

DESCRIPTION

TITRE : PROCÉDÉ DE CONTRÔLE DE L'ÉVOLUTION TEMPORELLE D'UN DÉFAUT DANS UNE STRUCTURE

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

- 5 [0001] Le domaine technique de l'invention est celui du contrôle non-destructif ultrasonore et en particulier le contrôle de l'intégrité structurelle d'une structure telle qu'un équipement sous pression.

ARRIÈRE-PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

- 10 [0002] Afin de garantir la sécurité d'une structure en condition opérationnelle, comme par exemple un conteneur sous pression, un contrôle de l'intégrité structurelle est réalisé régulièrement au cours du temps. Ces contrôles visent à déterminer l'apparition d'un défaut ou à en suivre l'évolution. Les défauts recherchés sont par exemple des fissures créées par des conditions de chargement, une zone poreuse ou une zone de corrosion de la structure en contact avec des produits actifs ou encore la
- 15 délamination entre les couches d'un matériau composite. Afin de ne pas perturber l'utilisation de la structure en condition opérationnelle, les moyens de contrôle mis en œuvre sont de type non-destructif, comme par exemple la cartographie ultrasonore.

- [0003] Il est connu de l'art antérieur un procédé de cartographie mettant en œuvre un dispositif portable de contrôle non-destructif ultrasonore, comprenant un capteur
- 20 ultrasonore multiéléments, permettant de réaliser, sur site, les mesures et l'analyse des données de mesure. Ce type de dispositif comporte généralement une interface utilisateur, comme un écran, permettant d'afficher en temps réel les données de mesure ou des indicateurs issus de l'analyse de données de mesure.

- [0004] Toutefois ce type de dispositif portable nécessite l'intervention d'un opérateur
- 25 sur site, à proximité d'une structure comportant un défaut, pour réaliser les mesures et le traitement des données de mesure. L'importance du défaut présent dans la structure peut être telle que la sécurité de l'opérateur est compromise et cette compromission ne sera révélée que lorsque l'opérateur aura cartographié la portion comprenant le défaut et analysé les données de mesure.

RÉSUMÉ DE L'INVENTION

[0005] L'invention offre une solution aux problèmes évoqués précédemment, en permettant de réaliser, en temps réel, de façon plus efficace et plus sûre, une cartographie d'une structure en condition opérationnelle afin d'assurer le suivi de l'évolution d'un défaut.

[0006] Un premier aspect de l'invention concerne un procédé de contrôle d'une portion d'une structure mettant en œuvre un poste de pilotage configuré pour commander au moins un dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore à travers un réseau distant, chaque dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore comprenant un capteur ultrasonore multiéléments disposé sur une surface de la portion de la structure, le procédé comprenant, pour chaque dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore, les étapes suivantes :

- A) envoi, par le poste de pilotage, d'une première requête de mesure au dispositif de contrôle non-destructif ;
- 15 - B) réception, par le poste de pilotage, d'une première pluralité de données de mesure du dispositif de contrôle non-destructif, la première pluralité de données de mesure étant mesurées par le capteur ultrasonore multiéléments du dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore ;
- C) construction, par le poste de pilotage, d'une première cartographie de la portion de la structure à partir de la première pluralité de données de mesure ;
- 20 - D) subséquemment à l'envoi de la première requête de mesure, envoi, par le poste de pilotage, d'une deuxième requête de mesure au dispositif de contrôle non-destructif ;
- 25 - E) réception, par le poste de pilotage, d'une deuxième pluralité de données de mesure du dispositif de contrôle non-destructif, la deuxième pluralité de données de mesure étant mesurées par le capteur ultrasonore multiéléments du dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore ;
- F) construction, par le poste de pilotage, d'une deuxième cartographie de la portion de la structure, à partir de la deuxième pluralité de données de mesure ; et
- 30

- G) comparaison, par le poste de pilotage, entre la première cartographie et la deuxième cartographie.

[0007] Le déclenchement de l'envoi de la première requête de mesure peut être réalisé à la demande, par un opérateur. De plus, l'étape A ne comporte pas de
5 préparation de mesure ou de calculs préliminaires qui pourraient différer l'envoi de la première requête de mesure à un des dispositifs de contrôle non-destructif ultrasonore. Ainsi, l'opérateur obtient au moins une première cartographie, issue de l'étape C, sans temps d'attente autre que le temps propre à la réalisation des mesures par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore.

10 [0008] Le délai entre l'obtention des première et deuxième cartographies permet d'observer l'évolution dans le temps d'une portion de structure, matérialisée par la deuxième cartographie, par rapport à un état initial, matérialisé par la première cartographie.

[0009] Grâce à la mise en œuvre du réseau distant, le poste de pilotage, avec
15 lequel interagit l'opérateur pour obtenir les cartographies, est distinct de chaque dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore. Ainsi, l'opérateur peut être localisé à distance des structures comprenant au moins un défaut et pouvant présenter un risque pour sa sécurité.

[0010] Un autre avantage de la mise en œuvre du réseau distant est de mutualiser
20 le poste de pilotage entre plusieurs dispositifs de contrôle non-destructif ultrasonore disposés sur différents sites. Ainsi, l'opérateur peut contrôler l'évolution d'une pluralité de portions de structures, sans se rendre sur les différents sites.

[0011] Selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention, le réseau distant est sans fil.

25 [0012] Un avantage du réseau sans fil est de pouvoir se déplacer en conservant la connexion entre le poste de pilotage et chaque dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore. Ainsi l'opérateur peut réaliser un premier contrôle, à proximité du dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore afin de déterminer si le dispositif est bien positionné et ensuite s'éloigner du dispositif pour réaliser les autres contrôles.

30 [0013] Selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention, la première requête de mesure comporte au moins une première information sélectionnant un mode de mesure.

[0014] Selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention, la première requête de mesure comporte au moins un premier paramètre de fonctionnement du mode de mesure.

5 [0015] Selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention, la deuxième requête de mesure comporte au moins une deuxième information sélectionnant le mode de mesure.

[0016] Selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention, la deuxième requête de mesure comporte au moins un deuxième paramètre de fonctionnement du mode de mesure.

10 [0017] Le mode de mesure décrit le déroulement d'étapes au sein du dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore qui aboutissent à l'obtention de données de mesure. Dans certains cas, le déroulement d'étapes nécessite la fourniture de paramètres de fonctionnement.

15 [0018] Sélectionner un mode de mesure pour l'obtention de la deuxième pluralité de données de mesure, différent du mode de mesure utilisé pour l'obtention de la première pluralité de données de mesure, permet d'adapter le procédé de contrôle à l'évolution du défaut à contrôler.

20 [0019] De plus la sélection du mode de mesure à partir de la première requête de mesure ou de la deuxième requête de mesure permet de sélectionner le mode de mesure à distance sans que l'opérateur n'ait à se rendre sur le site de mesure.

[0020] Selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention, si au moins un paramètre représentatif de la comparaison entre la première cartographie et la deuxième cartographie s'écarte d'une valeur seuil, le procédé comporte une étape de déclenchement d'un indicateur.

25 [0021] Un avantage du déclenchement d'un indicateur relatif à une valeur seuil prédéterminée est de révéler, sans interprétation d'un résultat de l'étape H par un spécialiste du contrôle non-destructif, une compromission de la portion de structure.

30 [0022] Selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention, un délai entre l'envoi de la première requête de mesure et l'envoi de la deuxième requête de mesure est prédéterminé.

[0023] Un avantage du délai prédéterminé est de déclencher, à la demande initiale de l'opérateur, et de manière reproductible, l'intégralité du procédé de contrôle sans nécessiter d'interaction complémentaire de la part de l'opérateur.

5 [0024] Selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention, l'instant d'exécution de l'étape A est programmé.

[0025] Un avantage de l'instant programmé est l'exécution de l'intégralité du procédé de contrôle, de manière programmé, sans interaction de la part d'un opérateur, par exemple pour réaliser un contrôle nocturne.

10 [0026] Programmer l'instant d'exécution suivant une liste d'instant permet un mode de contrôle autonome et continue, sans interaction de la part d'un opérateur.

[0027] Un deuxième aspect de l'invention concerne un procédé de mesure dans une portion d'une structure mettant en œuvre un dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore configuré pour être commandé par un poste de pilotage au moyen d'un réseau distant, le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore comprenant un
15 capteur ultrasonore multiéléments disposé sur une surface de la portion de la structure, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- I) réception, par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore, d'une première requête de mesure du poste de pilotage ;
- 20 - J) mesure, au moyen du capteur ultrasonore multiéléments, d'une première pluralité de données de mesure ;
- K) envoi, par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore, de la première pluralité de données de mesure au poste de pilotage ;
- L) subséquemment à la réception de la première requête de mesure, réception, par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore, d'une
25 deuxième requête de mesure du poste de pilotage ;
- M) mesure, au moyen du capteur ultrasonore multiéléments, d'une deuxième pluralité de données de mesure ;
- N) envoi, par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore, de la deuxième pluralité de données de mesure au poste de pilotage.

[0028] Selon un mode de réalisation du deuxième aspect de l'invention, le réseau distant est sans fil.

[0029] Selon un mode de réalisation du deuxième aspect de l'invention, la première requête de mesure comporte au moins une première information sélectionnant un mode de mesure.

[0030] Selon un mode de réalisation du deuxième aspect de l'invention, la première requête de mesure comporte au moins un premier paramètre de fonctionnement du mode de mesure.

[0031] Selon un mode de réalisation du deuxième aspect de l'invention, la deuxième requête de mesure comporte au moins une deuxième information sélectionnant le mode de mesure.

[0032] Selon un mode de réalisation du deuxième aspect de l'invention, la deuxième requête de mesure comporte au moins un deuxième paramètre de fonctionnement du mode de mesure.

[0033] Selon un mode de réalisation du deuxième aspect de l'invention, les étapes de mesure J et M comprennent les sous-étapes suivantes :

- pour chaque élément ultrasonore du capteur ultrasonore multiéléments :

- U) générer, au moyen de l'élément ultrasonore du capteur ultrasonore multiéléments, une onde ultrasonore incidente se propageant dans la portion de la structure ;

- V) mesurer, au moyen de tous les éléments ultrasonores du capteur ultrasonore multiéléments, une pluralité de données de mesure, la pluralité de données de mesure correspondant à la réception d'une onde ultrasonore réfléchie sur chaque élément ultrasonore du capteur ultrasonore multiéléments.

[0034] Le mode de mesure réalisé par les étapes U et V successivement pour chaque élément ultrasonore est un mode de mesure dit de capture matricielle complète ou "*full matrix capture*" en anglais. Le mode de capture matricielle complète permet de fournir les données permettant de construire une cartographie plus étendue qu'un mode de mesure standard (par exemple par balayage sectoriel), avec une résolution spatiale et une focalisation optimales en tout point.

[0035] Un troisième aspect de l'invention concerne un poste de pilotage configuré pour réaliser les étapes du procédé selon le premier aspect de l'invention.

[0036] Un quatrième aspect de l'invention concerne un dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore comprenant un capteur ultrasonore multiéléments et configuré
5 pour réaliser les étapes du procédé selon le deuxième aspect de l'invention.

[0037] Un cinquième aspect de l'invention concerne un système comprenant un poste de pilotage selon le troisième aspect de l'invention et au moins un dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore selon le quatrième aspect de l'invention.

[0038] Des défauts tels que des fissures de fatigue, créées par des variations de
10 pression dans l'équipement, peuvent se propager rapidement. La progression peut d'ailleurs être accélérée en présence d'hydrogène par un phénomène de fragilisation par hydrogène, "*Hydrogen Enhanced Fatigue*" en anglais. L'invention selon le sixième aspect de l'invention offre une solution en permettant d'assurer le suivi de l'évolution d'un défaut de fatigue dans un équipement sous pression.

[0039] Pour cela, un sixième aspect de l'invention concerne l'utilisation d'un
15 système selon le cinquième aspect de l'invention, dans lequel le capteur ultrasonore multiéléments est disposé sur une surface d'une portion d'un équipement chaudronné sous pression, tel qu'un adsorbeur.

[0040] Le système selon le sixième aspect de l'invention permet notamment de
20 suivre l'évolution des défauts au cours d'une variation de pression afin de déterminer l'impact d'une variation de chargement sur la propagation de la fissure. Le système permet également de suivre, par des cartographies répétées au fil du temps, le degré de fragilisation de la fissure par l'hydrogène.

[0041] L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la
25 lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0042] Les figures sont présentées à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention.

[0043] FIG.1 montre une représentation schématique du système selon l'invention.

[0044] FIG.2 montre une représentation schématique d'un procédé de contrôle et
30 de mesure ultrasonore selon l'invention.

[0045] FIG.3 montre une représentation schématique d'un capteur ultrasonore multiéléments.

[0046] FIG.4 montre une représentation schématique d'une pluralité de données numériques de mesure.

5 DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0047] Sauf précision contraire, un même élément apparaissant sur des figures différentes présente une référence unique.

[0048] La figure 1 présente un système de contrôle 400 destiné à contrôler l'évolution d'une portion 3 d'une structure 1, destiné à suivre l'apparition ou l'évolution
10 d'un défaut 2 dans la portion 3. Le système 400 comprend un poste de pilotage 100 et un dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300, le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 comportant un capteur ultrasonore multiéléments 310.

[0049] Lorsque la présence du défaut 2 a été identifiée dans la portion 3 par une étape préliminaire d'inspection, le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300
15 est déployé au voisinage de la structure 1 et le capteur ultrasonore multiéléments 310 est disposé au contact d'une surface de la portion 3.

[0050] Selon un mode de réalisation, la structure 1 peut être un équipement chaudronné sous pression, tel qu'un adsorbeur.

[0051] La connexion entre le poste de pilotage 100 et le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 est réalisée à travers un réseau distant 200. Le réseau
20 distant 200 permet le transfert de données comme une commande ou des données de mesure. Le réseau distant 200 peut être filaire, par exemple au moyen d'un câble électronique, ou sans fil, mettant par exemple en œuvre un moyen de communication Wi-Fi ou 4G, ou encore une combinaison de tous ces moyens.

[0052] Grâce à la mise en œuvre du réseau distant 200, le poste de pilotage 100
25 peut être distant du dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 et donc de la portion 3 comportant le défaut 2. Ainsi, quel que soit le niveau de compromission de la structure 1, un opérateur interagissant avec le poste de pilotage 100 peut déclencher un procédé de contrôle à partir d'un environnement sûr.

[0053] Le système de contrôle 400 peut comporter un autre dispositif de contrôle
30 non-destructif ultrasonore 300, déployé au niveau de la même structure 1 ou d'une

autre structure 1 afin de contrôler une autre portion 3 comportant un autre défaut 2. La connexion entre le poste de pilotage 100 et l'autre dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 est réalisée à travers le réseau distant 200. Le procédé de contrôle peut être exécuté entre le poste de pilotage 100 et chaque dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 simultanément, sans interactions.

[0054] Les deux structures 1 peuvent être localisées sur des sites de contrôle distants géographiquement, par exemple de plusieurs centaines de kilomètres. Grâce à la mise en œuvre du réseau distant 200, le poste de pilotage peut être mutualisé entre différents sites et, par exemple, localisé dans une salle de contrôle. Ainsi, l'opérateur n'a pas besoin de se rendre physiquement sur chaque site de contrôle pour réaliser le contrôle de la structure.

[0055] Le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 est configuré pour réaliser, dans la portion 3 de la structure 1, les étapes d'un procédé de mesure ultrasonore détaillées ci-après. Pour cela le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 comprend :

- le capteur ultrasonore multiéléments 310 ; et
- une carte électronique multiéléments 340.

[0056] Le capteur ultrasonore multiéléments 310 comprend une pluralité d'éléments ultrasonores 311. Un élément ultrasonore 311 est un transducteur (aussi appelé transducteur) permettant de convertir un signal électrique en une onde acoustique et convertir une onde acoustique en un signal électrique. Le nombre d'éléments ultrasonores 311 compris dans le capteur ultrasonore multiéléments 310 peut atteindre quelques centaines d'éléments allant typiquement de 8 à 256 éléments.

[0057] Les éléments ultrasonores 311 sont réalisés en matériau permettant de générer une onde acoustique incidente 11 dont la fréquence se situe dans le domaine ultrasonore, préférentiellement dans une gamme s'étendant de 0,2 MHz à 20 MHz. Les éléments ultrasonores 311 peuvent par exemple être réalisés en céramique piézoélectrique, comme par exemple du Titano-Zirconate de Plomb (PZT).

[0058] La pluralité d'éléments ultrasonores 311 est utilisée pour générer une pluralité d'ondes ultrasonores incidentes 11 à partir d'une pluralité de signaux électriques de commande, chaque signal électrique de commande actionnant un élément ultrasonore 311.

[0059] De même, la pluralité d'éléments ultrasonores 311 est utilisée pour produire une pluralité de signaux électriques de mesure, chaque signal électrique de mesure correspondant à une amplitude d'une onde réfléchie 12, reçue par un élément ultrasonore 311.

5 [0060] La pluralité d'éléments ultrasonores 311 peut être disposée selon un agencement linéaire, de préférence selon un pas constant. Ainsi, lorsque le capteur ultrasonore multiéléments 310 réceptionne l'onde ultrasonore réfléchie 12, la pluralité de signaux électriques de mesure produite correspond à la discrétisation spatiale de l'onde ultrasonore réfléchie 12 par la pluralité d'éléments ultrasonores 311.

10 [0061] Afin d'assurer un bon contact mécanique entre le capteur ultrasonore multiéléments 310 et la surface de la portion 3 ainsi que la reproductibilité des mesures, le capteur ultrasonore multiéléments 310 peut être fixé à la surface de la portion 3 au moyen d'un système de fixation. Ce système de fixation comprend par exemple des plots aimantés, de la colle ou encore des ventouses.

15 [0062] Le contact mécanique entre le capteur ultrasonore multiéléments 310 et la surface de la structure 1 est amélioré par l'intermédiaire d'un couplant. Le couplant permet de garantir une bonne adaptation d'impédance acoustique entre le capteur ultrasonore multiéléments 310 et le matériau de propagation et permet aux ondes ultrasonores de se propager sans atténuation. Le couplant peut-être un liquide tel que
20 de l'eau, un gel ou une graisse comme par exemple de la graisse haute température EKOGREASE-HT™ fabriquée par la société EKOSCAN™.

[0063] Afin de faciliter une propagation des ondes ultrasonores incidentes 11 jusqu'au défaut 2 de la portion 3, une semelle 320 peut être insérée entre le capteur ultrasonore multiéléments 310 et la surface. La semelle 320 est une pièce solide, de
25 forme angulaire, permettant la propagation des ondes ultrasonores. Un angle formé par la semelle 320, typiquement compris entre 45° et 60°, permet d'orienter l'onde ultrasonore incidente dans une direction différente de la direction normale à la surface de la structure 1. Le semelle 320 peut être réalisée en matériau polymère tel que du Rexolite™.

30 [0064] L'onde ultrasonore incidente 11 émise par un élément ultrasonore 311 est une onde de compression et est longitudinale. Grâce à la semelle 320, il est possible d'émettre des ondes ultrasonores incidentes 11 transversales dans la portion 3.

L'angle formé par l'onde ultrasonore incidente 11 à une interface entre la semelle 320 et la portion 3 décompose l'onde en une composante longitudinale et une composante transversale. Moyennant un ajustement de l'angle de l'onde incidente 11, par exemple en changeant l'angle formé par la semelle 320, il est possible de favoriser une
5 composante par rapport à l'autre.

[0065] La carte électronique multiéléments 340 comprend :

- un module de génération 341 ;
- un convertisseur 342 ;
- une interface réseau 343, configurée pour communiquer avec le réseau
10 distant 200 ; et
- un bus permettant l'interconnexion des composants de la carte électronique multiéléments 340 entre eux.

[0066] La pluralité de signaux électriques de commande et de mesure sont transmis entre la carte électronique multiéléments 340 et le capteur ultrasonore
15 multiéléments 310 par l'intermédiaire d'une liaison électrique 330 telle qu'un câble électronique.

[0067] Le module de génération 341 est configuré pour produire la pluralité de signaux électriques de commande. Chaque signal électrique de commande actionne un élément ultrasonore 311 parmi la pluralité d'éléments ultrasonores 311 du capteur
20 ultrasonore multiéléments 310.

[0068] Un seul élément ultrasonore 311 parmi la pluralité d'éléments ultrasonores 311 peut être actionné à partir d'un seul signal électrique de commande afin d'émettre une seule onde ultrasonore incidente 11. Ce mode d'émission d'une onde ultrasonore incident 11 unique est notamment mis en œuvre dans un mode de mesure dit de
25 capture matricielle complète ou "*full matrix capture*" en anglais.

[0069] La pluralité d'éléments ultrasonores incidentes 11 peut-être actionnée en parallèle à partir de la pluralité de signaux de commande afin d'émettre la pluralité d'ondes ultrasonores incidentes 11. L'introduction d'une pluralité de temps de retard permet de retarder chaque signal électrique de commande. Ainsi, la pluralité de temps
30 de retard et les interférences constructives ou destructives entre chaque onde ultrasonore incidente 11 qui en résultent, forme un faisceau d'ondes ultrasonores

incidentes 11 orienté selon une direction et se focalisant en un point de focalisation. En modifiant la pluralité de temps de retard, il est possible d'orienter le faisceau d'ondes ultrasonores incidentes 11 selon une autre direction ou de modifier la distance de focalisation. Ce mode d'émission est notamment mis en œuvre dans un mode de
5 mesure dit de balayage sectoriel.

[0070] La distance de focalisation est définie comme la distance entre le capteur ultrasonore multiéléments 310 et le point de focalisation.

[0071] Modifier la pluralité de temps de retard permet de modifier l'angle formé par l'onde ultrasonore incidente 11 à l'interface entre la semelle 320 et la portion 3. Ainsi,
10 il est possible de favoriser la composante longitudinale ou la composante transversale.

[0072] L'émission du faisceau d'ondes ultrasonores incidentes 11 peut également être réalisée en actionnant un sous-groupe d'éléments ultrasonores 311 contigües parmi la pluralité d'éléments ultrasonores 311 contigües. Ainsi, actionner séquentiellement chaque sous-groupe d'élément ultrasonores 311 contigües parmi la
15 pluralité de sous-groupes d'éléments ultrasonores 311 contigües, permet de translater le faisceau d'ondes ultrasonores incidentes 11 selon une direction parallèle au capteur ultrasonore multiéléments 310. Ce mode d'émission est notamment mis en œuvre dans un mode de mesure dit de balayage linéaire.

[0073] L'émission d'une onde ultrasonore incidente 11 ou d'un faisceau d'ondes
20 ultrasonores incidentes 11 est également appelé tir.

[0074] Le convertisseur 342 est configuré pour convertir chaque signal électrique de mesure reçu en fonction du temps en une donnée de mesure. La pluralité de données de mesure résultante représente la pluralité d'amplitudes de chaque onde ultrasonore réfléchie 12 reçue par chaque élément ultrasonore 311 en fonction du
25 temps.

[0075] Dans les modes de mesure par balayage sectoriel et par balayage linéaire, le convertisseur 342 réalise également une opération de décalage temporel de chaque donnée de mesure correspondant au temps de retard utilisé pour générer le faisceau d'ondes ultrasonores incidentes 11 ainsi qu'une opération de sommation de la pluralité
30 de données de mesure. La donnée de mesure résultante représente l'amplitude d'une onde ultrasonore se propageant selon la même orientation que le faisceau d'ondes ultrasonores incidentes 11 mais dans le sens inverse.

[0076] Selon un mode de réalisation, le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 est compatible avec des règles de sécurité qu'il est envisageable de rencontrer sur le site de contrôle, comme par exemple la réglementation ATEX, décrivant les règles d'utilisation d'appareillages électriques dans une atmosphère explosive.

[0077] Le poste de pilotage 100 est configuré pour réaliser les étapes du procédé de contrôle de la portion 3 de la structure 1 décrites ci-après, le procédé de contrôle étant notamment destiné au contrôle de l'évolution d'un défaut 2 dans la portion 3. Pour cela le poste de pilotage 100 comprend :

- 10 - une unité de calcul 101 ;
- une interface réseau 102, configurée pour communiquer avec le réseau distant 200 ; et
- un bus permettant l'interconnexion des composants du poste pilotage 100 entre eux.

15 [0078] Avantageusement le poste de pilotage comprend une interface homme machine tel qu'un écran, permettant d'afficher des informations à l'opérateur et des périphériques d'entrées tels qu'un clavier et/ou une souris.

[0079] Le poste de pilotage 100 peut par exemple être un ordinateur portable ou une tablette tactile.

20 [0080] Selon un mode de réalisation, le poste de pilotage 100 est également configuré pour déclencher un indicateur. L'indicateur peut être une notification envoyée à l'opérateur au moyen d'un service de communication électronique ou, en cas de compromission sévère de la portion 3, un avertissement visuel et/ou sonore, envoyé, par exemple, au moyen d'un avertisseur sonore (ex: alarme) ou visuel (ex: feu spécial tournant).

25 [0081] La figure 2 présente schématiquement le procédé de mesure ultrasonore dans la portion 3 de la structure 1. Le procédé comporte les étapes I, J, K, L, M et N, réalisées successivement.

Étape I : réception d'une première requête de mesure

[0082] L'étape I du procédé de mesure est la réception, par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300, d'une première requête de mesure envoyée par le poste de pilotage 100.

- 5 [0083] La première requête de mesure est une commande, compréhensible par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300. La réception de la première requête de mesure a pour effet de déclencher l'étape J.

[0084] Selon un mode de réalisation, la première requête de mesure comporte une première information permettant de programmer le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 et sélectionner le mode de mesure mis en œuvre dans l'étape J. Lorsque le balayage sectoriel est sélectionné, la première requête de mesure comporte avantageusement une pluralité d'informations complémentaires telles qu'un angle minimal, un angle maximal, un pas angulaire ou encore une distance de focalisation. La première information peut également permettre de sélectionner le type d'onde ultrasonore incidente 11 se propageant dans la portion 3, favorisant la composante longitudinale ou transversale.

10
15

Étape J : obtention d'une première pluralité de données de mesures

[0085] L'étape J concerne l'obtention d'une première pluralité de données de mesure 500.

- 20 [0086] La première pluralité de données de mesure 500 peut être obtenue par le mode de capture matricielle complète. Dans la figure 3, présentant schématiquement le mode de capture matricielle complète, le capteur ultrasonore multiéléments 310 comporte quatre éléments ultrasonores 311. Dans cet exemple, le rôle du deuxième élément ultrasonore 311 est d'être émetteur et comporte le signe E2 et le rôle de tous les éléments ultrasonores 311 est d'être récepteur et comportent les signes R1, R2, R3 et R4. Le mode de capture matricielle complète fait intervenir deux étapes, U et V.
- 25

[0087] Dans l'étape U, l'élément ultrasonore émetteur E2 génère l'onde ultrasonore incidente 11 se propageant dans la portion 3. Dans l'étape V, les éléments ultrasonores récepteurs R1, R2, R3, R4 réceptionnent l'onde ultrasonore réfléchi 12 provenant de la réflexion de l'onde ultrasonore incidente 11 par le défaut 2 et produisent la pluralité de signaux électriques de mesure. Les étapes U et V sont répétées séquentiellement en sélectionnant un autre élément ultrasonore 311 comme

30

émetteur jusqu'à ce que tous les éléments ultrasonores émetteurs E1, E2, E3, E4 aient été mis en œuvre dans l'étape U.

[0088] La pluralité de données de mesure 500 peut prendre la forme d'une matrice, comme présentée dans la figure 4. La matrice comprend, dans ce cas, une pluralité
5 de lignes et une pluralité de colonnes. Chaque ligne, notée R1, R2, R3, R4, correspond à un des éléments ultrasonores récepteurs R1, R2, R3, R4 et chaque colonne, notée E1, E2, E3, E4, correspond à un des éléments ultrasonores émetteurs E1, E2, E3, E4. Pour chaque élément ultrasonore émetteur E1, E2, E3, E4, la pluralité de données de mesure, issues de la conversion de la pluralité de signaux électriques de mesure
10 relative à l'élément ultrasonore émetteur E1, E2, E3, E4, sont stockées dans la colonne correspondant à l'élément ultrasonore émetteur E1, E2, E3, E4.

[0089] La première pluralité de données de mesure 500 peut être obtenue par balayage sectoriel. L'acquisition des données est réalisée par un balayage de l'orientation du faisceau d'ondes ultrasonores incidentes 11 selon une pluralité
15 d'angles, la pluralité d'angles étant définie par l'angle minimal, l'angle maximal et le pas angulaire. La première pluralité de données de mesure 500 est ainsi formée par la pluralité de données de mesure relative à la pluralité d'angles.

[0090] La première pluralité de données de mesure 500 peut également être obtenue par un mode de mesure dit de balayage linéaire. La première pluralité de
20 données de mesure 500 est ainsi formée par la pluralité de données de mesure relatives à chaque sous-groupe d'éléments ultrasonores 311 contigus.

Étape K : envoi de la première pluralité de données de mesure

[0091] L'étape K est l'envoi, par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300, au moyen du réseau distant 200, de la première pluralité de données de mesure
25 500, au poste de pilotage 100.

Étape L : réception d'une deuxième requête de mesure

[0092] L'étape L correspond à la réception, par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300, d'une deuxième requête de mesure du poste de pilotage 100. La deuxième requête de mesure peut prendre la même forme que la première
30 requête de mesure décrite précédemment. La réception de la deuxième requête de mesure a pour effet de déclencher l'étape M.

[0093] Selon un mode de réalisation, la deuxième requête de mesure comporte une deuxième information permettant de programmer le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 et sélectionner le mode de mesure. Le mode de mesure mis en œuvre dans l'étape M peut être différent du mode de mesure mis en œuvre dans l'étape J. La deuxième information peut également permettre de sélectionner le type d'onde ultrasonore incidente 11 se propageant dans la portion 3.

Étape M : obtention d'une deuxième pluralité de données de mesure

[0094] L'étape M concerne l'obtention d'une deuxième pluralité de données de mesure 500.

10 [0095] Le mode de mesure mis en œuvre pour obtenir la deuxième pluralité de données de mesure 500 peut être défini par la deuxième requête de mesure et fait partie des modes de mesures décrit précédemment.

Étape N : envoi de la deuxième pluralité de données de mesure

15 [0096] L'étape N est l'envoi, par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300, au moyen du réseau distant 200, de la deuxième pluralité de données de mesure au poste de pilotage 100.

[0097] La figure 2 présente schématiquement le procédé de contrôle de la portion 3 de la structure 1 décrit ci-après, le procédé de contrôle étant notamment destiné au contrôle de l'évolution du défaut 2.

20 [0098] Le procédé de contrôle comporte les étapes A, B, C, D, E, F et G, réalisées successivement.

Étape A : envoi de la première requête de mesure

25 [0099] L'étape A du procédé de contrôle concerne l'envoi, par le poste de pilotage 100, au moyen du réseau distant 200, au dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300, de la première requête de mesure décrite dans l'étape I du procédé de mesure ultrasonore.

[00100] Selon un mode de réalisation, la première requête de mesure comporte la première information permettant de sélectionner le mode de mesure mis en œuvre par le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 pour obtenir la première pluralité de données de mesure. En fonction d'informations préliminaires dont l'opérateur dispose avant l'exécution du procédé de contrôle, l'opérateur peut ainsi sélectionner

30

le mode de mesure le plus adapté au contrôle de la portion 3. Ainsi, le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 est programmable à distance.

[00101] Selon un mode de réalisation, l'exécution de l'étape A est déclenchée, à la demande, par un opérateur. L'étape A ne comporte pas de préparation de mesure ou de calculs préliminaires qui pourraient différer l'envoi de la première requête de mesure, ainsi, lorsque l'opérateur déclenche l'exécution de l'étape A, la première requête de mesure est envoyée instantanément au dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300.

[00102] Selon un mode de réalisation, l'instant d'exécution de l'étape A est programmable. Il peut par exemple être programmé à un instant ultérieur, par exemple pour une mesure nocturne. Il peut également être programmé selon une liste d'instant, permettant un mode de contrôle autonome et continue.

Étape B : réception de la première pluralité de données de mesure

[00103] L'étape B du procédé de contrôle est la réception, par le poste de pilotage 100, au moyen du réseau distant 200, d'une première pluralité de données de mesure 500 provenant du dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300.

Étape C : construction d'une première cartographie

[00104] L'étape C du procédé de contrôle est la construction d'une première cartographie de la portion 3, au moyen de l'unité de calcul 101, à partir de la première pluralité de données de mesure 500.

[00105] La première cartographie représente l'amplitude de l'onde ultrasonore réfléchie 12, proportionnelle à une variation d'impédance acoustique dans un plan de la portion 3. Le plan est défini selon deux dimensions : une profondeur dans la portion 3 et une distance selon une direction tangente à la surface de la portion 3, parallèle à la pluralité d'éléments ultrasonores 311.

[00106] Lorsque la première pluralité de données de mesure 500 est obtenue par le mode de mesure dit de capture matricielle complète, la construction de la première cartographie suit les étapes d'un algorithme de focalisation en tout point ou "*total focusing method*" en anglais. Les étapes de l'algorithme de focalisation en tout point sont les suivantes :

- 5 - La portion 3 est maillée selon des paramètres, au moyen de l'unité de calcul 101, pour obtenir une pluralité de points de mailles. Les paramètres de maillage peuvent être la profondeur de la portion 3, la résolution spatiale attendue ou encore le nombre d'éléments ultrasonore 311 du capteur ultrasonore multiéléments 310.
- 10 - Pour chaque point de maille, une pluralité de temps de retard est calculée, au moyen de l'unité de calcul 101. Chaque temps de retard est attribué à un élément ultrasonore 311 et correspond au temps nécessaire à l'onde ultrasonore incidente 11 pour se propager depuis l'élément ultrasonore émetteur E1, E2, E3, E4 jusqu'au point de maille.
- Pour chaque point de maille, chaque colonne de la première pluralité de données de mesure 500 est retardée, au moyen de l'unité de calcul 101, selon le temps de retard attribué à l'élément ultrasonore émetteur E1, E2, E3, E4.
- 15 - Pour chaque point de maille, chaque donnée de mesure est sommée, au moyen de l'unité de calcul 101, pour former la première cartographie.

[00107] Lorsque la première pluralité de données de mesure 500 est obtenue par balayage sectoriel ou balayage linéaire, chaque donnée de mesure est assemblée, au moyen de l'unité de calcul 101, selon l'angle ou la distance qui lui correspond pour
20 former la première cartographie.

Étape D : envoi de la deuxième requête de mesure

[00108] L'étape D du procédé de contrôle est l'envoi, par le poste de pilotage 100, au moyen du réseau distant 200, de la deuxième requête de mesure au dispositif de contrôle non-destructif 300.

25 [00109] La deuxième requête de mesure peut prendre la même forme que la première requête de mesure décrite précédemment.

[00110] Selon un mode de réalisation, la deuxième requête de mesure comporte la deuxième information permettant de sélectionner le mode de mesure mis en œuvre pour obtenir la deuxième pluralité de données de mesure. Ainsi, l'opérateur peut
30 reprogrammer le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 pour changer de mode de mesure, affiner une résolution ou encore étendre la mesure à une zone plus

étendue au sein de la portion 3. Ainsi, le dispositif de contrôle non-destructif ultrasonore 300 est reprogrammable à distance.

[00111] Un délai entre l'envoi de la première requête de mesure et l'envoi de la deuxième requête de mesure permet d'observer l'évolution dans le temps d'une portion 3, matérialisée par une deuxième cartographie, par rapport à un état initial, matérialisé par la première cartographie.

[00112] Le délai peut varier en fonction d'un temps caractéristique de l'évolution de la portion 3 allant de quelques minutes à plusieurs jours. Par exemple, si la structure 1 est un adsorbeur et que la portion 3 est une portion d'une paroi de l'adsorbeur, le défaut 2 contenu dans la portion 3 est susceptible d'évoluer lors des variations de pression par exemple en phase de remplissage. Ainsi il est envisageable de réaliser la première cartographie en début de remplissage et la deuxième cartographie en fin de remplissage, ainsi le délai peut être égal au temps de la phase de remplissage.

[00113] Si le défaut 2 est susceptible d'évoluer en fonction d'un processus plus lente, par exemple par un phénomène de fragilisation par hydrogène, le délai peut être de plusieurs jours ou de plusieurs semaines.

[00114] Selon un mode de réalisation, le délai est prédéterminé. Une fois le délai écoulé, l'étape E est déclenchée automatiquement.

[00115] Selon un mode de réalisation, le délai peut être interrompu par un opérateur qui déclenche l'étape E.

Étape E : réception de la deuxième pluralité de données de mesure

[00116] L'étape E du procédé de contrôle est la réception, par le poste de pilotage 100, au moyen du réseau distant 200, d'une deuxième pluralité de données de mesure 500 envoyée par le dispositif de contrôle non-destructif 300.

Étape F : construction d'une deuxième cartographie

[00117] L'étape F du procédé de contrôle est la construction, par le poste de pilotage 100, de la deuxième cartographie de la portion 3, au moyen de l'unité de calcul 101, à partir de la deuxième pluralité de données de mesure 500.

[00118] La deuxième cartographie est construite selon le mode opératoire décrit précédemment.

[00119] De la même manière que la première cartographie, la deuxième cartographie représente l'amplitude de l'onde ultrasonore réfléchi 12, proportionnelle à la variation d'impédance acoustique dans la portion 3 en fonction de la première et de la deuxième dimension.

5 **Étape G : comparaison des première et deuxième cartographies**

[00120] L'étape G du procédé de contrôle est une comparaison, par le poste de pilotage 100, au moyen de l'unité de calcul 101, entre la première cartographie et la deuxième cartographie.

10 [00121] Selon un mode de réalisation, la comparaison entre les première et deuxième cartographies est réalisée pour un même jeu de coordonnées, par exemple en effectuant une opération mathématique entre les valeurs d'amplitude, telle qu'une différence. Une cartographie résultante matérialise alors une variation d'impédance acoustique entre l'obtention des première et deuxième pluralités de données de mesure 500, par exemple due à l'agrandissement d'une fissure ou l'apparition d'une
15 zone poreuse.

[00122] Selon un mode de réalisation, la cartographie résultante peut être utilisée pour déclencher automatiquement l'indicateur. Par exemple, une valeur de la profondeur de la zone présentant la variation d'impédance acoustique est affichée en fonction du temps et permet de réaliser un suivi de progression du défaut. Ainsi, si la
20 profondeur de la zone présentant la variation d'impédance s'écarte d'une valeur seuil prédéterminée alors l'indicateur est déclenché.

[00123] Le déclenchement automatique de l'indicateur, relatif à une valeur seuil prédéterminée, permet à un opérateur non-expert du contrôle non-destructif ultrasonore d'être averti d'un niveau de compromission d'une des structures contrôlées
25 pour déclencher, par exemple, les opérations de maintenance ou de mise en sécurité nécessaires.