

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
22 janvier 2009 (22.01.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/010653 A2

(51) Classification internationale des brevets :

G01N 29/06 (2006.01) G01N 29/27 (2006.01)
G01N 29/22 (2006.01) G01S 15/89 (2006.01)
G01N 29/26 (2006.01) G01M 17/00 (2006.01)
G01N 29/265 (2006.01)

Saint-Saulve (FR). NOËL, Alexandre [FR/FR]; 12, rue du Vert Gazon, F-59530 Englefontaine (FR). NOGUEIRA DE PAULA, Renato [BR/FR]; 44, avenue de Verdun, F-59300 Valenciennes (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2008/000836

(22) Date de dépôt international : 16 juin 2008 (16.06.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :

0704435 21 juin 2007 (21.06.2007) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : V & M FRANCE [FR/FR]; 27, avenue du Général Leclerc, F-92100 Boulogne-Billancourt (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : LESAGE, Frédéric [FR/FR]; 5, rue Duchesnois, F-59880

(74) Mandataire : DE KERNIER, Gabriel; Cabinet Netter, 36, avenue Hoche, F-75008 Paris (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR THE AUTOMATIC NON-DESTRUCTIVE INSPECTION OF TUBULAR AXLE PINS HAVING VARIABLE INSIDE AND OUTSIDE RADIUS PROFILES

(54) Titre : PROCEDE ET APPAREIL DE CONTROLE NON DESTRUCTIF AUTOMATIQUE D'AXES D'ESSIEU TUBULAIRES A PROFILS DE RAYONS INTERNE ET EXTERNE VARIABLES

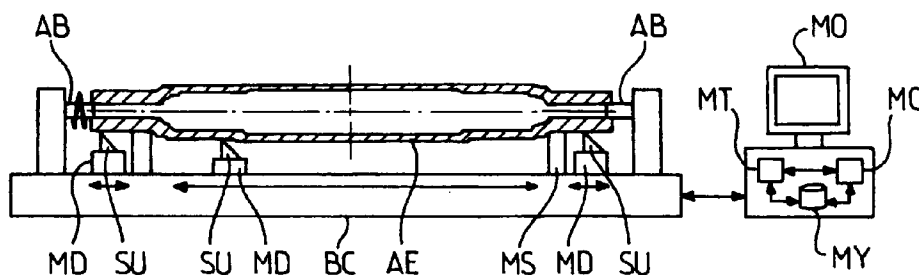


FIG. 3

(57) Abstract: The invention relates to an axle pin inspection apparatus consisting of: (i) an inspection bench (BC) for receiving a tubular axle pin (AE) including a wall (PA) having known variable outside and inside radius profiles; (ii) at least one ultrasound probe (SU) for analysing at least one selected portion of the wall (PA) in a selected angular sector and, thereby, acquiring analysis data; (iii) inspection means (MC) for controlling the inspection bench (BC) in order to position each probe (SU) on the outer surface (SE) or the inner surface (SI) of the wall (PA) at at least a first location selected as a function of the profiles thereof and optionally the loading of the pin (AE), so that the probe analyses the first and second selected portions of the wall (PA) respectively in at least a first and at least a second selected angular sector oriented along first and second opposing longitudinal or transverse directions, and so that the probe acquires analysis data for different relative angular positions of the pin in relation to the probe; and (iv) processing means (MT) for producing charts on the basis of said analysis data, which charts represent the transverse or longitudinal orientations and the echo indication positions inside the wall (PA).

[Suite sur la page suivante]

WO 2009/010653 A2



GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

(57) Abrégé : Un appareil de contrôle d'axes d'essieu comprend i) un banc de contrôle (BC) chargé de recevoir un axe d'essieu tabulaire (AE) comportant une paroi (PA) présentant des profils de rayons extérieur et intérieur variables et connus, ii) au moins une sonde à ultrasons (SU) chargée d'analyser au moins une portion choisie de cette paroi (PA) dans un secteur angulaire choisi et ainsi d'acquérir des données d'analyse, iii) des moyens de contrôle (MC) chargés de piloter le banc de contrôle (BC) afin de placer chaque sonde (SU) sur la surface externe (SE) ou interne (SI) de la paroi (PA) en au moins un premier endroit choisi en fonction de ses profils et d'un éventuel encombrement de l'axe (AE) afin qu'elle analyse des premières et deuxièmes portions choisies de la paroi (PA) respectivement dans au moins un premier et au moins un deuxième secteur angulaire choisi, orienté suivant des premier et second sens longitudinaux ou transversaux opposés, et qu'elle acquière ainsi des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe par rapport à elle, et iv) des moyens de traitement (MT) chargés de constituer à partir de ces données d'analyse des cartes représentant les orientations transversales ou longitudinales et les positions d'indications d'échos au sein de la paroi (PA).

**PROCÉDÉ ET APPAREIL DE CONTRÔLE NON DESTRUCTIF
AUTOMATIQUE D'AXES D'ESSIEU TUBULAIRES À PROFILS DE RAYONS
INTERNE ET EXTERNE VARIABLES**

5

L'invention concerne les axes d'essieu, qui sont par exemple utilisés dans le domaine ferroviaire, et plus précisément le contrôle (ou l'inspection) de tels axes au moyen de technique(s) non destructive(s).

10 Comme le sait l'homme de l'art, certains axes d'essieu, et notamment ceux qui doivent supporter des charges importantes, doivent faire l'objet de contrôles non destructifs à différents stades de fabrication et de maintenance afin de répondre à des standards internationaux. Les procédés de contrôle non destructif connus sont assez bien adaptés
15 aux axes d'essieu pleins (ou massifs). Ils reposent généralement sur une analyse acoustique, au moyen de sondes à ultrasons, ainsi qu'éventuellement sur une analyse complémentaire, comme par exemple une analyse de surface ou une analyse radiographique. Parmi les standards auxquels doivent satisfaire des axes d'essieu pleins,
20 on peut notamment citer NF EN 13261 – 2004 pour l'Europe, ISO 5948 – 1994 et ISO 6933 - 1986 pour le monde, M 101/90 – A pour les Etats-Unis d'Amérique (Association of American Railroads (AAR)), NBR 7947 – 1989 pour le Brésil et JIS E 4502-1 – 2002 pour le Japon.

A partir des données d'analyse acquises, on peut estimer les positions des imperfections et des défauts transversaux ou longitudinaux au sein du matériau plein qui constituent un
25 axe et ainsi déterminer si cet axe satisfait ou non à un standard international (de fabrication ou de maintenance périodique).

Il a été récemment proposé de remplacer certains axes d'essieu pleins (ou massifs) par des axes d'essieu tubulaires dont la paroi présente des profils de rayons extérieur et
30 intérieur variables. Ces nouveaux axes tubulaires sont particulièrement avantageux car ils permettent une réduction notable de poids, typiquement de l'ordre de 30%, et donc une augmentation de la charge transportée, accompagnée d'une diminution de la

consommation d'énergie et donc de la pollution. Mais, le contrôle de ce type d'axe tubulaire pose un certain nombre de problèmes.

5 En effet, en raison de l'existence d'un profil de rayon intérieur variable, il est difficile de différencier les échos résultant de zones anguleuses (ou coins) de ceux résultant d'imperfections ou de défauts structurels.

10 Par ailleurs, un bon nombre de ces imperfections et/ou défauts présente des dimensions plus petites que celles rencontrées dans un axe plein, ce qui rend leur détection encore plus difficile compte tenu des faibles distances parcourues par les ultrasons.

15 Enfin, le positionnement dans certaines portions d'un axe tubulaire de certains équipements, tels que notamment les roues (emmanchées à force) et les disques de frein, en vue de constituer un essieu, est également susceptible d'induire des imperfections et/ou des défauts structurels supplémentaires, voire d'amplifier les dimensions de certains défauts structurels et/ou imperfections induits par les opérations précédentes de forgeage à chaud et d'usinage. Il en résulte qu'il est encore plus nécessaire de contrôler ces portions et les zones adjacentes, aussi bien lors du premier assemblage que lors des opérations de maintenance (avec ou sans dépose d'équipement(s) de l'essieu). Or, ces analyses sont difficiles, voire même impossible, à effectuer avec les procédés de contrôle existants dans certaines portions de l'axe, lorsque ce dernier est encombré d'équipements.

25 L'invention a donc pour but de proposer un procédé et un appareil de contrôle non destructif permettant de contrôler de façon au moins semi-automatique avec précision la plus grande partie, et si possible la totalité, d'un axe d'essieu tubulaire (ou plus généralement un produit de révolution creux (tubulaire)), y compris lorsque ce dernier est pourvu d'équipements.

30 Elle propose à cet effet un procédé de contrôle d'axes d'essieu tubulaires comprenant les étapes suivantes :

- a) placer sur un banc de contrôle un axe d'essieu tubulaire comportant une paroi qui présente des profils de rayons extérieur et intérieur variables et connus,
- b) placer au moins une sonde à ultrasons sur la surface externe ou interne de cette paroi en un premier endroit qui est choisi en fonction de ses profils et de l'éventuel encombrement de l'axe, puis analyser avec chaque sonde une première portion choisie de la paroi dans un premier secteur angulaire choisi, orienté suivant un premier sens longitudinal ou transversal, afin d'acquérir des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe par rapport à une sonde,
- c) replacer au moins une sonde en un deuxième endroit qui est toujours choisi en fonction des profils et de l'éventuel encombrement de l'axe, puis analyser avec chaque sonde remplacée une deuxième portion choisie de la paroi dans un deuxième secteur angulaire choisi, orienté suivant un second sens opposé au premier sens, afin d'acquérir d'autres données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe par rapport à une sonde, et
- d) constituer à partir des données d'analyse acquises des cartes représentant les orientations transversales ou longitudinales et les positions d'indications d'échos au sein de la paroi.

On entend ici par « indication d'écho » une information obtenue dans une paroi par réflexion sur une interface (matière/air) ou sur une imperfection ou encore sur un défaut (structurel). Par ailleurs, on entend ici par « imperfection » une partie d'une paroi qui a induit un écho dont l'amplitude est inférieure à un seuil choisi, et donc qui n'est pas de nature à entraîner la mise au rebut de l'axe. Enfin, on entend ici par « défaut » une partie d'une paroi qui a induit un écho dont l'amplitude est supérieure au seuil choisi, et donc qui est de nature à entraîner la mise au rebut de l'axe.

Le procédé selon l'invention peut se décliner selon de nombreuses variantes, dont certaines au moins des caractéristiques peuvent être combinées entre-elles, et notamment :

- on peut par exemple effectuer une première fois les étapes b) à d) en plaçant chaque sonde à ultrasons sur la surface externe de la paroi afin de constituer des cartes représentatives des positions et orientations des indications d'échos au sein de la

- paroi, puis on peut effectuer une seconde fois au moins les étapes b) et d) en plaçant au moins une sonde à ultrasons sur la surface interne de la paroi en un troisième endroit qui est choisi en fonction de ses profils, puis en analysant avec chaque sonde une troisième portion choisie de la paroi dans un troisième secteur angulaire choisi, orienté suivant au moins un sens longitudinal ou transversal choisi, afin d'acquérir des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe par rapport à une sonde, et de constituer des cartes représentatives des positions et orientations des indications d'échos au sein de la paroi ;
- 5
- on peut par exemple effectuer les étapes b) à d) au moins une fois en plaçant chaque sonde à ultrasons sur la surface externe ou interne de la paroi afin d'effectuer une analyse ultrasonore dans un secteur angulaire orienté suivant une direction longitudinale, et ainsi constituer des cartes représentatives des orientations transversales et des positions des indications d'échos au sein de la paroi, puis on peut effectuer de nouveau les étapes b) à d) encore au moins une fois en plaçant au moins une sonde à ultrasons sur la surface externe ou interne de la paroi afin d'effectuer une analyse ultrasonore dans un secteur angulaire orienté suivant une direction transversale et ainsi constituer des cartes représentatives des orientations longitudinales et des positions des indications d'échos au sein de la paroi ;
- 10
- 15
- après avoir effectué une étape d) on peut par exemple prévoir une étape e) dans laquelle on effectue une analyse d'au moins la surface externe de la paroi au moyen d'une autre technique d'analyse, différente de celle basée sur les ultrasons, afin d'acquérir des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives d'au moins une sonde par rapport à l'axe, ainsi qu'une éventuelle étape f) dans laquelle on constitue à partir de ces données d'analyse acquises des cartes représentant les positions et orientations des indications de surface de la paroi ;
- 20
- 25
- par exemple, cette autre technique d'analyse peut être choisie parmi la technique dite du flux de fuite et la technique dite des courants de Foucault ;
- on peut par exemple analyser chacune des premières, deuxièmes et éventuelles troisièmes portions de la paroi au moyen d'un déplacement longitudinal relatif d'au moins une sonde par rapport à l'axe et/ou au moyen d'un balayage électronique avec au moins une sonde ;
- 30

- lors de l'une au moins des étapes b), c) et e) on peut par exemple obtenir les différentes positions angulaires relatives de l'axe par rapport à chaque sonde soit en entraînant en rotation cet axe par rapport à chaque sonde, soit en entraînant en rotation chaque sonde par rapport à cet axe ;
- 5 - il peut comprendre une étape g) dans laquelle on compare les données des cartes qui ont été obtenues lors d'une étape d) à des données de premières cartes étalons qui ont été préalablement obtenues sur un premier axe étalon de même type que celui contrôlé, mais dépourvu de défauts, afin de ne retenir que les données qui sont représentatives d'indications d'échos qui ne sont pas présentes dans les premières
10 cartes étalons et ainsi constituer des cartes « corrigées » ;
- il peut comprendre une étape h) dans laquelle on compare les données des cartes qui ont été obtenues lors d'une étape d) ou g) à des données de secondes cartes étalons qui ont été obtenues sur un second axe étalon de même type que celui contrôlé, mais comportant des défauts connus, afin de ne retenir que les données qui sont
15 représentatives d'indications d'échos représentatives de défauts connus présents dans les secondes cartes étalons et ainsi constituer des cartes de défauts ;
- il peut comprendre une étape i) dans laquelle on compare à une amplitude seuil choisie les amplitudes des données des cartes qui ont été obtenues lors d'une étape d) ou g), afin de ne retenir que des données représentatives d'indications d'échos dont
20 les amplitudes sont supérieures à l'amplitude seuil et qui par conséquent signalent des défauts, et ainsi constituer des cartes de défauts ;
 - en cas de détection d'une amplitude supérieure à l'amplitude seuil on peut éventuellement générer une alarme ;
- il peut comprendre une étape j) consistant à afficher au moins une carte sur un écran ;
- 25 - on peut par exemple utiliser des sondes capables d'émettre des ultrasons suivant une unique direction d'angle variable ;
 - par exemple l'angle peut varier entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale ou transversale ;
- en variante, on peut par exemple utiliser des sondes du type dit à réseau de phase (ou
30 « phased array »), capables d'émettre des ultrasons suivant des directions qui sont comprises dans un secteur angulaire choisi ;

- par exemple le secteur angulaire peut être compris entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale ou transversale.

On notera que les étapes a) à d) doivent se faire dans cet ordre, mais que les autres étapes citées e) à j) ne se font pas forcément dans cet ordre. En particulier, une étape j) peut tout à fait survenir après une étape d).

L'invention propose également un appareil de contrôle d'axes d'essieu destiné à mettre en œuvre le procédé présenté ci-avant. Cet appareil comprend plus précisément :

- 10 - un banc de contrôle chargé de recevoir un axe d'essieu tubulaire comportant une paroi qui présente des profils de rayons extérieur et intérieur variables et connus,
- au moins une sonde à ultrasons chargée d'analyser au moins une portion choisie de cette paroi dans un secteur angulaire choisi et ainsi d'acquérir des données d'analyse,
- des moyens de contrôle chargés de piloter le banc de contrôle afin de placer chaque
- 15 sonde sur la surface externe ou interne de la paroi en un premier endroit qui est choisi en fonction de ses profils et d'un éventuel encombrement de l'axe de sorte qu'elle analyse au moins une première et au moins une deuxième portions choisies de la paroi respectivement dans au moins un premier et au moins un deuxième secteurs
- 20 angulaires choisis, orientés suivant des premier et second sens longitudinaux ou transversaux opposés, et qu'elle acquière ainsi des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe par rapport à elle,
- des moyens de traitement chargés de constituer à partir des données d'analyse acquises des cartes représentant les orientations longitudinales ou transversales et les positions d'indications d'échos longitudinales ou transversales au sein de la paroi.

25

Cet appareil selon l'invention peut se décliner selon plusieurs variantes, dont certaines au moins des caractéristiques peuvent être combinées entre-elles, et notamment :

- ses moyens de contrôle peuvent être chargés de contrôler une première fois le déplacement relatif de chaque sonde par rapport à la surface externe de la paroi afin
- 30 qu'elle acquière des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe par rapport à elle, puis de contrôler une seconde fois le déplacement relatif d'au moins une sonde par rapport à la surface interne de la paroi afin qu'elle analyse au moins une troisième portion choisie de la paroi dans au moins un troisième secteur
- 35 angulaire choisi, orienté suivant un sens longitudinal ou transversal choisi, et qu'elle acquière ainsi d'autres données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe par rapport à elle. Dans ce cas, les moyens de traitement sont

- chargés de constituer à partir des données d'analyse acquises des cartes représentant les positions et orientations d'indications d'échos au sein de la paroi ;
- ses moyens de contrôle peuvent être chargés i) de contrôler au moins une première fois le déplacement relatif de chaque sonde par rapport à la surface externe ou interne de la paroi afin qu'elle effectue une analyse ultrasonore dans un secteur angulaire orienté suivant une direction longitudinale et qu'elle acquière des données d'analyse à partir desquelles les moyens de traitement vont constituer des cartes représentatives des orientations transversales et des positions des indications d'échos, puis ii) de contrôler au moins une seconde fois le déplacement relatif de chaque sonde par rapport à la surface externe ou interne de la paroi afin qu'elle effectue une analyse ultrasonore dans un secteur angulaire orienté suivant une direction transversale et qu'elle acquière des données d'analyse à partir desquelles les moyens de traitement vont constituer des cartes représentatives des orientations longitudinales et des positions des indications d'échos;
 - il peut comprendre des moyens d'analyse de surface chargés d'analyser au moins la surface externe de la paroi au moyen d'une autre technique d'analyse, différente de celle basée sur les ultrasons, afin d'acquérir des données d'analyse pour différentes positions relatives de l'axe par rapport à une sonde. Dans ce cas, les moyens de traitement peuvent être éventuellement chargés de constituer à partir de ces données d'analyse (acquises par les moyens d'analyse de surface) des cartes représentant les positions et orientations des indications de surface de la paroi ;
 - par exemple les moyens d'analyse de surface sont choisis parmi les moyens d'analyse de flux de fuite et les moyens d'analyse par courants de Foucault ;
 - il peut comprendre des moyens de déplacement chargés de déplacer relativement selon la direction longitudinale au moins une sonde par rapport à l'axe. Dans ce cas ses moyens de contrôle sont chargés de contrôler les moyens de déplacement afin qu'ils déplacent longitudinalement et relativement au moins une sonde par rapport à l'axe pour qu'elle analyse une partie au moins des premières, deuxièmes et éventuelles troisièmes portions de la paroi ;
 - en variante ou en complément, ses moyens de contrôle peuvent être chargés d'effectuer un balayage électronique avec au moins une sonde pour qu'elle analyse une partie au moins des premières, deuxièmes et éventuelles troisièmes portions de la paroi ;
 - son banc peut être chargé d'entraîner en rotation l'axe par rapport à chaque sonde afin de définir les différentes positions angulaires relatives de cet axe par rapport à la sonde. En variante, le banc peut être chargé d'entraîner en rotation au moins une

- sonde par rapport à l'axe afin de définir les différentes positions angulaires relatives de cet axe par rapport à ladite sonde ;
- ses moyens de traitement peuvent être chargés de comparer les données de cartes obtenues sur l'axe à contrôler à des données de premières cartes étalons qui ont été
5 obtenues sur un premier axe étalon de même type que celui contrôlé, mais dépourvu de défauts, et de ne retenir que les données qui sont représentatives d'indications d'échos qui ne sont pas présentes dans les premières cartes étalons et ainsi constituer des cartes corrigées ;
 - ses moyens de traitement peuvent être chargés de comparer les données de cartes
10 obtenues sur l'axe à contrôler à des données de secondes cartes étalons obtenues sur un second axe étalon de même type que celui contrôlé, mais comportant des défauts connus, et de ne retenir que les données représentatives d'indications d'échos représentatives de défauts connus présents dans les secondes cartes étalons et ainsi constituer des cartes de défauts ;
 - 15 - ses moyens de traitement peuvent être chargés de comparer à une amplitude seuil choisie les amplitudes des données de cartes obtenues sur l'axe à contrôler, et de ne retenir que des données représentatives d'indications d'échos dont les amplitudes sont supérieures à cette amplitude seuil et signalent des défauts, et ainsi constituer des cartes de défauts ;
 - 20 ➤ ses moyens de traitement peuvent être chargés de générer une alarme en cas de détection d'une amplitude supérieure à l'amplitude seuil ;
 - il peut comprendre un écran propre à afficher certaines au moins des cartes qui ont été constituées par ses moyens de traitement ;
 - chaque sonde peut par exemple être chargée d'émettre des ultrasons suivant une
25 unique direction d'angle variable, par exemple entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale ou transversale ;
 - en variante chaque sonde peut par exemple être du type dit à réseau de phase et être chargée d'émettre des ultrasons suivant des directions comprises dans un secteur angulaire choisi, par exemple compris entre environ 0° et environ 70° par rapport à la
30 direction longitudinale ou transversale.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe longitudinale, un exemple d'axe d'essieu tubulaire dépourvu d'équipement,
- la figure 2 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe longitudinale, une partie d'un exemple d'axe d'essieu tubulaire pourvu d'équipements,
- 5 - la figure 3 illustre de façon schématique et fonctionnelle un exemple de réalisation d'un appareil de contrôle selon l'invention,
- les figures 4A et 4B illustrent de façon schématique deux exemples de placement de sonde sur deux endroits choisis différents de la surface externe d'une partie d'une paroi d'axe (dans une vue en perspective), en vue d'une analyse longitudinale,
- 10 - la figure 5 illustre de façon schématique un exemple de placement de sonde sur un endroit choisi de la surface externe d'une partie d'une paroi d'axe (dans une vue en perspective), en vue d'une analyse transversale,
- la figure 6 illustre de façon schématique un exemple de placement de sonde sur un endroit choisi de la surface interne d'une partie d'une paroi d'axe (dans une vue en perspective), en vue d'une analyse longitudinale,
- 15 - les figures 7A à 7C représentent des premières portions d'une partie d'une paroi couvertes par trois sondes monodirectionnelles déplacées longitudinalement de la droite vers la gauche pour des angles d'émission respectivement égaux à 30°, 45° et 60° orientés selon un premier sens longitudinal,
- 20 - les figures 8A à 8C illustrent des deuxièmes portions de la partie de paroi des figures 7A à 7C couvertes par les trois mêmes sondes monodirectionnelles déplacées longitudinalement de la gauche vers la droite pour des angles d'émission respectivement égaux à 30°, 45° et 60° orientés selon un second sens longitudinal,
- les figures 9A et 9B illustrent des premières et deuxièmes portions de la partie de paroi des figures 7A à 7C couvertes par trois sondes à réseau de phase pour des secteurs angulaires compris entre 30° et 70° et respectivement orientés selon des premier et second sens longitudinaux,
- 25 - la figure 10 illustre une troisième portion d'une partie d'une paroi couverte par une sonde à réseau de phase placée sur la surface interne, pour un secteur angulaire compris entre 30° et 70° orienté selon un sens longitudinal, et
- 30 - les figures 11A et 11B illustrent deux exemples de cartes obtenues sur une même paroi d'un axe d'essieu.

Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

- 5 L'invention a pour but de permettre le contrôle non destructif et de façon au moins semi-automatique de la plus grande partie, et si possible la totalité, d'un axe d'essieu tubulaire, y compris lorsque ce dernier est pourvu d'équipements.

10 On considère dans ce qui suit que les axes tubulaires à contrôler sont destinés à faire partie d'essieux de wagons de transport de marchandise(s) ou de passagers. Mais, l'invention n'est pas limitée à cette application. Elle concerne en effet tout type de produit de révolution creux (tubulaire), soumis à des contraintes en service, comme par exemple des efforts en fatigue, et dont la paroi comprend des profils de rayons extérieur et intérieur variables et connus.

15

Comme cela est illustré sur la figure 1, un axe (d'essieu) tubulaire AE comprend une paroi PA qui est définie au moyen d'opérations de forgeage à chaud et d'usinage et qui présente au final des profils de rayons extérieur R1 et intérieur R2 variables. On notera que l'épaisseur radiale (c'est-à-dire suivant une direction perpendiculaire à l'axe longitudinal XX) n'est pas forcément constante. En d'autres termes les profils des rayons extérieur R1 et intérieur R2 ne sont pas forcément superposables à une homothétie près.

20

Le contrôle automatique d'un axe de ce type, qu'il soit dépourvu d'équipements comme dans l'exemple de la figure 1, ou qu'il soit pourvu d'équipements EQ (tels que notamment des roues et/ou des disques de frein) comme dans l'exemple de la figure 2, se fait au moyen d'un appareil de contrôle du type de celui illustré schématiquement et fonctionnellement sur la figure 3.

25

Un tel appareil comprend au moins un banc de contrôle BC, au moins une sonde à ultrasons SU (ici trois sont représentées), un module de contrôle MC et un module de traitement MT, ainsi que de préférence un écran EC. On notera que le module de contrôle MC, le module de traitement MT et l'écran EC peuvent faire partie d'un micro-

30

ordinateur (ou d'une station de travail) MO connecté au banc de contrôle BC et à chaque sonde SU, comme illustré à titre d'exemple non limitatif sur la figure 3. Dans ce qui suit on considère que l'appareil comprend au moins deux sondes SU.

- 5 Le banc de contrôle BC comprend par exemple des supports MS sur lesquels peut être placé un axe d'essieu AE (avec ou sans équipement(s)) et des arbres d'entraînement AB chargés d'entraîner ce dernier en rotation selon des portions angulaires choisies, en cas de réception d'instructions générées par le module de contrôle MC. On notera qu'une portion angulaire choisie peut être éventuellement égale à 360° , ce qui correspond à un
- 10 tour complet. On notera également que l'on peut se passer des supports MS lorsque les arbres d'entraînement AB peuvent également supporter l'axe d'essieu AE. Bien entendu, tout autre moyen permettant d'entraîner l'axe AE en rotation peut être envisagé. Il est important de noter que ce qui compte c'est le fait que le banc BC peut être chargé soit
- 15 d'entraîner en rotation l'axe AE par rapport aux sondes SU afin de définir différentes positions angulaires relatives de cet axe AE par rapport aux sondes SU, soit d'entraîner en rotation les sondes SU par rapport à l'axe AE afin de définir différentes positions angulaires relatives de cet axe AE par rapport aux sondes SU. En d'autres termes, le banc BC contrôle le positionnement relatif de l'axe AE par rapport aux sondes SU. Dans ce qui suit, on considère, à titre d'exemple non limitatif, que le banc BC peut entraîner
- 20 en rotation l'axe AE par rapport aux sondes SU.

- Les sondes à ultrasons SU peuvent être soit agencées de manière à émettre des ultrasons suivant une unique direction dont l'angle est choisi mais peut varier en fonction des besoins, soit du type dit à réseau de phase (ou « phased array »), c'est-à-dire agencées de
- 25 manière à émettre des ultrasons suivant plusieurs directions comprises dans un secteur angulaire choisi en fonction des besoins (grâce à un balayage angulaire électronique). On peut également obtenir l'équivalent d'un déplacement longitudinal du capteur au moyen d'un balayage électronique.

- 30 Dans le premier cas (monodirectionnel), chaque sonde SU comprend un unique élément de détection chargé de recevoir les échos provenant de la paroi PA objet de l'analyse. Dans le second cas (sonde à réseau de phase), chaque sonde SU comprend plusieurs

éléments de détection chargés de recevoir les échos provenant de la paroi PA objet de l'analyse après réfraction et/ou réflexions (éventuellement multiples) sous différents angles. Il est rappelé que les éléments de détection sont généralement réalisés dans un matériau composite et placés sur des transducteurs. Lorsque les éléments de détection d'une sonde sont excités, ils produisent un faisceau d'analyse divergent. La forme de ce dernier et donc sa direction générale d'incidence peuvent être modifiées électriquement en introduisant des retards temporels au niveau des instants d'excitation d'éléments de détection choisis d'une sonde. On appelle généralement « sonde virtuelle » la combinaison d'éléments de détection d'une sonde et des éventuels retards temporels associés qui sont utilisés pour produire un faisceau d'analyse dans une direction générale donnée. Une sonde à réseau de phase peut ainsi constituer plusieurs (par exemple plusieurs dizaines) sondes virtuelles en fonction des combinaisons dont elle fait l'objet. La fréquence d'excitation des transducteurs est typiquement de l'ordre de quelques mégahertz (2 à 5 MHz). Lorsqu'ils ne sont pas excités en émission, ces mêmes éléments de détection servent à la détection des échos provenant des interfaces matière/air ou matière/liquide, des imperfections et des défauts. Ils constituent ainsi des capteurs de type émetteur/récepteur.

Les profils de rayons interne R2 et externe R1 que présente la paroi PA et l'éventuel encombrement de l'axe AE sont analysés, par exemple au moyen d'un logiciel de simulation de type CIVA 8.0 (développé et commercialisé par le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA)), de manière à déterminer le nombre de sondes SU qui vont être nécessaires pour analyser l'intégralité ou une partie choisie seulement de l'axe AE, compte tenu de leur type (monodirectionnel ou à réseau de phase (et dans ce second cas de leur nombre d'éléments de détection)) et du fait qu'elles peuvent être orientées de manière à effectuer des analyses longitudinales ou transversales selon des premier et second sens opposés.

On entend ici par « analyse longitudinale » une analyse effectuée en vue de rechercher des défauts et/ou des imperfections orientés préférentiellement longitudinalement ou selon un faible angle aiguë par rapport à la direction longitudinale XX (angle aiguë typiquement inférieur à $\pm 25^\circ$, et de préférence inférieur à $\pm 5^\circ$). On emploie parfois le

terme d'obliquité pour désigner cette orientation du défaut. Cette analyse est effectuée au moyen d'un faisceau émis suivant une direction perpendiculaire à la direction longitudinale XX, c'est-à-dire dont la direction générale est sensiblement contenue dans un plan perpendiculaire à la direction longitudinale XX ou bien qui fait un faible angle aiguë (typiquement inférieur à $\pm 10^\circ$) avec cette direction perpendiculaire.

Par ailleurs, on entend ici par « analyse transversale » une analyse effectuée en vue de rechercher des défauts et/ou des imperfections orientés préférentiellement transversalement ou selon un faible angle aiguë par rapport à un plan perpendiculaire à la direction longitudinale XX (angle aiguë typiquement inférieur à $\pm 25^\circ$, et de préférence inférieur à $\pm 5^\circ$). On emploie parfois le terme d'obliquité pour désigner cette orientation du défaut. Cette analyse est effectuée au moyen d'un faisceau émis suivant une direction parallèle à la direction longitudinale XX, c'est-à-dire dont la direction générale est sensiblement contenue dans un plan qui contient lui-même la direction longitudinale XX ou bien qui fait un faible angle aiguë (typiquement inférieur à $\pm 10^\circ$) avec cette direction longitudinale.

Compte tenu des formes des profils des rayons interne R2 et externe R1 que présente habituellement la paroi PA des axes AE et de l'encombrement habituel de ces derniers, l'angle d'émission d'une sonde SU monodirectionnelle doit généralement pouvoir varier entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale XX, et le secteur angulaire d'émission d'une sonde SU à réseau de phase doit généralement être compris entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale XX.

Une fois que l'on a déterminé pour chaque sonde SU le (premier) endroit choisi où elle va devoir être initialement placée relativement à l'axe AE de manière à analyser une première portion choisie de la paroi PA dans un premier secteur angulaire choisi, orienté suivant un premier sens longitudinal ou transversal, ainsi que l'éventuel (second) endroit choisi où elle va devoir être ultérieurement placée relativement à l'axe AE de manière à analyser une deuxième portion choisie de la paroi PA dans un deuxième secteur angulaire choisi, orienté suivant un second sens longitudinal ou transversal opposé au premier sens, on peut placer les sondes SU en leurs premiers endroits choisis respectifs.

Ce placement relatif des sondes SU relativement à l'axe AE peut se faire en des premiers endroits choisis qui sont situés soit sur la surface externe SE de la paroi PA, soit sur la surface interne SI de cette paroi PA, selon les besoins (et la configuration de l'axe AE).

- 5 On peut par exemple commencer par effectuer des analyses par ultrasons en plaçant des sondes SU sur la surface externe SE de la paroi PA, puis éventuellement compléter ces analyses en plaçant ensuite des sondes SU sur la surface interne SI de la paroi PA (c'est-à-dire à l'intérieur de l'axe tubulaire AE). Mais l'inverse est également possible.
- 10 Le couplage entre les sondes SU et la surface interne SI ou externe SE d'une paroi PA peut se faire par tout moyen connu de l'homme de l'art, et notamment au moyen de glycérine ou par immersion dans de l'eau de préférence mélangée avec un produit anticorrosif.
- 15 On a représenté sur les figures 4A et 4B deux exemples de placement relatif d'une sonde SU en deux endroits choisis de la surface externe SE d'une partie d'une paroi PA d'axe AE, en vue d'une analyse longitudinale. On a également représenté sur la figure 5 un exemple de placement relatif d'une sonde SU en un endroit choisi de la surface externe SE d'une partie d'une paroi PA d'axe AE, en vue d'une analyse transversale. On a
- 20 également représenté sur la figure 6 un exemple de placement relatif d'une sonde SU en un endroit choisi de la surface interne SI d'une partie d'une paroi PA d'axe AE, en vue d'une analyse longitudinale.

Il est important de noter qu'une sonde SU peut analyser une portion qui lui a été

25 attribuée soit en restant au niveau d'un endroit choisi, soit en étant déplacée relativement et longitudinalement et/ou transversalement entre une position de départ (correspondant à l'endroit initialement choisi) et une position de fin (correspondant à un autre endroit choisi), éventuellement via une ou plusieurs positions intermédiaires (correspondant chacune à un autre endroit choisi).

30

Ces déplacements relatifs de sonde(s) SU peuvent être effectués à l'aide de moyens de déplacement MD qui leurs sont couplés. Chaque moyen de déplacement MD est par

exemple un porte-sonde monté en translation par rapport au banc BC de manière à pouvoir être déplacé longitudinalement en fonction d'instructions générées par le module de contrôle MC. On notera que chaque porte-sonde MD peut éventuellement être entraîné en rotation de manière à changer l'orientation de sa sonde SU soit de 180° de sorte qu'elle puisse passer d'une analyse longitudinale ou transversale (direction générale d'émission perpendiculaire à la direction longitudinale XX) dans un premier secteur angulaire choisi, orienté suivant un premier sens longitudinal ou transversal, à une analyse longitudinale ou transversale dans un deuxième secteur angulaire choisi, orienté suivant un deuxième sens longitudinal ou transversal opposé au premier sens, soit de 90° de sorte qu'elle puisse passer d'une analyse longitudinale dans des premier et deuxième secteurs angulaires choisis à une analyse transversale dans un troisième secteur angulaire choisi, et inversement. On peut également envisager d'effectuer une analyse résultant d'un déplacement combiné longitudinal et transversal.

On notera que les sondes SU peuvent être fixes tandis que le banc BC peut déplacer longitudinalement l'axe AE et/ou l'entraîner en rotation. Il est également possible de déplacer les sondes SU longitudinalement par rapport à l'axe AE et d'entraîner ce dernier en rotation, ou l'inverse.

Dans une variante, le module de contrôle MC peut être chargé d'effectuer un balayage électronique avec certaines au moins des sondes SU afin qu'elles analysent une partie au moins des premières, deuxièmes et éventuelles troisièmes portions d'une paroi PA. Il est rappelé qu'un balayage électronique est obtenu pour une sonde SU en utilisant certains de ces éléments de détection situés à des emplacements choisis de son réseau de phase et en attribuant des délais choisis à ces éléments de détection choisis de sorte qu'ils émettent séquentiellement. Ce mode de déplacement « électronique » est avantageux car il évite d'avoir à déplacer mécaniquement une sonde SU.

On notera que l'on peut également envisager de combiner à la fois un déplacement longitudinal (mécanique) et un balayage électronique afin de permettre à certaines au moins des sondes SU d'analyser une portion de paroi qui leur a été attribué. Dans ce cas, c'est le module de contrôle MC qui peut être chargé de générer les instructions

nécessaires aux moyens de déplacement MD pour déplacer relativement et longitudinalement des sondes SU choisies et les instructions nécessaires à des sondes SU choisies pour induire un balayage électronique.

- 5 On notera également que la solution utilisée pour analyser toute une portion de paroi PA choisie dépend du type de sonde SU disponible et en outre, dans le cas de sondes à réseau de phase, du nombre d'éléments de détection qui les constituent. En effet, on comprendra que si le nombre d'éléments de détection d'une sonde SU est adapté à la couverture de la portion de paroi PA qui lui a été attribuée, il est inutile de prévoir un
- 10 déplacement longitudinal mécanique car on peut lui substituer un balayage électronique. A titre d'exemple, si une sonde SU doit couvrir une portion de paroi PA d'extension longitudinale égale à 100 mm, alors elle doit comporter au moins 200 éléments de détection de 0,5 mm de côté, par exemple séparés deux à deux d'une distance égale à environ 0,1 mm. Il est rappelé que plus les dimensions des éléments de détection sont
- 15 petites, plus les secteurs angulaires d'analyse peuvent être larges. Un compromis peut être trouvé entre le nombre d'éléments de détection des sondes SU et les possibilités d'extension de couverture offertes par le balayage électronique, de manière à éviter les déplacements longitudinaux mécaniques.
- 20 On notera également que l'utilisation de sondes à réseau de phase est plus avantageuse que celle de sondes monodirectionnelles car elle permet d'obtenir une meilleure continuité sur un même secteur angulaire d'analyse tout en évitant tout déplacement angulaire de la source d'ultrasons.
- 25 Selon l'invention, une fois que les sondes SU ont été placées sur la surface externe SE ou interne SI d'une paroi PA en des premiers endroits (choisis en fonction de ses profils et de l'éventuel encombrement de l'axe AE), chacune de ses sondes SU procède à l'analyse de la première portion de la paroi PA qui lui a été attribuée, dans un premier secteur angulaire choisi qui est orienté suivant un premier sens longitudinal ou transversal.
- 30 Chaque sonde SU peut ainsi acquérir des données d'analyse pour la position angulaire courante relative de l'axe AE par rapport à ladite sonde SU. En entraînant l'axe AE en rotation sur des secteurs angulaires successifs choisis (ici au moyen du banc de contrôle

BC et par exemple avec ses arbres d'entraînement AB), chaque sonde SU peut effectuer une nouvelle acquisition de données d'analyse après chaque déplacement angulaire. On peut ainsi disposer de données d'analyse relatives à l'intégralité de la circonférence de chaque première portion de paroi PA inspectée.

5

Ces données d'analyse comprennent par exemple les angles d'émission, les instants d'émission et de réception des ultrasons (ou ce qui est équivalent les intervalles temporels entre les instants d'émission et de réception), et les angles de réception. Elles sont par exemple transmises par les sondes SU au module de contrôle MC qui se charge de les stocker dans une mémoire MY en correspondance des positions longitudinales et angulaires des premières portions inspectées par rapport à un référentiel choisi, ainsi qu'éventuellement de l'identifiant de la sonde SU utilisée pour les obtenir.

10

Ensuite, certaines au moins des sondes SU sont replacées (relativement) sur la surface externe SE ou interne SI de la paroi PA en des deuxième endroits (choisis en fonction de ses profils et de l'éventuel encombrement de l'axe AE) afin qu'elles procèdent à l'analyse des deuxième portions de la paroi PA qui leur ont été respectivement attribuées, dans des deuxième secteurs angulaires choisis qui sont orientés suivant un second sens longitudinal ou transversal, opposé au premier sens.

15
20

Par exemple, si le premier sens correspond à un sens allant de la gauche vers la droite de l'axe longitudinal XX, alors le second sens correspond à un sens allant de la droite vers la gauche dudit axe longitudinal XX. De même, si le premier sens correspond à un sens allant de la gauche vers la droite d'un second axe perpendiculaire à l'axe longitudinal XX, alors le second sens correspond à un sens allant de la droite vers la gauche dudit second axe.

25

Chaque sonde SU remplacée peut ainsi acquérir des données d'analyse pour la position angulaire courante de l'axe AE. En entraînant l'axe AE en rotation sur des secteurs angulaires choisis, chaque sonde SU peut effectuer une nouvelle acquisition de données d'analyse après chaque déplacement angulaire. On peut ainsi disposer de données d'analyse relatives à l'intégralité de la circonférence de chaque deuxième portion de

30

paroi PA inspectée. Ces données d'analyse sont par exemple transmises par les sondes SU au module de contrôle MC qui se charge de les stocker dans une mémoire en correspondance des positions longitudinales et angulaires des deuxièmes portions inspectées par rapport à un référentiel choisi, ainsi qu'éventuellement de l'identifiant de la sonde SU utilisée pour les obtenir.

Grâce à cette double analyse selon des sens opposés, on peut inspecter tout ou partie d'un axe d'essieu AE (selon les besoins), comme cela ressort des figures 7 à 10. Plus précisément :

- 10 - les figures 7A à 7C représentent les premières portions d'une partie d'une paroi qui peuvent être couvertes par trois sondes monodirectionnelles, placées sur la surface externe SE et déplacées relativement et longitudinalement de la droite vers la gauche, pour des angles d'émission respectivement égaux à 30°, 45° et 60° orientés selon un premier sens longitudinal (allant de la droite vers la gauche),
- 15 - les figures 8A à 8C représentent les deuxièmes portions de cette même partie de paroi qui peuvent être couvertes par les trois mêmes sondes monodirectionnelles, placées sur la surface externe SE et déplacées relativement et longitudinalement de la gauche vers la droite, pour des angles d'émission respectivement égaux à 30°, 45° et 60° orientés selon un second sens longitudinal (allant de la gauche vers la droite),
- 20 - la figure 9A représente les premières portions de cette même partie de paroi qui peuvent être couvertes par trois sondes à réseau de phase, placées sur la surface externe SE, pour un secteur angulaire compris entre 30° et 70° orienté selon un premier sens longitudinal (allant de la droite vers la gauche),
 - la figure 9B représente les deuxièmes portions de cette même partie de paroi qui
- 25 peuvent être couvertes par les trois mêmes sondes à réseau de phase, placées sur la surface externe SE, pour un secteur angulaire compris entre 30° et 70° orienté selon un second sens longitudinal (allant de la gauche vers la droite), et
 - la figure 10 représente les troisièmes portions de cette même partie de paroi qui
- 30 peuvent être couvertes par une sonde à réseau de phase, placée sur la surface interne SI, pour un secteur angulaire compris entre 30° et 70° orienté selon un sens longitudinal (allant de la gauche vers la droite).

Compte tenu des formes des profils des rayons interne R2 et externe R1 que présente habituellement la paroi PA des axes AE et de l'encombrement habituel de ces derniers, l'angle d'émission d'une sonde SU monodirectionnelle doit généralement pouvoir varier entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale XX ou transversale, et le secteur angulaire d'émission d'une sonde SU à réseau de phase doit
5 généralement être compris entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale XX ou transversale.

Sur les exemples des figures 7 à 10 chaque flèche à double sens matérialise l'extension
10 longitudinale de la (première) portion analysée par une sonde SU (placée au dessus). On comprendra que l'encombrement d'un axe d'essieu AE réduit notablement, dans certaines de ses parties, les extensions longitudinales des portions qui peuvent être techniquement analysées (couvertes) par une même sonde SU. C'est en particulier le cas dans les parties qui sont situées sous les roues, lesquelles ont une probabilité plus
15 importante de comporter des défauts structurels induits par l'emmanchement à force et/ou par les charges supportées, et donc doivent faire l'objet d'une inspection (analyse) la plus précise possible et la plus complète possible.

Les données d'analyse stockées sont extraites par le module de traitement MT, qui se
20 charge alors de les regrouper en fonction des zones d'axe qu'elles concernent de manière à constituer des cartes qui représentent les orientations transversales ou longitudinales et les positions des indications d'échos au sein de la paroi PA.

Il est rappelé que les indications d'échos résultent d'une réflexion soit sur une interface
25 matière/air ou matière/liquide, soit sur une imperfection, soit encore sur un défaut.

Il est également rappelé que les analyses longitudinales sont plus particulièrement adaptées à la détection d'imperfections et de défauts transversaux (qui sont généralement les plus fréquents), tandis que les analyses transversales sont plus particulièrement
30 adaptées à la détection d'imperfections et de défauts longitudinaux.

Le fait d'inspecter des matériaux selon deux sens opposés et donc selon des directions d'analyse très différentes permet de détecter des imperfections et des défauts de plus petites dimensions, et donc un plus grand nombre d'imperfections et de défauts qu'avec les procédés et appareils de contrôle de l'art antérieur adaptés aux axes pleins (ou massifs). Mais cela permet également une bonne détection des imperfections et des défauts obliques et inclinés (ou « tiltés ») à l'intérieur de la paroi PA.

On notera que le module de traitement MT peut éventuellement être agencé de manière à effectuer des « corrélations » entre données d'analyse relatives à des zones identiques constituant les zones de recouvrement de première(s) et/ou deuxième(s) portions de paroi. Ils peuvent ainsi constituer des cartes « brutes » de ces zones de recouvrement, éventuellement de type tridimensionnel (3D).

Les fichiers de données constituant les cartes brutes sont de préférence stockés dans une mémoire MY. Ces cartes peuvent alors être soit affichées de façon individualisée (les unes après les autres) ou de façon groupée (plusieurs en même temps) sur l'écran EC en vue d'une analyse par un technicien, soit d'abord analysées de façon automatisée, puis converties en cartes « corrigées » ou cartes « de défauts » qui peuvent être affichées sur l'écran EC de façon individualisée ou de façon groupée.

Plusieurs types d'analyses comparatives peuvent être effectuées sur les cartes « brutes ».

Par exemple, le module de traitement MT peut être chargé de comparer les données de certaines au moins des cartes, qui ont été obtenues sur un axe AE à contrôler, à des données de premières cartes étalons qui ont été obtenues sur un premier axe étalon du même type que celui contrôlé, mais dépourvu de défauts. Dans ce cas, le module de traitement MT ne retient que les données qui sont représentatives d'indications d'échos qui ne sont pas présentes dans les premières cartes étalons, afin de constituer des cartes corrigées qu'il stocke dans la mémoire MY.

En variante ou en complément, le module de traitement MT peut être chargé de comparer les données de certaines au moins des cartes (brutes ou corrigées) qui ont été

obtenues sur un axe AE à des données de secondes cartes étalons qui ont été obtenues sur un second axe étalon de même type que celui contrôlé, mais comportant des défauts connus. Dans ce cas, le module de traitement MT ne retient que les données qui sont représentatives d'indications d'échos représentatives de défauts connus présents dans les secondes cartes étalons, afin de constituer des cartes de défauts qu'il stocke dans la mémoire MY.

En variante ou en complément, le module de traitement MT peut être chargé de comparer à une amplitude seuil choisie les amplitudes des indications d'échos représentées sur certaines au moins des cartes. Dans ce cas, le module de traitement MT ne retient que les données qui sont représentatives d'indications d'échos dont les amplitudes sont supérieures à l'amplitude seuil choisie et qui de ce fait sont censées être issues de défauts, afin de constituer des cartes de défauts.

Par ailleurs, on peut également envisager que le module de traitement MT génère une alarme (sonore et/ou visuelle (affichée sur l'écran EC)) chaque fois qu'il détecte qu'une amplitude est supérieure à l'amplitude seuil choisie.

On a représenté sur les figures 11A et 11B deux exemples de cartes brutes obtenues sur une même paroi PA d'axe d'essieu AE. Les défauts structurels détectés sont référencés DS.

Comme indiqué précédemment, on peut analyser une paroi PA en plaçant les sondes SU sur sa surface externe SE ou bien sur sa surface interne SI. Mais, on peut également envisager d'effectuer une double analyse, par exemple en commençant par placer les sondes SU sur sa surface externe SE puis en plaçant certaines des sondes SU sur sa surface interne SI. Plus précisément, dans ce cas on place les sondes SU sur la surface externe SE de la paroi PA en des premiers endroits choisis et on analyse avec ces sondes SU des premières portions choisies de la paroi PA dans des premiers secteurs angulaires choisis, orientés suivant un premier sens longitudinal (ou transversal), afin d'acquérir des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe AE par rapport aux sondes SU. Puis, on replace certaines au moins des sondes SU sur la surface externe

SE de la paroi PA en des deuxièmes endroits choisis et on analyse avec ces sondes SU des deuxièmes portions choisies de la paroi PA dans des deuxièmes secteurs angulaires choisis, orientés suivant un second sens longitudinal (ou transversal), opposé au premier, afin d'acquérir des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe AE par rapport aux sondes SU. Enfin, on place certaines au moins des sondes SU sur la surface interne SI de la paroi PA en des troisièmes endroits choisis et on analyse avec ces sondes SU des troisièmes portions choisies de la paroi PA dans des troisièmes secteurs angulaires choisis, orientés suivant au moins un sens longitudinal (ou transversal), voire même deux sens opposés, afin d'acquérir des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives de l'axe AE par rapport aux sondes SU.

Le module de traitement MT constitue alors, à partir de l'ensemble des données d'analyse, des cartes représentatives des positions et orientations des indications d'échos au sein de la paroi PA.

Cette double analyse par l'extérieur et par l'intérieur peut permettre de couvrir la totalité des portions d'une paroi PA à inspecter, alors que cela peut s'avérer impossible au moyen de la seule analyse par l'extérieur, du fait des profils de cette paroi PA et/ou de l'encombrement de l'axe AE.

Il est également possible d'effectuer une première analyse longitudinale dans les deux sens (comme indiqué ci-dessus) et par l'extérieur (ou l'intérieur), puis une seconde analyse transversale dans au moins un sens et par l'extérieur (ou par l'intérieur), de manière à constituer des cartes représentatives des orientations transversales et positions des indications d'échos au sein de la paroi PA et des cartes représentatives des orientations longitudinales et positions des indications d'échos au sein de cette même paroi PA.

Il est également possible d'effectuer une première analyse longitudinale dans les deux sens et par l'extérieur, puis une seconde analyse transversale dans au moins un sens et par l'intérieur.

Il est également possible d'effectuer une première analyse transversale dans les deux sens et par l'intérieur, puis une seconde analyse dans au moins un sens et par l'extérieur.

5 D'une manière générale, toutes les combinaisons d'analyses longitudinale(s) et transversale(s) par l'intérieur et par l'extérieur peuvent être envisagées.

On notera que les analyses par l'intérieur peuvent dans certains cas nécessiter un réalésage au moins des extrémités de l'axe d'essieu tubulaire AE, de manière à permettre le placement d'au moins une sonde SU à l'intérieur de cet axe AE, contre la surface
10 interne SI de sa paroi PA, ainsi que son éventuel déplacement relatif par des moyens de déplacement MD appropriés.

On notera également que les endroits de placement des sondes SU, les différents angles ou différents secteurs angulaires d'analyse par ultrasons de chacune des sondes SU et les
15 portions de paroi attribuées aux différentes sondes peuvent éventuellement être choisis en fonction de contrainte(s). Ainsi, on peut envisager qu'une partie d'un contrôle soit faite avec un faisceau dont la direction générale est sensiblement contenue dans un plan qui contient lui-même la direction longitudinale XX et sur des portions de paroi présentant deux à deux des taux de recouvrement choisis, par exemple 50%, et/ou qu'une
20 partie d'un contrôle soit faite avec des faisceaux successifs dont les directions générales sont sensiblement contenues dans des plans qui font des angles aiguës avec cette direction longitudinale XX qui croissent entre 0° et $+20^\circ$ et entre 0° et -20° . Par ailleurs, l'angle d'inclinaison des éléments de détection d'une sonde SU peut être choisi en fonction des besoins. A titre d'exemple non limitatif, un angle de 45° par rapport à la
25 direction longitudinale XX peut être choisi.

On notera également, comme le sait l'homme de l'art, que le gain de chaque transducteur doit faire l'objet d'un ajustement pendant une phase de calibration, par exemple pour que l'amplitude du signal obtenu sur le premier écho provenant d'une interface de la paroi
30 PA corresponde à une amplitude égale par exemple à environ 50% de la dynamique totale d'amplitude utilisée pour les cartes.

Par ailleurs, la phase de calibration comporte également de préférence une première partie dédiée à l'obtention des cartes étalons précitées, qui sont représentatives des résultats d'analyses par ultrasons effectuées sur un axe d'essieu tubulaire étalon du même type que ceux devant faire l'objet d'un contrôle, mais sain (c'est-à-dire dépourvu d'imperfections et de défauts structurels). Cette première partie de la phase de calibration permet en effet de connaître à l'avance les échos qui sont induits par la géométrie de la paroi PA (et notamment les coins et plus généralement les zones dans lesquelles le rayon intérieur R2 ou extérieur R1 varie de façon importante) et ainsi de les différencier de ceux qui sont induits par les imperfections et défauts structurels dans les axes d'essieu tubulaires AE à contrôler.

De même, la phase de calibration peut également comporter une seconde partie dédiée à l'obtention des cartes étalons précitées, qui sont représentatives des résultats d'analyses par ultrasons effectuées sur un axe d'essieu tubulaire étalon du même type que ceux devant faire l'objet d'un contrôle, mais lequel étalon comprend des défauts structurels ou artificiels caractéristiques (comme par exemple des encoches ou cavités caractéristiques) définis en des endroits choisis. Ces défauts structurels ou artificiels caractéristiques sont définis selon un cahier des charges et/ou des normes qui fixent un seuil de tri entre des imperfections et des défauts. Lorsque l'amplitude du signal provenant des échos sur des défauts naturels est inférieure au seuil de tri on est en présence d'une imperfection. Dans le cas contraire (supérieure au seuil) on est en présence d'un défaut. Cette seconde partie de la phase de calibration permet en effet de connaître à l'avance les échos qui sont induits par des défauts structurels ou artificiels caractéristiques et ainsi de pouvoir plus facilement détecter dans les cartes, par comparaison à un seuil de tri, les « objets » qui induisent des échos (ou signatures) de types similaires dans les axes d'essieu tubulaires AE à contrôler.

Une fois que l'on a terminé l'analyse longitudinale et/ou transversale par ultrasons d'un axe d'essieu tubulaire AE, il est ensuite possible d'effectuer au moins une analyse complémentaire d'un autre type. Par exemple, on peut effectuer une analyse de la surface externe SE de la paroi PA afin d'acquérir des données d'analyse de surface pour différentes positions relatives de l'axe AE par rapport aux moyens d'analyse de surface.

Parmi les techniques d'analyse de surface qui peuvent être utilisées, on peut notamment citer celle dite du flux de fuite et celle dite des courants de Foucault. Certaines de ces techniques sont avantageuses du fait qu'elles fournissent des données d'analyse de surface à partir desquelles on peut réaliser des cartes représentatives des positions et orientations des défauts de surface de la paroi PA. Les fichiers de données constituant ces cartes de défauts de surface sont de préférence stockés dans une mémoire MY afin que lesdites cartes de défauts de surface puissent être affichées de façon individualisée (les unes après les autres) ou de façon groupée (plusieurs en même temps), éventuellement avec des cartes de défauts structurels (obtenues par ultrasons), sur l'écran EC en vue d'une analyse par un technicien et/ou d'une confrontation aux cartes obtenues avec les sondes SU. Cela peut également permettre une comparaison automatique par l'appareil de cartes de défauts de surface et de cartes obtenues par ultrasons.

On notera que l'on peut également effectuer une analyse de surface de type MPI (« Magnetic Particle Inspection » - inspection avec des particules magnétisées). Il est rappelé que cette technique consiste à recouvrir la surface externe SE d'une paroi PA au moyen de particules magnétiques et d'un révélateur, puis à magnétiser la paroi à inspecter, puis à observer (avec les yeux) de manière visuelle sous une lumière UV (ultra-violette) les irrégularités d'orientation de ces particules magnétiques, irrégularités d'orientation liées à la présence de défauts ou d'imperfections. L'inconvénient de cette technique d'analyse de surface réside dans le fait qu'elle ne permet pas, aujourd'hui, de fournir des cartes de défauts de surface, et donc qu'elle repose exclusivement sur l'observation visuelle du technicien effectuant le contrôle de l'axe AE, et nécessite ensuite une comparaison visuelle et non automatique avec les cartes obtenues par ultrasons. On est alors tributaire de l'interprétation de l'opérateur et de ses aléas.

On notera également que les cartes dont il a été question ci-avant peuvent être de tout type connu de l'homme de l'art, et notamment de type A-Scan, B-Scan, C-Scan, D-Scan, S-Scan (ou Sector Scan). A titre d'exemple purement illustratif, on peut par exemple constituer des cartes de type C-Scan (qui fournissent une représentation de localisation

de l'imperfection par rapport à la géométrie de la pièce) ainsi qu'éventuellement des cartes de type S-Scan (qui fournissent des indications de localisation dans le volume, à position de sonde fixée).

- 5 Grâce à l'invention, il est possible de détecter des imperfections et des défauts d'environ 2 mm d'épaisseur (c'est-à-dire d'environ 5% de l'épaisseur nominale de la paroi PA dans la direction radiale), d'environ 5 mm de long et d'environ 1 mm de large. Par ailleurs, des imperfections et des défauts longitudinaux et transversaux présentant une obliquité selon des angles aigus typiquement inférieurs à $\pm 25^\circ$ et de préférence inférieurs
- 10 à $\pm 5^\circ$ peuvent être détectés. En outre, des cavités (ou « flaws ») longitudinales ou transversales présentant des angles de désorientation (ou « tilt angles ») pouvant aller jusqu'à environ 60° peuvent être détectés.

- L'invention ne se limite pas aux exemples de procédé et d'appareil de contrôle d'axes
- 15 d'essieu tubulaires décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

Revendications

1. Procédé de contrôle d'axes d'essieu au moyen de sonde(s) à ultrasons, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - 5 a) placer sur un banc de contrôle (BC) un axe d'essieu tubulaire (AE) comportant une paroi (PA) présentant des profils de rayons extérieur et intérieur variables et connus,
 - b) placer au moins une sonde à ultrasons (SU) sur la surface externe (SE) ou interne (SI) de ladite paroi (PA) en un premier endroit choisi en fonction de ses profils et
10 d'un éventuel encombrement dudit axe (AE), puis analyser avec chaque sonde (SU) une première portion choisie de ladite paroi (PA) dans un premier secteur angulaire choisi, orienté suivant un premier sens longitudinal ou transversal, de manière à acquérir des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à la sonde (SU),
 - 15 c) replacer au moins une sonde (SU) en au moins un deuxième endroit choisi en fonction des profils de la paroi (PA) et dudit éventuel encombrement de l'axe (AE), puis analyser avec chaque sonde (SU) une deuxième portion choisie de ladite paroi (PA) dans un deuxième secteur angulaire choisi, orienté suivant un
20 second sens opposé audit premier sens, de manière à acquérir d'autres données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à la sonde (SU),
 - d) constituer à partir desdites données d'analyse acquises des cartes représentatives des orientations transversales ou longitudinales et des positions d'indications d'échos au sein de ladite paroi (PA).
- 25 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on effectue une première fois les étapes b) à d) en plaçant chaque sonde à ultrasons (SU) sur la surface externe (SE) de ladite paroi (PA) de manière à constituer des cartes représentatives des positions et orientations des indications d'échos au sein de ladite paroi (PA), puis on
30 effectue une seconde fois au moins les étapes b) et d) en plaçant au moins une sonde à ultrasons (SU) sur la surface interne (SI) de ladite paroi (PA) en au moins un troisième endroit, choisi en fonction de ses profils, puis en analysant avec chaque

sonde (SU) une troisième portion choisie de ladite paroi (PA) dans un troisième secteur angulaire choisi, orienté suivant au moins un sens longitudinal ou transversal choisi, de manière à acquérir des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à la sonde (SU), et à constituer des cartes représentatives des positions et orientations des indications d'échos au sein de ladite paroi (PA).

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'on effectue les étapes b) à d) au moins une fois en plaçant chaque sonde à ultrasons (SU) sur la surface externe (SE) ou interne (SI) de ladite paroi (PA) de manière à effectuer une analyse ultrasonore dans un secteur angulaire orienté suivant une direction longitudinale, et ainsi constituer des cartes représentatives des orientations transversales et des positions des indications d'échos au sein de ladite paroi (PA), puis on effectue de nouveau les étapes b) à d) encore au moins une fois en plaçant au moins une sonde à ultrasons (SU) sur la surface externe (SE) ou interne (SI) de ladite paroi (PA) de manière à effectuer une analyse ultrasonore dans un secteur angulaire orienté suivant une direction transversale et ainsi constituer des cartes représentatives des orientations longitudinales et des positions des indications d'échos au sein de ladite paroi (PA).
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'après avoir effectué une étape d) on prévoit une étape e) dans laquelle on effectue une analyse d'au moins la surface externe (SE) de ladite paroi (PA), au moyen d'une autre technique d'analyse différente de celle basée sur les ultrasons, de manière à acquérir des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à une sonde (SU).
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'après avoir effectué une étape e) on effectue une étape f) dans laquelle on constitue à partir de ces données d'analyse acquises des cartes représentatives des positions et orientations des indications de surface de ladite paroi (PA).

6. Procédé selon l'une des revendications 4 et 5, caractérisé en ce que ladite autre technique d'analyse est choisie dans un groupe comprenant la technique dite du flux de fuite et la technique dite des courants de Foucault.
- 5 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'on analyse chacune des premières, deuxièmes et éventuelles troisièmes portions de ladite paroi au moyen d'un déplacement longitudinal relatif d'au moins une sonde (SU) par rapport audit axe (AE) et/ou au moyen d'un balayage électronique avec au moins une sonde (SU).
- 10 8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'à l'une au moins desdites étapes b), c) et e) on obtient les différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à une sonde (SU) en entraînant en rotation ledit axe (AE) par rapport à une sonde (SU).
- 15 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'à l'une au moins desdites étapes b), c) et e) on obtient les différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à une sonde (SU) en entraînant en rotation au moins une sonde (SU) par rapport audit axe (AE).
- 20 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend une étape g) dans laquelle on compare les données des cartes obtenues lors d'une étape d) à des données de premières cartes étalons obtenues sur un premier axe étalon de même type que celui contrôlé, mais dépourvu de défauts, de manière à ne retenir que
25 les données représentatives d'indications d'échos qui ne sont pas présentes dans lesdites premières cartes étalons et ainsi constituer des cartes corrigées.
- 30 11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'il comprend une étape h) dans laquelle on compare les données des cartes obtenues lors d'une étape d) ou g) à des données de secondes cartes étalons obtenues sur un second axe étalon de même type que celui contrôlé, mais comportant des défauts connus, de manière à ne retenir que les données représentatives d'indications d'échos représentatives de

défauts connus présents dans lesdites secondes cartes étalons, et ainsi constituer des cartes de défauts.

- 5
12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend une étape i) dans laquelle on compare à une amplitude seuil choisie les amplitudes des données des cartes obtenues lors d'une étape d) ou g) de manière à ne retenir que des données représentatives d'indications d'échos dont les amplitudes sont supérieures à ladite amplitude seuil et signalent des défauts, et ainsi constituer des cartes de défauts.
- 10
13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'en cas de détection d'une amplitude supérieure à ladite amplitude seuil on génère une alarme.
- 15
14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend une étape j) dans laquelle on affiche au moins une carte sur un écran (EC).
- 20
15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que l'on utilise des sondes (SU) propres à émettre des ultrasons suivant une unique direction d'angle variable.
- 25
16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que ledit angle varie entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale ou transversale.
- 30
17. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que l'on utilise des sondes (SU) du type dit à réseau de phase, propres à émettre des ultrasons suivant des directions comprises dans un secteur angulaire choisi.
18. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que ledit secteur angulaire est compris entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale ou transversale.

19. Appareil de contrôle d'axes d'essieu, caractérisé en ce qu'il comprend i) un banc de contrôle (BC) agencé pour recevoir un axe d'essieu tubulaire (AE) comportant une paroi (PA) présentant des profils de rayons extérieur et intérieur variables et connus, ii) au moins une sonde à ultrasons (SU) agencée pour analyser au moins une portion choisie de ladite paroi (PA) dans un secteur angulaire choisi et ainsi acquérir des données d'analyse, iii) des moyens de contrôle (MC) agencés pour piloter ledit banc de contrôle (BC) de manière à placer chaque sonde (SU) sur la surface externe (SE) ou interne (SI) de ladite paroi (PA) en un premier endroit choisi en fonction de ses profils et d'un éventuel encombrement dudit axe de sorte qu'elle analyse au moins une première et au moins une deuxième portions choisies de ladite paroi (PA) respectivement dans au moins un premier et au moins un deuxième secteurs angulaires choisis, orientés suivant des premier et second sens longitudinaux ou transversaux opposés, et qu'elle acquière ainsi des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à une sonde (SU), iv) des moyens de traitement (MT) agencés pour constituer à partir desdites données d'analyse acquises des cartes représentatives des orientations transversales ou longitudinales et des positions d'indications d'échos au sein de ladite paroi (PA).
20. Appareil selon la revendication 19, caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle (MC) sont agencés pour contrôler une première fois le déplacement relatif d'au moins une sonde (SU) par rapport à la surface externe (SE) de ladite paroi (PA) de sorte qu'elle acquière des données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à elle (SU), puis pour contrôler une seconde fois le déplacement relatif d'au moins une sonde (SU) par rapport à la surface interne (SI) de ladite paroi (PA) de sorte qu'elle analyse au moins une troisième portion choisie de ladite paroi (PA) dans au moins un troisième secteur angulaire choisi, orienté suivant un sens longitudinal ou transversal choisi et qu'elle acquière ainsi d'autres données d'analyse pour différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à elle (SU), et en ce que lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour constituer à partir desdites données d'analyse acquises des cartes représentatives des positions et orientations d'indications d'échos au sein de ladite paroi (PA).

21. Appareil selon l'une des revendications 19 et 20, caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle (MC) sont agencés i) pour contrôler au moins une première fois le déplacement relatif d'au moins une sonde (SU) par rapport à la surface externe (SE) ou interne (SI) de ladite paroi (PA) de sorte qu'elle effectue une analyse ultrasonore dans un secteur angulaire orienté suivant une direction longitudinale, et qu'elle acquière des données d'analyse à partir desquelles lesdits moyens de traitement (MT) vont constituer des cartes représentatives des orientations transversales et des positions des indications d'échos, puis ii) pour contrôler au moins une seconde fois le déplacement relatif d'au moins une sonde (SU) par rapport à la surface externe (SE) ou interne (SI) de ladite paroi (PA) de sorte qu'elle effectue une analyse ultrasonore dans un secteur angulaire orienté suivant une direction transversale, et qu'elle acquière des données d'analyse à partir desquelles lesdits moyens de traitement (MT) vont constituer des cartes représentatives des orientations longitudinales et des positions des indications d'échos.
22. Appareil selon l'une des revendications 19 à 21, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'analyse de surface agencés pour analyser au moins la surface externe (SE) de ladite paroi (PA), au moyen d'une autre technique d'analyse différente de celle basée sur les ultrasons, de manière à acquérir des données d'analyse pour différentes positions relatives dudit axe (AE) par rapport à une sonde (SU).
23. Appareil selon la revendication 22, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour constituer à partir de ces données d'analyse acquises par lesdits moyens d'analyse de surface (MAS) des cartes représentatives des positions et orientations des indications de surface de ladite paroi (PA).
24. Appareil selon l'une des revendications 22 et 23, caractérisé en ce que lesdits moyens d'analyse de surface sont choisis dans un groupe comprenant des moyens d'analyse de flux de fuite et des moyens d'analyse par courants de Foucault.

25. Appareil selon l'une des revendications 19 à 24, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de déplacement (MD) agencés pour déplacer relativement selon la direction longitudinale au moins une sonde (SU) par rapport audit axe (AE), et en ce que lesdits moyens de contrôle (MC) sont agencés pour contrôler lesdits moyens de déplacement (MD) de sorte qu'ils déplacent longitudinalement et relativement au moins une sonde (SU) par rapport audit axe (AE) pour qu'elle analyse une partie au moins desdites premières, deuxièmes et éventuelles troisièmes portions de ladite paroi (PA).
26. Appareil selon l'une des revendications 19 à 25, caractérisé en ce que lesdits moyens de contrôle (MC) sont agencés pour effectuer un balayage électronique avec au moins une sonde (SU) pour qu'elle analyse une partie au moins desdites premières, deuxièmes et éventuelles troisièmes portions de ladite paroi (PA).
27. Appareil selon l'une des revendications 19 à 26, caractérisé en ce que ledit banc (BC) est agencé pour entraîner en rotation ledit axe (AE) par rapport à chaque sonde (SU) de manière à définir les différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à chaque sonde (SU).
28. Appareil selon l'une des revendications 19 à 27, caractérisé en ce que ledit banc (BC) est agencé pour entraîner en rotation au moins une sonde (SU) par rapport audit axe (AE) de manière à définir les différentes positions angulaires relatives dudit axe (AE) par rapport à la sonde (SU).
29. Appareil selon l'une des revendications 19 à 28, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour comparer les données de cartes obtenues sur ledit axe (AE) à contrôler à des données de premières cartes étalons obtenues sur un premier axe étalon de même type que celui contrôlé, mais dépourvu de défauts, et pour ne retenir que les données représentatives d'indications d'échos qui ne sont pas présentes dans lesdites premières cartes étalons et ainsi constituer des cartes corrigées.

30. Appareil selon l'une des revendications 19 à 29, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour comparer les données de cartes obtenues sur ledit axe (AE) à contrôler à des données de secondes cartes étalons obtenues sur un second axe étalon de même type que celui contrôlé, mais comportant des défauts connus, et pour ne retenir que les données représentatives d'indications d'échos représentatives de défauts connus présents dans lesdites secondes cartes étalons, et ainsi constituer des cartes de défauts.
31. Appareil selon l'une des revendications 19 à 30, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour comparer à une amplitude seuil choisie les amplitudes des données de cartes obtenues sur ledit axe (AE) à contrôler, et pour ne retenir que des données représentatives d'indications d'échos dont les amplitudes sont supérieures à ladite amplitude seuil et signalent des défauts, et ainsi constituer des cartes de défauts.
32. Appareil selon la revendication 31, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour générer une alarme en cas de détection d'une amplitude supérieure à ladite amplitude seuil.
33. Appareil selon l'une des revendications 19 à 32, caractérisé en ce qu'il comprend un écran (EC) propre à afficher certaines au moins desdites cartes constituées par lesdits moyens de traitement (MT).
34. Appareil selon l'une des revendications 19 à 33, caractérisé en ce que lesdites sondes (SU) sont propres à émettre des ultrasons suivant une unique direction d'angle variable.
35. Appareil selon la revendication 34, caractérisé en ce que ledit angle varie entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale ou transversale.

36. Appareil selon l'une des revendications 19 à 33, caractérisé en ce que lesdites sondes (SU) sont du type dit à réseau de phase et sont propres à émettre des ultrasons suivant des directions comprises dans un secteur angulaire choisi.
- 5 37. Appareil selon la revendication 36, caractérisé en ce que ledit secteur angulaire est compris entre environ 0° et environ 70° par rapport à la direction longitudinale ou transversale.

1/4

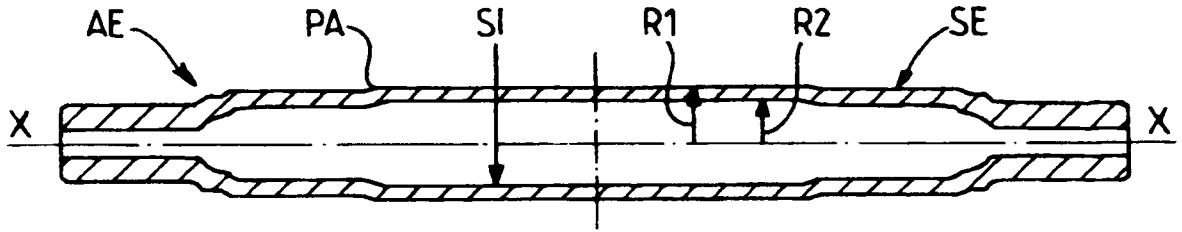


FIG. 1

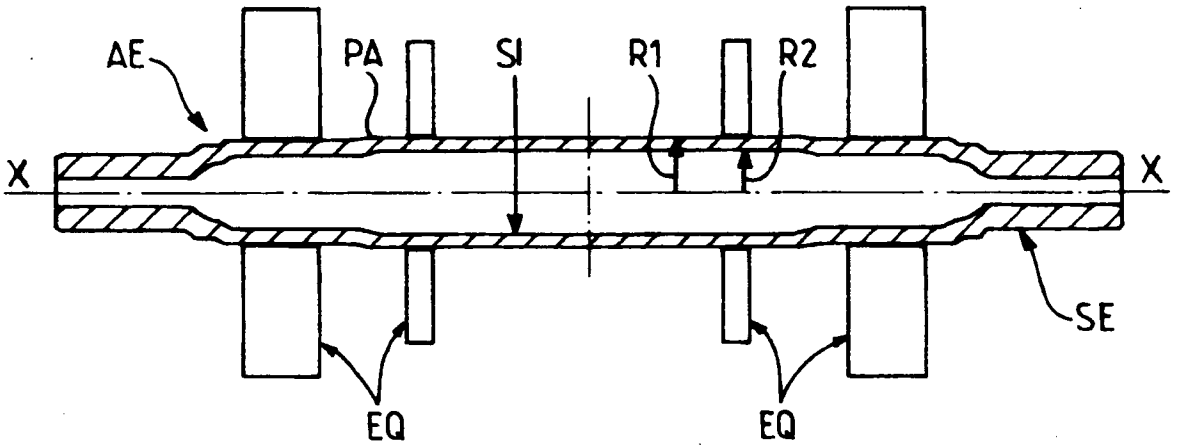


FIG. 2

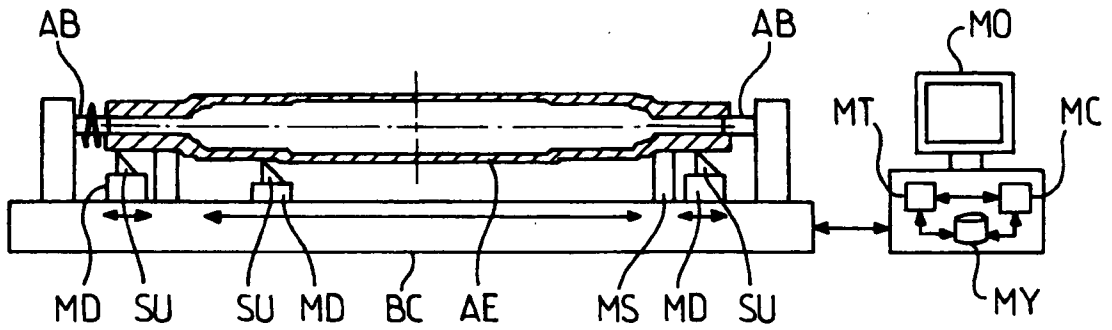


FIG. 3

2/4

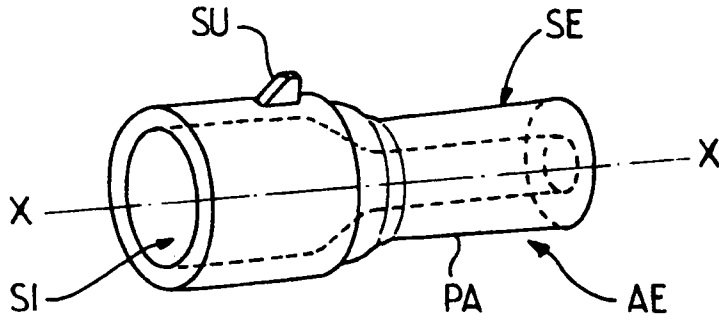


FIG. 4A

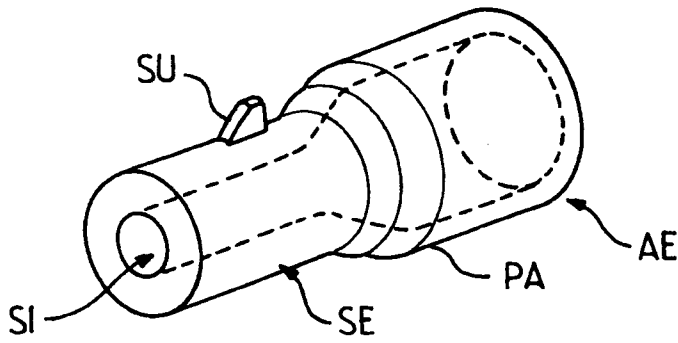


FIG. 4B

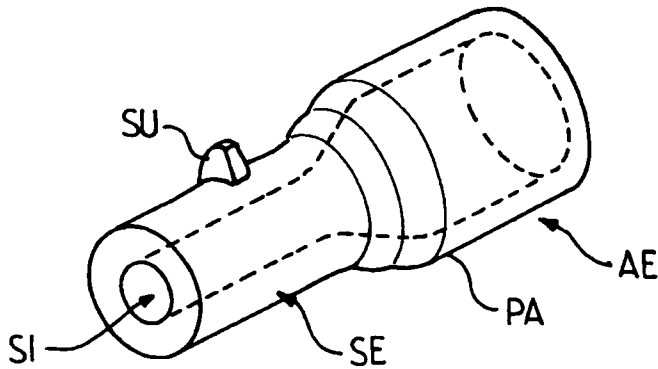


FIG. 5

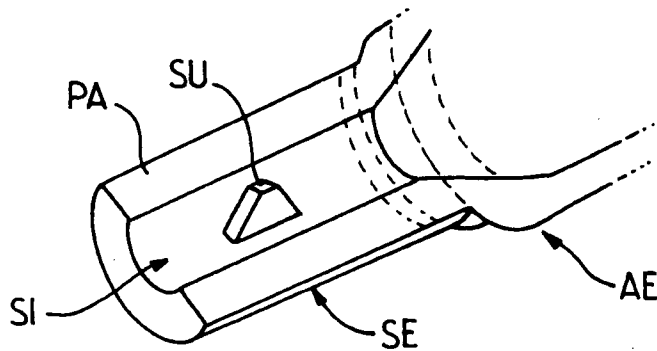
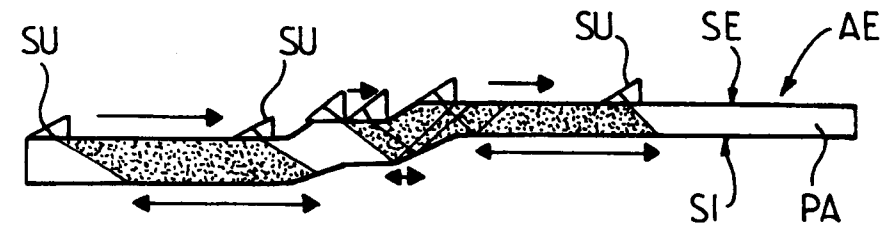
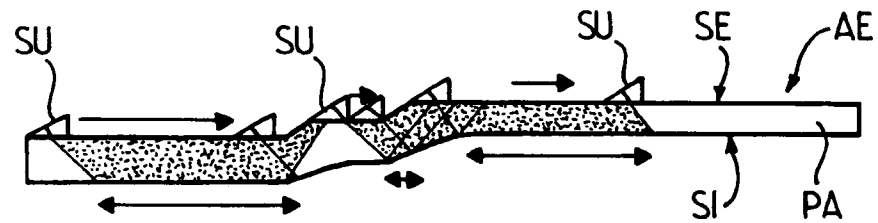
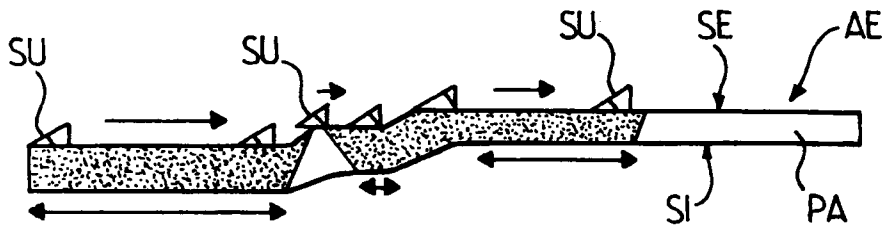
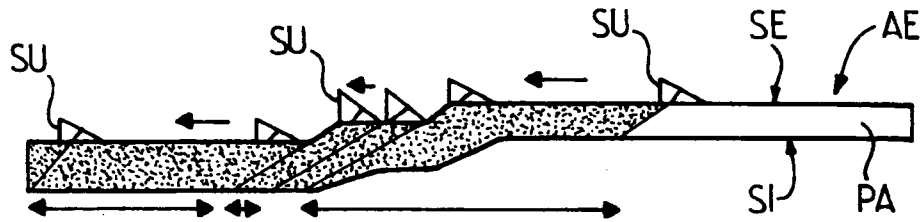
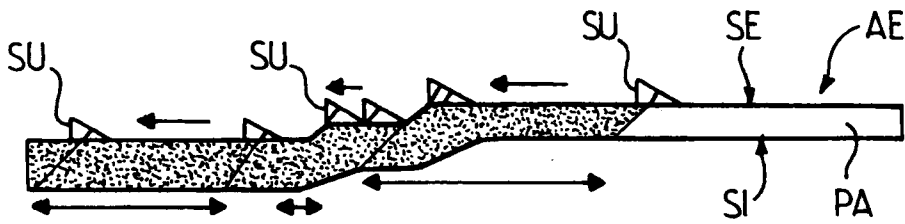
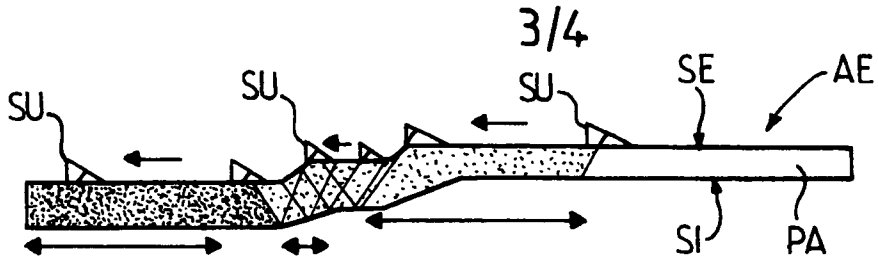


FIG. 6



4/4

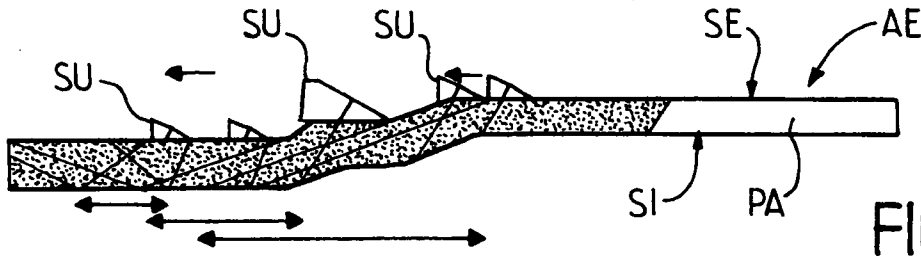


FIG. 9A

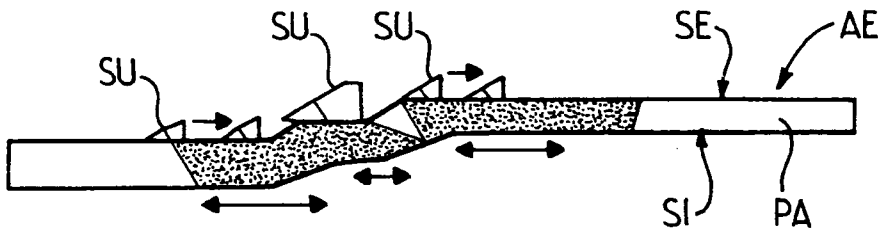


FIG. 9B

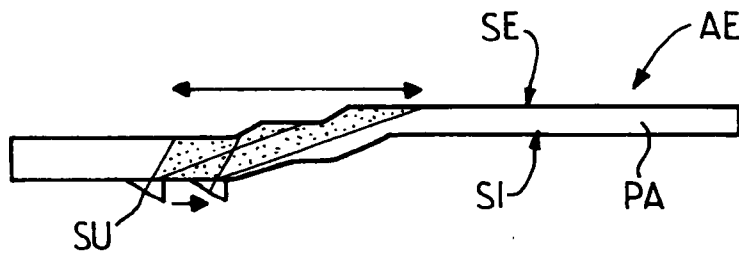


FIG. 10

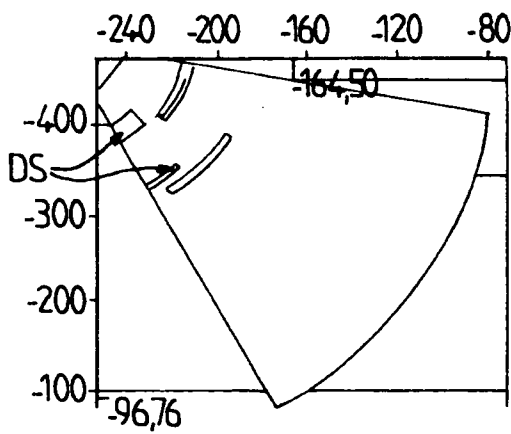


FIG. 11A

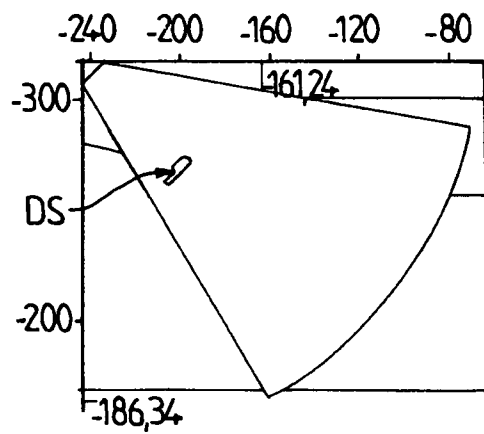


FIG. 11B