par une seule et même carte flexible allongée de circuit imprimé.

En référence à nouveau à la Figure 3, selon un mode de réalisation, la sonde de température 2 comporte de plus un embout de sortie 60 fixé de manière étanche à la deuxième extrémité 24 du tube flexible 20 de sorte que la sonde de température 2 soit submersible. Le circuit d'alimentation électrique 38 et le circuit de communication 40 traversent alors de manière étanche l'embout de sortie 60. L'embout de sortie 60 peut avantageusement être formé par un presse-étoupe et du silicone pour former un joint étanche avec un câble 106 contenant les conducteurs des circuits 38 et 40 (e.g. alimentation, masse-alimentation, communication+, masse communication-). Le câble 106 peut avantageusement être doté d'un connecteur 108 (illustré à la Figure 2) comme un connecteur étanche à baïonnette anticorrosion qui peut être immergé jusqu'à une profondeur de 1 bar (10.1 m). Le joint étanche peut servir à fixer les

positions des circuits d'alimentation électrique 38 et de communication 40 dans le tube flexible 20 et permettre de contrôler une position de l'ensemble des capteurs numériques 50 à l'intérieur du tube flexible 20. Comme les circuits 38, 40 et les capteurs numériques 50 ne sont pas fixés à la paroi intérieure du tube flexible 20, il n'y a pas de contraintes mécaniques sur ceux-ci et une flexibilité sur toute la longueur du tube flexible 20 n'est pas entravée. Le tube flexible 20 peut être rempli d'un composant propice à un transfert thermique qui n'augmente pas significativement une masse thermique autour des capteurs numériques 50 ni leur temps de réaction lors d'un changement de température de la ligne 6 ou du milieu ambiant dans le conduit 8 (illustrés e.g. à la Figure 1). Les circuits d'alimentation 38 et de communication 40 peuvent être avantageusement enduits d'une couche protectrice ("conformal coating") pour les protéger contre une possible condensation d'humidité emprisonnée dans la sonde de température 2 lors de son assemblage. Le câble 106 peut contenir un blindage métallique en aluminium ou cuivre pour une protection contre un champ électrique et à des décharges électrostatiques, et sa gaine peut être en FEP (Fluore-Éthylène-Propylène) ou E-CTFE (Éthylène-Chlorotrifluoroéthylène) pour une protection contre les huiles, l'eau et les rayons UV. Un câble en FEP, pouvant faire circuler un signal e.g. de 88 kHz, convient particulièrement pour former le câble 106.

En référence à nouveau à la Figure 8, le conduit 8 n'est pas nécessairement rectiligne sur toute sa longueur (comme illustré e.g. à la Figure 1) et la torsade 4 repose dans le conduit 8 en prenant une courbure minimale à chaque changement de direction du conduit 8. Pour tenir compte de restrictions causées par la présence potentielle de débris ou changements de direction du conduit 8, la sonde de température 2 doit en pareil cas pouvoir se faufiler dans l'espace 12 d'une zone 88 délimitée par la torsade 4, ainsi que dans des espaces libres 86 comme illustré par exemple par une position possible de la sonde de température 2'. Ces espaces 12, 86 déterminent un diamètre maximal du tube flexible 20 de la sonde de température 2. À titre d'exemple, pour un conduit 8 ayant un diamètre intérieur de 11.43 cm (4.5 po), alors un diamètre extérieur du tube flexible peut être de 1.59 cm (0.625 po).

Selon un mode de réalisation possible, une rigidité du ou des matériaux utilisés pour le tube flexible 20 doit être suffisamment élevée pour éviter un bourrage et une déformation de la sonde de température 2 durant son insertion dans le conduit 8. Un rayon de courbure du tube flexible 20 doit pouvoir être supérieur à des rayons de courbure intérieurs du conduit 8 et inférieur à des rayons de courbure de coudes dans le conduit 8. Le tube flexible 20 ne doit pas s'écraser sous une pression d'un liquide pouvant se trouver dans le conduit 8 et la chambre 16 (illustrée à la Figure 1). Des conduits 8 de massif 10 peuvent être enfouis jusqu'à 5 m de profondeur et la chambre 16 (tous illustrés e.g. à la Figure 1) peut être inondée jusqu'au niveau du sol de manière à exercer une pression de 7.3 psi. Un tube flexible 20 fait par exemple en PTFE présente une dureté "Durometer" de 75D, un rayon de courbure de 6.35 cm (2.5 po) et est résistant à une pression de 140 psi. Une épaisseur du tube flexible 20 peut aussi être considérée pour convenir aux caractéristiques requises, selon le ou les matériaux le constituant.

En référence à nouveau à la Figure 1, la sonde de température 2 selon l'invention peut avantageusement s'intégrer à un système de télémessure 62 de température d'une section accessible de la ligne électrique 6 en opération dans le conduit 8 de massif souterrain 10. Dans le cas illustré à la Figure 1, la deuxième extrémité 24 de la sonde de température 2 sort hors du conduit 8 d'une distance  $L_0$  (e.g. 15 cm) de manière à pouvoir manipuler la sonde de température 2 une fois insérée dans le conduit 8.  $L_1$  représente une distance à partir de laquelle une température au point d'insertion de la sonde de température 2, comme la température à l'ouverture 26 du conduit 8, n'affecte plus la température dans le conduit 8 et à partir de laquelle le conduit 8 est exposé à un milieu stable et représente la pire condition d'exploitation de la ligne 6. Un massif 10 est habituellement enfoui à environ 0.75 m dans le sol.  $L_2$  représente un intervalle minimal/optimal pour une prise des mesures de température dans le conduit 8.  $L_2$  représente aussi une longueur de la sonde de température 2 où les capteurs numériques 50 peuvent être répartis dans le tube flexible 20 (illustré e.g.

à la Figure 2) longeant une longueur de la section de la ligne électrique 6 dans le conduit 8. L2 peut correspondre à environ 1.5 fois la distance 33 entre deux crêtes 34 longitudinales de la torsade 4 de câbles 5 comme illustrés à la Figure 7, par exemple environ 0.9 m pour une torsade de câbles MT typique. L3 représente une longueur de la sonde de température 2 pouvant être sans capteurs, terminée par l'embout fuselé 30 (illustré e.g. à la Figure 2). La longueur L3 peut servir à stabiliser la portion L2 de la sonde de température 2 dans le conduit 8.

Le système de télémessure 62 comporte un arrangement d'alimentation 65 connecté à une source d'alimentation électrique comme, par exemple, la ligne électrique 6 elle-même. Dans ce cas, l'arrangement d'alimentation 65 peut comporter un coupleur (ou convertisseur) 64 configuré pour générer l'alimentation électrique depuis la ligne électrique 6. Le coupleur 64 peut être de type inductif, ou encore être de type capacitif. L'alimentation électrique peut aussi provenir d'une autre source, comme une source d'alimentation basse tension classique (non illustrée) si présente, ou encore d'un accumulateur électrique (batterie, supercondensateur, condensateur, etc.) (non illustré) ayant une capacité suffisante pour l'application visée.

Une unité d'acquisition 66 est installée dans la chambre 16. L'unité d'acquisition 66 a une entrée 68 connectée au coupleur inductif 64 pour recevoir l'alimentation électrique, un port de connexion 70 connecté à la sonde de température 2 pour alimenter électriquement les capteurs numériques 50 et recevoir les signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques 50, et un dispositif de télécommunication 72 configuré pour transmettre à un site 74 distant du conduit 8 de massif souterrain 10 des signaux de mesures de températures découlant des signaux numériques de températures reçus par l'unité d'acquisition 66. La transmission des signaux peut se faire par exemple via un réseau sans fil 78 ou autrement. Dans le cas d'un réseau sans fil 78 comme un réseau cellulaire, le système selon l'invention peut avantageusement utiliser un système de télécommunication sans fil comme celui divulgué dans le brevet US 11171402

(Riendeau et al.), dont l'intégralité est incorporée ici par référence. L'unité d'acquisition 66 peut comporter un microcontrôleur 80 configuré pour prendre des lectures de tous les capteurs numériques 50 à intervalle fixe, par exemple une minute. L'intervalle entre les lectures peut être déterminé selon des variations attendues de la charge, de la masse thermique de la ligne 6, et ajusté selon la quantité d'énergie disponible pour alimenter le système. L'intervalle peut aussi être déterminé selon un historique de variations des mesures de température ou par simulation en tenant compte des masses thermiques et des variations maximales de la charge de la ligne 6. L'intervalle entre les lectures peut aussi être ajusté dynamiquement selon une variation de charge de la ligne 6 pouvant être mesurée localement, par exemple par le coupleur inductif 64.

En référence à la Figure 9, un exemple d'affichage de températures 90 mesurées par les capteurs numériques 50 de la sonde de température 2 (illustrés e.g. à la Figure 1) est illustré. Dans l'exemple, les capteurs numériques sont distancés de 2.5 cm les uns des autres, allant de 5 m (mesure à gauche) à 4.3 m (mesure à droite) de profondeurs dans le conduit 8 (illustré e.g. à la Figure 1). Une température maximale 92 par exemple de 35.04°C est mesurée par le capteur numérique 50 situé à une profondeur de 4.8 m dans le conduit 8 (illustré e.g. à la Figure 1).

En référence à nouveau à la Figure 1, selon un mode de réalisation, un capteur 76 de température ambiante du massif souterrain 10 est connecté à l'unité d'acquisition 66. L'unité d'acquisition 66 est configurée pour transmettre au site distant 74, via le dispositif de télécommunication 72, un signal de mesure de température indicatif de la température ambiante mesurée par le capteur 76. Le capteur 76 peut être installé dans la chambre 16, inséré dans le sol ou le massif 10 à proximité de la chambre 16, ou inséré dans un conduit 8 libre du massif 10. Le capteur 76 peut être réalisé par une sonde de température selon l'invention, en particulier pour une insertion dans le sol de manière à pouvoir fournir des mesures de température à différentes profondeurs d'insertion dans le sol.

L'unité d'acquisition 66 ou la sonde de température 2 peut être configurée pour prétraiter les signaux numériques de températures avant transmission des signaux de mesures de températures par le dispositif de télécommunication 72. Dans le cas de la sonde de température 2, un prétraitement des signaux numériques peut être réalisé à même les capteurs numériques 50 ou par un circuit de prétraitement (non illustré) disposé par exemple dans le tube flexible 20 près de la deuxième extrémité 24. Dans le cas de l'unité d'acquisition 66, un prétraitement des signaux peut être réalisé par le microcontrôleur 80 qui peut être aussi utilisé pour contrôler diverses fonctions de l'unité d'acquisition 66. Le microcontrôleur 80 peut être configuré par exemple pour que toutes les lectures des capteurs numériques 50 soient transmises pour un traitement à distance, ou seulement un sous-ensemble de lectures ou de valeurs traitées (e.g. minimum et maximum). Une valeur moyenne et un écart-type des mesures peuvent aussi être transmis. En plus d'une valeur de température, une donnée de position du capteur numérique 50 dans la chaîne peut aussi être utilisée lors du traitement local par l'unité d'acquisition 66 ou à distance 74.

Selon un mode de réalisation, l'unité d'acquisition 66 a plusieurs ports de connexion 70 de sorte que d'autres lignes électriques 6 dans d'autres conduits 8 et autant de sondes de température 2 peuvent être gérées par l'unité d'acquisition 66 du système de télémessure 62.

Selon un mode de réalisation, la mise en place et la mise en fonction de l'invention peuvent se faire comme suit. La sonde de température 2 à capteurs numériques 50 répartis dans le tube flexible 20 (illustré e.g. à la Figure 2) est insérée de sorte que le tube flexible 20 longe une longueur (e.g. L2) d'une section accessible de la ligne électrique 6 dans le conduit 8 de massif souterrain 10. L'alimentation électrique pour le fonctionnement du système est fournie par l'arrangement d'alimentation 65 connecté à la source d'alimentation électrique, e.g. la ligne électrique 6 via le coupleur 64 (ou sinon une autre source d'alimentation si requis). Les capteurs

numériques 50 de la sonde de température 2 sont alimentés électriquement par l'unité d'acquisition 66 recevant l'alimentation électrique de l'arrangement d'alimentation 65. L'unité d'acquisition 66 reçoit les signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques 50. Des signaux de mesures de températures découlant des signaux numériques de température reçus par l'unité d'acquisition 66 sont transmis par le dispositif de télécommunication 72 pour être reçus et traités au site 74 distant du conduit 8 de massif souterrain 10 de manière à déterminer la température de la ligne électrique 6 selon une des températures mesurées par les capteurs numériques 50 qui est la plus élevée.

10

En référence à nouveau à la Figure 8, une source principale de chaleur dans le conduit 8 provient des pertes  $R I^2$  des conducteurs / âmes 82 des câbles 5 de la torsade 4. La température la plus élevée se trouve à la surface de chaque âme 82. C'est à cet endroit que l'isolant diélectrique 84 est exposé à la température la plus élevée. La température de l'isolant diélectrique 84 de chaque câble 5 ne doit pas excéder les limites d'opérations afin d'éviter de détériorer ses propriétés mécaniques et isolantes. Une torsade 4 de câbles 5 d'un circuit triphasé est composée de 3 câbles 5 identiques en contact (torsadé) sur leur longueur. Le courant de charge de chaque câble 5 d'un circuit triphasé est normalement équilibré (identique). Un débalancement de charge entre les câbles 5 étant alors non significatif, il est donc possible de considérer que la température de l'âme 82 de chaque câble 5 est très similaire. Il suffit donc d'évaluer la température de l'âme 82 d'un seul câble 5.

15  
20

Un traitement des signaux peut ainsi avantageusement inclure une estimation d'une température  $T_{\text{Âme}}$  de l'âme 82 d'un câble 5 de la ligne électrique 6 (illustrée e.g. à la Figure 1). L'estimation de la température  $T_{\text{Âme}}$  peut être déterminée par différents modes de traitement.

25

En exploitation, il peut être difficile d'estimer la température  $T_{\text{Âme}}$  uniquement à partir du courant de charge et de la géométrie du massif 10 sans faire des approximations

30

importantes sur les propriétés thermiques du sol environnant et du niveau de la nappe phréatique qui varie selon différents facteurs environnementaux. Les programmes de simulation utilisent des coefficients avec des marges de sécurité importantes qui ne tiennent pas compte des particularités de chaque installation, d'où  
5 l'intérêt de mesures en continu pour optimiser la capacité de transit des câbles 5.

La profondeur d'insertion de la sonde de température 2 dans le massif 10 à partir de laquelle la température dans la chambre 16 (illustrée e.g. à la Figure 1) n'a vraisemblablement plus d'influence ou n'est plus un facteur dominant sur la  
10 température à l'intérieur du conduit 8 peut être d'environ 3.5 m. Au-delà de cette profondeur, la profondeur d'insertion de la sonde de température 2 n'est plus un facteur dominant en comparaison aux distances entre les capteurs numériques 50 et la torsade 4 de câbles 5. Une des difficultés que l'invention résout est de mesurer une température à la surface d'un câble 5 à une telle profondeur dans un conduit 8 en  
15 présence d'une torsade 4 de câbles 5 en opération (sous charge). La distance entre un capteur numérique 50 et la surface du câble 5 introduit une résistance thermique proportionnelle à cette distance. Pour une distance donnée, la résistance thermique entre le capteur numérique 50 et la surface du câble 5 peut varier selon un médium présent dans le conduit 8, par exemple de l'air ou un liquide comme de l'eau. La  
20 résistance thermique pour de l'air est de l'ordre de 41.7 K·m/W alors que celle pour de l'eau est de l'ordre de 1.7 K·m/W. Une chaîne de capteurs numériques 50 espacés uniformément ou non et en nombre suffisant dans la sonde de température 2 permet d'obtenir au moins une lecture de température à une distance minimale de la surface d'un câble 5.

25

Un contact physique entre la sonde de température 2 et un des câbles 5 de la torsade 4, où se situe un des capteurs numériques 50, autour de la profondeur 28, est susceptible de fournir le meilleur résultat. Le Tableau 1 qui suit donne un exemple de pas linéaires (ou "période") 33 entre deux crêtes 34 longitudinales (illustrés à la

Figure 7) d'une torsade 4 de câbles 5 selon différents modèles de câbles MT souterrains courants.

Tableau 1

	<i>Modèle de câble</i>	<i>Pas linéaire de la torsade</i>
5	750 MCM	60 cm
	500 MCM	50 cm
	500 MCM gainé	56 cm
	350 MCM cuivre	40 cm
10	3/0 AWG	40 cm
	3/0 AWG gainé	55 cm

Selon un mode de réalisation adapté, le tube flexible 20 a une longueur minimale définie par une première section (L1 illustrée à la Figure 1) du tube flexible 20 correspondant à une profondeur dans le conduit 8 à partir de laquelle une température près de l'ouverture 26 du conduit 8 n'a plus d'effet sur une température dans le conduit 8, plus une deuxième section (L2 illustrée à la Figure 1) du tube flexible 20 correspondant à une fois et demie le pas linéaire 33 (illustré à la Figure 7). Les capteurs numériques 50 sont répartis dans la deuxième section du tube flexible 20. Le nombre et la répartition des capteurs numériques 50 sont définis par un espacement entre chaque capteur numérique 50 dans la deuxième section du tube flexible 20. L'espacement entre chaque capteur numérique 50 peut varier si voulu.

En considérant d'une part une sonde de température 2 juxtaposée à une torsade 4 de câbles 5 MT triphasés, qui entre périodiquement en contact avec la torsade 4 à un intervalle variant entre 40 cm et 60 cm (selon les spécifications des câbles 5), et d'autre part une résolution et une précision des capteurs numériques 50 ainsi qu'une précision de mesure désirée, alors un mode privilégié consiste en une utilisation minimale de 10 capteurs numériques 50 espacés de 10 cm les uns des autres. Les capteurs numériques 50 sont ainsi répartis sur une période et demie de la torsade 4 entre 3.5 mètres et 4.4 mètres de profondeur d'insertion dans le massif 10. Ce mode de réalisation permet de garantir un écart relatif entre une mesure de température et

celle à la surface d'un câble 5 inférieur à 0.2°C, soit un écart inférieur à une précision des capteurs numériques 50 dans le cas où des capteurs TMP107 sont utilisés et dont la précision est de ±0.4°C sur leur plage d'opération pour une résolution de ±0.015°C.

5

Selon un mode de traitement #1, en régime permanent, soit dans des conditions stables de la charge et du milieu environnant, la température  $T_{\text{Âme}}$  peut être estimée par l'équation

$$T_{\text{Âme}} = T_{\text{Ambiant}} + K_{\text{Surface}} (T_{\text{Surface}} - T_{\text{Ambiant}})$$

10 où  $T_{\text{Ambiant}}$  est une température mesurée par le capteur 76 de température disposé dans un milieu avoisinant le conduit 8 du massif souterrain 10, et  $K_{\text{Surface}}$  est un coefficient prédéterminé de variation de température  $T_{\text{Âme}}$  de l'âme 82 d'un câble 5 par rapport à une température  $T_{\text{Surface}}$  à une surface du câble 5 telle que mesurée par la sonde de température 2. La valeur de  $K_{\text{Surface}}$  peut être déterminée par éléments  
15 finis à partir d'une géométrie de la torsade 4 dans le conduit 8 et des propriétés thermiques des matériaux des câbles 5. Cette valeur peut aussi être déterminée autrement comme par des essais en laboratoire. Une valeur de  $K_{\text{Surface}}$  pour des câbles MT souterrains typiques est par exemple de 1.147. Comme le capteur numérique 50 de la sonde de température 2 qui est le plus près d'un des câbles 5 de  
20 la torsade fournira une lecture de température la plus élevée, dans le cas le plus simple, c'est cette température qui est utilisée pour  $T_{\text{Surface}}$ . Dans ce mode de traitement, la distance entre le capteur numérique 50 mesurant la température la plus élevée et la surface du câble 5 ainsi que la résistance thermique équivalente sont considérées comme négligeables.

25

Selon un mode de traitement #2, en supposant que la sonde de température 2 est rectiligne et qu'elle est en contact avec la torsade 4 à chaque crête 34 comme illustrée à la Figure 7, la température maximale mesurée par un des capteurs numériques 50 correspond à une distance minimale  $d_{\text{min}}$  entre le capteur numérique  
30 50 en question et la surface d'un des câbles 5 (e.g. à un point de contact de la sonde

de température 2 avec la torsade 4) alors que la température minimale mesurée par un des capteurs numériques 50 correspond à une distance maximale  $d_{max}$  entre le capteur numérique 50 en question et la surface d'un des câbles 5. Une amélioration possible pour estimer  $T_{Ame}$  consiste à utiliser l'écart entre les températures minimale et maximale et les distances minimales  $d_{min}$  et maximale  $d_{max}$  (valeurs connues par géométrie), selon l'équation

$$T_{Ame} = T_{Ambiant} + K_d (T_d - T_{Ambiant})$$

où  $K_d$  est un coefficient déterminé en fonction de la géométrie de la torsade 4, et  $T_d$  est l'écart entre les températures maximale et minimale mesurées par les capteurs numériques 50. Le coefficient  $K_d$  applicable peut être déterminé par éléments finis pour  $d_{min} \leq d \leq d_{max}$ . À partir de deux lectures de températures  $T_i$  et  $T_j$  prises à des distances capteur-surface d'un câble 5 où  $i$  et  $j$  sont connues et pour lesquels les coefficients  $K_i$  et  $K_j$  ont été évalués (e.g. par éléments finis) selon un milieu anticipé entre le capteur 50 et la surface du câble 5, il est possible d'estimer  $T_{Ambiant}$  et  $T_{Ame}$  comme suit:

$$K_i(T_i - T_{Ambiant}) = K_j(T_j - T_{Ambiant})$$

$$T_{Ambiant} = \frac{K_i T_i - K_j T_j}{K_i - K_j}$$

$$T_{Ame} = \frac{K_i T_i - K_j T_j}{K_i - K_j} + K_i \left( T_i - \frac{K_i T_i - K_j T_j}{K_i - K_j} \right)$$

$$T_{Ame} = K_i T_i + (1 - K_i) \left( \frac{K_i T_i - K_j T_j}{K_i - K_j} \right)$$

avec  $i$  et  $j$  correspondant aux distances  $d_{min}$  et  $d_{max}$  et aux températures  $T_i$  et  $T_j$  obtenues par les lectures des capteurs numériques 50 dans la sonde de température 2.

Selon un mode de traitement #3, avec deux lectures de températures minimales ou maximales et une température minimale ou maximale réciproque, et connaissant les distances linéaires dans le conduit 8 entre les capteurs numériques 50, il est possible

de corriger une déviation du tube flexible 30 de la sonde de température 2 ou de la torsade 4 dans le conduit 8 (distance capteur-surface) en faisant une relation entre une distance linéaire correspondant aux lectures minimales, maximales et/ou maximale-minimale et une distance attendue entre deux crêtes 34 de la torsade 4 de câbles 5 (illustrés e.g. à la Figure 7). Les facteurs  $K$  correspondant à une forme de la sonde de température 2 (distances capteur-surface corrigées) peuvent alors être utilisés pour appliquer le mode de traitement #2.

Selon un mode de traitement #4, les lectures de températures de la sonde de température 2 peuvent être interpolées pour recalculer les valeurs minimum et maximum ainsi que leurs positions pour ensuite appliquer les modes de traitement #1, #2 ou #3.

Selon un mode de traitement #5, une lecture de la variation de la charge sur la ligne 6 (illustrée e.g. à la Figure 1) combinée avec une mesure simultanée d'un seul capteur numérique 50 dans le conduit 8 et de la température ambiante peuvent être utilisées pour calculer la résistance thermique entre le capteur numérique 50 en question et la surface du câble 5 correspondant ( $R_{\text{capteur-surface}}$ ) et le coefficient  $K$  selon

$$K = K_T \left( \frac{di}{dT} \right)$$

où  $\left( \frac{di}{dT} \right)$  représente une dérivée de la charge par rapport à une température mesurée par un capteur numérique 50 et où le coefficient  $K_T$  peut être évalué par exemple par éléments finis.

Selon un mode de traitement #6, une mesure de la charge sur la ligne 6, réalisée dans la chambre 16 e.g. par l'unité d'acquisition 66 au moyen du coupleur 64 ou autre capteur de courant (non illustré), ou encore ailleurs sur le parcours de la ligne 6 et rapporté au site distant 74, combinée avec des mesures simultanées de deux capteurs numériques 50 dans le conduit 8 et de la température ambiante peuvent

être utilisées pour recalculer les résistances thermiques ( $R_{i-surface}$ ) et les coefficients  $K_i$ .

5 Selon un mode de traitement #7, le coefficient  $K$  recalculé selon les modes #5 ou #6 peut être utilisé pour déterminer s'il y a présence ou non de liquide dans le conduit 8 ( $K_{air}$  vs  $K_{liquide}$ ).

10 En référence à nouveau à la Figure 1, l'invention peut présenter diverses autres caractéristiques. Par exemple, des informations d'identification de la sonde de température 2 peuvent être stockées dans la sonde de température 2 et interrogées par l'unité d'acquisition 66. Ces informations peuvent inclure des informations de fabricant, numéro de modèle, numéro de série, position de chaque capteur numérique 50 dans le conduit 8. Ces informations peuvent être stockées dans les capteurs numériques 50 (e.g. espace mémoire non volatile intégrée), dans le  
15 connecteur 108 et/ou d'autres éléments de la sonde de température 2.

Bien que des réalisations de l'invention aient été illustrées dans les dessins ci-joints et décrites ci-dessus, il apparaîtra évident pour les personnes versées dans l'art que des modifications peuvent être apportées à ces réalisations sans s'écarter de  
20 l'invention. Par exemple, bien que l'invention ait été décrite ci-dessus dans un contexte de conduit souterrain, l'invention peut être utilisée dans un conduit qui n'est pas souterrain, mais qui présente des similitudes environnementales. Aussi, l'invention peut s'appliquer à une ligne électrique souterraine de distribution ou de transport. De plus, bien que l'invention soit particulièrement destinée à mesurer la  
25 température d'une ligne électrique souterraine, elle peut également être utilisée à d'autres fins. Par exemple, comme déjà mentionné ci-dessus, la sonde de température peut servir à mesurer des températures à différentes profondeurs de sol ou d'un milieu. Une telle utilisation peut servir à déterminer une ligne de gel, en outre pour des barrages et digues, et pour modéliser des caractéristiques du sol pour  
30 ajuster des paramètres de logiciels de simulation par éléments finis. L'invention peut

être utilisée pour mesurer une température de câbles électriques en torsade dans un conduit d'un bâtiment comme une usine.

5 Selon certains aspects, des modes de réalisation de la présente technologie comprennent les items suivants :

[Item 1]

10 Une sonde de température pour mesurer une température d'une torsade de câbles d'une ligne électrique en opération dans un conduit souterrain ne laissant qu'un espace restreint entre la torsade de câbles et une surface interne du conduit, la sonde de température comprenant:

15 un tube flexible électriquement isolant, le tube flexible ayant des première et deuxième extrémités opposées et un diamètre extérieur inférieur audit espace restreint, la première extrémité étant destinée à être insérée dans le conduit depuis une ouverture du conduit jusqu'à une profondeur dans le conduit, la deuxième extrémité étant destinée à rester accessible près de l'ouverture du conduit lorsque la première extrémité est à ladite profondeur dans le conduit;

20 un embout fuselé électriquement isolant fixé de manière étanche à la première extrémité du tube flexible et configuré pour faciliter une insertion du tube flexible dans l'espace restreint en longeant la torsade de câbles dans le conduit;

un arrangement de capteurs numériques de température logés et répartis longitudinalement dans le tube flexible, un nombre et une répartition des capteurs numériques étant en fonction d'un pas linéaire entre deux crêtes longitudinales de la torsade de câbles; et

25 un arrangement de connexion reliant les capteurs numériques, l'arrangement de connexion ayant un circuit d'alimentation électrique pour alimenter les capteurs numériques, et un circuit de communication sortant de la deuxième extrémité du tube flexible pour transmettre extérieurement des signaux numériques indicatifs des températures mesurées par les capteurs numériques.

30

[Item 2]

La sonde de température selon l'item 1, dans laquelle le tube flexible et l'embout fuselé sont faits de matériaux supportant une température d'au moins 125°C sans altérations de forme et de propriétés physiques.

5

[Item 3]

La sonde de température selon l'item 2, dans laquelle les matériaux sont du PVDF ou du PTFE.

10 [Item 4]

La sonde de température selon l'un des items 1 à 3, dans laquelle l'embout fuselé a une base ayant un diamètre correspondant au diamètre extérieur du tube flexible de sorte que l'embout fuselé et la première extrémité du tube flexible présentent une interface externe lisse lorsque l'embout fuselé est en position de fixation étanche avec la première extrémité du tube flexible.

15

[Item 5]

La sonde de température selon l'item 4, dans laquelle l'embout fuselé a une pointe arrondie sur un côté opposé à la base, et un pourtour parabolique s'étendant entre la pointe arrondie et la base.

20

[Item 6]

La sonde de température selon l'un des items 1 à 5, dans laquelle l'arrangement de capteurs numériques comprend des cartes de circuit imprimé sur lesquelles les capteurs numériques sont respectivement montés et sont opérationnellement connectés, les cartes de circuit imprimé ayant des dimensions laissant un jeu par rapport à un diamètre interne du tube flexible tout en supportant les capteurs numériques à ou près d'un centre axial du tube flexible par contact avec une surface interne du tube flexible.

25

30

[Item 7]

La sonde de température selon l'item 6, dans laquelle les cartes de circuit imprimé comprennent des cartes flexibles de circuit imprimé disposées bout à bout de manière à former une bande continue de circuits imprimés s'étendant sur une  
5 longueur excédant une distance entre un premier et un dernier des capteurs numériques.

[Item 8]

La sonde de température selon l'item 7, dans laquelle les circuits d'alimentation  
10 électrique et de communication de l'arrangement de connexion comprennent des circuits formés sur et interconnectés entre les cartes flexibles de circuit imprimé.

[Item 9]

La sonde de température selon l'item 6, dans laquelle les circuits d'alimentation  
15 électrique et de communication de l'arrangement de connexion comprennent des conducteurs s'étendant entre et reliant les cartes de circuit imprimé les unes aux autres.

[Item 10]

20 La sonde de température selon l'un des items 1 à 9, dans laquelle les capteurs numériques sont opérationnellement connectés en cascade les uns aux autres par l'arrangement de connexion.

[Item 11]

25 La sonde de température selon l'un des items 1 à 10, comprenant de plus un embout de sortie fixé de manière étanche à la deuxième extrémité du tube flexible, le circuit d'alimentation électrique et le circuit de communication traversant l'embout de sortie de manière étanche.

## [Item 12]

La sonde de température selon l'un des items 1 à 11, dans laquelle:

le tube flexible a une longueur minimale définie par une première section du tube flexible correspondant à une profondeur dans le conduit à partir de laquelle une  
5 température près de l'ouverture du conduit n'a plus d'effet sur une température dans le conduit, plus une deuxième section du tube flexible correspondant à une fois et demi le pas linéaire;

les capteurs numériques sont répartis dans la deuxième section du tube flexible; et

10 le nombre et la répartition des capteurs numériques sont définis par un espacement entre chaque capteur numérique dans la deuxième section du tube flexible.

## [Item 13]

15 Un système de télémessure de température d'une section accessible d'une ligne électrique en opération dans un conduit souterrain, le système de télémessure comprenant:

une sonde de température à capteurs numériques répartis dans un tube flexible longeant une longueur de la section de la ligne électrique dans le conduit  
20 souterrain;

un arrangement d'alimentation connecté à une source d'alimentation électrique; et

une unité d'acquisition ayant une entrée connectée à l'arrangement d'alimentation pour recevoir l'alimentation électrique, un port de connexion connecté  
25 à la sonde de température pour alimenter électriquement les capteurs numériques et recevoir des signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques, et un dispositif de télécommunication configuré pour transmettre à un site distant du conduit souterrain des signaux de mesures de températures découlant des signaux numériques de températures reçus par l'unité d'acquisition.

[Item 14]

Le système selon l'item 13, dans lequel l'arrangement d'alimentation comprend un coupleur configuré pour générer l'alimentation électrique depuis la ligne électrique.

5 [Item 15]

Le système selon l'item 13 ou 14, comprenant de plus un capteur de température ambiante d'un environnement du conduit souterrain, le capteur de température ambiante étant connecté à l'unité d'acquisition, l'unité d'acquisition étant configurée pour transmettre au site distant, via le dispositif de télécommunication, un signal de  
10 mesure de température indicatif de la température ambiante mesurée par le capteur de température ambiante.

[Item 16]

Le système selon l'un des items 13 à 15, dans lequel l'unité d'acquisition ou la sonde  
15 de température comprend un dispositif de traitement de signaux configuré pour prétraiter les signaux numériques de températures avant transmission des signaux de mesures de températures par le dispositif de télécommunication.

[Item 17]

20 Une méthode pour mesurer une température d'une section accessible d'une ligne électrique en opération dans un conduit souterrain, la méthode comprenant les étapes de:

insérer une sonde de température à capteurs numériques répartis dans un tube flexible de sorte que le tube flexible longe une longueur de la section de la ligne  
25 électrique dans le conduit souterrain;

fournir un arrangement d'alimentation connecté à une source d'alimentation électrique;

alimenter électriquement les capteurs numériques de la sonde de température par une unité d'acquisition recevant l'alimentation électrique de l'arrangement  
30 d'alimentation;

recevoir, par l'unité d'acquisition, des signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques;

transmettre, par un dispositif de télécommunication, des signaux de mesures de températures découlant des signaux numériques de température reçus par l'unité  
5 d'acquisition;

recevoir, à un site distant du conduit souterrain, les signaux de mesures de températures; et

traiter, au site distant, les signaux numériques de températures de manière à déterminer une température de la ligne électrique basée sur au moins une des  
10 températures mesurées par les capteurs numériques incluant la température mesurée qui est la plus élevée.

[Item 18]

La méthode selon l'item 17, dans laquelle l'étape de traiter inclut une estimation d'une  
15 température  $T_{\hat{Ame}}$  d'une âme d'un câble de la ligne électrique, l'estimation étant déterminée par un des modes d'estimation suivants:

a)  $T_{\hat{Ame}} = T_{Ambiant} + K_{Surface} (T_{Surface} - T_{Ambiant})$  où  $T_{Ambiant}$  est une température mesurée par un capteur de température disposé dans un milieu avoisinant le conduit souterrain, et  $K_{Surface}$  est un coefficient prédéterminé de variation de température  $T_{\hat{Ame}}$   
20 de l'âme du câble par rapport à une température  $T_{Surface}$  à une surface du câble mesurée par un des capteurs numériques;

b)  $T_{\hat{Ame}} = T_{Ambiant} + K_d (T_d - T_{Ambiant})$  où  $K_d$  est un coefficient déterminé en fonction d'une géométrie de torsade du câble, et  $T_d$  est un écart entre la température la plus élevée et une température la moins élevée mesurées par les capteurs  
25 numériques;

c) le mode d'estimation b) dans lequel  $K_d$  est corrigé selon une déviation du tube flexible de la sonde de température ou de la torsade, déterminée avec deux mesures de températures minimales ou maximales, une température minimale ou maximale réciproque mesurées par les capteurs numériques, et un espacement entre  
30 les capteurs numériques;

d) le mode d'estimation a), b) ou c) dans lequel des températures minimales et maximales mesurées par les capteurs numériques sont recalculées par interpolation des températures mesurées par les capteurs numériques;

5 e) le mode d'estimation a), b), c) ou d) dans lequel la température de l'âme est corrigée en déterminant une résistance thermique entre au moins un des capteurs numériques et une surface externe du câble selon une variation de charge mesurée par un capteur de charge couplé à la ligne électrique; et

f) le mode d'estimation e) dans lequel la résistance thermique et le coefficient  $K_{Surface}$  ou  $K_d$  sont déterminés selon la température  $T_{Ambiant}$ .

10

[Item 19]

La méthode selon l'item 17 ou 18, comprenant de plus les étapes de:

coupler un capteur de charge à un câble de la ligne électrique pour mesurer une variation de charge dans le câble;

15 disposer un capteur de température dans un milieu avoisinant le conduit souterrain pour mesurer une température ambiante du milieu;

déterminer un coefficient thermique entre la sonde de température et le câble selon la variation de charge et la température ambiante; et

20 détecter une présence d'un liquide dans le conduit souterrain selon une valeur du coefficient thermique.

[Item 20]

La méthode selon l'un des items 17 à 19, dans laquelle des lectures des signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques sont prises à  
25 intervalle fixe ou ajusté dynamiquement selon une variation de charge de la ligne électrique mesurée par un capteur de charge couplé à la ligne électrique.

## REVENDEICATIONS

1. Une sonde de température pour mesurer une température d'une torsade de câbles d'une ligne électrique en opération dans un conduit souterrain ne laissant qu'un espace restreint entre la torsade de câbles et une surface interne du conduit, la sonde de température comprenant:

un tube flexible électriquement isolant, le tube flexible ayant des première et deuxième extrémités opposées et un diamètre extérieur inférieur audit espace restreint, la première extrémité étant destinée à être insérée dans le conduit depuis une ouverture du conduit jusqu'à une profondeur dans le conduit, la deuxième extrémité étant destinée à rester accessible près de l'ouverture du conduit lorsque la première extrémité est à ladite profondeur dans le conduit;

un embout fuselé électriquement isolant fixé de manière étanche à la première extrémité du tube flexible et configuré pour faciliter une insertion du tube flexible dans l'espace restreint en longeant la torsade de câbles dans le conduit;

un arrangement de capteurs numériques de température logés et répartis longitudinalement dans le tube flexible, un nombre et une répartition des capteurs numériques étant en fonction d'un pas linéaire entre deux crêtes longitudinales de la torsade de câbles; et

un arrangement de connexion reliant les capteurs numériques, l'arrangement de connexion ayant un circuit d'alimentation électrique pour alimenter les capteurs numériques, et un circuit de communication sortant de la deuxième extrémité du tube flexible pour transmettre extérieurement des signaux numériques indicatifs des températures mesurées par les capteurs numériques.

25

2. La sonde de température selon la revendication 1, dans laquelle le tube flexible et l'embout fuselé sont faits de matériaux supportant une température d'au moins 125°C sans altérations de forme et de propriétés physiques.

3. La sonde de température selon la revendication 2, dans laquelle les matériaux sont du PVDF ou du PTFE.
4. La sonde de température selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle l'embout fuselé a une base ayant un diamètre correspondant au diamètre extérieur du tube flexible de sorte que l'embout fuselé et la première extrémité du tube flexible présentent une interface externe lisse lorsque l'embout fuselé est en position de fixation étanche avec la première extrémité du tube flexible.
5. La sonde de température selon la revendication 4, dans laquelle l'embout fuselé a une pointe arrondie sur un côté opposé à la base, et un pourtour parabolique s'étendant entre la pointe arrondie et la base.
6. La sonde de température selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans laquelle l'arrangement de capteurs numériques comprend des cartes de circuit imprimé sur lesquelles les capteurs numériques sont respectivement montés et sont opérationnellement connectés, les cartes de circuit imprimé ayant des dimensions laissant un jeu par rapport à un diamètre interne du tube flexible tout en supportant les capteurs numériques à ou près d'un centre axial du tube flexible par contact avec une surface interne du tube flexible.
7. La sonde de température selon la revendication 6, dans laquelle les cartes de circuit imprimé comprennent des cartes flexibles de circuit imprimé disposées bout à bout de manière à former une bande continue de circuits imprimés s'étendant sur une longueur excédant une distance entre un premier et un dernier des capteurs numériques.
8. La sonde de température selon la revendication 7, dans laquelle les circuits d'alimentation électrique et de communication de l'arrangement de connexion

comprennent des circuits formés sur et interconnectés entre les cartes flexibles de circuit imprimé.

9. La sonde de température selon la revendication 6, dans laquelle les circuits  
5 d'alimentation électrique et de communication de l'arrangement de connexion  
comprennent des conducteurs s'étendant entre et reliant les cartes de circuit imprimé  
les unes aux autres.

10. La sonde de température selon l'une quelconque des revendications 1 à 9,  
10 dans laquelle les capteurs numériques sont opérationnellement connectés en  
cascade les uns aux autres par l'arrangement de connexion.

11. La sonde de température selon l'une quelconque des revendications 1 à 10,  
comprenant de plus un embout de sortie fixé de manière étanche à la deuxième  
15 extrémité du tube flexible, le circuit d'alimentation électrique et le circuit de  
communication traversant l'embout de sortie de manière étanche.

12. La sonde de température selon l'une quelconque des revendications 1 à 11,  
dans laquelle:  
20 le tube flexible a une longueur minimale définie par une première section du  
tube flexible correspondant à une profondeur dans le conduit à partir de laquelle une  
température près de l'ouverture du conduit n'a plus d'effet sur une température dans  
le conduit, plus une deuxième section du tube flexible correspondant à une fois et  
demi le pas linéaire;

25 les capteurs numériques sont répartis dans la deuxième section du tube  
flexible; et

le nombre et la répartition des capteurs numériques sont définis par un  
espacement entre chaque capteur numérique dans la deuxième section du tube  
flexible.

13. Un système de télémessure de température d'une section accessible d'une ligne électrique en opération dans un conduit souterrain, le système de télémessure comprenant:

5 une sonde de température à capteurs numériques répartis dans un tube flexible longeant une longueur de la section de la ligne électrique dans le conduit souterrain;

un arrangement d'alimentation connecté à une source d'alimentation électrique; et

10 une unité d'acquisition ayant une entrée connectée à l'arrangement d'alimentation pour recevoir l'alimentation électrique, un port de connexion connecté à la sonde de température pour alimenter électriquement les capteurs numériques et recevoir des signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques, et un dispositif de télécommunication configuré pour transmettre à un site distant du conduit souterrain des signaux de mesures de températures découlant  
15 des signaux numériques de températures reçus par l'unité d'acquisition.

14. Le système selon la revendication 13, dans lequel l'arrangement d'alimentation comprend un coupleur configuré pour générer l'alimentation électrique depuis la ligne électrique.

20

15. Le système selon la revendication 13 ou 14, comprenant de plus un capteur de température ambiante d'un environnement du conduit souterrain, le capteur de température ambiante étant connecté à l'unité d'acquisition, l'unité d'acquisition étant configurée pour transmettre au site distant, via le dispositif de télécommunication, un  
25 signal de mesure de température indicatif de la température ambiante mesurée par le capteur de température ambiante.

16. Le système selon l'une quelconque des revendications 13 à 15, dans lequel l'unité d'acquisition ou la sonde de température comprend un dispositif de traitement  
30 de signaux configuré pour prétraiter les signaux numériques de températures avant

transmission des signaux de mesures de températures par le dispositif de télécommunication.

17. Une méthode pour mesurer une température d'une section accessible d'une  
5 ligne électrique en opération dans un conduit souterrain, la méthode comprenant les étapes de:

insérer une sonde de température à capteurs numériques répartis dans un tube flexible de sorte que le tube flexible longe une longueur de la section de la ligne électrique dans le conduit souterrain;

10 fournir un arrangement d'alimentation connecté à une source d'alimentation électrique;

alimenter électriquement les capteurs numériques de la sonde de température par une unité d'acquisition recevant l'alimentation électrique de l'arrangement d'alimentation;

15 recevoir, par l'unité d'acquisition, des signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques;

transmettre, par un dispositif de télécommunication, des signaux de mesures de températures découlant des signaux numériques de température reçus par l'unité d'acquisition;

20 recevoir, à un site distant du conduit souterrain, les signaux de mesures de températures; et

traiter, au site distant, les signaux numériques de températures de manière à déterminer une température de la ligne électrique basée sur au moins une des températures mesurées par les capteurs numériques incluant la température  
25 mesurée qui est la plus élevée.

18. La méthode selon la revendication 17, dans laquelle l'étape de traiter inclut une estimation d'une température  $T_{\text{Âme}}$  d'une âme d'un câble de la ligne électrique, l'estimation étant déterminée par un des modes d'estimation suivants:

- 5 a)  $T_{\text{Âme}} = T_{\text{Ambiant}} + K_{\text{Surface}} (T_{\text{Surface}} - T_{\text{Ambiant}})$  où  $T_{\text{Ambiant}}$  est une température mesurée par un capteur de température disposé dans un milieu avoisinant le conduit souterrain, et  $K_{\text{Surface}}$  est un coefficient prédéterminé de variation de température  $T_{\text{Âme}}$  de l'âme du câble par rapport à une température  $T_{\text{Surface}}$  à une surface du câble mesurée par un des capteurs numériques;
- 10 b)  $T_{\text{Âme}} = T_{\text{Ambiant}} + K_d (T_d - T_{\text{Ambiant}})$  où  $K_d$  est un coefficient déterminé en fonction d'une géométrie de torsade du câble, et  $T_d$  est un écart entre la température la plus élevée et une température la moins élevée mesurées par les capteurs numériques;
- 15 c) le mode d'estimation b) dans lequel  $K_d$  est corrigé selon une déviation du tube flexible de la sonde de température ou de la torsade, déterminée avec deux mesures de températures minimales ou maximales, une température minimale ou maximale réciproque mesurées par les capteurs numériques, et un espacement entre les capteurs numériques;
- 20 d) le mode d'estimation a), b) ou c) dans lequel des températures minimales et maximales mesurées par les capteurs numériques sont recalculées par interpolation des températures mesurées par les capteurs numériques;
- e) le mode d'estimation a), b), c) ou d) dans lequel la température de l'âme est corrigée en déterminant une résistance thermique entre au moins un des capteurs numériques et une surface externe du câble selon une variation de charge mesurée par un capteur de charge couplé à la ligne électrique; et
- f) le mode d'estimation e) dans lequel la résistance thermique et le coefficient  $K_{\text{Surface}}$  ou  $K_d$  sont déterminés selon la température  $T_{\text{Ambiant}}$ .
- 25 19. La méthode selon la revendication 17 ou 18, comprenant de plus les étapes de:
- coupler un capteur de charge à un câble de la ligne électrique pour mesurer une variation de charge dans le câble;
- disposer un capteur de température dans un milieu avoisinant le conduit
- 30 souterrain pour mesurer une température ambiante du milieu;

déterminer un coefficient thermique entre la sonde de température et le câble selon la variation de charge et la température ambiante; et

détecter une présence d'un liquide dans le conduit souterrain selon une valeur du coefficient thermique.

5

20. La méthode selon l'une quelconque des revendications 17 à 19, dans laquelle des lectures des signaux numériques de températures mesurées par les capteurs numériques sont prises à intervalle fixe ou ajusté dynamiquement selon une variation de charge de la ligne électrique mesurée par un capteur de charge couplé à la ligne

10

électrique.



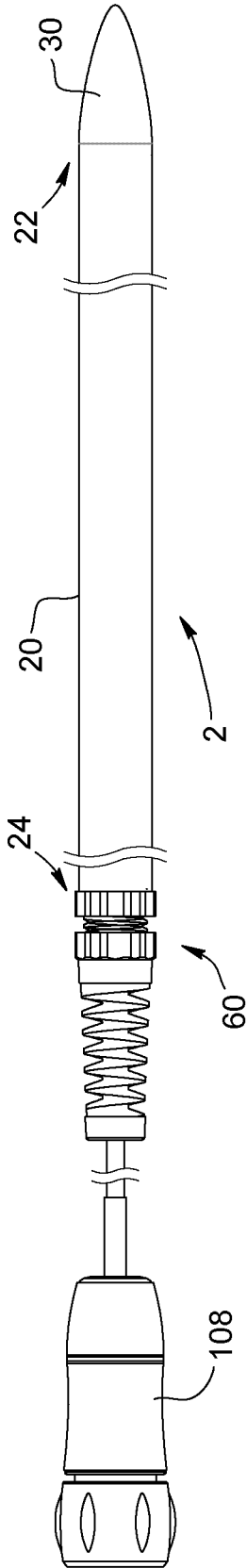


FIG. 2

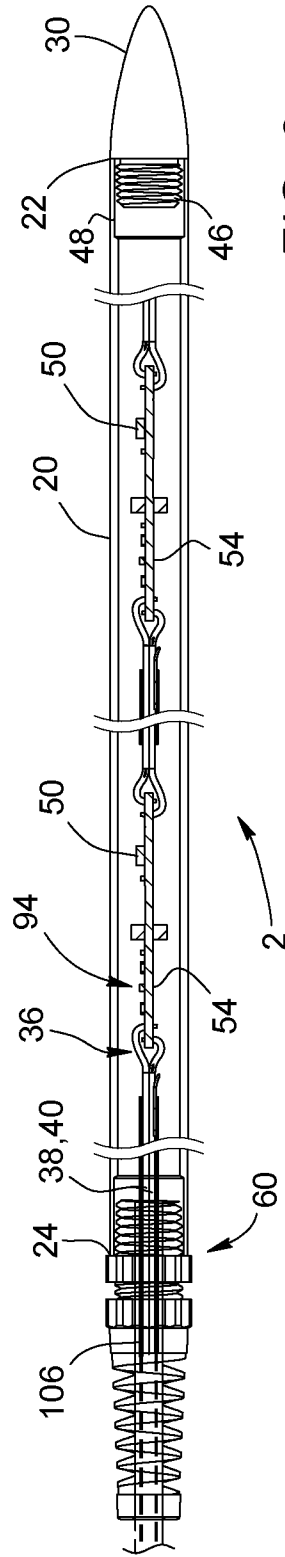


FIG. 3

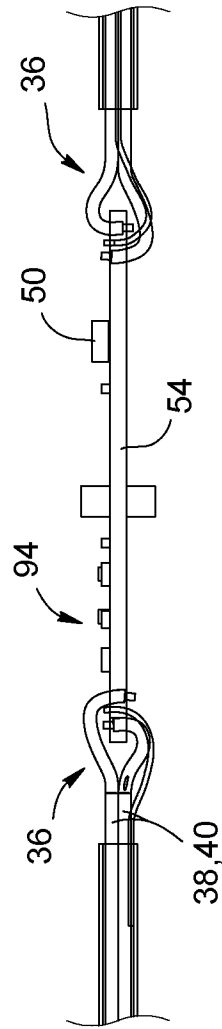


FIG. 4

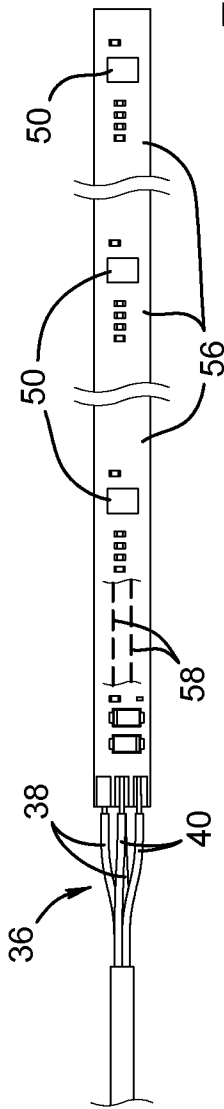


FIG. 5

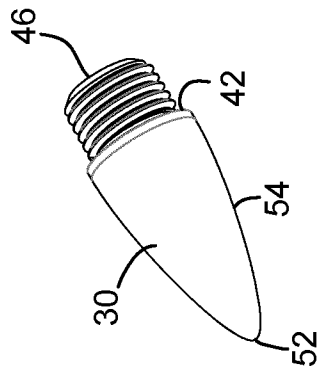


FIG. 6A

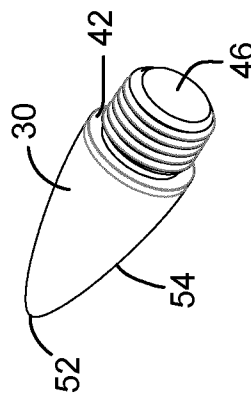


FIG. 6B

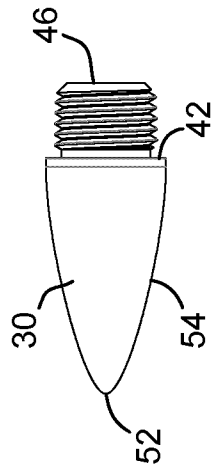


FIG. 6C

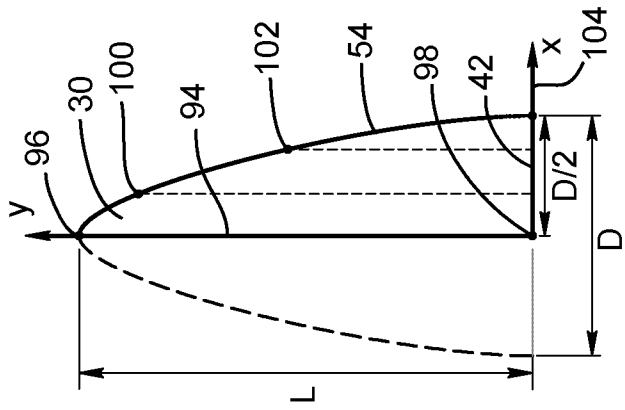


FIG. 6D

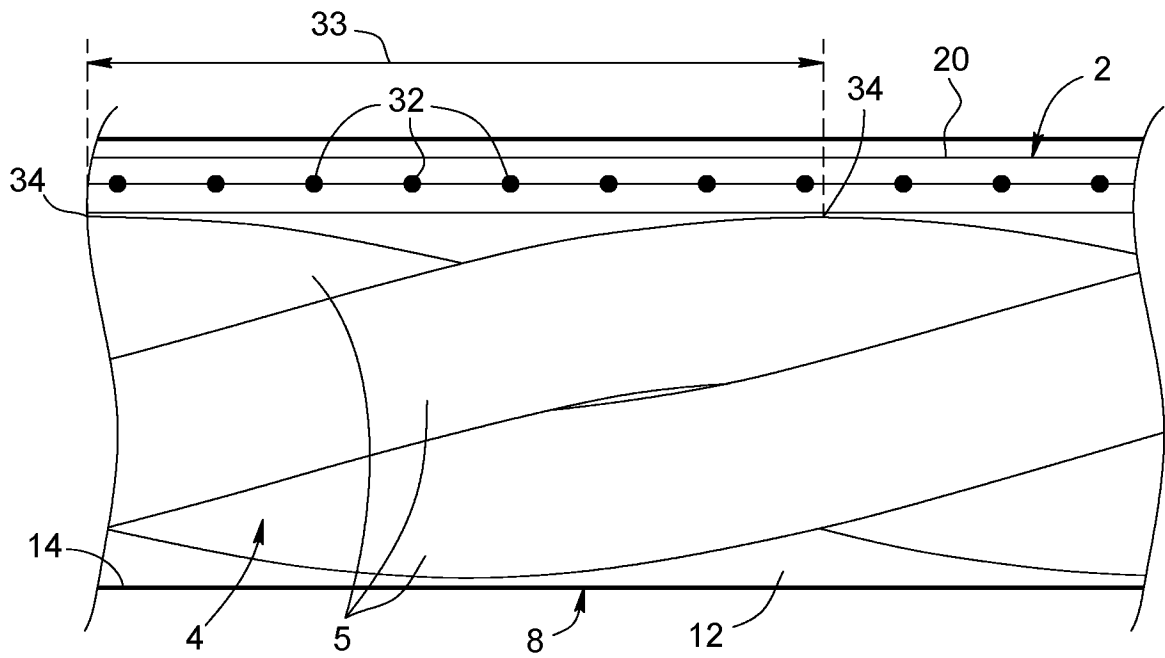


FIG. 7

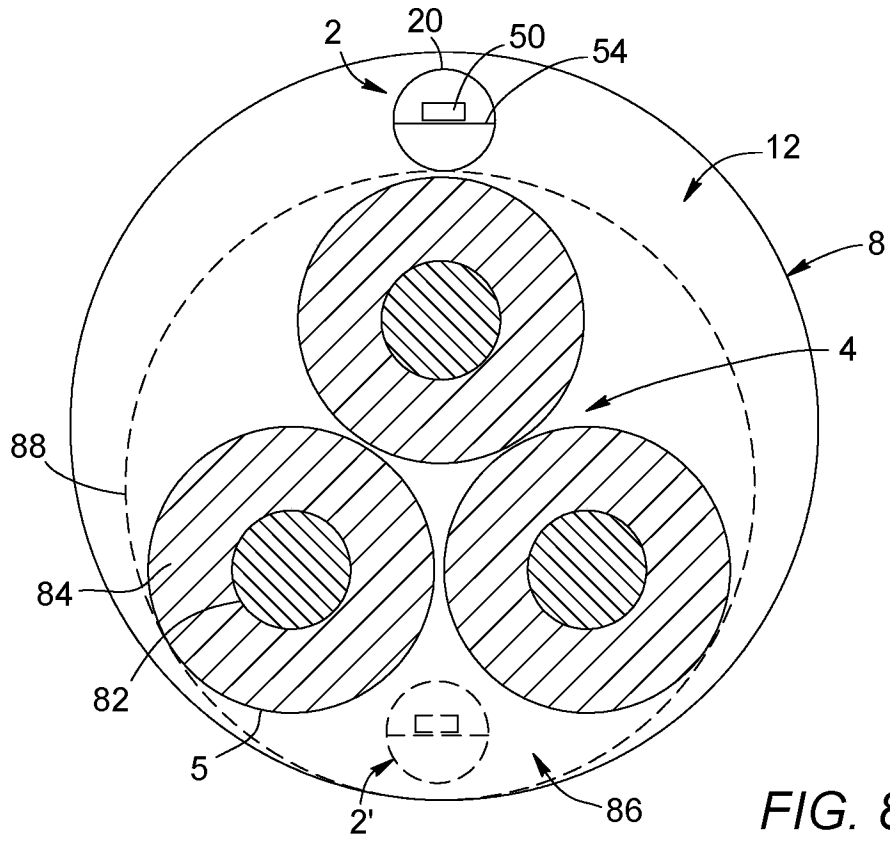


FIG. 8

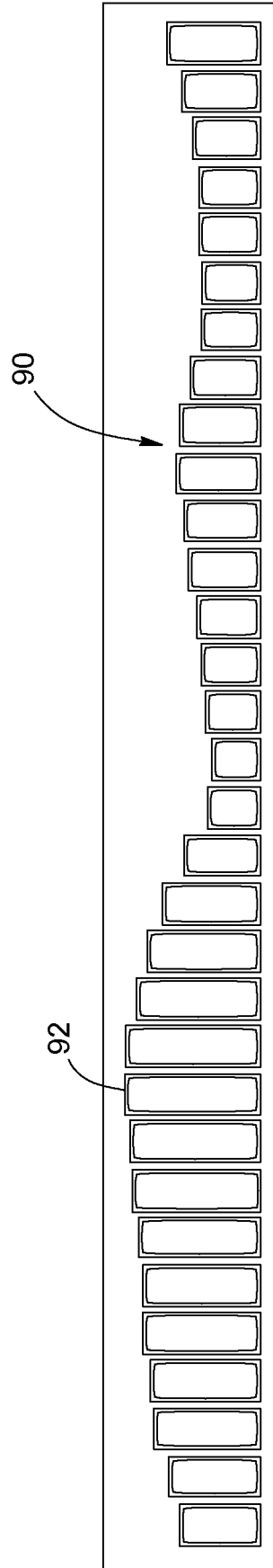


FIG. 9

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CA2024/050329**

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER ipc : <b>G01K 1/143</b> (2021.01), <b>G01K 1/024</b> (2021.01), <b>G01N 25/56</b> (2006.01), <b>H05K 1/14</b> (2006.01) CCB: <b>G01K 1/143</b> (2021.01), <b>G01K 1/024</b> (2021.01), <b>G01N 25/56</b> (2020.01), <b>H05K 1/14</b> (2020.01), <b>H05K 2201/05</b> (2020.01) According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) <b>G01K 1/143, G01K 1/024, G01N 25/56, H05K 1/14, G01K+, G01N+, H05K+</b> : <b>G01K 1/143, G01K 1/024, G01N 25/56, H05K 1/14, H05K 2201/05, G01K+, G01N+, H05K+</b>		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  Data sets: Google, Scopus, Questel Orbit, Google Scholar Keywords: temperature-), digital, sensor+, probe+, underground, buried, cable+, conductor-!, line+, pipeline-), pipe, conduit-), duct+, flexible, ube+, twist+, torsade+, linear, peak, cuircit, chips+, liquid+, water, power, load, voltage, current, variat+, fluctuat+, & similar terms		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007003516 A (NAGUMO et al.) 11 January 2007 (11-01-2007) * Abstract ; paras. [0009-0010], [0013-0017], [0021], [0024-0029], [0032-0034], [0039]; figs. 1, 2, 5 *	13-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		
“A”	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“E”	earlier application or patent but published on or after the international filing date	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“L”	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“O”	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	“&” document member of the same patent family
“P”	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer	
Facsimile No.	Telephone No.	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CA2024/050329**

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>CHEN et al., "Research on Power Cable Life-Cycle Management and Control System Based on Function-Enhanced Location-Measurement Temperature-Sensed Chip". 2022 IEEE 5th International Electrical and Energy Conference (CIEEC), 27-29 May 2022, pp. 5072-5081, DOI: 10.1109/CIEEC54735.2022.9845968 [online] [retrieved 5 June 2024 (2024-06-05)]. Retrieved from the Internet:  <a href="https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9845968">https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9845968</a>            * abstract; p. 5078, right column, last paragraph, p. 5079, left column, first paragraph, p. 5079, right column, last paragraph, p. 5080, left column, first paragraph; Figs. 7 and 8 *</p>	13-20
Y	<p>US 8,775,151 B2 (ALGAONKAR et al.) July 8, 2014 (2014-07-08)            * abstract; column 7, lines 7-17, column 10, lines 14-30, column 11, lines 2-37; Figs. 1 and 2 *</p>	14, 15, 18-20
A	<p>US 10,534,031 B2 (GODFREY et al.) January 14, 2020 (2020-01-14)            * The whole document *</p>	1-20
A	<p>JP 2002310808 A (YAMAZAKI et al.) October 23, 2002 (2002-10-23)            * The whole document *</p>	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
Information on patent family members

International application No.

**PCT/CA2024/050329**

Patent document cited in the search report	Publication Date	Patent family Member(s)	Publication Date
JP2007003516A	11 January 2007 (11-01-2007)	None	May
US8775151B2	08 July 2014 (08-07-2014)	US2011218790A1 CA2742937A1 CA2742937C EP2356476A2 WO2010053542A2 WO2010053542A3	08 September 2011 (08-09-2011) 14 May 2010 (14-05-2010) 06 December 2016 (06-12-2016) 17 August 2011 (17-08-2011) 14 May 2010 (14-05-2010) 26 August 2010 (26-08-2010)
US10534031B2	14 January 2020 (14-01-2020)	US2018045768A1 EP3274730A1 EP3274730B1 GB201505082D0 WO2016151298A1	15 February 2018 (15-02-2018) 31 January 2018 (31-01-2018) 10 May 2023 (10-05-2023) 06 May 2015 (06-05-2015) 29 September 2016 (29-09-2016)
JP2002310808A	23 October (23-10-2002)	None	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
**PCT/CA2024/050329**

<p>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE                  CIB: <b>G01K 1/143</b> (2021.01), <b>G01K 1/024</b> (2021.01), <b>G01N 25/56</b> (2006.01), <b>H05K 1/14</b> (2006.01)                   CCB: <b>G01K 1/143</b> (2021.01), <b>G01K 1/024</b> (2021.01), <b>G01N 25/56</b> (2020.01), <b>H05K 1/14</b> (2020.01), <b>H05K 2201/05</b> (2020.01)                  Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB</p>								
<p>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTÉ</p> <p>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)                  CIBs : G01K 1/143, G01K 1/024, G01N 25/56, H05K 1/14, G01K+, G01N+, H05K+                  CCBs : G01K 1/143, G01K 1/024, G01N 25/56, H05K 1/14, H05K 2201/05, G01K+, G01N+, H05K+</p> <p>Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche</p> <p>Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)                  Bases de données : Google, Scopus, Questel Orbit, Google Scholar                  Mots clés : temperature+, digital, sensor+, probe+, underground, buried, cable+, conductor+, line+, pipeline+, pipe, conduit+, duct+, flexible, tube+, twist+, torsade+, linear, peak, cuircit, chips+, liquid+, water, power, load, voltage, current, variat+, fluctuat+, &amp; termes similaires</p>								
<p>C. DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Catégorie*</th> <th>Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents</th> <th>n° des revendications visées</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>JP 2007003516 A (NAGUMO et al.) 11 janvier 2007 (11-01-2007) * abrégé; paras. [0009-0010], [0013-0017], [0021], [0024-0029], [0032-0034], [0039]; figs. 1, 2, 5 *</td> <td>13-20</td> </tr> </tbody> </table>			Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	n° des revendications visées	Y	JP 2007003516 A (NAGUMO et al.) 11 janvier 2007 (11-01-2007) * abrégé; paras. [0009-0010], [0013-0017], [0021], [0024-0029], [0032-0034], [0039]; figs. 1, 2, 5 *	13-20
Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	n° des revendications visées						
Y	JP 2007003516 A (NAGUMO et al.) 11 janvier 2007 (11-01-2007) * abrégé; paras. [0009-0010], [0013-0017], [0021], [0024-0029], [0032-0034], [0039]; figs. 1, 2, 5 *	13-20						
<p><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents. <span style="margin-left: 200px;"><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe.</span></p>								
<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>* Catégories spéciales de documents cités :</p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, n'étant pas considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"D" document cité par le déposant dans la demande internationale</p> <p>"E" demande ou brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais après la date de priorité revendiquée</p> </td> <td style="vertical-align: top; padding-left: 20px;"> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour permettre de comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </td> </tr> </table>			<p>* Catégories spéciales de documents cités :</p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, n'étant pas considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"D" document cité par le déposant dans la demande internationale</p> <p>"E" demande ou brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais après la date de priorité revendiquée</p>	<p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour permettre de comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>				
<p>* Catégories spéciales de documents cités :</p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, n'étant pas considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"D" document cité par le déposant dans la demande internationale</p> <p>"E" demande ou brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais après la date de priorité revendiquée</p>	<p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour permettre de comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>							
Date à laquelle la recherche a été effectivement achevée 10 juin 2024 (10-06-2024)		Date d'expédition du rapport de recherche 28 juin 2024 (28-06-2024)						
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale/CA Office de la propriété intellectuelle du Canada Place du Portage I, C114 - 1er étage, Boîte PCT 50, rue Victoria Gatineau, Québec K1A 0C9 n° de télécopieur : 001-819-953-6742		Fonctionnaire autorisé  Mylene Archambault-Caron (873) 354-9780						

C (suite). DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	n° des revendications visées
Y	CHEN et al., "Research on Power Cable Life-Cycle Management and Control System Based on Function-Enhanced Location-Measurement Temperature-Sensed Chip". 2022 IEEE 5th International Electrical and Energy Conference (CIEEC), 27-29 May 2022, pp. 5072-5081, DOI: 10.1109/CIEEC54735.2022.9845968 [en ligne] [extrait le 5 juin 2024 (05-06-2024)]. Extrait de l'Internet : < <a href="https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9845968">https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9845968</a> > * abrégé; p. 5078, colonne de droite, dernier paragraphe, p. 5079, colonne de gauche, premier paragraphe, p. 5079, colonne de droite, dernier paragraphe, p. 5080, colonne de gauche, premier paragraphe; figs. 7 et 8 *	13-20
Y	US 8,775,151 B2 (ALGAONKAR et al.) 8 juillet 2014 (08-07-2014) * abrégé; colonne 7, lignes 7-17, colonne 10, lignes 14-30, colonne 11, lignes 2-37; figs. 1 et 2 *	14, 15, 18-20
A	US 10,534,031 B2 (GODFREY et al.) 14 janvier 2020 (14-01-2020) * document complet *	1-20
A	JP 2002310808 A (YAMAZAKI et al.) 23 octobre 2002 (23-10-2002) * document complet *	1-20

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**  
Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°  
**PCT/CA2024/050329**

Document de brevet cité dans le rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet	Date de publication
JP2007003516A	11 janvier 2007 (11-01-2007)	None	
US8775151B2	08 juillet 2014 (08-07-2014)	US2011218790A1 CA2742937A1 CA2742937C EP2356476A2 WO2010053542A2 WO2010053542A3	08 septembre 2011 (08-09-2011) 14 mai 2010 (14-05-2010) 06 décembre 2016 (06-12-2016) 17 août 2011 (17-08-2011) 14 mai 2010 (14-05-2010) 26 août 2010 (26-08-2010)
US10534031B2	14 janvier 2020 (14-01-2020)	US2018045768A1 EP3274730A1 EP3274730B1 GB201505082D0 WO2016151298A1	15 février 2018 (15-02-2018) 31 janvier 2018 (31-01-2018) 10 mai 2023 (10-05-2023) 06 mai 2015 (06-05-2015) 29 septembre 2016 (29-09-2016)
JP2002310808A	23 octobre 2002 (23-10-2002)	None	