

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.06.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 27.12.24 Bulletin 24/52.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : UNIVERSITE DE TOULON Enseigne-
ment Supérieur — FR et Centre national de la
recherche scientifique Etablissement Public — FR.

72 Inventeur(s) : GIES Valentin, BARCHASZ Valentin et
MARZETTI Sebastian.

73 Titulaire(s) : UNIVERSITE DE TOULON Enseigne-
ment Supérieur, Centre national de la recherche scienti-
fique Etablissement Public.

74 Mandataire(s) : ATOUT PI LAPLACE.

54 Procédé, et système, de détection de phénomènes acoustiques.

57 L'invention concerne un système de détection (1)
comprenant N dispositifs de détection (10) répartis dans une
zone à surveiller (Z), comportant chacun un capteur acous-
tique et un bloc de traitement ;

- un deuxième mode de fonctionnement où des traite-
ments des sons capturés par le dispositif de détection sont
effectués, correspondant à un deuxième niveau de consom-
mation électrique plus élevé que le premier niveau ;

chaque dispositif de détection (10) opère par défaut
dans un premier mode correspondant à un premier niveau
de consommation électrique du dispositif, très basse
consommation, dans lequel le bloc de traitement effectue la
première analyse sur le signal électrique délivré par le cap-
teur acoustique, et dans lequel l'enregistrement dudit signal
électrique n'est pas autorisé ; et dès que ladite première
analyse détecte un phénomène acoustique prédéfini, ledit
dispositif de détection (10) alerte les N-1 autres dispositifs
de détection (10) du système ;

sur réception de l'alerte, chacun des N-1 autres disposi-
tifs de détection (10) bascule alors dans un deuxième mode,
dans lequel il est déclenché :

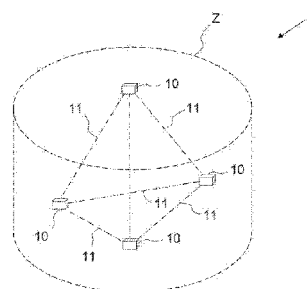
- la transmission, à un bloc d'enregistrement, du signal
électrique délivré par son capteur acoustique après récep-

tion de l'alerte ;

- l'enregistrement, par ledit bloc d'enregistrement, du si-
gnal électrique transmis ; et

- une deuxième analyse du signal électrique enregistré,
pour détecter des phénomènes acoustiques, mettant en
œuvre un traitement algorithmique correspondant à un deu-
xième niveau de consommation électrique plus élevé que le
premier niveau.

Figure pour l'abrégé : Fig. 1



Description

Titre de l'invention : Procédé, et système, de détection de phénomènes acoustiques

Domaine technique

[0001] L'invention se situe dans le domaine de la surveillance de phénomènes acoustiques.

Technique antérieure

[0002] L'invention concerne particulièrement la surveillance de phénomènes acoustiques utilisant un système de détection comprenant un réseau de capteurs acoustiques couplés chacun à un bloc de traitement, permettant de détecter en temps réel des signatures acoustiques.

[0003] La limitation de l'énergie électrique consommée par un tel système est une problématique importante, d'autant plus lorsque les capteurs sont embarqués.

[0004] Il est donc besoin d'une solution d'un tel système de détection permettant de détecter en permanence des signatures acoustiques, en temps réel, mais avec une consommation énergétique très réduite.

Résumé de l'invention

[0005] A cet effet, suivant un premier aspect, la présente invention décrit un procédé de détection de phénomènes acoustiques à l'aide d'un système de détection comprenant N dispositifs de détection répartis dans une zone à surveiller, $N \geq 2$ et connectés entre eux par des liaisons de télécommunication,

[0006] chaque dispositif de détection comportant un capteur acoustique capturant des sons et délivrant un signal électrique en fonction des sons capturés et un bloc de traitement du signal électrique,

[0007] chaque dispositif de détection est adapté pour opérer alternativement selon :

[0008] - un premier mode de fonctionnement au cours duquel le dispositif de détection effectue une première analyse pour détecter des phénomènes acoustiques, correspondant à un premier niveau de consommation électrique du dispositif, dit mode de détection très basse consommation ; et

[0009] - un deuxième mode de fonctionnement au cours duquel des traitements des sons capturés par le dispositif de détection sont effectués, correspondant à un deuxième niveau de consommation électrique plus élevé que le premier niveau ;

[0010] selon lequel :

[0011] chaque dispositif de détection opère par défaut dans le premier mode, dans lequel le bloc de traitement effectue la première analyse sur le signal électrique délivré par le capteur acoustique, et dans lequel l'enregistrement dudit signal électrique n'est pas autorisé ; et dès que ladite première analyse détecte un phénomène acoustique

prédéfini, ledit dispositif de détection alerte les N-1 autres dispositifs de détection du système via les liaisons de télécommunication ;

- [0012] sur réception de l'alerte, chacun des N-1 autres dispositifs de détection bascule alors dans le deuxième mode, dans lequel il est déclenché :
- [0013] - la transmission, à un bloc d'enregistrement, du signal électrique délivré par son capteur acoustique après réception de l'alerte,
- [0014] - l'enregistrement, par ledit bloc d'enregistrement, du signal électrique transmis et
- [0015] - une deuxième analyse du signal électrique enregistré, pour détecter des phénomènes acoustiques, mettant en œuvre un traitement algorithmique correspondant à un deuxième niveau de consommation électrique plus élevé que le premier niveau.
- [0016] L'invention exploite le couplage entre les capteurs et la propagation de l'onde d'un capteur à l'autre pour réaliser des analyses approfondies sur le signal avec une consommation énergétique extrêmement faible.
- [0017] Suite à l'alerte déclenchée par un des N dispositifs de détection, les N-1 autres dispositifs peuvent ainsi être basculés en un deuxième mode associé à la mise en œuvre par le système d'un traitement de détection approfondie, et ce avant même que le signal acoustique ayant déclenché l'alerte ne leur arrive, autorisant une capture complète du signal en question, alors que le dispositif de détection ayant détecté le premier le signal ne peut l'avoir enregistré (cela aurait nécessité que le signal soit perpétuellement en enregistrement, ce qui, dans la majeure partie des situations, n'est pas tenable au niveau énergétique et au niveau du stockage).
- [0018] Dans des modes de réalisation, un tel procédé comprendra en outre l'une au moins des caractéristiques suivantes :
- [0019] – le procédé comprend l'une des dispositions suivantes :
- [0020] quand le dispositif de détection est dans ledit deuxième mode : l'enregistrement est effectué par un bloc électronique d'enregistrement dudit dispositif de détection et./ou la deuxième analyse est effectuée par le bloc de traitement dudit dispositif de détection ;
- [0021] quand le dispositif de détection est dans ledit deuxième mode, il transmet le signal électrique à un dispositif d'analyse distant via une liaison de télétransmission et la deuxième analyse est effectuée par ledit dispositif d'analyse distant ;
- [0022] - dans le deuxième mode, les signaux électriques des N-1 dispositifs sont enregistrés de façon synchronisée, les dispositifs de détection ayant été préalablement synchronisés entre eux et/ou une synchronisation étant mise en œuvre par lesdits dispositifs de détection sur la base de l'alerte ou d'un autre signal ;
- [0023] - la direction d'arrivée d'un phénomène acoustique détecté par la deuxième analyse dans le deuxième mode est déterminée en fonction des enregistrements des signaux électriques délivrés par les capteurs de plusieurs des N-1 dispositifs de détection suite à

la réception de l'alerte ;

- [0024] - les positions relatives des capteurs entre eux est déterminée en fonction d'au moins d'une longueur temporelle de signatures acoustiques recherchées et du milieu dans lequel sont disposés les dispositifs de détection, dans lequel le son se propage ;
- [0025] - la distance inter capteur est choisie de manière à ce qu'un signal sonore puisse être détecté par un dispositif de détection en mode très basse consommation parmi les N dispositifs de détection avant que ledit signal sonore n'arrive à au moins le capteur d'un des N-1 autres dispositifs de détection.
- [0026] Suivant un autre aspect, l'invention décrit un système de détection de phénomènes acoustiques comprenant N dispositifs de détection adaptés pour être répartis dans une zone à surveiller, $N \geq 2$ et être connectés entre eux par des liaisons de télécommunication,
- [0027] chaque dispositif de détection comportant un capteur acoustique, adapté pour capturer des sons et délivrer un signal électrique en fonction des sons capturés, et un bloc de traitement du signal électrique,
- [0028] chaque dispositif de détection est adapté pour opérer alternativement selon :
- [0029] - un premier mode de fonctionnement au cours duquel le dispositif de détection effectue une première analyse pour détecter des phénomènes acoustiques, correspondant à un premier niveau de consommation électrique du dispositif, dit mode de détection très basse consommation ; et
- [0030] - un deuxième mode de fonctionnement au cours duquel des traitements des sons capturés par le dispositif de détection sont effectués, correspondant à un deuxième niveau de consommation électrique plus élevé que le premier niveau ;
- [0031] dans lequel :
- [0032] chaque dispositif de détection est adapté pour opérer par défaut dans le premier mode, dans lequel le bloc de traitement est adapté pour effectuer la première analyse sur le signal électrique délivré par le capteur acoustique, et dans lequel l'enregistrement dudit signal électrique n'est pas autorisé ; et dès que ladite première analyse détecte un phénomène acoustique prédéfini, ledit dispositif de détection est adapté pour alerter les N-1 autres dispositifs de détection du système via les liaisons de télécommunication ;
- [0033] sur réception de l'alerte, chacun des N-1 autres dispositifs de détection est adapté pour basculer alors dans le deuxième mode, dans lequel les opérations suivantes sont déclenchées :
- [0034] - la transmission, à un bloc d'enregistrement, du signal électrique délivré par son capteur acoustique après réception de l'alerte,
- [0035] - l'enregistrement, par ledit bloc d'enregistrement, du signal électrique transmis et
- [0036] - une deuxième analyse du signal électrique enregistré, pour détecter des phénomènes

acoustiques, mettant en œuvre un traitement algorithmique correspondant à un deuxième niveau de consommation électrique plus élevé que le premier niveau.

[0037] Dans des modes de réalisation, un tel système comprendra en outre l'une au moins des caractéristiques suivantes :

[0038] – le système de détection de phénomènes acoustiques comprend l'une des dispositions suivantes :

[0039] quand le dispositif de détection est dans ledit deuxième mode : l'enregistrement est effectué par un bloc électronique d'enregistrement dudit dispositif de détection et./ou la deuxième analyse est effectuée par le bloc de traitement dudit dispositif de détection ;

[0040] quand le dispositif de détection est dans ledit deuxième mode, il est adapté pour transmettre le signal électrique à un dispositif d'analyse distant via une liaison de télétransmission et la deuxième analyse est effectuée par ledit dispositif d'analyse distant ;

[0041] - dans le deuxième mode, les signaux électriques des N-1 dispositifs sont enregistrés de façon synchronisée, les dispositifs de détection ayant été préalablement synchronisés entre eux et/ou une synchronisation étant mise en œuvre par lesdits dispositifs de détection sur la base de l'alerte ou d'un autre signal ;

[0042] - le système est adapté pour déterminer la direction d'arrivée d'un phénomène acoustique détecté par la deuxième analyse dans le deuxième mode en fonction des enregistrements des signaux électriques délivrés par les capteurs de plusieurs des N-1 dispositifs de détection suite à la réception de l'alerte.

Brève description des dessins

[0043] L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit, donnée à titre non limitatif, et grâce aux figures annexées, données à titre d'exemple.

[0044] [Fig.1] La [Fig.1] est une illustration d'un système de surveillance de phénomènes acoustiques dans un mode de réalisation de l'invention ;

[0045] [Fig.2] la [Fig.2] est une représentation schématique d'un dispositif de détection dans un mode de réalisation de l'invention ;

[0046] [Fig.3] la [Fig.3] représente les étapes d'un procédé de surveillance de phénomènes acoustiques dans un mode de réalisation de l'invention.

[0047] Des références identiques peuvent être utilisées dans des figures différentes lorsqu'elles désignent des éléments identiques ou comparables.

Description des modes de réalisation

[0048] La [Fig.1] représente un système 1 de surveillance de phénomènes acoustiques au sein d'une zone d'intérêt à surveiller prédéfinie, nommée Z Le système 1 comporte un réseau comprenant N dispositifs de détection 10, N étant un nombre entier supérieur ou

égal à 2.

- [0049] . La zone Z est, suivant les cas, en une, deux ou trois dimensions et peut prendre diverses formes et tailles.
- [0050] Dans le cas présent, la zone sous surveillance Z est une zone sous-marine et les phénomènes acoustiques surveillés sont des phénomènes sous-marins. Les capteurs acoustiques 101 sont par exemple des hydrophones.
- [0051] Les dispositifs de détection 10 sont répartis dans la zone sous surveillance Z selon une configuration prédéfinie, dépendant des signaux à mesurer : dans l'exemple considéré, les dispositifs de détection sont au nombre de 4 et sont disposés les uns relativement aux autres de manière à se trouver chacun sur un sommet respectifs d'un même tétraèdre. Les capteurs sont à une distance connue les uns des autres et maintenus entre eux de manière rigide. L'orientation de l'ensemble est également connue, par exemple en utilisant une centrale inertielle ou tout autre système de positionnement.
- [0052] Chaque dispositif de détection 10 comporte dans le premier mode de réalisation considéré et comme représenté en [Fig.2], notamment un capteur acoustique 101, un bloc de traitement 102, un bloc de contrôle 104, une mémoire 105, un bloc d'alimentation 106 et un bloc de télécommunication 107 (le capteur 101 et le bloc de traitement 102 sont en général au même endroit, intégrés dans un même élément matériel) ; dans le premier mode de réalisation considéré et comme représenté en [Fig.2], il comporte en outre un bloc d'enregistrement 103.
- [0053] Le bloc d'alimentation 106, comportant par exemple des batteries ou des piles, est adapté pour fournir en énergie électrique le capteur acoustique 101, le bloc de traitement 102, le bloc d'enregistrement 103, le bloc de contrôle 104, la mémoire 105, le bloc d'alimentation 106 et le bloc de télécommunication 107.
- [0054] Le bloc de télécommunication 107 d'un dispositif de détection 10 comporte un émetteur et un récepteur de télécommunication et est adapté pour mettre en œuvre des liaisons de télécommunication notamment avec le bloc de télécommunication 107 de chaque autre dispositif de détection 10. Ces liaisons de télécommunication sont par exemple des liaisons sans fil (par exemple radio UHF) ou encore des liaisons filaires sur des supports filaires de télécommunication connectant les dispositifs 10. Dans un mode de réalisation, le bloc de télécommunication 107 de l'un au moins des dispositifs de détection 10 est en outre adapté pour communiquer avec un module électronique de supervision distant (non représenté), par exemple via liaison satellite ou autre.
- [0055] Chaque dispositif de détection 10 est adapté pour travailler alternativement selon un premier mode, correspondant à des traitements de détection nécessitant une très basse consommation, nommé mode de détection très basse consommation et un deuxième mode correspondant à la mise en œuvre, par le système 1, de traitement de détection

nécessitant une consommation d'énergie électrique plus importante que le mode de détection très basse consommation, nommé mode de détection approfondie et décrit ci-après.

- [0056] A titre d'illustration uniquement, la consommation du dispositif de détection 10 dans le mode de détection très basse consommation correspond à une consommation moyenne du dispositif inférieure à 100 μ W, et la consommation électrique pour le traitement de détection sur un signal obtenu par le dispositif dans le deuxième mode est comprise dans la plage 10mW à 1W. Ou encore, dans un autre exemple, la consommation moyenne pour un traitement de détection effectué sur un signal dans le deuxième mode est au-delà de 100 fois la consommation moyenne pour un traitement de détection effectué sur un signal dans le mode de détection très basse consommation.
- [0057] Le bloc d'enregistrement 103 est adapté pour enregistrer – uniquement dans le deuxième mode (mode de détection approfondie) et pas en mode de détection très basse consommation- les signaux électriques en sortie du capteur 101 dans la mémoire 105. Dans un mode de réalisation, il est adapté pour également enregistrer – uniquement en mode de détection approfondie- certains au moins des résultats du bloc de traitement 102 dans la mémoire 105.
- [0058] Les dispositifs de détection 10 sont adaptés pour mettre en œuvre les étapes, qui leur incombent respectivement, du procédé 200 décrit maintenant en référence à la [Fig.3].
- [0059] Dans une étape 201, chaque dispositif de détection 10 analyse par défaut, en continu ou périodiquement avec une période T inférieure à la durée des phénomènes à détecter, son environnement acoustique dans le mode de détection très basse consommation, et ce tant qu'il ne détecte pas un événement acoustique significatif ou qu'il ne reçoit pas d'alerte en provenance des N-1 autres dispositifs de détection 10. Ainsi :
- le capteur 101 capture les signaux acoustiques ambiants et délivre, au bloc de traitement 102, un signal électrique fonction de ces signaux acoustiques ;
 - le bloc de traitement 102 effectue un traitement du signal électrique permettant de détecter si un (ou plusieurs) phénomène(s) acoustique(s) d'intérêt est présent dans les signaux acoustiques capturés.
- [0060] Les phénomènes acoustiques d'intérêt sont prédéfinis et dépendent de l'application. Ainsi les phénomènes acoustiques d'intérêt dans le cas d'une surveillance relative au monde animal sous-marins seront les sons caractéristiques des animaux surveillés (baleines, dauphins, ...). Dans le cas d'une surveillance de bâtiments marins, il s'agira des signatures sonores des différents types de navires et dispositifs sous-marins, etc. Les données de définition de ces phénomènes acoustiques d'intérêt de référence ont été préalablement stockées dans la mémoire 105 et sont utilisés dans l'étape 101 par le bloc de traitement 102.
- [0061] Quand un dispositif de détection 10 est dans ce mode de détection très basse

consommation, il est impossible d'enregistrer des signaux issus du capteur acoustique 101 (par exemple, le bloc de contrôle 104 interdit l'utilisation du bloc d'enregistrement 103 du dispositif 10).

[0062] Dans un mode de réalisation, le traitement du signal effectué par le bloc de traitement 102 dans ce mode de détection très basse consommation est par exemple un traitement de détection à faible complexité, consommant de ce fait peu d'énergie électrique. Par exemple, il s'agit d'un traitement de type banque de filtrage analogique couplé à des règles expertes ou un réseau de neurones simple.

[0063] Dès que le bloc de traitement 102 d'un dispositif de détection 10 (nommé dispositif 10_{alerte}) détecte un phénomène acoustique d'intérêt au cours de ce traitement, il le notifie au bloc de contrôle 104 qui déclenche alors l'envoi, via le bloc de télécommunication 107, d'un message d'alerte aux autres dispositifs de détection 10 (nommés 10_{autre}).

[0064] Dans une étape 202, dès qu'un dispositif de détection 10 reçoit, via son bloc de communication 107, un message d'alerte envoyé par un des (N-1) autres dispositifs de détection 10 du système 1, ce dispositif de détection 10 bascule du mode de détection très basse consommation au deuxième mode (mode de détection approfondie). Le basculement est par exemple déclenché par son bloc de contrôle 104. Le traitement de détection correspondant au premier mode est stoppé.

[0065] Dans ce mode de détection approfondie, au sein du dispositif de détection 10 ayant reçu l'alerte, le bloc d'enregistrement 103 enregistre alors le signal électrique provenant du capteur et le bloc de traitement 102 effectue au moins un traitement sur tout ou partie du signal électrique enregistré : ce traitement comporte cette fois une analyse du signal enregistré (analyse a posteriori) utilisant un ou des algorithmes complexes de recherche et d'identification de phénomènes acoustiques consommant davantage d'énergie électrique que le traitement effectué dans le mode de détection très basse consommation : par exemple des algorithmes de type analyse de pattern sur FFT, qui sont implantés à base de réseaux de neurones convolutionnels ou autres (réseaux classiques, Long Short Term Memories, règles expertes...), et ayant un coût énergétique trop important pour fonctionner en permanence lorsqu'ils sont 'embarqués'.

[0066] Dans un mode de réalisation, dès qu'un dispositif de détection 10_{alerte} a détecté un phénomène, en plus d'envoyer un message d'alerte, il passe lui aussi dans le deuxième mode, ici le mode de détection approfondie, en plus des autres dispositifs de détection.

[0067] A l'issue de l'étape 202, le bloc de traitement 104 d'un ou plusieurs des N-1 autres dispositifs identifie à leur tour le phénomène acoustique déjà détecté par le dispositif ayant déclenché l'alerte, et le confirme comme phénomène significatif ou au contraire conclut qu'il n'est pas significatif et, s'il est confirmé, le caractérise de façon plus fine

que ne l'avait fait ce dernier via son analyse en mode très basse consommation. Lors de ce traitement, des données de définition des phénomènes sonores significatifs de référence (pour l'application de détection utilisée) préalablement stockées dans la mémoire 105, sont par exemple utilisées lors de comparaison avec des données extraites du signal enregistré.

- [0068] Puis, s'il est confirmé la détection d'un phénomène acoustique significatif, par exemple :
- [0069] - la signature déterminée par l'analyse en mode de détection approfondie est stockée en mémoire 105 ; et/ou
- [0070] - une transmission, au module de supervision, de l'alerte accompagnée de certains au moins des résultats de la détection approfondie est effectuée.
- [0071] Dans un mode de réalisation de l'enregistrement du signal électrique, les données définissant ce signal électrique sont enregistrées de façon synchronisée entre les N-1 dispositifs de détection : elles sont horodatées (l'heure de référence étant la même pour les dispositifs de détection) et mémorisées avec leur horodatage. Pour ce faire, les N dispositifs de détection ont été synchronisés dans une étape préalable, ou encore l'alerte émise à l'étape 201 (ou tout autre signal convenu transmis entre eux) vaut top de synchronisation. Une calibration de la synchronisation peut avoir eu lieu au préalable dans le cas d'alertes radio par exemple.
- [0072] A l'issue de la caractérisation, par chaque dispositif de détection 10, du phénomène détecté (ou quand plus aucun phénomène acoustique n'est détecté par ce dispositif de détection), le basculement du mode de détection approfondie au mode de détection très basse consommation est déclenché par le bloc de contrôle 104 de ce dispositif de détection. Les N dispositifs de détection réitèrent alors chacun l'étape 201.
- [0073] Dans une étape 203 (optionnelle), l'exploitation du signal enregistré par un ou plusieurs (par exemple au moins trois) des dispositifs de détection et relatif à un même phénomène acoustique détecté permet, après synchronisation, de mesurer les délais entre les temps d'arrivée des signaux à chacun de ces dispositifs, et d'en déduire la direction d'arrivée du signal (les positions relatives des dispositifs entre eux étant connues). Ces calculs sont effectués par exemple par le bloc de contrôle 104 de l'un des dispositifs de détection ou encore par un processeur du module de supervision, après collecte des signaux électriques relatifs au phénomène acoustique.
- [0074] Dans un deuxième mode de réalisation, le deuxième mode comprend un mode d'enregistrement seul, dans lequel le bloc d'enregistrement 103 du dispositif de détection 10 enregistre des signaux issus du capteur acoustique 101 du dispositif. Dans l'étape 202, c'est dans ce mode d'enregistrement que bascule le dispositif de détection 10 suite à la réception du message d'alerte, les traitements de signal de détection approfondie étant réalisés ultérieurement, en temps différé, sur les signaux enregistrés

(par le bloc de traitement 102 du dispositif de détection ou autrement comme décrit plus bas), par exemple après récupération des dispositifs de détection.

[0075] Dans un troisième mode de réalisation, les dispositifs de détection du système de surveillance 1 (ou au moins certains d'entre eux) sont, par rapport à leur structure représentée en [Fig.2], seulement dotés de capacités de détection très basse consommation et d'alerte leur permettant de mettre en œuvre l'étape 201, mais ne disposent pas de bloc d'enregistrement 103, ni de capacités de détection approfondie. A la place, un dispositif d'enregistrement et de détection approfondie du système de surveillance 1 et doté d'une mémoire et d'un processeur, est utilisé, qui réalise les tâches d'enregistrement et de détection approfondie décrites, dans le premier mode de réalisation, comme réalisées à l'étape 202 par le bloc d'enregistrement 103 et le bloc de traitement 102. Le dispositif d'enregistrement et de détection approfondie est relié à chacun de ces dispositifs de détection (via son bloc de communication 107) par une liaison de télécommunication, sans fil ou filaire. Il est par exemple situé au centre du tétraèdre dont les coins correspondent aux localisations des dispositifs, ou encore il est intégré à un des dispositifs de détection 10.

[0076] Dans ce troisième mode de réalisation, après l'étape 201, dans une étape 202_bis (remplaçant l'étape 202 décrite plus haut), dès qu'un dispositif de détection (sans bloc d'enregistrement 103, ni capacités de détection approfondie), nommé 10_bis, reçoit, via son bloc de communication 107, un message d'alerte envoyé par un des (N-1) autres dispositifs de détection du système 1, ce dispositif de détection 10_bis bascule du mode de détection très basse consommation au deuxième mode : dans ce deuxième mode, il transmet alors le signal électrique provenant de son capteur au dispositif d'enregistrement et de détection approfondie ; ce dernier enregistre alors le signal reçu et il effectuera au moins un traitement du signal décrit plus haut comme réalisé pour une détection approfondie (dans une variante, ce dispositif enregistre dans sa mémoire les signaux qui lui sont transmis, les traitements de détection approfondie étant eux réalisés ultérieurement, après récupération de la mémoire).

[0077] Dans une variante, le bloc d'enregistrement est conservé dans tous les dispositifs de détection et seule la partie « détection approfondie » est centralisée.

[0078] Les passages entre les premier et deuxième modes correspondent, quel que soit les modes de réalisation, à un basculement de la structure de détection, les dispositifs de détection périphériques peuvent être ou pas dotés de capacités d'enregistrement et/ou d'analyse avancée.

[0079] Dans un mode de réalisation, la forme du réseau est déterminée en fonction de l'application visée.

[0080] Par exemple, s'il s'agit de détecter une source de phénomène acoustique pouvant être placée n'importe où dans la zone Z surveillée, un réseau de quatre dispositifs de

détection 10 sera utilisé, les quatre capteurs correspondants se trouvant par exemple disposés selon une structure tétraédrique (pas forcément régulière, cf. instrumentation de sous-marins par exemple).

- [0081] La structure peut être tout autre que tétraédrique, par exemple planaire pour faire de l'analyse de sources pouvant venir d'une surface 2D.
- [0082] Dans le cas où la détection se fait dans un guide d'onde linéaire (pipeline par exemple), seuls deux capteurs, chacun dans un dispositif de détection 10 respectif, sont nécessaires. La distance entre les capteurs dépend du temps caractéristique de la signature (ou des signatures) d'intérêt recherchée et du milieu dans lequel le son se propage.
- [0083] Quelle que soit la forme du réseau, il est judicieux de choisir la distance entre les capteurs de manière à ce que le signal puisse être détecté par un dispositif de détection en mode très basse consommation avant qu'il n'arrive à au moins un des autres dispositifs, ce qui permettra de disposer de la signature acoustique enregistrée dans son intégralité pour effectuer des analyses avancées ultérieurement sur les signaux enregistrés suite au passage dans le deuxième mode.
- [0084] L'invention décrit donc une solution de détection de phénomènes acoustiques permettant de limiter la consommation d'énergie électrique, sur la base d'un basculement, , d'un premier mode de fonctionnement correspondant à une détection très basse consommation) à un deuxième mode de fonctionnement associé au moins au déclenchement de l'enregistrement en vue d'une détection approfondie, nécessitant beaucoup plus d'énergie, et inversement d'un basculement, associé à une interdiction d'enregistrement, du deuxième mode au mode de détection très basse consommation.
- [0085] Chacun des dispositifs de détection analyse en permanence les signaux acoustiques reçus en mode de détection très basse consommation de manière à pouvoir réveiller l'ensemble du réseau si un événement anormal survient. Le « réveil » s'effectuant de manière quasi instantanée via les liaisons de télécommunication, sans fil ou filaires, les N-1 autres dispositifs de détection peuvent ainsi être basculés en mode de détection approfondie mise en œuvre par le système 1 avant même que le signal acoustique ne leur arrive, autorisant une capture complète du signal en question, alors que le dispositif de détection ayant détecté le premier le signal ne peut l'avoir enregistré (cela aurait nécessité qu'il soit perpétuellement en enregistrement, ce qui n'est pas tenable au niveau énergétique et stockage). Les captures sont ensuite analysées a posteriori par le système embarqué en utilisant des algorithmes avancés (par exemple CNN) ayant un coût énergétique trop important pour tourner en permanence, pour confirmer l'alerte. Ainsi, l'invention permet en se basant sur le couplage entre les capteurs et la propagation de l'onde d'un capteur à l'autre, de faire des analyses approfondies sur le signal avec une consommation énergétique ultra-faible.

- [0086] Il a été décrit ci-dessus un mode de réalisation de surveillance sous-marine, mais l'invention peut être mise en œuvre dans la surveillance de phénomènes acoustiques dans d'autres milieux que l'eau : dans l'air, le vide, un gaz, un milieu guide d'onde en général. Cela peut être par exemple du métal, pour les pipelines et dans ce cas de phénomènes à une dimension, deux capteurs suffisent : le premier déclenche le réveil du second qui peut capturer le signal de choc ou fuite dès son apparition et en intégralité, ce qui facilite et améliore la classification. Par exemple, l'invention est mise en œuvre pour surveiller des usines dans lesquelles des défauts sur machines peuvent se produire ; dans ce cas, la détection se fait en 3D.
- [0087] Certaines au moins des étapes (par exemple celles réalisées par le bloc de traitement et/ou le bloc de contrôle et/ou le bloc d'enregistrement) peuvent être mises en œuvre par l'exécution d'instructions logicielles sur un processeur dans le dispositif de détection 10 (ou dans le dispositif d'enregistrement et de détection approfondie), les instructions logicielles étant stockées dans une mémoire du dispositif. Alternativement, elles peuvent être mis en œuvre par un hardware dédié, typiquement un circuit intégré numérique, soit spécifique (ASIC) ou basé sur une logique programmable (par exemple FPGA/Field Programmable Gate Array).

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de détection de phénomènes acoustiques à l'aide d'un système de détection (1) comprenant N dispositifs de détection (10) répartis dans une zone à surveiller (Z), $N \geq 2$ et connectés entre eux par des liaisons de télécommunication (11),

chaque dispositif de détection (10) comportant un capteur acoustique (101) capturant des sons et délivrant un signal électrique en fonction des sons capturés et un bloc de traitement du signal électrique (102),

chaque dispositif de détection (10) est adapté pour opérer alternativement selon :

- un premier mode de fonctionnement au cours duquel le dispositif de détection (10) effectue une première analyse pour détecter des phénomènes acoustiques, correspondant à un premier niveau de consommation électrique du dispositif, dit mode de détection très basse consommation ; et

- un deuxième mode de fonctionnement au cours duquel des traitements des sons capturés par le dispositif de détection sont effectués, correspondant à un deuxième niveau de consommation électrique plus élevé que le premier niveau ;

selon lequel :

chaque dispositif de détection (10) opère par défaut dans le premier mode, dans lequel le bloc de traitement (102) effectue la première analyse sur le signal électrique délivré par le capteur acoustique, et dans lequel l'enregistrement dudit signal électrique n'est pas autorisé ; et dès que ladite première analyse détecte un phénomène acoustique prédéfini, ledit dispositif de détection (10) alerte les N-1 autres dispositifs de détection (10) du système via les liaisons de télécommunication (11) ;

sur réception de l'alerte, chacun des N-1 autres dispositifs de détection (10) bascule alors dans le deuxième mode, dans lequel il est déclenché :

- la transmission, à un bloc d'enregistrement, du signal électrique délivré par son capteur acoustique après réception de l'alerte,

- l'enregistrement, par ledit bloc d'enregistrement, du signal électrique transmis et

- une deuxième analyse du signal électrique enregistré, pour détecter des phénomènes acoustiques, mettant en œuvre un traitement algorithmique correspondant à un deuxième niveau de consommation électrique plus élevé que le premier niveau.

- [Revendication 2] Procédé de détection de phénomènes acoustiques selon la revendication 1, comprenant l'une des dispositions suivantes :
- quand le dispositif de détection est dans ledit deuxième mode : l'enregistrement est effectué par un bloc électronique d'enregistrement dudit dispositif de détection et./ou la deuxième analyse est effectuée par le bloc de traitement dudit dispositif de détection ;
 - quand le dispositif de détection est dans ledit deuxième mode, il transmet le signal électrique à un dispositif d'analyse distant via une liaison de télétransmission et la deuxième analyse est effectuée par ledit dispositif d'analyse distant.
- [Revendication 3] Procédé de détection de phénomènes acoustiques selon la revendication 1 ou 2, selon lequel, dans le deuxième mode, les signaux électriques des N-1 dispositifs sont enregistrés de façon synchronisée, les dispositifs de détection ayant été préalablement synchronisés entre eux et/ou une synchronisation étant mise en œuvre par lesdits dispositifs de détection sur la base de l'alerte ou d'un autre signal.
- [Revendication 4] Procédé de détection de phénomènes acoustiques selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel la direction d'arrivée d'un phénomène acoustique détecté par la deuxième analyse dans le deuxième mode est déterminée en fonction des enregistrements des signaux électriques délivrés par les capteurs de plusieurs des N-1 dispositifs de détection suite à la réception de l'alerte.
- [Revendication 5] Procédé de détection de phénomènes acoustiques selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel les positions relatives des capteurs entre eux est déterminée en fonction d'au moins d'une longueur temporelle de signatures acoustiques recherchées et du milieu dans lequel sont disposés les dispositifs de détection, dans lequel le son se propage.
- [Revendication 6] Procédé de détection de phénomènes acoustiques selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel la distance inter capteur est choisie de manière à ce qu'un signal sonore puisse être détecté par un dispositif de détection en mode très basse consommation parmi les N dispositifs de détection avant que ledit signal sonore n'arrive à au moins le capteur d'un des N-1 autres dispositifs de détection.

[Revendication 7]

Système de détection de phénomènes acoustiques (1) comprenant N dispositifs de détection (10) adaptés pour être répartis dans une zone à surveiller (Z), $N \geq 2$ et être connectés entre eux par des liaisons de télécommunication (11),

chaque dispositif de détection (10) comportant un capteur acoustique (101), adapté pour capturer des sons et délivrer un signal électrique en fonction des sons capturés, et un bloc de traitement du signal électrique (102),

chaque dispositif de détection (10) est adapté pour opérer alternativement selon :

- un premier mode de fonctionnement au cours duquel le dispositif de détection (10) effectue une première analyse pour détecter des phénomènes acoustiques, correspondant à un premier niveau de consommation électrique du dispositif, dit mode de détection très basse consommation ; et

- un deuxième mode de fonctionnement au cours duquel des traitements des sons capturés par le dispositif de détection sont effectués, correspondant à un deuxième niveau de consommation électrique plus élevé que le premier niveau ;

dans lequel :

chaque dispositif de détection (10) est adapté pour opérer par défaut dans le premier mode, dans lequel le bloc de traitement (102) est adapté pour effectuer la première analyse sur le signal électrique délivré par le capteur acoustique, et dans lequel l'enregistrement dudit signal électrique n'est pas autorisé ; et dès que ladite première analyse détecte un phénomène acoustique prédéfini, ledit dispositif de détection (10) est adapté pour alerter les N-1 autres dispositifs de détection (10) du système via les liaisons de télécommunication (11) ;

sur réception de l'alerte, chacun des N-1 autres dispositifs de détection (10) est adapté pour basculer alors dans le deuxième mode, dans lequel les opérations suivantes sont déclenchées :

- la transmission, à un bloc d'enregistrement, du signal électrique délivré par son capteur acoustique après réception de l'alerte,

- l'enregistrement, par ledit bloc d'enregistrement, du signal électrique transmis et

- une deuxième analyse du signal électrique enregistré, pour détecter des phénomènes acoustiques, mettant en œuvre un traitement algorithmique correspondant à un deuxième niveau de consommation électrique plus

élevé que le premier niveau.

[Revendication 8]

Système de détection de phénomènes acoustiques (1) selon la revendication 7, comprenant l'une des dispositions suivantes :

quand le dispositif de détection est dans ledit deuxième mode :

l'enregistrement est effectué par un bloc électronique d'enregistrement dudit dispositif de détection et./ou la deuxième analyse est effectuée par le bloc de traitement dudit dispositif de détection ;

quand le dispositif de détection est dans ledit deuxième mode, il est adapté pour transmettre le signal électrique à un dispositif d'analyse distant via une liaison de télétransmission et la deuxième analyse est effectuée par ledit dispositif d'analyse distant.

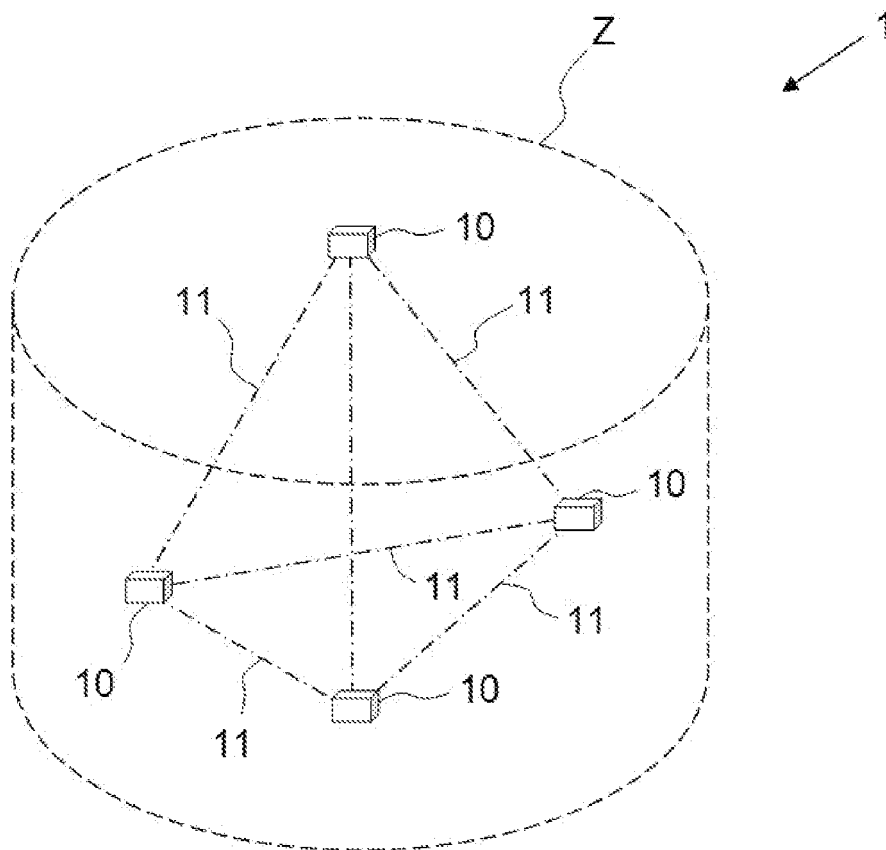
[Revendication 9]

Système de détection de phénomènes acoustiques (1) selon la revendication 7 ou 8, dans lequel, dans le deuxième mode, les signaux électriques des N-1 dispositifs sont enregistrés de façon synchronisée, les dispositifs de détection ayant été préalablement synchronisés entre eux et/ou une synchronisation étant mise en œuvre par lesdits dispositifs de détection sur la base de l'alerte ou d'un autre signal.

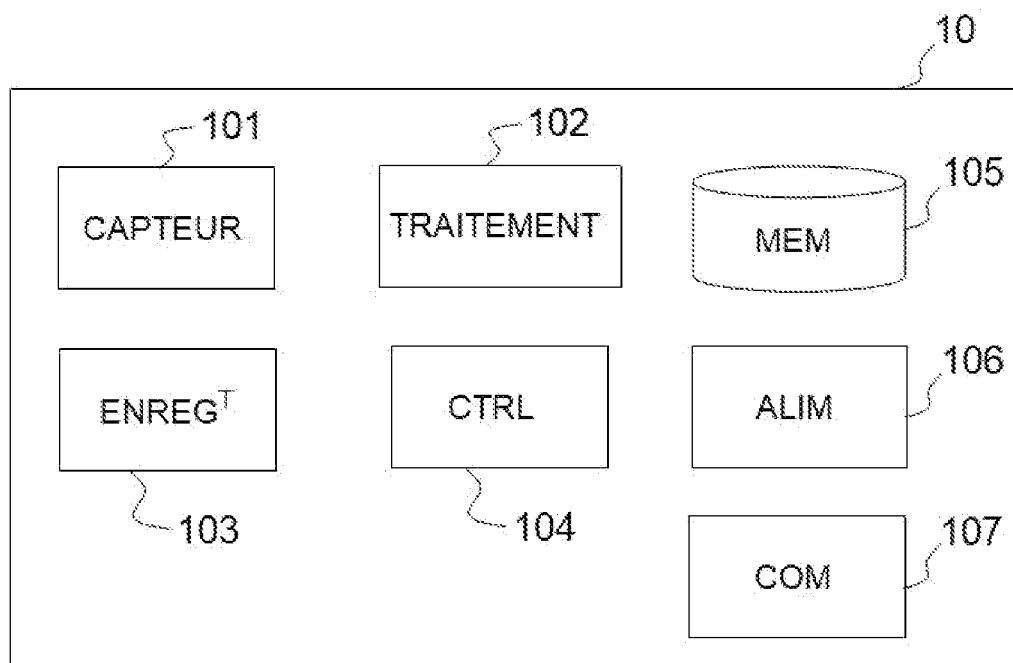
[Revendication 10]

Système de détection de phénomènes acoustiques (1) selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, adapté pour déterminer la direction d'arrivée d'un phénomène acoustique détecté par la deuxième analyse dans le deuxième mode en fonction des enregistrements des signaux électriques délivrés par les capteurs de plusieurs des N-1 dispositifs de détection suite à la réception de l'alerte.

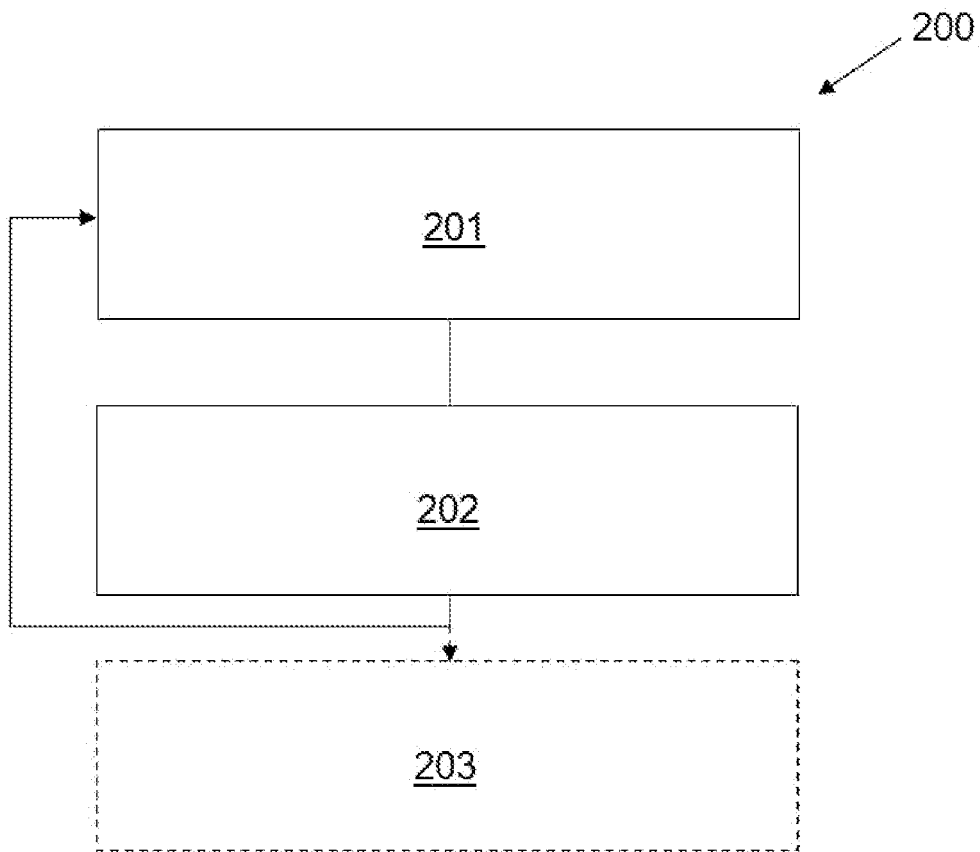
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 920688
FR 2306515

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	CN 116 095 124 A (BOSCH GMBH ROBERT) 9 mai 2023 (2023-05-09) * alinéas [0019], [0028], [0029]; figure 1 * -----	1-10	G01H 17/00 G01H 5/00
X	US 11 417 183 B1 (ONOFRIO RICHARD THOMAS [US] ET AL) 16 août 2022 (2022-08-16) * colonne 6, lignes 18-38 * * colonne 8, lignes 11-31 * * colonne 14, lignes 25-54 * * figure 1 * -----	1-10	
X	US 2021/183370 A1 (SAADOUN FABRICE [IL] ET AL) 17 juin 2021 (2021-06-17) * alinéa [0009] - alinéa [0024]; figures 1-2 * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01V G08B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 décembre 2023		Naujoks, Marco	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2306515 FA 920688**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-12-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 116095124 A	09-05-2023	CN 116095124 A	09-05-2023
		DE 102022211389 A1	11-05-2023

US 11417183 B1	16-08-2022	AUCUN	

US 2021183370 A1	17-06-2021	US 2021183370 A1	17-06-2021
		WO 2021126475 A1	24-06-2021
