

(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 2022/013502 A1

(43) Date de la publication internationale
20 janvier 2022 (20.01.2022)

(51) Classification internationale des brevets :

G01M 3/28 (2006.01) G01M 3/24 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2021/051318

(22) Date de dépôt international :

15 juillet 2021 (15.07.2021)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

FR2007434 15 juillet 2020 (15.07.2020) FR

(71) Déposant : VEOLIA ENVIRONNEMENT [FR/FR] ; 21 rue de la Boétie, 75008 PARIS (FR).

(72) Inventeurs : BATANY, Yves-Marie ; 98 avenue de Flandre, 75019 PARIS (FR). CHENU, Damien ; 17 rue Jean Dussourd, 92600 ASNIERES-SUR-SEINE (FR). ROUX, Nicolas ; 61 avenue du Général de Gaulle, 92250 LA GARENNE-COLOMBES (FR).

(74) Mandataire : JOANNY, Damien et al. ; CABINET BEAU DE LOMENIE, 158, Rue de l'Université, 75340 PARIS CEDEX 07 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,

EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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).

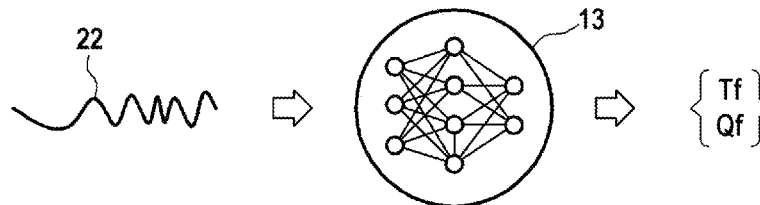
Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title: METHOD FOR CHARACTERISING LEAKS

(54) Titre : PROCEDE DE CARACTERISATION DE FUITE

[Fig. 6]



(57) Abstract: Method for characterising leaks in a fluid network to determine the type and/or flow rate of a leak in a fluid network, wherein the fluid network is provided with a plurality of vibroacoustic sensors configured to provide vibroacoustic signals (22), and wherein a statistical learning model (13) receives as input at least one vibroacoustic signal (22) obtained directly or indirectly from at least one vibroacoustic sensor and provides as output at least one data item characterising the leak from the type of leak (Tf) and the leak flow rate (Qf).

(57) Abrégé : Procédé de caractérisation de fuite dans un réseau de fluide, permettant de déterminer le type et/ou le débit d'une fuite dans un réseau de fluide, dans lequel le réseau de fluide est équipé d'une pluralité de capteurs vibro-acoustiques configurés pour fournir des signaux vibro-acoustiques (22), et dans lequel un modèle d'apprentissage statistique (13) reçoit en entrée au moins un signal vibro-acoustique (22) obtenu directement ou indirectement à partir d'au moins un capteur vibro-acoustique et fournit en sortie au moins une donnée de caractérisation de la fuite parmi le type de fuite (Tf) et le débit de fuite (Qf).



WO 2022/013502 A1

Procédé de caractérisation de fuite

Domaine Technique

[0001] Le présent exposé concerne un procédé de caractérisation de fuite dans un
5 réseau de fluide, permettant de caractériser la gravité d'une fuite dans un réseau
de fluide en déterminant son type et/ou son débit.

[0002] Un tel procédé peut notamment être utilisé pour caractériser des fuites au
sein d'un réseau de distribution d'eau. Toutefois, il pourrait également être utilisé
10 pour des réseaux de gaz, de carburant ou de tout autre type de fluide, liquide ou
gazeux. Un tel procédé peut également s'appliquer à différentes tailles de
réseaux.

Technique antérieure

[0003] En France, les réseaux de distribution d'eau potable présentent des pertes
15 d'environ 20% sur le territoire national avec parfois des pertes pouvant atteindre
localement près de 40%. D'autres pays connaissent des situations encore plus
préoccupantes avec des pertes pouvant monter localement jusqu'à 60%.

[0004] Il est donc primordial de pouvoir détecter et caractériser les fuites présentes
20 dans un réseau de distribution d'eau afin de pouvoir prioriser les interventions et
réparer les fuites ainsi détectées.

[0005] Plusieurs techniques existent à ce jour afin de réaliser une telle détection.
Parmi ces dernières, les méthodes d'écoute vibro-acoustique et de sectorisation
sont les plus utilisées.

[0006] Les méthodes d'écoute vibro-acoustique visent à écouter localement, à l'aide
25 d'un microphone par exemple, les signaux émis par les fuites au sein des
canalisations. Une telle technique est assez efficace mais elle requiert un grand
nombre de points d'écoute, c'est-à-dire un grand nombre de capteurs ou, dans le
cas d'une configuration mobile, un opérateur expert à temps plein se déplaçant le
long du réseau, pour parvenir à couvrir tout le réseau. De plus, elles sont
30 fortement soumises aux perturbations acoustiques de l'environnement des

canalisations, par exemple le trafic routier. Enfin, et surtout, ces méthodes permettent de localiser les fuites mais elles ne permettent pas de caractériser ces dernières.

5 [0007] Les méthodes de sectorisation visent quant à elles à sectoriser le réseau en de petites zones isolées et à comparer les débits en entrée et en sortie de chaque zone afin de détecter la présence d'un débit de fuite. Toutefois, une telle méthode n'est pas suffisante à elle-seule puisqu'elle ne permet pas de localiser assez précisément l'emplacement de la fuite, en particulier sur un réseau maillé qui nécessiterait un nombre trop important de capteurs. De plus, la sectorisation
10 ne permet pas de discriminer la gravité de chaque fuite lorsque plusieurs fuites sont présentes dans un même secteur. En tout état de cause, lorsqu'une estimation de la gravité est possible, cette estimation ne peut être obtenue qu'a posteriori, après la réparation de la fuite, ce qui empêche toute maintenance priorisée.

15 [0008] De plus, un tel réseau de distribution d'eau présente fréquemment de multiples fuites, de types et de gravités variés. En particulier, la réparation de certaines fuites de gravité minimale n'est pas toujours rentable, ou tout du moins n'est pas toujours prioritaire. Or, les méthodes de détection actuelles, et en particulier les méthodes d'écoute acoustique, ne permettent pas d'obtenir une
20 information précise quant à la gravité de la fuite détectée, ce qui rend difficile la mise en place d'une maintenance priorisée.

[0009] Il existe donc un réel besoin d'un procédé de caractérisation de fuite dans un réseau de fluide, permettant de déterminer le type et/ou le débit d'une fuite, avant sa réparation, et qui soit dépourvu, au moins en partie, des inconvénients
25 inhérents aux méthodes connues précitées.

Exposé de l'invention

[0010] Le présent exposé concerne un procédé d'entraînement d'un modèle d'apprentissage statistique destiné à la caractérisation de fuite dans un réseau
30 de fluide, dans lequel le réseau de fluide est équipé d'une pluralité de capteurs vibro-acoustiques configurés pour fournir des signaux vibro-acoustiques, comprenant la construction d'une base de données associant, au moins pour une

pluralité de fuites documentées, au moins une donnée de caractérisation de la fuite effectivement déterminée parmi le type de fuite et le débit de fuite avec au moins un signal vibro-acoustique obtenu directement ou indirectement à partir d'au moins un capteur vibro-acoustique, et comprenant l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique sur la base de données ainsi construite.

[0011] Grâce à un tel procédé, il est possible de construire une base de données qui permettra au modèle d'apprentissage statistique, une fois entraîné sur cette base de données, de caractériser une fuite dans un réseau de fluide sur la base d'un ou plusieurs signaux vibro-acoustiques obtenus sur le réseau de fluide en question.

[0012] Naturellement, plus la base contient un nombre de fuites documentées important, plus l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique sera poussé et plus ce modèle d'apprentissage statistique sera capable de caractériser les fuites détectées avec précision.

[0013] Dans le présent exposé, on entend par « capteur vibro-acoustique », un capteur couplé à n'importe quel type de support liquide ou solide et capable d'enregistrer un déplacement, une vitesse, une accélération ou encore une dérivée temporelle d'ordre supérieure dans une ou plusieurs directions, et notamment dans les trois directions de l'espace. Il peut donc notamment s'agir d'un accéléromètre, d'un sismomètre, d'un géophone, d'un microphone, ou encore d'un hydrophone, pour ne citer que ces exemples. Il peut s'agir de capteurs montés à demeure et/ou de capteurs mobiles appliqués temporairement par un opérateur.

[0014] Dans certains modes de réalisation, le réseau de fluide est doté d'une cartographie numérique comprenant au moins la géométrie du réseau de fluide et la localisation desdits capteurs vibro-acoustiques. Cette cartographie numérique peut être conforme à la cartographie réelle ou bien comprendre des éléments cartographiques simulés. Ces éléments cartographiques simulés permettent de compléter la cartographie numérique lorsque certains éléments de la cartographie réelle sont inconnus. Ces éléments cartographiques simulés peuvent également permettre de simuler des scénarios alternatifs en substituant un élément cartographique réel par un élément cartographie simulé, par exemple

en modifiant virtuellement le diamètre d'une canalisation, ou encore en simulant des canalisations fictives dans le prolongement du réseau existant.

[0015] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend, pour au moins une fuite documentée, une étape de mesure du débit de fuite. En particulier, ce débit de fuite peut être obtenu par une mesure directe au niveau de la fuite. Une telle mesure peut notamment être réalisée par un opérateur juste avant la réparation de la fuite.

[0016] Dans certains modes de réalisation, le réseau de fluide est équipé d'au moins un capteur de débit fournissant des données de sectorisation. Ces données de sectorisation peuvent également comprendre des mesures de pression réalisées par au moins un capteur de pression. La localisation de ces capteurs de sectorisation peut être enregistrée dans la cartographie numérique du réseau.

[0017] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend, pour au moins une fuite documentée, une étape de détermination du débit de fuite à l'aide des données de sectorisation. Pour certaines fuites, en fonction de leur nombre, de leur localisation et du nombre de débitmètres à proximité, cette détermination peut se faire directement, pendant l'existence de la fuite. Pour d'autres fuites, si cette détermination directe n'est pas possible, la détermination peut se faire indirectement, par exemple en comparant les données de sectorisation avant et après la réparation de la fuite. Une telle étape de détermination rend superflu la mesure directe du débit de fuite par un opérateur au niveau de la fuite. En conséquence, il est possible d'inclure dans la base de données des fuites de gravité mineure pour lesquelles une réparation n'est pas jugée prioritaire.

[0018] Dans certains modes de réalisation, pour au moins une fuite documentée, l'étape de détermination est réalisée de manière automatique par comparaison des données de sectorisation avant et après la réparation de la fuite en question.

[0019] Dans certains modes de réalisation, la base de données comprend, pour au moins une fuite documentée, des signaux vibro-acoustiques enregistrés par au moins certains capteurs vibro-acoustiques du réseau de fluide. De préférence, chaque signal est enregistré dans la base en association avec l'identification et/ou la localisation du capteur vibro-acoustique à l'origine du signal. Pour une

fuite documentée, on associe ainsi dans la base de données une pluralité de signaux, ce qui augmente la taille de la base et renforce donc l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique. De plus, on associe des signaux ayant subi des atténuations et/ou des altérations lors de leur propagation le long du réseau de fluide, ce qui aide le modèle d'apprentissage statistique à caractériser une fuite même en cas d'atténuation et/ou d'altération des signaux vibro-acoustiques. En effet, tout élément physique constitutif d'un réseau de canalisation peut avoir une incidence sur la propagation des ondes et ainsi provoquer des altérations des signaux.

10 [0020] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend, pour au moins une fuite documentée, une étape de simulation d'au moins un capteur vibro-acoustique virtuel possédant une localisation virtuelle enregistrée dans la cartographie numérique du réseau de fluide et un signal vibro-acoustique simulé à partir des signaux vibro-acoustiques effectivement mesurés par des capteurs vibro-acoustiques réels et des données géométriques de la cartographie numérique du réseau de fluide. Grâce à une telle étape de simulation, on peut augmenter artificiellement le nombre de signaux disponibles pour l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique tout en gardant un nombre raisonnable de capteurs réels au sein du réseau de fluide. On renforce ainsi l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique sans surcoût d'équipement supplémentaire. Un tel signal vibro-acoustique simulé peut notamment être obtenu par simulation numérique. En particulier, une telle simulation peut s'appuyer sur l'utilisation de fonctions de transfert, associées à chaque élément du réseau de fluide.

25 [0021] Dans certains modes de réalisation, l'étape de simulation d'au moins un capteur vibro-acoustique virtuel se fonde sur la véritable cartographie du réseau.

[0022] Dans certains modes de réalisation, l'étape de simulation d'au moins un capteur vibro-acoustique virtuel se fonde sur une cartographie simulée comprenant au moins un élément cartographique simulé. En particulier, cette cartographie simulée peut comprendre au moins une canalisation fictive. De cette manière, il est par exemple possible de continuer à propager un signal vibro-acoustique dans un réseau de canalisations fictives s'étendant au-delà du réseau existant et donc de simuler un nombre encore plus important de capteurs vibro-

acoustiques virtuels, à des distances encore plus importantes de la fuite documentée. On augmente ainsi encore la taille de la base de données, ce qui renforce encore l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique.

5 [0023] Dans certains modes de réalisation, le nombre de capteurs vibro-acoustiques virtuels est au moins 2 fois supérieur au nombre de capteurs vibro-acoustiques réels.

10 [0024] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend une étape de localisation de la fuite à partir des signaux vibro-acoustiques des capteurs vibro-acoustiques et des données géométriques de la cartographie numérique du réseau de fluide. On obtient ainsi l'information concernant la localisation de la fuite, ce qui permet d'envoyer le cas échéant un agent de maintenance directement à la bonne adresse afin de caractériser et/ou réparer la fuite.

15 [0025] Dans certains modes de réalisation, la base de données comprend, pour au moins une fuite documentée, le signal vibro-acoustique effectivement enregistré à proximité de la fuite. On associe ainsi, pour chaque fuite documentée, le signal vibro-acoustique enregistré à la fuite, c'est-à-dire avant toute atténuation ou toute altération due à sa propagation le long du réseau de fluide : un tel signal constitue ainsi une signature primaire de la fuite, particulièrement utile à
20 l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique. Ce signal à la fuite peut notamment être enregistré par un agent de maintenance juste avant la réparation de la fuite. Selon l'accessibilité de la fuite, ce signal sera mesuré à moins de 50 m de la fuite, de préférence à moins de 10 m de la fuite, de préférence à moins d'1 m de la fuite.

25 [0026] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend, pour au moins une fuite documentée, une étape de reconstruction du signal vibro-acoustique au niveau de la fuite à partir des signaux vibro-acoustiques des capteurs vibro-acoustiques et des données géométriques de la cartographie numérique du réseau de fluide. Ceci est une autre méthode pour obtenir une
30 approximation du signal vibro-acoustique à la fuite, notamment lorsqu'il n'est pas possible, ou souhaitable, d'enregistrer le véritable signal directement au niveau de la fuite. On associe ainsi, pour chaque fuite documentée, le signal vibro-

acoustique reconstruit à la fuite, c'est-à-dire avant toute atténuation ou toute altération due à sa propagation le long du réseau de fluide : un tel signal constitue ainsi une signature primaire de la fuite, particulièrement utile à l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique. Un tel signal reconstruit à la fuite peut notamment être obtenu par la simulation d'un capteur virtuel au niveau ou à proximité de la fuite.

[0027] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend au moins une étape de génération de fuite au cours de laquelle une fuite est artificiellement provoquée au sein du réseau de fluide. Ceci permet d'augmenter le nombre de fuites documentées au sein de la base de données, et donc de renforcer l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique, en contrôlant les paramètres de la fuite ainsi générée. Une telle fuite artificielle peut notamment être provoquée en utilisant des ouvrages de type vannes ou poteaux incendie.

[0028] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend, pour au moins une fuite documentée, une étape de bruitage au cours de laquelle du bruit est ajouté à au moins un signal vibro-acoustique effectivement mesuré. Un tel ajout de bruit permet de rendre l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique plus robuste. Le bruit ajouté peut notamment comprendre des bruits colorés classiques, blanc ou rose par exemple, et/ou des bruits spécifiques aux réseaux d'eau, tels que le bruit d'une voiture qui passe, d'un compteur mécanique qui tourne ou encore de personnes qui parlent à proximité, pour ne citer que ces exemples.

[0029] Dans certains modes de réalisation, la base de données comprend, pour au moins une fuite documentée, des données structurelles de la canalisation au niveau de la fuite. Ces données structurelles peuvent notamment comprendre le matériau de la canalisation, son diamètre nominal, son épaisseur, sa profondeur ou encore le matériau du sol environnant ou le type de remblai. Ces données sont utiles pour aider le modèle d'apprentissage statistique à tenir compte des variations de signal pouvant apparaître pour une fuite d'un type et d'un débit donnés en fonction des propriétés physiques de la canalisation portant la fuite. De cette manière, le modèle d'apprentissage statistique aura plus de facilité à caractériser les fuites si ces variables contextuelles supplémentaires lui sont données.

[0030] Dans certains modes de réalisation, la base de données comprend, pour au moins une fuite documentée, des données contextuelles de réparation parmi le type de remblai utilisé, l'état d'inondation autour de la fuite et/ou une photographie de la fuite. Ces données peuvent notamment servir pour l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique.

[0031] Dans certains modes de réalisation, la base de données comprend des données issues de fuites documentées d'un unique réseau de fluide. Le modèle d'apprentissage statistique est alors spécialisé dans la caractérisation des fuites de ce réseau de fluide particulier ; il reste néanmoins apte à caractériser les fuites d'autres réseaux de fluide le cas échéant, avec une précision plus faible.

[0032] Dans certains modes de réalisation, la base de données comprend des données issues de fuites documentées de plusieurs réseaux de fluide. On augmente ainsi la taille de la base de données, ce qui renforce l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique. Un poids supérieur peut toutefois être donné aux fuites documentées d'un réseau de fluide particulier lorsque le modèle d'apprentissage statistique est destiné à être appliqué sur ce réseau de fluide particulier.

[0033] Dans certains modes de réalisation, au moins certains capteurs vibro-acoustiques sont des capteurs corrélants partageant directement ou indirectement une horloge commune. De tels capteurs permettent de suivre la propagation d'une onde sonore, ou d'un signal vibratoire, le long du réseau de fluide. Ainsi, grâce à de tels capteurs il est possible d'estimer la distance séparant le capteur de la fuite et donc, à l'aide de plusieurs capteurs, de déterminer la position de la fuite.

[0034] Dans certains modes de réalisation, au moins un capteur vibro-acoustique est prévu au moins tous les 200 m, de préférence au moins tous les 100 m, de préférence encore au moins tous les 50 m, le long du réseau de fluide. Plus le maillage est fin, plus la probabilité d'avoir un nombre important de capteurs à proximité de la fuite, et donc d'avoir un nombre important de signaux exploitables, est importante. En conséquence, plus le maillage est fin, plus la base de données comporte de signaux différents pour une fuite donnée et donc plus l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique est efficace. De plus,

la distance entre capteurs peut être modulée en fonction du type de matériau composant la canalisation ; en particulier un maillage plus fin est préférable pour les réseaux plastiques.

5 [0035] Dans certains modes de réalisation, au moins un capteur est installé au niveau d'une bouche à clé du réseau de fluide. Le capteur peut notamment comporter une tête de mesure située au fond du tube allongé, en contact avec la canalisation. Toutefois, naturellement, ceci n'est qu'un exemple d'installation parmi de nombreuses options envisageables. En particulier, les capteurs peuvent être montés sur ou au sein de n'importe quel élément du réseau.

10 [0036] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend une étape de normalisation aboutissant à convertir le signal vibro-acoustique brut d'au moins un capteur vibro-acoustique en un signal vibro-acoustique normalisé possédant un format prédéterminé. Une telle étape permet notamment d'utiliser des types ou des modèles de capteurs différents et de convertir tous les signaux
15 bruts dans un même format, ce qui permet au modèle d'apprentissage statistique de travailler sur les signaux normalisés, indépendamment du type ou du modèle de capteur effectivement utilisé. En particulier, cette étape de normalisation peut utiliser des fonctions de transfert, déterminées théoriquement ou empiriquement, pour chaque type ou modèle de capteur utilisé. Cette étape peut également
20 introduire artificiellement une perte de qualité par rapport au signal vibro-acoustique brut. Il est ainsi possible de simuler les défauts de certains capteurs, ce qui permet d'améliorer l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique. Il est par exemple possible de simuler une compression avec perte. Cette normalisation du signal peut être, notamment, une compression, un repliement spectral, au d'autres techniques de traitement des signaux.
25

[0037] Dans certains modes de réalisation, le format commun prédéterminé des signaux vibro-acoustiques normalisés est un format sonore, par exemple du type WAVE.

30 [0038] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend une étape de pré-traitement aboutissant à qualifier et à nettoyer le signal vibro-acoustique d'au moins un capteur vibro-acoustique. Cette étape permet notamment de vérifier si le signal n'est pas corrompu ou pollué par un bruit

couvrant le signal, tel qu'un passage de véhicule par exemple, et donc si le signal est exploitable par le modèle d'apprentissage statistique. Elle permet également de nettoyer le signal d'éventuels parasites à l'aide d'un ou plusieurs filtres.

5 [0039] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend une étape de transformation de la représentation des signaux vibro-acoustiques dans d'autres espaces mathématiques.

10 [0040] Dans certains modes de réalisation, le procédé d'entraînement comprend une étape de décomposition aboutissant à décomposer le signal vibro-acoustique d'au moins un capteur vibro-acoustique. Il peut notamment s'agir d'une décomposition de Fourier. Le résultat de cette décomposition peut être enregistré dans la base de données et peut servir pour l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique.

15 [0041] Dans certains modes de réalisation, la cartographie numérique du réseau de fluide comprend des données de localisation des vannes et/ou d'autres équipements. De cette manière, il est possible de prévoir et de tenir compte des altérations des signaux vibro-acoustiques lors de leur propagation au travers de ces équipements. On augmente ainsi la précision des simulations et/ou des reconstructions de signaux. En particulier, une fonction de transfert peut être associée à chaque type d'équipement.

20 [0042] Dans certains modes de réalisation, la cartographie numérique du réseau de fluide comprend des données structurelles du réseau de fluide. Ces données structurelles peuvent notamment comprendre le matériau de chaque canalisation, son diamètre nominal, son épaisseur, sa profondeur ou encore le matériau du sol environnant ou le type de remblai. Ces données sont utiles pour
25 augmenter la précision des simulations et/ou des reconstructions de signaux au sein du réseau de fluide. Elles peuvent également être utilisées pour aider le modèle d'apprentissage statistique à tenir compte des variations de signal pouvant apparaître pour une fuite d'un type et d'un débit donnés en fonction des propriétés physiques de la canalisation portant un capteur vibro-acoustique
30 donné. De cette manière, le modèle d'apprentissage statistique aura plus de facilité à caractériser les fuites si ces variables contextuelles supplémentaires lui sont données.

[0043] Dans certains modes de réalisation, le type de fuite est déterminé au moins parmi trois types différents, de préférence au moins parmi cinq types différents. En particulier, le type de fuite peut être déterminé parmi les types suivants : fuite sur conduite, casse de conduite, fuite sur piquage conduite, fuite sur
5 branchement, fuite sur collier, fuite de poteau incendie, fuite après compteur, fuite sur joint, fuite sur vanne, fuite sur ventouse, fuite sur bride, fuite sur presse étoupe, fuite sur un autre réseau à proximité (e.g. assainissement, gaz, etc.), pour ne citer que ces exemples.

[0044] Dans certains modes de réalisation, la base de données comprend également
10 des données, en particulier des signaux vibro-acoustiques, correspondants à des scénarios dépourvus de fuite. Grâce à de tels scénarios dépourvus de fuite, on introduit la possibilité pour le modèle d'apprentissage statistique, une fois entraîné, de conclure à une absence de fuite lorsqu'aucune fuite n'est présente dans le réseau.

[0045] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique est
15 du type classifieur. Autrement dit, le débit de fuite est déterminé parmi des plages de débit prédéterminées. Ces plages peuvent posséder des largeurs constantes ou variables. De préférence, la largeur de chaque plage est inférieure ou égale à 10 m³/h, de préférence encore inférieure ou égale à 5 m³/h.

[0046] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique est
20 du type régresseur. Autrement dit, le débit de fuite est déterminé aussi précisément que possible, avec une certaine marge d'erreur. De préférence, cette marge d'erreur est inférieure ou égale à 10% ou encore inférieure ou égale à 10 m³/h ou à 5 m³/h. Dans certains modes de réalisation, le réseau de fluide
25 est un réseau d'eau. Il s'agit de préférence d'un réseau de distribution d'eau, potable, en charge.

[0047] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique est un réseau de neurones.

[0048] Dans certains modes de réalisation, le réseau de neurones est du type
30 convolutif avec de préférence au moins deux couches convolutives de filtre temporels s'appliquant sur les signaux vibratoires et au moins deux couches non

convolutives. Les couches non convolutives peuvent s'appliquer aux résultats des couches convolutives et/ou aux données contextuelles.

5 [0049] Dans certains modes de réalisation, les couches convolutives du réseau de neurones contiennent des filtres temporels de taille entre 25 et 100 ms appliquées sur les signaux vibratoires. Les couches convolutives sont organisées de telle sorte que le nombre de filtres augmente à chaque couche. Les couches simples sont organisées de telle sorte que le nombre de neurones puisse diminuer jusqu'à l'estimation finale. Pour éviter le surapprentissage, la technique d'abandon peut être utilisée entre 30 et 70%. Pour obtenir une estimation de
10 l'incertitude, un réseau bayésien peut être utilisé.

[0050] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique est une forêt d'arbres décisionnels, une machine à support de vecteur, ou encore une régression non linéaire.

15 [0051] Le présent exposé concerne également un procédé de caractérisation de fuite dans un réseau de fluide, dans lequel le réseau de fluide est équipé d'une pluralité de capteurs vibro-acoustiques configurés pour fournir des signaux vibro-acoustiques, et dans lequel un modèle d'apprentissage statistique reçoit en entrée au moins un signal vibro-acoustique obtenu directement ou indirectement à partir d'au moins un capteur vibro-acoustique et fournit en sortie au moins une
20 donnée de caractérisation de la fuite parmi le type de fuite et le débit de fuite.

[0052] Ainsi, grâce un tel modèle d'apprentissage statistique, il est possible d'obtenir des informations sur le type et/ou le débit, c'est-à-dire la gravité, de la fuite sans investir des moyens importants dans l'instrumentation hydraulique du réseau de fluide. De plus, cette estimation peut se faire à distance. Le procédé de
25 caractérisation est également capable de conclure à l'absence de fuite si, lors de l'analyse des signaux, le modèle d'apprentissage statistique ne détecte aucune fuite.

[0053] En conséquence, grâce à un tel procédé, il est possible de prioriser les réparations à mener au sein du réseau de fluide, ce qui optimise les coûts de
30 maintenance et augmente donc le rendement global du réseau de fluide.

[0054] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique reçoit en entrée les signaux vibro-acoustiques de plusieurs capteurs vibro-

acoustiques. En particulier, le modèle d'apprentissage statistique peut recevoir les signaux de tous les capteurs vibro-acoustiques du réseau de fluide, ou bien d'une partie d'entre eux seulement, par exemple les capteurs les plus proches de la fuite ou bien ceux fournissant un signal présentant un niveau et/ou une qualité supérieurs à un certain seuil.

[0055] Dans certains modes de réalisation, le réseau de fluide est doté d'une cartographie numérique comprenant au moins la géométrie du réseau de fluide et la localisation desdits capteurs vibro-acoustiques. Cette cartographie numérique peut être conforme à la cartographie réelle ou bien comprendre des éléments cartographiques simulés. Ces éléments cartographiques simulés permettent de compléter la cartographie numérique lorsque certains éléments de la cartographie réelle sont inconnus. Ces éléments cartographiques simulés peuvent également permettre de simuler des scénarios alternatifs en substituant un élément cartographique réel par un éléments cartographie simulé, par exemple en modifiant virtuellement le diamètre d'une canalisation, ou encore en simulant des canalisations fictives dans le prolongement du réseau existant.

[0056] Dans certains modes de réalisation, le procédé de caractérisation comprend une étape de simulation d'au moins un capteur vibro-acoustique virtuel possédant une localisation virtuelle enregistrée dans la cartographie numérique du réseau de fluide et un signal vibro-acoustique simulé à partir des signaux vibro-acoustiques des capteurs vibro-acoustiques réels et des données géométriques de la cartographie numérique du réseau de fluide. Un tel signal vibro-acoustique simulé peut notamment être obtenu par simulation numérique de la propagation acoustique. En particulier, une telle résolution peut s'appuyer sur l'utilisation de fonctions de transfert, déterminées par exemple à l'aide d'essais en laboratoire ou en conditions réelles, associées à chaque élément du réseau de fluide.

[0057] Dans certains modes de réalisation, le réseau de neurones reçoit en entrée au moins un signal vibro-acoustique simulé.

[0058] Dans certains modes de réalisation, l'étape de simulation d'au moins un capteur vibro-acoustique virtuel se fonde sur la véritable cartographie du réseau.

[0059] Dans certains modes de réalisation, l'étape de simulation d'au moins un capteur vibro-acoustique virtuel se fonde sur une cartographie simulée comprenant au moins un élément cartographique simulé. En particulier, cette cartographie simulée peut comprendre au moins une canalisation fictive.

5 [0060] Dans certains modes de réalisation, le nombre de capteur vibro-acoustiques virtuels est au moins 2 fois supérieur au nombre de capteurs vibro-acoustiques réels.

[0061] Dans certains modes de réalisation, le procédé de caractérisation comprend une étape de localisation de la fuite à partir des signaux vibro-acoustiques des
10 capteurs vibro-acoustiques et des données géométriques de la cartographie numérique du réseau de fluide. On obtient ainsi l'information concernant la localisation de la fuite, ce qui permet d'envoyer le cas échéant un agent de maintenance directement à la bonne adresse afin de réparer la fuite. La localisation de la fuite peut également être prise en compte dans l'évaluation de
15 la priorité de réparation de cette fuite.

[0062] Dans certains modes de réalisation, le procédé de caractérisation comprend une étape de reconstruction du signal vibro-acoustique au niveau de la fuite à partir des signaux vibro-acoustiques des capteurs vibro-acoustiques et des
20 données géométriques de la cartographie numérique du réseau de fluide. On obtient ainsi une approximation du signal vibro-acoustique généré au niveau de la fuite, c'est-à-dire avant toute atténuation ou toute altération due à sa propagation le long du réseau de fluide : un tel signal, constituant une signature primaire de la fuite, apporte une quantité d'information importante au modèle d'apprentissage statistique, ce qui facilite la caractérisation. Un tel signal à la
25 source peut notamment être obtenu par simulation numérique de la propagation acoustique. En particulier, une telle résolution peut s'appuyer sur l'utilisation de fonctions de transfert associées à chaque élément du réseau de fluide. Un tel signal reconstruit à la fuite peut notamment être obtenu par la simulation d'un capteur virtuel au niveau ou à proximité de la fuite.

30 [0063] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique reçoit en entrée au moins le signal vibro-acoustique reconstruit au niveau de la fuite.

[0064] Dans certains modes de réalisation, au moins certains capteurs vibro-acoustiques sont des capteurs corrélants partageant directement ou indirectement une horloge commune. De tels capteurs permettent de suivre la propagation d'une onde sonore, ou d'un signal vibratoire, le long du réseau de fluide. Ainsi, grâce à de tels capteurs il est possible d'estimer la distance
5 séparant le capteur de la fuite et donc, à l'aide de plusieurs capteurs, de déterminer la position de la fuite.

[0065] Dans certains modes de réalisation, au moins un capteur vibro-acoustique est prévu au moins tous les 200 m, de préférence au moins tous les 100 m, de
10 préférence encore au moins tous les 50 m, le long du réseau de fluide. Plus le maillage est fin, plus la probabilité d'avoir un nombre important de capteurs à proximité de la fuite, et donc d'avoir un nombre important de signaux exploitables, est importante. En conséquence, plus le maillage est fin, plus la
15 base de données comporte de signaux différents pour une fuite donnée et donc plus l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique est efficace. De plus, la distance entre capteurs peut être modulée en fonction du type de matériau composant la canalisation ; en particulier un maillage plus fin est préférable pour les réseaux plastiques.

[0066] Dans certains modes de réalisation, au moins un capteur est installé au
20 niveau d'une bouche à clé du réseau de fluide. Le capteur peut notamment comporter une tête de mesure située au fond du tube allongé, en contact avec la canalisation. Toutefois, naturellement, ceci n'est qu'un exemple d'installation parmi de nombreuses options envisageables. En particulier, les capteurs peuvent être monté sur ou au sein de n'importe quel élément du réseau.

[0067] Dans certains modes de réalisation, le procédé de caractérisation comprend
25 une étape de normalisation aboutissant à convertir le signal vibro-acoustique brut d'au moins un capteur vibro-acoustique en un signal vibro-acoustique normalisé possédant un format prédéterminé. Une telle étape permet notamment d'utiliser des types ou des modèles de capteurs différents et de convertir tous les signaux
30 bruts dans un même format, ce qui permet au modèle d'apprentissage statistique de travailler sur les signaux normalisés, indépendamment du type ou du modèle de capteur effectivement utilisé. En particulier, cette étape de normalisation peut

utiliser des fonctions de transfert, déterminées théoriquement ou empiriquement, pour chaque type ou modèle de capteur utilisé.

5 [0068] Dans certains modes de réalisation, le format commun prédéterminé des signaux vibro-acoustiques normalisés est un format sonore, par exemple du type WAVE.

[0069] Dans certains modes de réalisation, le procédé de caractérisation comprend une étape de pré-traitement aboutissant à qualifier et à nettoyer le signal vibro-acoustique d'au moins un capteur vibro-acoustique. Cette étape permet notamment de vérifier si le signal n'est pas corrompu ou pollué par un bruit
10 couvrant le signal, tel qu'un passage de véhicule par exemple, et donc si le signal est exploitable par le modèle d'apprentissage statistique. Elle permet également de nettoyer le signal d'éventuels parasites à l'aide d'un ou plusieurs filtres.

[0070] Dans certains modes de réalisation, le procédé de caractérisation comprend une étape de transformation de la représentation des signaux vibro-acoustiques
15 dans d'autres espaces mathématiques.

[0071] Dans certains modes de réalisation, le procédé de caractérisation comprend une étape de décomposition aboutissant à décomposer le signal vibro-acoustique d'au moins un capteur vibro-acoustique. Il peut notamment s'agir d'une décomposition de Fourier. Le résultat de cette décomposition peut être
20 fourni en entrée du modèle d'apprentissage statistique, à la place ou en plus du signal original. Ceci peut faciliter la caractérisation par le modèle d'apprentissage statistique.

[0072] Dans certains modes de réalisation, la cartographie numérique du réseau de fluide comprend des données de localisation des vannes et/ou d'autres
25 équipements. De cette manière, il est possible de prévoir et de tenir compte des altérations des signaux vibro-acoustiques lors de leur propagation au travers de ces équipements. On augmente ainsi la précision des simulations et/ou des reconstructions de signaux. En particulier, une fonction de transfert peut être associée à chaque type d'équipement.

30 [0073] Dans certains modes de réalisation, la cartographie numérique du réseau de fluide comprend des données structurelles du réseau de fluide. Ces données structurelles peuvent notamment comprendre le matériau de la canalisation, son

diamètre nominal, son épaisseur, sa profondeur ou encore le matériau environnant. Ces données sont utiles pour aider le modèle d'apprentissage statistique à tenir compte des variations de signal pouvant apparaître pour une fuite d'un type et d'un débit donnés en fonction des propriétés physiques de la canalisation portant la fuite. De cette manière, le modèle d'apprentissage statistique a plus de facilité à caractériser les fuites, indépendamment de la taille ou du matériau des canalisations concernées.

[0074] Dans certains modes de réalisation, le type de fuite est déterminé au moins parmi 3 types différents, de préférence au moins parmi 5 types différents. En particulier, le type de fuite peut être déterminé parmi les types suivants : fuite sur conduite, casse de conduite, fuite sur piquage conduite, fuite sur branchement, fuite sur collier, fuite de poteau incendie, fuite après compteur, fuite sur joint, fuite sur vanne, fuite sur ventouse, fuite sur bride, fuite sur presse étoupe, fuite sur un autre réseau à proximité (e.g. assainissement, gaz, etc.), pour ne citer que ces exemples.

[0075] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique est du type classifieur. Autrement dit, le débit de fuite est déterminé parmi des plages de débit prédéterminées. Ces plages peuvent posséder des largeurs constantes ou variables. De préférence, la largeur de chaque plage est inférieure ou égale à 10 m³/h, de préférence encore inférieure ou égale à 5 m³/h.

[0076] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique est du type régresseur. Autrement dit, le débit de fuite est déterminé aussi précisément que possible, avec une certaine marge d'erreur. De préférence, cette marge d'erreur est inférieure ou égale à 10% ou encore inférieure ou égale à 10 m³/h ou à 5 m³/h.

[0077] Dans certains modes de réalisation, le réseau de fluide est un réseau d'eau. Il s'agit de préférence d'un réseau de distribution d'eau, potable, en charge.

[0078] Dans certains modes de réalisation, le réseau de neurones est du type convolutif avec de préférence au moins deux couches convolutives de filtre temporels s'appliquant sur les signaux vibratoires et au moins deux couches non convolutives. Les couches non convolutives peuvent s'appliquer aux résultats des couches convolutives et/ou aux données contextuelles.

- [0079] Dans certains modes de réalisation, les couches convolutives du réseau de neurones contiennent des filtres temporels de taille entre 25 et 100ms appliquées sur les signaux vibratoires. Les couches convolutives sont organisées de telle sorte que le nombre de filtres augmente à chaque couche. Les couches simples sont organisées de telle sorte que le nombre de neurones puisse diminuer jusqu'à l'estimation finale. Pour éviter le surapprentissage, la technique d'abandon peut être utilisée entre 30 et 70%. Pour obtenir une estimation de l'incertitude, un réseau bayésien peut être utilisé.
- [0080] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique est une forêt d'arbres décisionnels, une machine à support de vecteur, ou encore une régression non linéaire.
- [0081] Dans certains modes de réalisation, le modèle d'apprentissage statistique a été entraîné à l'aide d'un procédé d'entraînement selon l'un quelconque des modes de réalisation décrits ci-avant.
- [0082] Dans certains modes de réalisation, le procédé de caractérisation comprend une étape de vérification au cours de laquelle le type et/ou le débit de la fuite caractérisée par le modèle d'apprentissage statistique est effectivement vérifié puis enregistré dans la base de données afin de compléter l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique.
- [0083] Le présent exposé concerne également un module de caractérisation de fuite dans un réseau de fluide, le réseau de fluide étant équipé d'une pluralité de capteurs vibro-acoustiques configurés pour fournir des signaux vibro-acoustiques comprenant un modèle d'apprentissage statistique configuré pour recevoir en entrée au moins un signal vibro-acoustique obtenu directement ou indirectement à partir d'au moins un capteur vibro-acoustique et pour fournir en sortie au moins une donnée de caractérisation de la fuite parmi le type de fuite et le débit de fuite.
- [0084] Les avantages de ce module de caractérisation découlent des avantages décrits ci-avant pour le procédé de caractérisation. De plus, ce module de caractérisation peut présenter tout ou partie des caractérisations additionnelles décrites ci-avant au sujet du procédé d'entraînement et/ou du procédé de caractérisation.

[0085] Le présent exposé concerne également un réseau de fluide, comprenant une pluralité de capteurs vibro-acoustiques configurés pour fournir des signaux vibro-acoustiques, et un module de caractérisation selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents.

- 5 [0086] Le présent exposé concerne également un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour exécuter les étapes du procédé d'entraînement ou du procédé de caractérisation décrits ci-avant lorsque le programme est exécuté par un ordinateur.

10 [0087] Les caractéristiques et avantages précités, ainsi que d'autres, apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, d'exemples de réalisation du procédé d'entraînement, du procédé de caractérisation et du module de caractérisation proposés. Cette description détaillée fait référence aux dessins annexés.

15 Brève description des dessins

[0088] Les dessins annexés sont schématiques et visent avant tout à illustrer les principes de l'exposé.

20 [0089] Sur ces dessins, d'une figure à l'autre, des éléments (ou parties d'élément) identiques sont repérés par les mêmes signes de référence. En outre, des éléments (ou parties d'élément) appartenant à des exemples de réalisation différents mais ayant une fonction analogue sont repérés sur les figures par des références numériques incrémentées de 100, 200, etc.

[0090] [Fig. 1] La figure 1 est un schéma d'ensemble d'un réseau de fluide équipé d'un module de caractérisation de fuite.

25 [0091] [Fig. 2] La figure 2 est un schéma d'ensemble d'un module de caractérisation de fuite.

[0092] [Fig. 3] La figure 3 illustre la détection d'une fuite au sein du réseau de fluide de la figure 1.

30 [0093] [Fig. 4] La figure 4 illustre l'obtention du signal vibro-acoustique au niveau de la fuite.

[0094] [Fig. 5] La figure 5 illustre un premier exemple d'entraînement d'un réseau de neurones.

[0095] [Fig. 6] La figure 6 illustre un premier exemple de caractérisation de fuite à l'aide de ce réseau de neurones.

5 [0096] [Fig. 7] La figure 7 illustre la simulation de capteurs vibro-acoustiques virtuels.

[0097] [Fig. 8] La figure 8 illustre un deuxième exemple d'entraînement d'un réseau de neurones.

[0098] [Fig. 9] La figure 9 illustre un deuxième exemple de caractérisation de fuite à l'aide de ce réseau de neurones.

10

Description des modes de réalisation

[0099] Afin de rendre plus concret l'exposé, des exemples de procédés d'entraînement, de procédés de caractérisation et de modules de caractérisation sont décrits en détail ci-après, en référence aux dessins annexés. Il est rappelé
15 que l'invention ne se limite pas à ces exemples.

[0100] La figure 1 représente un schéma de réseau de fluide 1, en l'espèce un réseau de distribution d'eau potable. Ce réseau de fluide 1 possède une pluralité de canalisations 2 sur lesquelles sont montés une pluralité de capteurs vibro-acoustiques 3, ici des capteurs acoustiques du type accéléromètre. Le réseau de
20 fluide possède également un module de caractérisation de fuite 10 qui peut être hébergé au sein d'un ordinateur de la régie du réseau de fluide 1 ou bien au sein d'un serveur distant. Le réseau de fluide 1 comprend en outre des capteurs de sectorisation, et en particulier des débitmètres et des manomètres.

[0101] La figure 2 illustre les éléments principaux de ce module de caractérisation de
25 fuite 10. Il comprend ainsi une cartographie numérique 11 du réseau de fluide 1, une base de données de fuites 12, un réseau de neurones 13 (formant un modèle d'apprentissage statistique), une unité de calcul 14 et une mémoire 15 ; il comprend également tous les éléments électroniques permettant de faire fonctionner un tel module électronique : alimentation, interfaces utilisateur etc.

[0102] La cartographie numérique 11 comprend la géométrie du réseau de fluide 1, c'est-à-dire la position, l'orientation et la longueur de toutes les canalisations 2, ainsi que la position de tous les équipements du réseau, c'est-à-dire les vannes, les colliers de jonction, les branchements, les bouches à clés etc. La
5 cartographie numérique 11 comprend en outre la localisation de tous les capteurs vibro-acoustiques 3 mais également des capteurs de sectorisation.

[0103] La cartographie numérique 11 comprend également des données structurelles les plus complètes possibles pour l'ensemble du réseau 1, et notamment, autant que possible, le matériau de chaque canalisation, son
10 diamètre nominal, son épaisseur, sa profondeur ou encore le matériau du sol environnant.

[0104] La base de données 12 compile pour sa part autant de données que possible au sujet des fuites identifiées et caractérisées par le passé au sein du réseau de fluide 1. Sa construction sera décrite plus en détail ci-après.

[0105] Dans le présent exemple, le réseau de neurones 13 est un réseau convolutif
15 du type régresseur comprenant deux couches convolutives de filtre temporels et deux couches non convolutives. Les couches du réseau de neurones 13 contiennent des filtres temporels de taille entre 25 et 100 ms. Les couches convolutives sont organisées de telle sorte que le nombre de filtres augmente à
20 chaque couche. Les couches simples sont organisées de telle sorte que le nombre de neurones diminue jusqu'à l'estimation finale. Pour éviter le surapprentissage, la technique d'abandon est utilisée entre 30 et 70%. De plus, pour obtenir une estimation de l'incertitude, un réseau bayésien est utilisé.

[0106] L'unité de calcul 14 peut notamment prendre la forme d'un processeur : elle
25 est notamment programmée pour être capable de résoudre des problèmes numérique de propagation d'une onde sonore le long du réseau de fluide 1, sur la base des données géométriques et structurelles de la cartographie numérique 11.

[0107] La mémoire 15 peut prendre n'importe quelle forme de stockage de données.
30 Elle comprend notamment les équations théoriques de propagation des ondes sonores le long d'une canalisation. Elle comprend également une bibliothèque de fonctions de transfert, établies théoriquement ou empiriquement à l'aide d'essais

en laboratoire ou sur site, permettant de simuler la déformation subie par un signal vibro-acoustique lors de son passage au travers d'un équipement particulier du réseau de fluide 1, en particulier une vanne, un coude, un branchement, ou encore un collier. Cette bibliothèque comprend également des fonctions de transfert permettant de convertir le signal brut d'un capteur vibro-acoustique d'un type et d'un modèle donné vers un format de référence commun du type onde sonore, par exemple sous la forme d'un fichier son de type WAVE.

[0108] Dans un tel réseau de fluide 1, toute fuite génère un bruit caractéristique qui se propage le long des canalisations 2 et qui peut donc être détecté et enregistré par des capteurs vibro-acoustiques 3 tels que des microphones, des géophones, des hydrophones ou des accéléromètres. Ainsi, comme cela est représenté sur la figure 3, en présence d'une fuite 20, les capteurs vibro-acoustiques 3 du réseau 1 enregistrent chacun un signal 21 révélant la présence de la fuite 20. Toutefois, en raison de leurs positions différentes au sein du réseau de fluide 1, chaque capteur 3 enregistre un signal 21 légèrement différent : en particulier, le niveau du signal est d'autant plus atténué que le capteur 3 est éloigné la fuite 20; de plus, la forme du signal peut également être altérée au cours de la propagation, notamment lors de la traversée de certains équipements du réseau 1.

[0109] L'étude de cette atténuation et/ou de ces altérations permet alors de localiser plus ou moins précisément la fuite 20. De plus, dans le présent exemple, les capteurs vibro-acoustiques 3 sont corrélants, c'est-à-dire qu'ils partagent tous une horloge commune : de cette manière, il est possible de mesurer le retard entre les différents signaux 21, ce qui permet, la vitesse de propagation du son le long des canalisations 2 étant connue pour un matériau donné et enregistré dans la cartographie numérique 11, de déterminer la distance séparant chaque capteur 3 de la fuite 20. De tels capteurs corrélants permettent alors de localiser plus facilement la fuite 20 par recoupement des données de plusieurs capteurs 3.

[0110] Une fois la fuite 20 ainsi localisée, il est possible de se rendre sur place pour procéder à son excavation et à sa réparation. A cette occasion, il est également possible de déterminer son type Tf, c'est-à-dire déterminer s'il s'agit d'une fuite causée par une fissure, par un piquage ou encore par un joint défectueux, par exemple au niveau d'un collier ou d'un branchement.

[0111] Une fois la fuite 20 ainsi réparée, l'unité de calcul 14 est capable de déterminer automatiquement le débit Q_f que présentait cette fuite 20 par comparaison des données de sectorisations avant et après la réparation.

5 [0112] De plus, comme cela est représenté sur la figure 4, il est également possible à cette occasion d'enregistrer le signal vibro-acoustique 22 généré par la fuite 20 précisément au niveau de la fuite.

[0113] De manière alternative ou complémentaire, il est également possible de reconstruire le signal vibro-acoustique à la fuite 22 à partir des signaux 21 des capteurs vibro-acoustiques 3. Une telle reconstruction est réalisée par l'unité de calcul 14 par simulation numérique de la propagation acoustique à partir des données géométriques et structurelles contenues dans la cartographie numérique 11 ainsi que des équations de propagation et des fonctions de transfert enregistrées dans la mémoire 15.

15 [0114] L'entraînement du réseau de neurones 13 est alors représenté sur la figure 5. Pour chaque fuite 20 identifiée et caractérisée par un opérateur, l'ensemble des données relatives à cette fuite 20 est enregistré dans la base de données 12 : en particulier, la caractérisation, comprenant le type de fuite T_f et le débit de fuite Q_f , est enregistrée en association avec le signal vibro-acoustique à la fuite 22.

20 [0115] Des données structurelles de la canalisation 2 portant la fuite 20 sont également enregistrées dans la base de données 12 : ces données structurelles comprennent le matériau de la canalisation, son diamètre nominal, son épaisseur, sa profondeur ainsi que le matériau du sol environnant. Des données contextuelles de réparation, telles que le type de remblai utilisé, l'état d'inondation autour de la fuite ou encore une photographie de la fuite, peuvent également être enregistrées dans la base de données 12.

30 [0116] Une fois qu'un grand nombre de fuites 20 a ainsi été répertorié dans la base de données 12, le réseau de neurones 13 est appliqué sur la base de données 12 afin de réaliser son entraînement initial. Une fois l'entraînement initial terminé, le réseau de neurones 13 peut alors être utilisé pour caractériser automatiquement de nouvelles fuites 20.

[0117] Concrètement, le module de caractérisation de fuite 10 reçoit en permanence les signaux 21 enregistrés par les capteurs vibro-acoustiques 3. Dans la mesure

où le réseau de fluide 1 peut comprendre des types ou des modèles de capteurs vibro-acoustiques 3 différents, l'ensemble des signaux 21 ainsi enregistrés sont convertis, au cours d'une étape de normalisation, dans un format commun à l'aide des fonctions de transfert enregistrées dans la mémoire 15.

5 [0118] De plus, chaque signal 21 subit une étape de qualification au cours de laquelle il est vérifié que le signal 21 n'est pas corrompu et n'a pas été rendu inexploitable par un bruit parasite trop important tel le passage d'un véhicule par exemple. Les signaux 21 ainsi qualifiés subissent ensuite une étape de nettoyage au cours de laquelle ils sont filtrés afin de retirer la plupart des
10 parasites.

[0119] Dès lors, lorsqu'une nouvelle fuite 20 est présente dans le réseau 1, le module de caractérisation de fuite 10 détecte l'apparition d'un signal représentatif d'une fuite dans le signal vibro-acoustique 21 d'un ou plusieurs capteurs vibro-acoustiques 3. Le module de caractérisation 10 réalise alors la localisation de la
15 fuite 20 puis la reconstruction du signal vibro-acoustique à la fuite 22 comme cela a été décrit ci-avant.

[0120] Comme cela est représenté sur la figure 6, le signal vibro-acoustique à la fuite 22 est alors transmis en entrée du réseau de neurones 13 : grâce à son entraînement, le réseau de neurones 13 est alors capable de donner en sortie la
20 caractérisation de la fuite 20, c'est-à-dire son type T_f et/ou son débit Q_f .

[0121] Les données structurelles de la canalisation 2 portant la fuite 20, issues de la cartographie numérique 11, peuvent également être transmises en entrée du réseau de neurone 13 afin de faciliter la caractérisation et, le cas échéant, augmenter la précision de cette dernière. De plus, plus l'entraînement du réseau
25 de neurone 13 est important, plus la précision de la caractérisation est fine : en particulier, il est possible d'espérer une estimation du débit Q_f précise à 10% près ou à 5 m³/h près.

[0122] Afin d'augmenter encore plus la facilité et la précision de la caractérisation, il est également possible d'inclure dans l'entraînement, puis dans les données
30 d'entrée fournies au réseau de neurones 13, l'ensemble des signaux vibro-acoustiques 21 enregistrés par les capteurs vibro-acoustiques 3, en complément ou à la place du signal vibro-acoustique à la fuite 22.

[0123] Les figures 7 à 9 illustrent une autre méthode permettant d'augmenter toujours plus la facilité et la précision de la caractérisation. Dans cette variante, le réseau de fluide 101 comprend les mêmes capteurs vibro-acoustiques 103 que dans le premier exemple. Toutefois, en plus de ces capteurs réels 103, le réseau de fluide 101 comprend maintenant également des capteurs vibro-acoustiques virtuels 104.

[0124] Ces capteurs vibro-acoustiques virtuels 104 sont positionnés dans la cartographie numérique 11 de manière à réduire la distance séparant deux capteurs, réels ou virtuels. Par exemple, deux capteurs virtuels 104 peuvent être simulés entre deux capteurs réels 103 consécutifs.

[0125] L'unité de calcul 14 est alors capable, pour chaque capteur virtuel 104, de simuler le signal vibro-acoustique 123 qui serait effectivement enregistré si un capteur réel était prévu à cet emplacement. Cette simulation est possible à partir des signaux vibro-acoustiques 121 des capteurs réels 103 prévu à proximité du capteur virtuel 104 considéré, en résolvant la simulation numérique de propagation acoustique à l'aide des équations de propagation et des fonctions de transfert enregistrées dans la mémoire 15 du module de caractérisation 10.

[0126] L'ensemble des signaux vibro-acoustiques réels 121, reconstruit à la fuite 122 et simulés 123 d'une fuite donnée 120 peuvent alors être enregistrés dans la base de données 112, ce qui augmente la quantité de données sur lesquelles le réseau de neurones 113 peut réaliser son entraînement.

[0127] De plus, afin de renforcer la robustesse de l'entraînement, chaque signal 121, 122, 123 enregistré dans la base de donnée peut subir une étape de bruitage au cours de laquelle du bruit est ajouté au signal 121, 122, 123.

[0128] En conséquence, lors de l'apparition d'une nouvelle fuite 120, le réseau de neurones 113 est capable de caractériser plus facilement et avec plus de précision la nouvelle fuite 120, même en ne lui fournissant en entrée que les signaux vibro-acoustiques réels 121 par exemple. Naturellement, il est également possible de fournir au réseau de neurones 113, en complément ou à la place des signaux acoustiques réels 121, le signal reconstruit à la source 122 et/ou des signaux simulés 123.

[0129] Bien que la présente invention ait été décrite en se référant à des exemples de réalisation spécifiques, il est évident que des modifications et des changements peuvent être effectués sur ces exemples sans sortir de la portée générale de l'invention telle que définie par les revendications. En particulier, des caractéristiques individuelles des différents modes de réalisation illustrés/mentionnés peuvent être combinées dans des modes de réalisation additionnels. Par conséquent, la description et les dessins doivent être considérés dans un sens illustratif plutôt que restrictif.

[0130] Il est également évident que toutes les caractéristiques décrites en référence à un procédé sont transposables, seules ou en combinaison, à un dispositif, et inversement, toutes les caractéristiques décrites en référence à un dispositif sont transposables, seules ou en combinaison, à un procédé.

Revendications

[Revendication 1] Procédé d'entraînement d'un modèle d'apprentissage statistique (13) destiné à la caractérisation de fuite dans un réseau de fluide (1) comportant une pluralité de canalisations (2),
5 dans lequel le réseau de fluide (1) est équipé d'une pluralité de capteurs vibro-acoustiques (3) configurés pour fournir des signaux vibro-acoustiques (21),
comprenant la construction d'une base de données (12) associant, au moins
10 pour une pluralité de fuites documentées (20), au moins une donnée de caractérisation de la fuite (20) effectivement déterminée parmi le type de fuite (T_f) et le débit de fuite (Q_f) avec au moins un signal vibro-acoustique obtenu directement ou indirectement à partir d'au moins un capteur vibro-acoustique (3), et
15 comprenant l'entraînement du modèle d'apprentissage statistique (13) sur la base de données (12) ainsi construite.

[Revendication 2] Procédé d'entraînement selon la revendication 1, dans lequel le réseau de fluide est équipé d'au moins un capteur de débit fournissant des données de sectorisation, et
20 dans lequel le procédé d'entraînement comprend, pour au moins une fuite documentée, une étape de détermination du débit de fuite à l'aide des données de sectorisation.

[Revendication 3] Procédé d'entraînement selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le réseau de fluide (1) est doté d'une cartographie numérique (11) comprenant au moins la géométrie du réseau de fluide (1) et la localisation desdits capteurs vibro-acoustiques (3).
25

[Revendication 4] Procédé d'entraînement selon la revendication 3, comprenant, pour au moins une fuite documentée (120), une étape de simulation d'au moins un capteur vibro-acoustique virtuel (104) possédant
30 une localisation virtuelle enregistrée dans la cartographie numérique (11) du réseau de fluide (101) et un signal vibro-acoustique simulé (123) à partir des signaux vibro-acoustiques effectivement mesurés (121) des capteurs vibro-

acoustiques réels (103) et des données géométriques de la cartographie numérique (11) du réseau de fluide (101).

[Revendication 5] Procédé d'entraînement selon la revendication 3 ou 4, comprenant une étape de localisation de la fuite à partir des signaux vibro-acoustiques des capteurs vibro-acoustiques et des données géométriques de la cartographie numérique du réseau de fluide, et comprenant, pour au moins une fuite documentée, une étape de reconstruction du signal vibro-acoustique au niveau de la fuite à partir des signaux vibro-acoustiques des capteurs vibro-acoustiques et des données géométriques de la cartographie numérique du réseau de fluide.

[Revendication 6] Procédé d'entraînement selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la base de données (12) comprend, pour au moins une fuite documentée (20), des données structurelles de la canalisation (2) au niveau de la fuite (20).

[Revendication 7] Procédé d'entraînement selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant une étape de normalisation aboutissant à convertir le signal vibro-acoustique brut d'au moins un capteur vibro-acoustique (3) en un signal vibro-acoustique normalisé possédant un format prédéterminé.

[Revendication 8] Procédé d'entraînement selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 dans lequel le modèle d'apprentissage statistique est un réseau de neurones (13), de préférence contenant deux couches convolutives s'appliquant sur les signaux vibratoires.

[Revendication 9] Procédé de caractérisation de fuite dans un réseau de fluide comportant une pluralité de canalisations (2), dans lequel le réseau de fluide (1) est équipé d'une pluralité de capteurs vibro-acoustiques (3) configurés pour fournir des signaux vibro-acoustiques (21), dans lequel un modèle d'apprentissage statistique (13) reçoit en entrée au moins un signal vibro-acoustique (22) obtenu directement ou indirectement à partir d'au moins un capteur vibro-acoustique (3) et fournit en sortie au moins une donnée de caractérisation de la fuite parmi le type de fuite (Tf) et le débit

de fuite (Q_f), et
dans lequel le modèle d'apprentissage statistique (13) a été entraîné à l'aide
d'un procédé d'entraînement selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

[Revendication 10] Procédé de caractérisation de fuite selon la revendication
5 9, dans lequel le réseau de fluide (1) est doté d'une cartographie numérique
(11) comprenant au moins la géométrie du réseau de fluide (1) et la
localisation desdits capteurs vibro-acoustiques (3).

[Revendication 11] Procédé de caractérisation selon la revendication 10,
10 comprenant une étape de localisation de la fuite (20) à partir des signaux
vibro-acoustiques (21) des capteurs vibro-acoustiques (3) et des données
géométriques de la cartographie numérique (11) du réseau de fluide (1),
comprenant une étape de reconstruction du signal vibro-acoustique au niveau
de la fuite (22) à partir des signaux vibro-acoustiques (21) des capteurs vibro-
acoustiques (3) et des données géométriques de la cartographie numérique
15 (11) du réseau de fluide (1), et
dans lequel le modèle d'apprentissage statistique (13) reçoit en entrée au
moins le signal vibro-acoustique reconstruit au niveau de la fuite (22).

[Revendication 12] Procédé de caractérisation selon la revendication 10 ou
20 11, dans lequel la cartographie numérique (11) du réseau de fluide (1)
comprend des données structurelles du réseau de fluide (1).

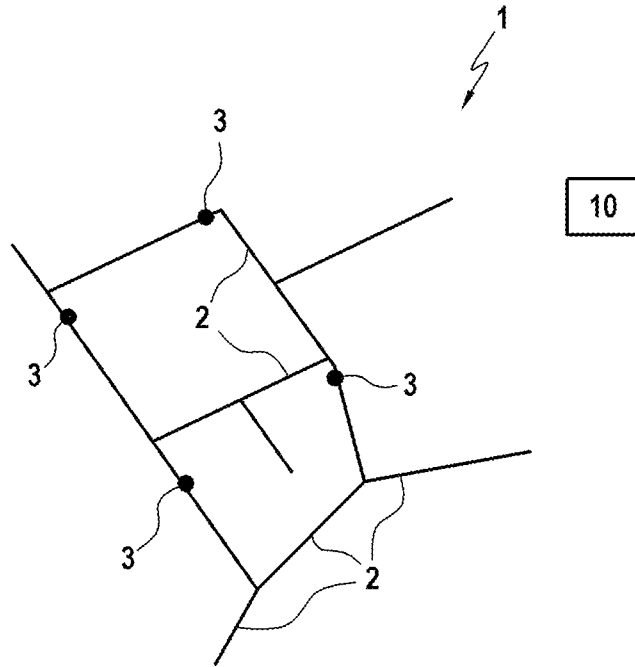
[Revendication 13] Module de caractérisation de fuite dans un réseau de
fluide,
le réseau de fluide (1) étant équipé d'une pluralité de capteurs vibro-
acoustiques (3) configurés pour fournir des signaux vibro-acoustiques (21), et
25 comprenant un modèle d'apprentissage statistique (13), configuré pour
recevoir en entrée au moins un signal vibro-acoustique (22) obtenu
directement ou indirectement à partir d'au moins un capteur vibro-acoustique
(3) et pour fournir en sortie au moins une donnée de caractérisation de la
fuite parmi le type de fuite (T_f) et le débit de fuite (Q_f),
30 dans lequel le modèle d'apprentissage statistique (13) a été entraîné à l'aide
d'un procédé d'entraînement selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

[Revendication 14] Réseau de fluide, comprenant
une pluralité de capteurs vibro-acoustiques (3) configurés pour fournir des
signaux vibro-acoustiques (21), et
un module de caractérisation (10) selon la revendication 13.

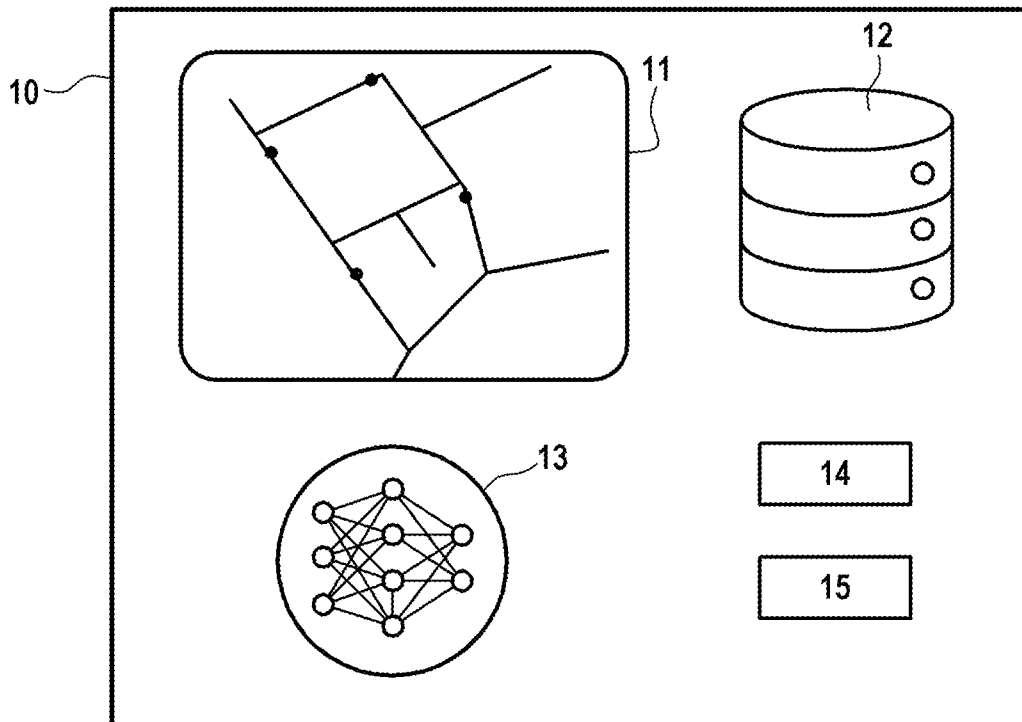
- 5 [Revendication 15] Programme d'ordinateur comprenant des instructions
pour exécuter les étapes du procédé d'entraînement de la revendication 1 ou
du procédé de caractérisation de la revendication 9 lorsque le programme est
exécuté par un ordinateur.

⋮

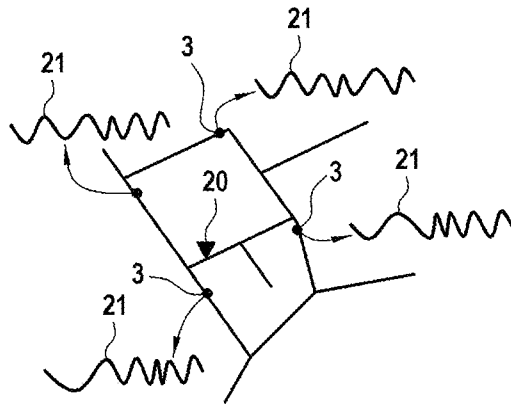
[Fig. 1]



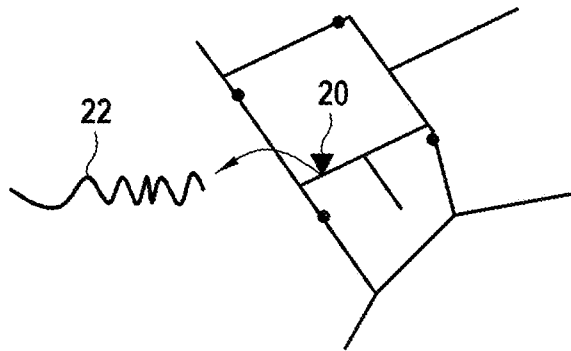
[Fig. 2]



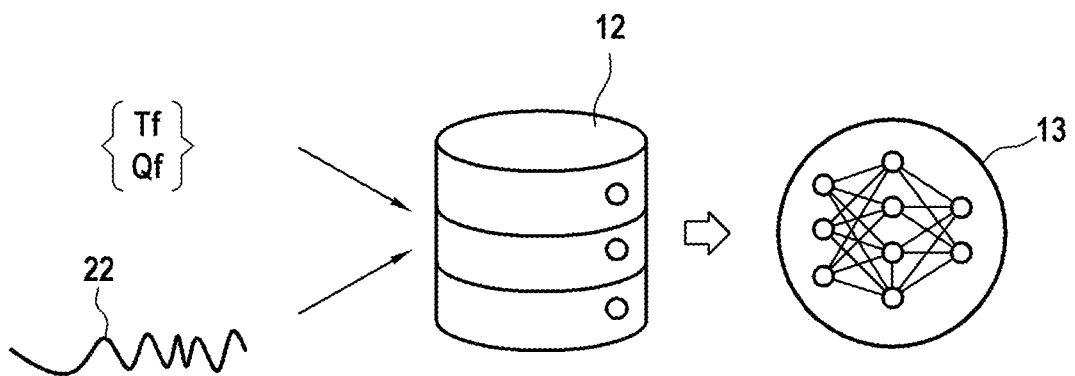
[Fig. 3]



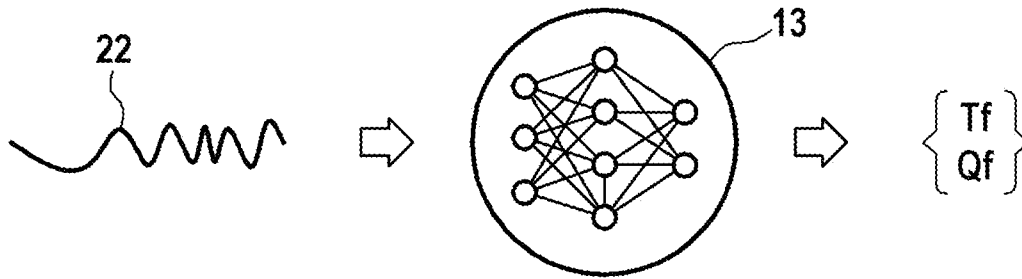
[Fig. 4]



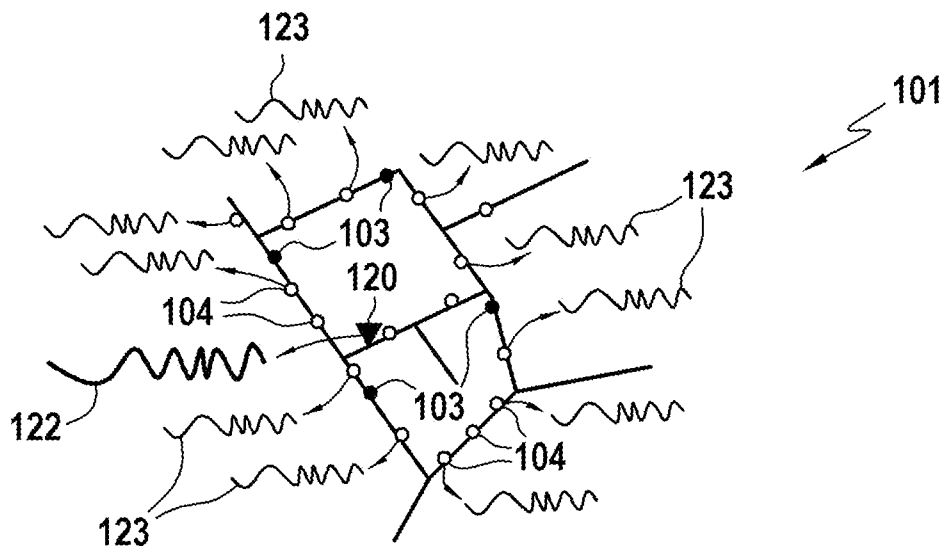
[Fig. 5]



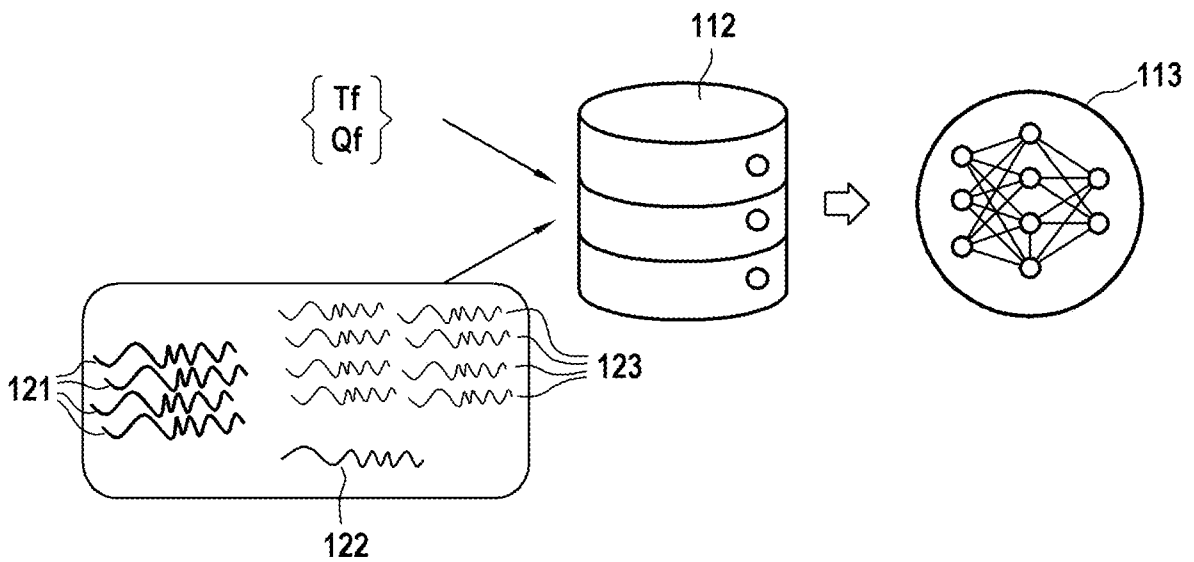
[Fig. 6]



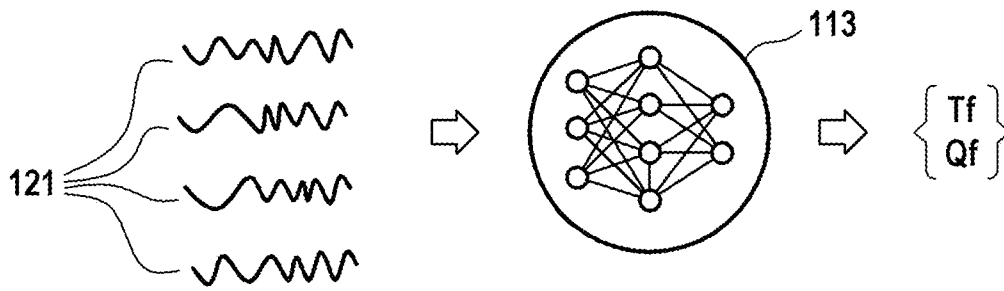
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2021/051318

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G01M 3/28</i> (2006.01)i; <i>G01M 3/24</i> (2006.01)j 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) G01M 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) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6389881 B1 (YANG BAO-WEN [US] ET AL) 21 May 2002 (2002-05-21) column 6, line 48 - column 8, line 65 figures 5,6	1-15
X	WO 2014170673 A1 (ACOUSTIC SENSING TECHNOLOGY UK LTD [GB]) 23 October 2014 (2014-10-23) page 4, line 13 - page 14, line 2 figure 2	1-15
X	KR 100420717 B1 (DONG MYEONG ENG CONSULTANTS & ARCHITECTURE CO LTD [KR] ET AL.) 02 March 2004 (2004-03-02) paragraph [0018] - paragraph [0055] figures 1-5	1-15
X	WO 2018049149 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 15 March 2018 (2018-03-15) paragraphs [0026], [0027], [0039] figures 1,2	13,14
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 22 October 2021		Date of mailing of the international search report 03 November 2021
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Reto, Davide Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/FR2021/051318

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	6389881	B1	21 May 2002	US	6389881	B1	21 May 2002
				US	2002124633	A1	12 September 2002
WO	2014170673	A1	23 October 2014	AU	2014255450	A1	03 December 2015
				EP	2986963	A1	24 February 2016
				WO	2014170673	A1	23 October 2014
KR	100420717	B1	02 March 2004	NONE			
WO	2018049149	A1	15 March 2018	NONE			

<p>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01M3/28 G01M3/24 ADD.</p>		
<p>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 PORTE</p>		
<p>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01M</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) EPO-Internal, WPI Data</p>		
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</p>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 6 389 881 B1 (YANG BAO-WEN [US] ET AL) 21 mai 2002 (2002-05-21) colonne 6, ligne 48 - colonne 8, ligne 65 figures 5,6 -----	1-15
X	WO 2014/170673 A1 (ACOUSTIC SENSING TECHNOLOGY UK LTD [GB]) 23 octobre 2014 (2014-10-23) page 4, ligne 13 - page 14, ligne 2 figure 2 -----	1-15
X	KR 100 420 717 B1 (DONG MYEONG ENG CONSULTANTS & ARCHITECTURE CO LTD [KR] ET AL.) 2 mars 2004 (2004-03-02) alinéa [0018] - alinéa [0055] figures 1-5 -----	1-15
	-/--	
<p><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</p>		
<p>* Catégories spéciales de documents cités:</p>		
<p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document 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 postérieurement à 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 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>"&" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>	
<p>Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée</p> <p style="text-align: center;">22 octobre 2021</p>		<p>Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale</p> <p style="text-align: center;">03/11/2021</p>
<p>Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale</p> <p style="text-align: center;">Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016</p>		<p>Fonctionnaire autorisé</p> <p style="text-align: center;">Reto, Davide</p>

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2018/049149 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 15 mars 2018 (2018-03-15) alinéas [0026], [0027], [0039] figures 1,2 -----	13,14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2021/051318

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6389881	B1	21-05-2002	US 6389881 B1	21-05-2002
			US 2002124633 A1	12-09-2002

WO 2014170673	A1	23-10-2014	AU 2014255450 A1	03-12-2015
			EP 2986963 A1	24-02-2016
			WO 2014170673 A1	23-10-2014

KR 100420717	B1	02-03-2004	AUCUN	

WO 2018049149	A1	15-03-2018	AUCUN	
